FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

PROSIDING

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

"Inovasi Smart Green Technology di Era Artificial Inteligence Application"

P-ISSN 2655-2914
E-ISSN 2808-8360

PANITIA SEMINAR NASIONAL SAINS, TEKNIK DAN APLIKASI INDUSTRI (SINTA)
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG

Pengarah	:	Dr. Eng. Ir. Helmy Fitiriawan, S.T., M.T
Penanggung Jawab	:	Muhammad Irsyad, S.T., M.T
	:	Dr. Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T
	:	Dr. Eng. Ageng Sadnowo Repelianto, S.T., M.T
Ketua	:	Donny Lesmana, S.T., M.Sc
Sekretaris	:	Muhammad Haviz, S.T., M.T
Bendahara		Ir. A. Yudi Eka Risano, M.T
Sponsorship		
Koordinator	:	Muhammad Sarkowi, S.Si., M.Si
Anggota	:	1. Dr. Eng. Ir. Dikpride Despa, S.T., M.T., IPM., ASEAN, Eng
		2. Dr. Ir. C. Niken, DWSBU, M.T
		3. Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T
		4. Ir. Laksmi Irianti, M.T
		5. Dr. Eng. FX Arinto Setiawan, S.T., M.T
		6. Ir. Fauzan Murdapa, M.T
		7. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil
		8. Kelik Hendro Basuki, S.T., M.T
		9. Ir. Arinal Hamni, M.T
		10. Dr. Nining Purwasih, S.T., M.T
		11. Novri Tanti, S.T., M.T
		12. Mona ARif Muda, S.T., M.T
Teknologi Informasi (TI)		
Koordinator	:	Muhammad Komaruddin, S.T., M.T
Anggot	:	1. Titin Yulianti, S.T., M.Eng
		2. Rio Ariesta Pradipta, S.Kom., M.Ti
		3. Deny Budiyanto, S.Kom., M.T
Kesekretariatan		
Koordinator	:	1. Miftahul Djana, S.T., M.T
		2. Rizka Mayasari, S.T., M.T
Anggota	:	1. Hasrul Anwar, M.T
		2. Erlan Sumanjaya., M.Eng
		3. Devi Kurnia Sari, M.Eng
		4. Siti Nurul Khotimah, M.Eng
Publikasi		
Koordinator	:	1. Ir. Gigih Forda Nama, S.T., M.T.I.
		2. Afri Yudamson, S.T., M.Eng
Anggota	:	1. Dr. Herti Utami, S.T., M.T

2. Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng
3. Rahmat Catur Wibowo, S.T., M.Eng
4. Fadil Hamdani, S.T., M.T

Reviewer

Koordinator : Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D

Anggota :
1. Prof. Dr. Lusmeilia Afriani, D.E.A
2. Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc
3. Prof. Dr. Drs. Sugiyanto, M.T
4. Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc
5. Simparmin Br. Ginting, S.T., M.T
6. Shirley S, S.T., M.Met., Ph.D
7. Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T
8. Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T
9. Dr. Sri Purwiyanti, S.T., N.T., Ph.D
10. Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D
11. Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D
12. Dr. Amrul, S.T., M.T
13. Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si
14. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistyanti, M.T
15. Ir. Agung Cahyo Nugroho, S.T., M.T
16. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D
17. Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc
18. Karyanto, S.Si., M.T
19. Prof. Dr. A. Saudi Samosir, S.T., M.T
20. Ir. Citra Persada, M.Sc
21. Khairuddin, S.T., M.Sc., P.hD, Eng

Acara

Koordinator :
1. Martinus, S.T., M.Sc
2. Meizano Ardhi M, S.T., M.T

Anggota :
1. Herlinawati, S.T., M.T
2. Panji Kurniawan, S.T., M.Sc
3. Annisa Ulya Drajat, S.T., M.T
4. Resty Annisa, S.ST., M.Kom
5. Rosalia Dwi Werena, M.Eng

Perlengkapan dan Dokumentasi

Koordinator : Dr. Eng. FX Arinto Setiawan, S.T., M.T

Anggota :
1. Puput Budi Wintoro, S.Kom., M.TI
2. M. Ridho Ulya, S.T., M.Eng

Konsumsi

Koordinator :
1. Citra Dewi,S.T., M.Eng
2. Lia Ismeri, S.T., M.T

Anggota	:	1. Yuli Darni, S.T., M.T 2. Panca Nugrahini F, S.T., M.T 3. Rahma Anisa, S.T., M.Eng
Administrasi Peserta		
Koordinator	:	Syamsul Huda
Anggota	:	1. Ima Nila Wati, S.I.Kom 2. Nurhesti Santika, S.Pd 3. Mukti Handayani, S.T 4. Dito Hadisurya, S.T 5. Musyahim, A.Md

DAFTAR ISI

Cover i

Sintesis Produk Biofoam Berbahan Baku Pati Sorgum dan Selulosa Jerami Padi sebagai Filler

Y Darni, R Fadhilah Irsa, M Haviz, L Lismeri,H Utami dan D Lesmana..... 1

Analisis pengaruh optimasi desain jaring untuk pengukuran Ground Control Point (GCP) terhadap ketelitian skala hasil rektifikasi foto udara

R. Amalia, Fajriyanto, dan Armijon..... 8

Analisis Iklim Mikro pada Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Pusat Kota Metro

Agung Cahyo Nugroho, Nugroho Ifadianto, Dini Agumsari..... 13

Identifikasi Total Organic Carbon pada Sumur BTO Berdasarkan Data Core dan Data Log di Jawa Timur Utara

Bagus Sapto M., Ambrosius Hernawan W., Ordas D., Ilham D., Isti Nur K., Suharso 23

Identifikasi Reservoir Panasbumi Waypanas Tanggamus Lampung Berdasarkan Analisa dan Pemodelan Gravity

M Sarkowi, Karyanti, I B Darmawan, A Hidayatika dan Suharno 30

Analisis Tingkat Kerentanan Lingkungan Berdasarkan Ancaman Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Pesawaran

G Iwang Setiadi, Armijon, T Christy Novianti 36

Sortasi Buah Jambu Kristal (Psidium Guajava L.) Berbasis Citra RGB Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network untuk Membantu Proses Pasca Panen

P B Wintoro, R A Pradipta, M Pratama..... 42

Pengaruh Torefaksi Terhadap Karakterstik Kulit Manggis Sebagai Bahan Bakar Padat

Hadi Prayitno, Amrul, Herry Wardono dan Ihsan Restu Maulana Supriatna..... 47

Investigasi Gerak Massa Menggunakan Metode Geolistrik 2D Pekon Sidoluhur, Kecamatan Kelumbayan Barat

K Karyanto, S Rasimeng, S Suharno, RC Wibowo, F Alami dan PM Haidar 54

Rancang bangun sistem kontrol suhu air kolam benih lobster dengan pengendali PID berbasis mikrokontrol ESP32

Herlinawati, I K Mubarok, A Yudamson..... 61

KAJIAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DALAM PENGEMBANGAN EKOWISATA PULAU PADA KAWASAN TELUK LAMPUNG (Studi Kasus Pulau Sebesi)

Sugeng Prayitno H.,Tomy Pratama Z., Machya Kartika T., Refi A. dan Sunaryanti 71

Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Komposit Karbon-Bentonite Asal

Spent Bleaching Earth secara Batch
L.Hermida, J. Agustian, A. A. Azwan, A. K. Zaman 76
Monitoring kondisi pertumbuhan mangrove kecamatan labuhan maringgai kabupaten lampung timur
D R Kurniawan, A Zakaria, C Dewi, R Fadly..... 83
Kendali optimal pengoperasian PV terhubung ke grid menggunakan voltage souce converter (VSC)
Z Huda, H Gusmedi, O Zebua 89
Dampak Citra Kota Terhadap Pertumbuhan Kawasan. Studi Kasus: Kawasan Komersial Bandar Jaya, Lampung Tengah)
Panji Kurniawan, Kelik Hendro Basuki, Dona Jhonnata, Dini Agumsari 93
ANALISIS TINGKAT RESIKO KAWASAN BENCANA GUNUNG MERAPI DAERAH KABUPATEN SLEMAN MELALUI PENDEKATAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS
F.M. Arbi, Hanifah, A. Ramadhona dan S. Erfani 101
Identifikasi Zona Sesar di Bagian Selatan Sumatra Menggunakan Data Satelit Global Gravitasi
F Murdapa, E Sumanjaya*, A Sari..... 111

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Sintesis Produk Biofoam Berbahan Baku Pati Sorgum dan Selulosa Jerami Padi sebagai Filler

Y Darni [a,*], R Fadhilah Irsa [b], M Haviz, L Lismeri[c],H Utami[d] dan D Lesmana[e]

[a-e]*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. S. Brodojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Rajabasa, Bandar Lampung, 35145, Indonesia*

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima 16/07/2023
Direvisi 30/08/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
Biofoam,
Delignifikasi,
Pati,
Sorgum,
Jerami Padi,
Selulosa,
Thermopressing

A B S T R A K

Biofoam merupakan produk kemasan pengganti styrofoam yang ramah lingkungan karena terbuat dari bahan baku alami berupa pati sorgum dengan tambahan serat berupa selulosa jerami padi dan polivinil alkohol untuk memperkuat strukturnya. Jerami padi yang telah lolos ayakan 100 mesh didelignifikasi menggunakan larutan NaOH 3% dengan rasio serat dan larutan adalah 1:25 (gram/ml) selama 6 jam pada suhu 100°C kemudian dilakukan bleaching menggunakan campuran larutan NaOH 4% dan H2O2 24% dengan rasio serat dan larutan adalah 1:40 (gram/ml) selama 2,5 jam pada suhu 50°C. Selulosa yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai filler pada biofoam. Pembuatan biofoam diawali dengan proses plastisasi di atas hot plate pada suhu 95°C selama 3 menit kemudian adonan dicetak menggunakan alat thermopressing selama 3-5 menit. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan produk biofoam dengan bahan baku pati sorgum dan matriks polivinil alkohol serta penambahan selulosa jerami padi sebagai filler dapat menjadi alternatif penggunaan styrofoam. Variasi komposisi pada penelitian ini yaitu komposisi massa pati sorgum dengan selulosa jerami padi yaitu 50:0 ; 25:25 ; 20:30 dan 30:20 gr dan komposisi PVOH 50% dari berat kering. Pembuatan Biofoam ini dilakukan dengan metode thermopressing. Hasil terbaik dari penelitian ini ialah biofoam dengan penambahan filler 30 gr, yaitu densitas sebesar 0,402 gr/cm3, daya serap air sebesar 36,3%, kuat tekan sebesar 0,360 N/mm2, biodegradasi selama 14 hari sebesar 36,03% dan titik leleh (Tm) 187,24 oC.

1. Pendahuluan

Gaya hidup manusia yang makin praktis mendorong meningkatnya konsumsi plastik dalam berbagai kebutuhan kehidupan. Sehingga ketergantungan manusia terhadap kemasan plastik dalam kebutuhan hidup sehari-hari sangat tinggi. Plastik yang sering digunakan masyarakat sampai saat ini merupakan plastik konvensional yang terbuat dari petroleum atau minyak bumi yang sulit diurai sehingga membuat plastik terus menerus mengotori bumi, dari daratan hingga lautan. Menurut Jambeck (2015), Indonesia berada di peringkat kedua dunia sebagai penghasil sampah plastik ke laut yang mencapai sebesar 187,2 juta ton setelah China yang mencapai 262,9 juta ton. Pada tahun 2018 diperoleh data jumlah sampah yang tercemar ke laut dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) bahwa jumlah sampah yang tercemar ke laut sebesar 0,27 juta hingga 0,59 juta ton. Sampah yang sering ditemukan adalah sampah styrofoam. Styrofoam adalah nama produk dari polystyrene merupakan bahan

* Y Darni
E-mail: yuli.darni@eng.unila.ac.id

pengemas makanan instan yang sering digunakan masyarakat karena mudah didapat, praktis, murah, anti bocor, dan tahan terhadap suhu panas maupun dingin. Namun dibalik kelebihannya tersebut Styrofoam sebenarnya tidak cocok digunakan untuk kemasan produk makanan dan minuman karena styrofoam juga memberi dampak negatif bagi kesehatan tubuh.

Styrofoam mengandung zat yang karsinogenik dan saat terkena suhu panas, polystryrene dapat melepaskan styrene yang dapat mengganggu sistem syaraf dan otak, serta dapat berdampak pada genetik, paru-paru, hati dan kekebalan tubuh (Dowly et al., 1976). Karena dampaknya yang kurang baik terhadap lingkungan dan kesehatan, maka harus ada solusi untuk mencari alternatif styrofoam. Maka dari itu biodegradable foam merupakan salah satu produk wadah makanan yang mudah diurai dan aman untuk kesehatan. Biofoam terbuat dari bahan-bahan yang dapat diurai oleh pengurai seperti bahan yang berasal dari tumbuhan yaitu pati. Pati merupakan biopolimer karbohidrat yang dapat terdegradasi secara mudah di alam dan bersifat dapat diperbarui.

Di indonesia berpotensi besar untuk membuat biodegradable foam karena banyak tanaman penghasil pati yang tumbuh seperti tanaman Sorgum (Sorgum bicolor L.) merupakan tanaman serelia yang beberapa bagiannya dapat dimanfaatkan sebagai bahan membuat biodegradable foam seperti biji sorgum dan batangnya. Biji Sorgum memiliki kandungan pati yang cukup tinggi yaitu 82,5% (Suarni dan I.U. Firmansyah, 2016).

Pada penelitian kali ini akan dilakukan pembuatan biofoam dari pati biji sorgum, selulosa jerami padi sebagai filler dan PVOH sebagai polimer sintetik. Biofoam dianalisis dengan uji kuat tekan, densitas, daya serap air, FTIR (Fourier Transform Infra Red), DSC (Differential Scanning Calorimetry), SEM (Scanning Electron Microscope) dan Biodegradasi. Dengan bahan baku pati sorgum yang memiliki kandungan pati yang cukup tinggi dan selulosa jerami padi sebagai filler serta PVOH sebagai polimer sintetik diharapkan menghasilkan biodegradable foam yang dapat menggantikan penggunaan styrofoam.

2. Metodologi

Bahan baku yang digunakan adalah pati sorgum, selulosa jerami padi, polivinil alkohol (PVOH), dan aquades.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode Thermopressing dengan cetakan berbentuk lingkaran dengan diameter 7 cm. Variasi komposisi massa pada penelitian ini yaitu 50:0; 25:25; 20:30 dan 30:20 gr massa pati sorgum dengan selulosa jerami padi dan komposisi PVOH 50% dari berat kering pada suhu Thermopressing 150°C.

2.1. Preparasi bahan baku pati dan selulosa jerami padi

Pati sorgum dihasilkan dari biji sorgum, mulamula biji sorgum direndam dalam air sampai empuk, lalu ditiriskan. Setelah ditiriskan, biji sorgum ditumbuk hingga halus. Kemudian serbuk dikeringkan dengan dijemur hingga beratnya konstan. Serbuk sorgum direndam dengan aquades dengan perbandingan 1:2 dan disimpan di dalam kulkas bersuhu 4oC selama 12 jam. Selanjutnya, rendaman sorgum disaring dan endapan dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kadar airnya direndam, rendaman sorgum disaring dan endapan dikeringkan dengan oven pada suhu 105 oC sampai kadar airnya dibawah 14%. Pati yang sudah dikeringkan ditumbuk sampai halus. Setelah itu pati biji sorgum disimpan di dalam ziplock bag.

Jerami padi dibersihkan dan dipotong kecilkecil kemudian digiling menggunakan disk mill. Serbuk jerami padi diayak menggunakan ayakan 100 mesh kemudian dilakukan proses delignifikasi. Sebanyak 40 gram serbuk jerami padi dideligninfikasi menggunakan larutan NaOH 3% 1000 mL di atas hotplate pada suhu 100°C selama 6 jam. Serat hasil delignifikasi kemudian dicuci menggunakan aquades hingga pH netral. Selanjutnya serat di-bleaching menggunakan larutan campuran H2O2 24% dan NaOH 2% dengan rasio serat:larutan ialah 1:40. Serat hasil bleaching dicuci menggunakan aquades hingga pH netral. Kemudian selulosa dikeringkan dibawah lampu hingga beratnya konstan. Setelah itu, selulosa jerami padi disimpan di dalam ziplock bag.

2.2. Prosedur percobaan

Sebelum membuat biofoam terlebih dahulu ditentukannya kondisi proses thermopressing. Kondisi yang ditentukan meliputi suhu proses, lama waktu proses dan volume adonan. Menurut penelitian irawan (2018) bahan baku ditimbang sesuai perbandingan yang ditentukan. Bahan kering dicampurkan ke dalam gelas beaker dan ditambahkan aquades (1:1 gr/ml). pembuatan ini diawali dengan proses plastiasi di atas hotplate pada suhu 95°C selama 3 manit. Selanjutnya adonan dicetak menggunakan alat thermopressing selama 3-5 menit dengan suhu 150°C. Kemudian biofoam dikeluarkan dari cetakan dan didinginkan selama 30 menit lalu disimpan ke dalam zip lock bag.

2.3. Uji Densitas

Densitas adalah pengukuran massa benda per unit volume. Prosedur penentuan densitas biofoam yaitu dengan ASTM D 792-08 untuk geometri material. Sampel di potong dengan ukuran tertentu dan ditimbang

untuk mengukur massanya. Setelah itu dapat dihitung densitas biofoam dengan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Keterangan:
ρ = densitas (gr/cm3)
m = massa sampel (gr)
V = volume (cm3)

2.4. Uji Daya Serap Air

Daya serap air diuji berdasarkan prosedur ABNT NBR NM ISO 535 (1999). Sampel biofoam dipotong kira-kira 25 x 50 mm2, sampel ditimbang lalu dicelupkan ke dalam air selama 1 menit. Setelah itu sisa air pada permukaan dikeringkan dengan tisu dan ditimbang kembali dan dihitung pertambahan berat sampel dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{DSA (\%)} = \left(\frac{\text{berat sampel setelah dicelup} - \text{berat sampel awal}}{\text{berat sampel awal}}\right) x\ 100\%$$

2.5. Uji SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah sebuah mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk mendapatkan gambar bentuk permukaan sampel. Analisis SEM dapat mengetahui struktur morfologi suatu sampel. Prinsip kerja dari SEM adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi.

2.6. Uji Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Uji Differential Scanning Calorimetry (DSC) untuk mengetahui titik leleh dan titik transisi gelas (Tg) dari biofoam. DSC adalah teknik analisis termal yang mengukur energi yang diserap oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi dari temperatur tertentu.

2.7. Uji Kuat tekan

Pengukuran kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Biofoam berdiameter 7 cm ditekan pada kecepatan 1 mm/s. pengukuran kuat tekan adalah besarnya gaya tekan yang diterima sampel per satuan luas dan dinyatakan dalam N/mm^2.

2.8. Biodegradasi

Biodegradable foam harus dapat terdegradasi dalam waktu maksimal 6 bulan sampai 9 bulan. Uji biodegradasi bertujuan untuk mengetahui berapa lama sampel biofoam terurai di dalam tanah dengan metode penguburan (soil burial test) Sampel biofoam dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 5 cm, lalu sampel direndam ke dalam air selama 1 menit. Kemudian sampel ditimbang sebagai berat awal dan ditanam ke dalam tanah pada kedalaman 10 cm selama 14 hari. Setelah itu, sampel dibersihkan dari tanah yang menempel dan ditimbang sebagai berat akhir. Untuk mengetahui persen kehilangan berat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Weight\ loss\ (\%) = \left(\frac{W1-W0}{W0}\right) \times 100\%$$

Keterangan :
W_0 = berat awal sampel (gram)
W_1 = berat akhir sampel (gram)

2.9. Uji FTIR (Fourrier Transform Infra Red)

FTIR (Fourrier Transform Infra Red) merupakan metode spektroskopi yang menggunakan radiasi inframerah, di mana radiasi inframerah dilewatkan melalui sampel pada spektroskopi inframerah. Beberapa radiasi tersebut akan diserap oleh sampel dan sebagian lainnya akan dilewatkan. Pengujian sampel menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi material yang tidak diketahui, menentukan kualitas sampel biofoam, dan menentukan banyaknya komponen yang terdapat dalam suatu campuran.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Komposisi Jerami Padi

Pada penelitian ini jerami padi didelignifikasi untuk menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, dan mengisolasi selulosa yang akan digunakan sebagai filler (pengisi) biofoam.Tabel 1 menunjukkan kandungan lignoselulosa sebelum dan sesudah proses delignifikasi.

Tabel 1. Kandungan Lignoselulosa Jerami

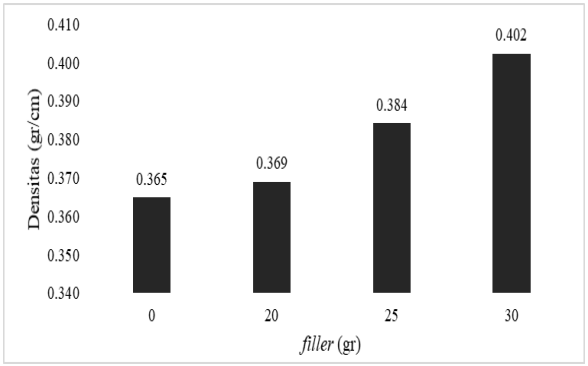
Sampel	Hemiselulosa	Selulosa	Lignin
	%		
Jerami Padi*	23-28	28-36	12-18
Selulosa	16,8465	35,8273	4,5281

Kandungan lignoselulosa jerami padi sebelum dilakukan delignifikasi memiliki kandungan hemiselulosa 23-28%, selulosa 28-36% dan lignin 12-18% (Saini et al., 2015). Setelah dilakukan delignifikasi, kandungan lignin pada jerami padi berkurang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

3.2. Uji Densitas

Pengujian ini dilakukan dengan cara memotong *biofoam* berukuran 2 x 2,5 cm^2 kemudian mengukur ketebalan *biofoam* menggunakan jangka sorong sehingga dapat dihitung volumenya.

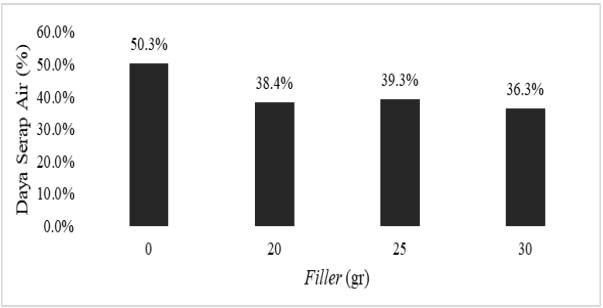
Pada Gambar 1 menunjukan bahwa Biofoam dengan variasi pati:*filler*:pvoh 20:30:50 memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi biofoam lainnya yaitu sebesar 0,402 g/cm^3. Jika dibandingkan dengan densitas *styrofoam* yaitu sebesar 0,014 g/cm^3 maka densitas *biofoam* pada penelitian ini masih cukup tinggi, yang berkisar antara 0,365-0,402 g/cm^3. Namun memenuhi standar dengan *biofoam* komersial milik Synbra Technology yang memiliki densitas sebesar 0,66 gr/cm^3..



Gambar 1. Pengaruh Variasi *Filler* Terhadap Densitas *Biofoam*

3.3. Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air bertujuan untuk mengetahui seberapa besar *biofoam* mampu menyerap air pada saat dicelupkan ke dalam air selama waktu yang ditentukan. Uji daya serap air merupakan pengukuran daya serap air dengan cara memperbandingkan hasil presentase antara massa basah dan massa kering.

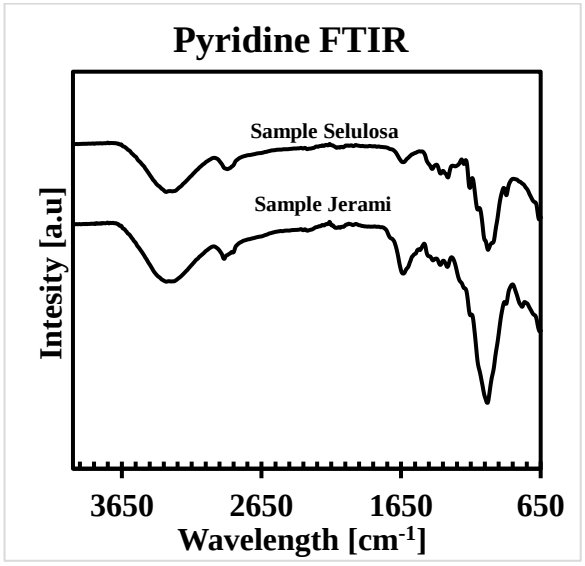


Gambar 2. Pengaruh Variasi *Filler* Terhadap Daya Serap Air *Biofoam*

Pada Gambar 2 menunjukan bahwa daya serap air terendah terdapat pada *biofoam* dengan penambahan 30% *filler* berupa selulosa jerami padi sebesar 36,3% sedangkan daya serap air pada *biofoam* tanpa penambahan *filler* sebesar 50,3%.Rendahnya daya serap air *biofoam* disebabkan karena komposisi *filler* yang tinggi, hal ini sesuai dengan penelitian Salgado *et al.* (2008) di mana peningkatan konsentrasi selulosa dapat mengurangi penyerapan air pada *biofoam*.

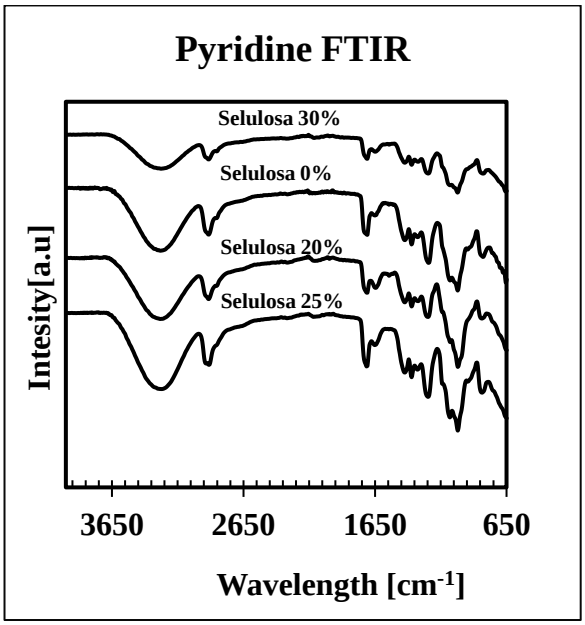
3.4. Uji FTIR

Analisis gugus fungsi FTIR biofoam dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung di dalam biofoam. Pada Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan hasil analisis gugus fungsi FTIR jerami padi dengan selulosa jerami padi dan produk biofoam. Gugus O-H merupakan pola karakteristik biofoam pada bilangan gelombang (wavenumber) 3200-3400 cm-1 , gugus C-H pada bilangan gelombang 2850- 3000 cm-1 , gugus C=O pada bilangan gelombang 1705-1725 cm-1 , gugus C=C pada bilangan gelombang 1200-1300 cm-1 , gugus CO pada bilangan gelombang 1025-1160 cm-1 dan gugus C-H pada bilangan gelombang 690- 900 cm-1 .



Gambar 3. Hasil Uji FTIR Jerami Padi dan selulosa jerami

Pada Gambar 3 dapat dilihat hasil spektrum antara jerami padi dan selulosa jerami. Selulosa jerami didapat Ketika jerami padi sudah di delignifikasi. Adapun hasil spektrum yang didapat kedua bahan diperoleh adanya gugus fungsi ikatan O-H dengan bilangan gelombang sebesar 3332,2 cm^{-1} . Lalu terbentuknya gugus fungsi C-H dimana jerami padi dengan bilangan gelombang 2922,2 cm^{-1} selulosa jerami 2892,4 cm^{-1}. Pada jerami padi dan selulosa jerami tidak terbentuk gugus fungsi C=O dan C=C. Untuk ikatan gugus fungsi C-O didapatkan bilangan gelombang yang sama yaitu 1028,7 cm^{-1}. Dan untuk gugus fungsi C-H pada jerami tidak menunjukan gelombang yang terbentuk sedangkan selulosa jerami didapatkan bilangan gelombang sebesar 782,7 cm^{-1}.



Gambar 4. Hasil Uji FTIR *Biofoam* dengan variasi *Filler*

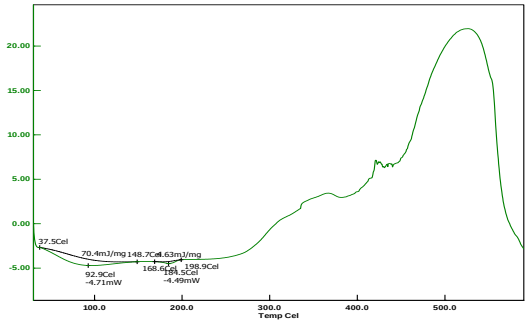
Pada Gambar 4 menujukan bentuk gelombang produk biofoam dengan variasi massa antara pati,selulosa dan PVOH. Hasil spektrum dari 4 sampel *biofoam* yaitu 3280,1 cm^{-1} dan 3272,6 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus O-H. Adanya gugus O-H ini berasal dari komponen utama penyusun pati

yaitu amilosa dan amilopektin. Lalu muncul spektrum 2922,2 cm^{-1}, 2892,4 cm^{-1}, dan 2914,8 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-H dari alkana yang berasal dari senyawa polivinil alkohol. Kemudian muncul spektrum 1714,6 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C=O dari keton. Setelah itu, muncul spektrum 1244,9 cm^{-1} dan 1252,4 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C=C. Selanjutnya muncul spektrum 1028,7 cm^{-1}, 1028,7 cm^{-1}, dan 1025,3 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-O. Selain itu spektrum 782,7 cm^{-1} dan 834,9 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-H aromatik.

Berdasarkan analisis gugus fungsi FTIR di atas, terdapat gugus O-H dan C-O yang membuat *biofoam* mudah terdegradasi di dalam tanah. Hal ini disebabkan karena gugus O-H dan C-O bersifat hidrofilik atau mudah menyerap air. Hasil spektrum masing-masing sampel *biofoam* dengan variasi komposisi massa tidak menunjukkan adanya perbedaan dan gugus fungsi baru yang terbentuk

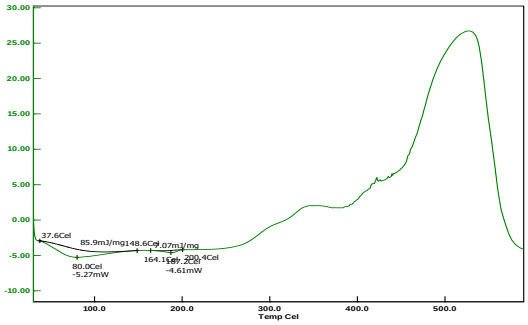
3.5. Uji Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Uji DSC dilakukan untuk mengetahui sifat termal dari biofoam. Dari uji ini dapat diketahui titik leleh dari biofoam berbahan pati dan batang sorgum. Dalam hal ini biofoam diharapkan dapat tahan terhadap panas untuk aplikasi pada kemasan makanan.



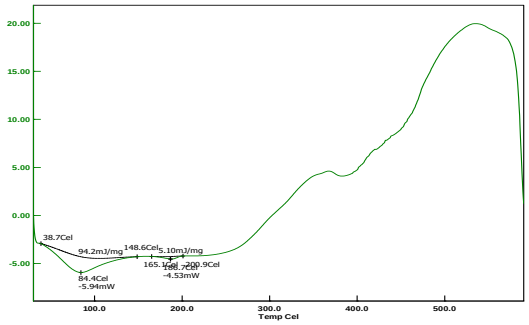
Gambar 5. Grafik Analisis DSC *Biofoam* Tanpa *Filler*

Pada Gambar 5 menunjukan termogram pada *heatflow* pada biofoam 50:0: 50. Titik leleh (Tm) pada biofoam sebesar 184,54 ºC dan Titik Transisi Gelas sebesar 92,87 ºC.



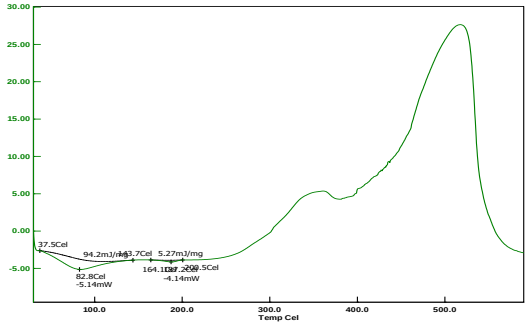
Gambar 6. Grafik Analisis DSC *Biofoam* dengan Penambahan Filler 20 gr

Pada Gambar 6 menunjukan termogram pada *heatflow* pada biofoam 30:20:50. Titik leleh (Tm) pada biofoam sebesar 187,22 ºC dan Titik Transisi Gelas sebesar 80,04 ºC.



Gambar 7. Grafik Analisis DSC *Biofoam* dengan Penambahan Filler 25 gr

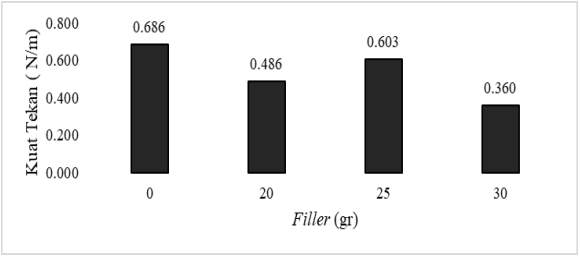
Pada Gambar 7 menunjukan termogram pada *heatflow* pada biofoam 25:25:50. Titik leleh (Tm) pada biofoam sebesar 186,66 ºC dan Titik Transisi Gelas sebesar 84,41 ºC.



Gambar 8. Grafik Analisis DSC *Biofoam* Tanpa *Filler*

Pada Gambar 8 menunjukan termogram pada *heatflow* pada biofoam 20:30:50. Titik leleh (Tm) pada biofoam sebesar 187,24 ºC dan Titik Transisi Gelas sebesar 82,75 ºC. Hasil uji DSC pada penelitian ini menunjukkan titik leleh yang cukup tinggi sehingga biofoam dapat diaplikasikan sebagai kemasan anti panas.

3.6. Uji Kuat Tekan



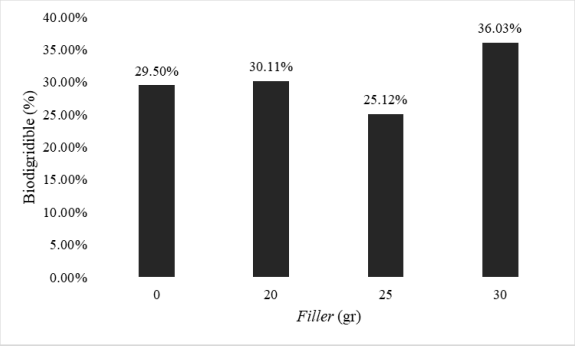
Gambar 9. Pengaruh *Filler* terhadap kuat tekan Biofoam.

Pada Gambar 9 menunjukan bahwa Pada penelitian ini, hasil nilai kuat tekan sampel *biofoam* berkisar antara 0,360 N/mm^2 – 0,686 N/mm^2. Nilai kuat tekan *biofoam* tanpa penambahan *filler* lebih tinggi dibandingkan dengan *biofoam* yang ditambahkan *filler*. Dalam hal ini, penambahan selulosa malah menurunkan nilai kuat tekannya. Komposisi *filler* yang rendah pada pembuatan *biofoam* akan meningkatkan kuat tekan, namun ketika komposisi *filler* melewati titik optimum maka partikel *filler* akan mengalami aglomerasi sehingga mengurangi nilai kuat tekan (Yudanto & Pudjihastuti ,2020). Jika dibandingkan dengan standar kuat tekan *styrofoam* yaitu 0,068 N/mm^2, nilai kuat tekan *biofoam* yang dihasilkan dari penelitian ini yang berkisar antara 0,141 N/mm^2 – 0,246

N/mm^2 jauh lebih tinggi, namun mendektasi standar *biofoam* miliki Synbra Technology yang memiliki kuat tekan 0,2 N/mm^2.

3.7. Biodegradasi

Uji biodegradasi untuk mengetahui seberapa lama kemampuan terurainya biofoam. Uji ini dilakukan berdasarkan EN13432 dengan metode *soil burial test* yaitu dengan cara menguburkan biofoam di dalam tanah selama waktu tertentu. Pada penelitian ini dilakukan selama 60 hari.



Gambar 10. Biodegradabilitas *Biofoam* selama 14 Hari

Pada Gambar 10 menunjukan bahwa Pada biodegradabilitas sampel *biofoam* masing-masing variasi massa *thermopressing* dengan penambahan *filler* berupa selulosa jerami padi, biodegradasi *biofoam* selama 14 hari berkisar antara 25,12% – 36,03% dengan biodegradabilitas tertinggi sebesar 36,03% pada komposisi pati dengan selulosa (30:20), sedangkan biodegradabilitas terendah sebesar 25,12% pada variasi massa pati:selulosa sebesar (25:25). Perbedaan bidegradabilitas sampel *biofoam* disebabkan oleh berbagai hal, salah satunya adalah kondisi tanah. Tanah yang subur dan lembab mampu meningkatkan laju degradasi dibandingkan dengan tanah yang kering. Berdasarkan *European Union Standard* (EN 13432), waktu maksimal yang dibutuhkan untuk *biodegradable foam* terurai dalam tanah adalah 6 sampai 9 bulan.

Tabel 2. Perbandingan antara biofoam berbahan baku pati dan selulosa jerami padi dengan styrofoam dan biofoam komersil

Parameter	Styrofoam (EPS industry, ASTM C578 Type 1)	Biofoam komersial (S*ynbra technology*)	Biofoam Sorgum *filler* selulosa jerami
Densitas	0,014gr/cm^3	0,66gr/cm^3	0,402 gr/cm^3
Daya serap air	<4%	<2%	36,3%
Kuat tekan	0,068 MPa	0,2 MPa	0,36 MPa

Pada Tabel 2 menunjukan bahwa biofoam hasil dari penelitian ini memiliki aspek yang cukup dari standar yang ada. dan biofoam 4 dengan perbandingan komposisi pati, batang dan PVOH yaitu 6,5:0,5:3 dapat menjadi kemasan alternatif dalam penggunaan *styrofoam* berlebih.

4. Kesimpulan

Biofoam dengan bahan alami pati sorgum dan selulosa jerami padi sebagai *filler* dapat menjadi alternatif kemasan pengganti styrofoam. Dari hasil penelitian ini variasi komposisi pati : selulosa gr/gr yang optimum ialah 20:30 gr/gr dengan densitas sebesar 0,402 gr/cm^3 , daya serap air sebesar 36,3%, kuat tekan sebesar 0,36 Mpa, biodegradasi 36% selama 60 hari dan titik leleh (Tm) 187,24^{o}C. Penambahan selulosa jerami padi dapat menurunkan kuat tekan dan daya serap air pada biofoam.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Staff Laboratorium Kimia Terapan Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung. Staff Laboratorium UPT LTSIT Univesitas Lampung dan Staff Laboratorium Terpadu Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.

Daftar Pustaka

ABNT NBR NM ISO 535. 1999. Errata 1: 2002

[ASTM] American Society for Testing And Materials. Standard Test Methods for Flexural Properties of Underforced And Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials Philadelpia, USA, ASTM (Annual Book of ASTM Standard).

Coniwanti, P., Mu'in, R., Saputra, H. W., RA, M. A., & Robiansyah, R (2018). *Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Rasio Serat daun Nanas dan Ampas Tebu pada Pembuatan Biofoam*. Jurnal Teknik Kimia. 24(1), 1-7.

Dewi, A.P., dan Yesti, Y. 2018. Pengujian Biodegradasi Film Plastik Campuran Polimer Sintetis (Polistiren) dan Biopolimer (Polikaprolakton) dalam Media Tanah. Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau.

Dicko, M.H., H. Gruppen, A.S. Traoré, W.J.H van Berkel, and A.G.J Voragen. 2005. *Evaluation of the effect of germination on content of phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties*. J. Agric. Food Chem. 53:2581-2588

Etikaningrum, J. H., Iriani, E., S., Syarief, R., & Permana, A. W. 2016. *Pengaruh Penambahan Berbagai Modifikasi Serat Tandan Kosong Sawit pada Sifat Fungsional Biodegradable Foam.* Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian, 3(3), 146-155.

Irawan, C., & Aliaha, A. 2018. *Biodegradable Foam dari Bonggol Pisang dan Ubi Nagara sebagai Kemasan Makanan yang Ramah Lingkungan.* Jurnal Riset Industri Hasil Hutan, 10(1), 33

Iriani, E. S. 2013. *Pengembangan Produk Biodegredable Foam Berbahan Baku Campuran Tapioka dan Ampok.* Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Jambeck. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *SCIENCE*, 768.

Shogren RL, Lawton JW, Doane WM, Tiefenbacher KF. 1998. *Structure and morphology of baked starch foams*. *Polym.* 39(25):6649-6655.

Suarni. 2004. Evaluasi Sifat Fisik dan Kandungan Kimia Biji Sorgum Setelah Penyosohan, Jurnal Stigma xii(1), 88 – 91.

Wulandari, Wahyu Suci. 2020. *Pembuatan dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Jerami Padi dengan Metode Hidrolsis Asam (Variasi Volume Penambahan Asam).* Skripsi. Fakultas Farmasi Universitas Perintis Indonesia.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Analisis pengaruh optimasi desain jaring untuk pengukuran *Ground Control Point* (GCP) terhadap ketelitian skala hasil rektifikasi foto udara

R. Amalia, Fajriyanto, dan Armijon*

Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima 12/07/2023
Direvisi 5/09/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
GCP Foto Udara
Ketelitian Skala horizontal
Optimasi Desain Jaring
Perataan Jaring
UAV

A B S T R A K

Kualitas ketelitian foto udara yang baik apabila memiliki tingkat akurasi tinggi yang dapat dihasil dari proses koreksi foto dengan GCP yang teliti. GCP merupakan titik bantu di lapangan yang digunakan untuk mengkoreksi suatu foto udara dalam mengurangi kesalahan-kesalahan yang terjadi pada foto. Untuk menghasilkan akurasi titik GCP yang baik, dibutuhkan pengukuran GCP yang teliti. Dengan begitu untuk menghasilkan akurasi foto yang baik perlu ditentukan GCP yang teliti. Penentuan GCP yang teliti dapat menggunakan desain jaring. Dalam koreksi foto udara banyak variabel yang mempengaruhinya, sehingga apakah usaha untuk meningkatkan ketelitian GCP melalui desain jaringan cukup signifikan mempengaruhi ketelitian peta foto udara, sehingga perlu dianalisis sejauh mana pengaruh kualitas jaring terhadap peningkatan kualitas ketelitian peta foto. Metode yang digunakan dalam optimasi desain jaring dengan 4 model desain jaringan menggunakan pendekatan kuadrat terkecil dengan hitung perataan parameter. Data foto hasil akuisisi menggunakan UAV. Sebaran dan penempatan GCP ditentukan berdasarkan hasil desain jaring dan diukur dengan teknologi GNSS. GCP hasil optimasi desain jaring digunakan untuk pembentukan orthotphoto secara digital. Perhitungan nilai CE90 digunakan untuk menentukan tingkat ketelitian horizontal skala peta. Berdasarkan ketelitian skala peta dapat diketahui tingkat akurasi foto yang dihasilkan. Selanjutnya dilakukan analisis ketelitian skala peta berdasarkan variasi desain jaring GCP. Desain 1 merupakan desain paling optimal dengan nilai variansi-kovariansi dan SOF sebesar 1,629877694 dan 0,25. Pada pembentukan orthotphoto, desain 3 memiliki kesalahan paling kecil yaitu sebesar 8,37596 cm. Ketelitian skala berdasarkan CE90 yang dihasilkan pada desain 1, desain 2, desain 3, dan desain 4 sebesar 0,250184; 0,277924; 0,127105, dan 0,302074 termasuk ke dalam kelas 1 ketelitian skala 1:1.000. Hal ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan model desain jaringan tidak terlalu mempengaruhi ketelitian skala peta foto udara.

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang dan masalah

Pada era teknologi yang berkembang pesat saat ini, berbagai metode survey pemetaan telah banyak digunakan dan dikembangkan. Salah satunya adalah pemetaan foto udara dengan memanfaatkan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). UAV adalah sebuah wahana terbang tanpa awak yang penerbangannya

* Armijon
E-mail: armijon@eng.unila.ac.id

dikendalikan secara personal oleh komputer dengan menggunakan remot kontrol (Rivai dan Hanafi, 2021)

UAV yang beredar saat ini, sebagian besar telah dilengkapi dengan GNSS (*Global navigation satellite system*) komersil sehingga foto yang dihasilkan terdapat kesalahan sampai dengan satu meter. Suatu foto udara menghasilkan skala yang besar sehingga membutuhkan ketelitian geometrik yang tinggi. Dengan begitu koreksi geometrik perlu dilakukan untuk mengurangi kesalahan pada saat pengukuran. Dalam melakukan koreksi geometrik dibutuhkan Ground Control Point (GCP). GCP merupakan titik bantu di lapangan yang bertujuan untuk mengkoreksi suatu citra dalam mengurangi kesalahan dan menghasilkan produk tingkat akurasi yang tinggi sesuai dengan spesifikasi pemetaan. Untuk menghasilkan akurasi titik GCP yang baik, dibutuhkan pengukuran dengan menggunakan metode jaring. Desain geometri jaringan ini berguna untuk merencanakan tingkat ketelitian yang diperoleh sebelum kegiatan pengukuran dilakukan, selain itu desain geometri jaringan yang berkualitas juga dapat mengeliminasi kesalahan. Secara teori semakin banyak jumlah baseline dalam suatu jaring maka ketelitian posisi yang dihasilkan akan semakin baik (Cahyadi, 2006).

Kualitas ketelitian foto udara yang baik dapat dilihat dari kualitas ketelitian skala peta foto. Semakin besar skala maka membutuhkan tingkat akurasi foto yang tinggi. Dengan demikian dapat diartikan untuk menghasilkan kualitas ketelitian foto yang baik dibutuhkan GCP yang baik. GCP yang baik dihasilkan oleh desain jaringan yang baik. Penelitian ini dilakukan untuk melihat dan membuktikan apakah desain jaringan akan berpengaruh dalam menghasilkan kualitas ketelitian foto yang baik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan apakah perlu menggunakan desain jaring yang baik untuk penentuan GCP.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:
1. Mendesain jaring Ground Control Point (GCP).
2. Analisis ketelitian skala foto berdasarkan variasi jaring.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:
1. Penelitian dilakukan di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove, Pesawaran.
2. Data yang digunakan adalah data pengamatan langsung yang dilakukan di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove, Pesawaran menggunakan survei GNSS dengan lama pengamatan selama 2 jam pada setiap titik GCP dan pemotretan foto udara menggunakan *fix wing* dengan ketinggian terbang di atas 300 meter.
3. Perataan jaring dilakukan dengan menggunakan prinsip kuadrat terkecil metode hitung perataan parameter.
4. Pembentukan *orthophoto* dilakukan secara digital.
5. Ketelitian skala foto diujikan melalui nilai CE90 (Skala horizontal) berdasarkan Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 yang diperbarui dalam Peraturan Kepala BIG Nomor 6 Tahun 2018.
6. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketelitian horizontal skala hasil rektifikasi foto udara terhadap variasi desain jaring yang optimal.

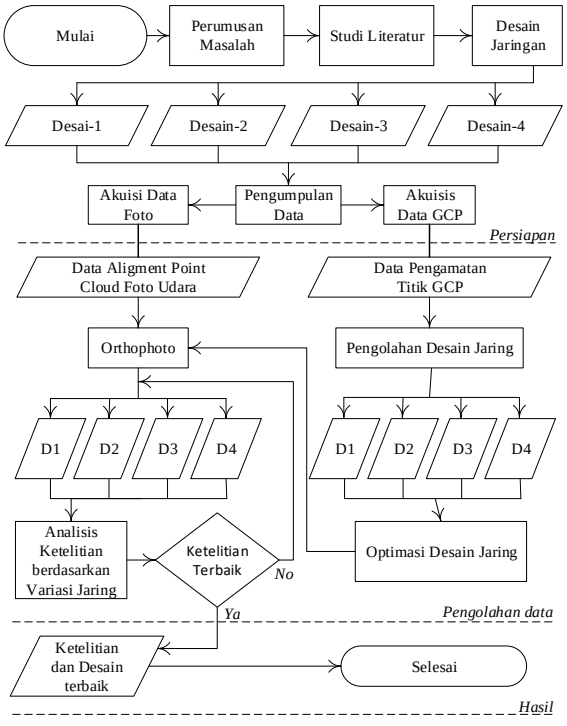
2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

Alat yang digunakan berupa perangkat keras dan perangkat lunak. perangkat keras yang digunakan adalah *Receiver Hi-Target* dan wahana terbang. Perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB R2020a, *Agisoft Metashape* dan *Microsoft Excel*.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah data pengukuran langsung. Pengukuran GCP dilakukan dengan menggunakan metode jaring dan lama pengamatan selama 2 jam pada setiap titik. Pemotretan foto udara dilakukan menggunakan wahana terbang *Sky Walker* dengan ketinggian terbang rata-rata 345 meter. Pemotretan dilakukan satu kali dengan lama perekaman selama 26 menit.

Tahap pelaksanaan penelitian dari awal sampai akhir menghasilkan analisis ketelitian desain jaring terhadap ketelitian skala foto udara dapat dilihat pada Gambar 1 diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Prosedur percobaan

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan desain jaring untuk pengukuran GCP. Dibuat empat desain jaring dengan persebaran titik GCP yang berbeda pada setiap desainnya. Selanjutnya dilakukan pengambilan data berupa data pengamatan langsung pengukuran GCP dan pemotretan foto udara.

Dari data yang diperoleh dilanjutkan dengan proses optimasi setiap desain jaring dengan menggunakan hitung perataan parameter. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan kualitas jaring yang paling baik, salah satunya adalah dengan menggunakan persamaan

$$C_X = \sigma_0^2 (A^{\mathrm{T}} P_L A)^{-1} \quad (1)$$

dimana :
A = matriks desain
P_L = matriks bobot pengamatan
σ_0^2 adalah faktor variansi aposteori yang dapat dihitung dengan

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P_L V}{n-u} \quad (2)$$

Dimana:
V = vektor residu
n = jumlah pengamatan
u = jumlah parameter

Persamaan di atas digunakan untuk mendapatkan ketelitian titik-titik di dalam jaringan. Dengan mengasumsikan faktor variansi aposteriori sama dengan satu dan ketelitian vektor *baseline* dan vektor koordinat yang homogen dan independen antar kompenennya, untuk memprediksi kekuatan jaring dapat diformulasikan sebagai berikut

$$SOF = \frac{trace(A^T A)^{-1}}{jumlah\ parameter} \quad (3)$$

Dimana SOF adalah faktor kekuatan jaring. Semakin kecil bilangan faktor kekuatan jaringan, maka akan semakin baik konfigurasi jaringan, dan sebaliknya (Abidin dan Mugiarto, 2000).

Setelah menghasilkan desain jaring yang optimal, selanjutnya dilakukan pengolahan foto udara sampai menghasilkan *orthophoto*. Foto orto dibentuk menggunakan konsep foto perspektif dimana melalui proses rektifikasi differensial. Rektifikasi dilakukan untuk menghapus efek kesendengan sumbu dan menghasilkan ekuivalen foto yang tegak. Proses *orthophoto* dilakukan secara digital sehingga waktu yang diperlukan lebih cepat. Pada pengolahan foto udara dihasilkan laporan yang didalamnya terdapat nilai RMSE yang dapat digunakan dalam menghitung ketelitian skala peta foto udara. Ketelitian skala peta dihitung berdasarkan nilai CE90 sesuai dengan Peraturan Kepala BIG Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014. Nilai CE90 dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$CE90 = 1{,}5175 x RMSE_r \quad (4)$$

Dimana $RMSE_r$ adalah nilai RMSE pada posisi X dan Y (horizontal).

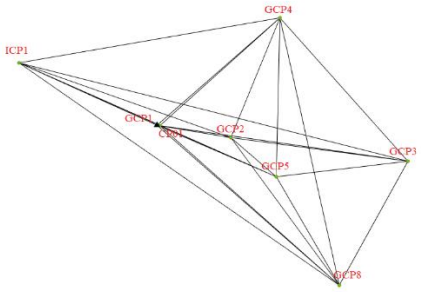
2.3. Analisis

Analisis dilakukan berdasarkan dengan variansi jaring. Pada penelitian ini terdapat empat desain jaring yang telah dihitung nilai optimasi pada masing-masing desain jaring. Dari hasil optimasi desain jaring tersebut dilakukan pengolahan foto udara pada setiap desain dan dilakukan uji ketelitian skala peta foto menggunakan CE90. Hasil tersebut akan dilihat dan dianalisis ada atau tidak keterkaitan antara variasi desain jaringan dengan ketelitian skala peta foto.

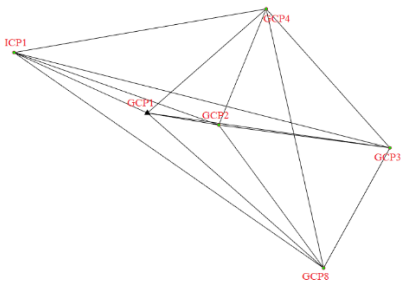
3. Hasil dan pembahasan

3.1 Desain jaring GCP

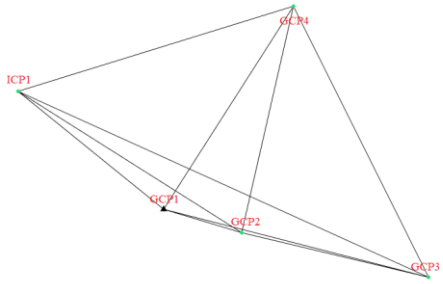
Desain 1 memiliki 8 titik GCP (Gambar 2), desain 2 memiliki 6 titik GCP (Gambar 3 desain 3 memiliki 5 titik GCP (Gambar 4), dan desain 4 memiliki 4 titik GCP (Gambar 5).



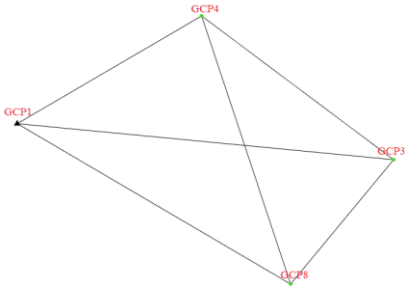
Gambar 2. Desain 1



Gambar 3. Desain 2



Gambar 4. Desain 3



Gambar 5. Desain 4

3.2 Hasil pengolahan data

Berdasarkan persamaan 1, dapat dilihat hasil perhitungan nilai C_X untuk desain 1 pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai C_X pada desain 1

$$C_x = \begin{bmatrix} \mathbf{1,6043} & 0{,}8023 & 0{,}8023 & 0{,}8022 & 0{,}8023 & 0{,}8023 & 0{,}8022 \\ \square & \mathbf{1,6030} & 0{,}8041 & 0{,}8020 & 0{,}8035 & 0{,}8047 & 0{,}8008 \\ \square & \square & \mathbf{1,6198} & 0{,}8020 & 0{,}8061 & 0{,}8102 & 0{,}7980 \\ \square & \square & \square & \mathbf{1,6500} & 0{,}7996 & 0{,}7939 & 0{,}8059 \\ \square & (Sim) & \square & \square & \mathbf{1,6106} & 0{,}8100 & 0{,}7986 \\ \square & \square & \square & \square & \square & \mathbf{1,6866} & 0{,}7944 \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square & \mathbf{1,6348} \end{bmatrix}$$

Nilai variansi-kovariansi desain 1 adalah 1,6298 yang dihasilkan dari rata-rata nilai C_X . Hasil keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pengolahan foto udara diperoleh nilai RMSE yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil optimasi desain jaring

Desain	Variansi-kovariansi	SOF
1	1,6298	0,25
2	2,2023	0,33
3	2,5835	0,40
4	3,3659	0,50

Tabel 3. Hasil pengolahan foto udara

Desain	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
1	12,1306	11,1650	4,0693	16,4866	16,9814
2	13,7350	12,1150	3,7793	18,3146	18,7004
3	6,2946	5,5257	1,5198	8,3759	8,5127
4	14,2780	13,8704	3,4718	19,9060	20,2065

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa desain 1 memiliki nilai variansi-kovariansi dan nilai SOF terkecil yaitu sebesar 1,6298 dan 0,25. Hal ini berarti desain 1 memiliki kualitas jaring yang baik karena memiliki nilai ketelitian dan kekuatan jaring yang lebih kecil dari ketiga desain lainnya. Desain 4 merupakan desain dengan kualitas jaring yang paling kurang baik karena memiliki nilai variansi-kovariansi dan SOF yang cukup besar.

Tabel 3 merupakan hasil dari pembentukan *orthophoto* sehingga mendapatkan nilai kesalahan pada setiap desain. Desain 3 merupakan yang menghasilkan nilai kesalahan paling kecil yaitu sebesar 8,5127 cm. Nilai kesalahan paling besar adalah pada desain 4 dengan total 20,2065 cm.

Nilai XY error pada Tabel 3 digunakan untuk menghitung ketelitian skala peta foto udara menggunakan persamaan 4. Hasil perhitungan nilai CE90 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai CE90

Desain	RMSE (m)	CE90
1	0,1649	0,2502
2	0,1831	0,2779
3	0,0838	0,1271
4	0,1991	0,3021

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa desain 1, desain 2, desain 3, dan desain 4 dengan nilai CE90 0.250184; 0,277924; 0,127105 dan 0,302074. Berdasarkan dengan Pembaruan Peraturan Kepala BIG Nomor 6 Tahun 2018 pada Tabel 5, model jaringan tersebut termasuk ke dalam kelas 1 untuk skala 1:1.000.

Tabel 5. Ketelitian skala peta (Perka BIG no.6 Thn 2018)

Skala	Ketelitian Horizontal / CE90 (m)		
	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
1:10.000	3,00	6,00	9,00
1:5.000	1,50	3,00	4,50
1:2.500	0,75	1,50	2,30
1:1.000	0,30	0,60	0,90

Hasil di atas dapat disimpulkan bahwa desain jaring 1 sampai dengan desain jaring 4 termasuk kedalam satu kategori ketelitian skala yang sama.

3.3 Analisis

Berdasarkan pada pembahasan hasil optimasi desain jaring diperoleh desain yang paling optimal adalah desain 1 dan desain yang paling tidak optimal adalah desain 4. Pada ketelitian geometri skala foto udara, keempat desain tersebut termasuk ke dalam satu kategori yang sama yaitu pada skala 1:1.000 kelas 1. Jika dilihat dari hasil optimasi dan hasil ketelitian geometri skala, maka dapat disimpulkan bahwa model desain jaring tidak mempengaruhi ketelitian geometri skala peta suatu foto udara.

Hal ini berarti, apabila terdapat suatu pengukuran GCP untuk pemotretan foto udara tidak membutuhkan suatu desain jaring yang rumit. Cukup menggunakan jaring yang sederhana dan tidak membutuhkan banyak persebaran titik GCP karena ketelitian geometri skala peta yang dihasilkan akan sama dengan desain jaring yang rumit. Dengan begitu waktu pengukuran dan pemotretan foto udara akan lebih efisien dan tidak memerlukan biaya yang lebih banyak, serta ketelitian yang dihasilkan tetap baik.

4. Kesimpulan dan saran

4.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Dari 4 desain yang digunakan, desain 4 merupakan desain dengan kualitas yang paling kurang baik. Pada pembentukan desain dapat disimpulkan bahwa desain dengan persebaran titik GCP paling banyak dan desain jaring yang kompleks menghasilkan kualitas yang baik.
2. Pada hasil pembentukan *orthophoto* diperoleh desain dengan ketelitian paling baik terdapat pada desain 3 dengan kesalahan sebesar 8,51273 dan desain 4 menghasilkan ketelitian yang kurang baik dengan kesalahan sebesar 20,2065 cm.
3. Ketelitian skala peta foto udara diuji berdasarkan CE90 sehingga menghasilkan ketelitian 0,250184; 0,277924; 0,127105 dan 0,302074 pada masing-masing desain. Dari ke empat desain, ternyata berada pada ketelitian skala peta foto yang sama, yaitu pada kelas 1 untuk skala 1:1.000.
4. Upaya optimasi desain jaring yang optimal untuk menghasilkan GCP yang teliti tidak terlalu berpengaruh secara signifikan dalam menghasilkan ketelitian skala peta foto udara yang lebih baik. Penggunaan desain jaring optimal maupun yang tidak optimal tetap menghasilkan ketelitian skala peta yang sama.

4.2 Saran

Pengukuran GCP untuk pemotretan foto udara cukup dilakukan dengan menggunakan desain jaring yang sederhana dengan persebaran titik GCP yang merata pada area pemotretan karena penggunakan desain jaring yang lebih optimal/kompleks tidak terlalu berpengaruh dalam meningkatkan ketelitian skala peta.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada pihak pengelola Kawasan Hutan Mangrove Petengoran Pesawaran yang telah memberikan izin lokasi tempat penelitian.

Daftar Pustaka

Abidin Hasanuddin Z., dan Mugiarto Fajar T. (2000). Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survey Gps. *Jurnal Surveying Dan Geodesi*, *X*(1).

BIG. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial. Jakarta.

BIG. (2018). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial. Jakarta.

Cahyadi, M. N. (2006). Analisis Kualitas Jaring Pada Pengamatan GPS. *Jurnal Teknik Geomatika-ITS*.

Fajriyanto, Armijon, dan Rahmadi, E. (2012). Potensi Bahaya Gempa dan Analisis Regangan di Selat Sunda Berbasis GPS (Global Positioning System). Jurnal Rekayasa Sipil Dan Perencanaan, 16(3), 141–150.

Pamungkasari, F. L., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2019). Analisis Konfigurasi Optimum Kerangka GCP Untuk Survei Pemetaan Luasan Besar Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Jurnal Geodesi Undip, 8(1), 268–277.

Rivai, W., & Hanafi, F. (2021). Pemanfaatan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan GPS (Global Positioning System) untuk Analisis Tingkat Kerugian Material Penduduk pada Daerah Rawan Tanah Longsor. *Jurnal Geografi*, *18*(2), 97–105.

Sidharta, Y. A. (2018). Analisis Dan Optimasi Desain Jaring Pengamatan Deformasi Di Kota Surabaya.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Analisis Iklim Mikro pada Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Pusat Kota Metro

Agung Cahyo Nugroho[a,*], Nugroho Ifadianto [b], Dini Agumsari [c]

Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1 Kota Bandar Lampung

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 15/07/2023
Direvisi 10/09/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
Iklim mikro
Ruang terbuka
Ekologi
Envi-Met
Perkotaan

ABSTRAK

Pemanasan global membawa dampak adanya gelombang panas yang berdampak pada kenaikan suhu permukaan bumi menjadi lebih panas dari biasanya. Efek pemanasan suhu permukaan bumi, meskipun tidak dalam kondisi gelombang panas, akan mempengaruhi kondisi kenyamanan termal pada lingkungan disekitarnya. Kondisi ini akan sangat terasa pada kawasan perkotaan yang padat yang didominasi oleh elemen keras (bangunan dan perkerasan). Pada ruang terbuka, panas sinar matahari dapat terpantul dari permukaan ruang terbuka, dan terserap ke dalam bangunan yang akhirnya meningkatkan suhu mikro bangunan. Penelitian ini menganalisis iklim mikro pada ruang terbuka hijau di kawasan Pusat Kota Metro. Studi ini bersifat kuantitatif dengan menggunakan bantuan analisis *software* Envi-met 5.1, dimana akan diketahui kondisi eksisting dari iklim mikro yakni, temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembaban relatif. Hasil menunjukkan bahwa ruang terbuka hijau di kawasan Pusat Kota Metro belum optimal dalam penciptaan kenyamanan iklim mikro kawasan.

1. Pendahuluan

Kualitas lingkungan melalui eksistensi ruang terbuka kota (baik hijau maupun non hijau) dapat terbentuk baik dalam ruang-ruang linear mendukung struktur perkotaan, ruang-ruang bidang sebagai bagian dari struktur dan aktivitas publik perkotaan maupun pada area periferi perkotaan sebagai pembatas/barrier dan pengendali pertumbuhan kota secara horisontal. Ketiga aspek eksistensi spasial ruang terbuka di perkotaan ini perlu untuk dikaji dan dipadukan menjadi suatu jaringan ekologi perkotaan (urban ecological network) yang mampu menjadi pengendali hijau (green infrastructure) bagi pertumbuhan kota dan menjaga kualitas ekologi di kawasan perkotaan.

Ancaman perubahan iklim dan pemanasan global menjadi isu utama yang melatarbelakangi rencana dan aksi maupun kebijakan yang dirumuskan untuk menanggulangi, mencegah dan mengatasi dampak negatif yang ditimbulkan. Pemanasan global membawa dampak adanya gelombang panas yang berdampak pada kenaikan suhu permukaan bumi menjadi lebih panas dari biasanya. Kondisi ini mulai dirasakan oleh beberapa negara yang berbeda iklim di beberapa benua baik di Asia maupun Eropa. Di Asia Tenggara, pada periode awal tahun 2023 hingga bulan Mei ini, terjadi kenaikan suhu di yang cukup ekstrem di Thailand, Laos, India dan beberapa negara lain yang berdekatan, yang terus berada pada angka lebih dari 40 derajat celcius. Kondisi ini juga berdampak pada kenaikan suhu di Indonesia, meskipun wilayah Indonesia dinyatakan tidak mengalami gelombang panas.

Studi terdahulu menunjukkan bahwa peningkatan suhu mikro suatu kawasan dipengaruhi oleh tingkat

* Agung Cahyo Nugroho
E-mail:agung.cahyo@eng.unila.ac.id

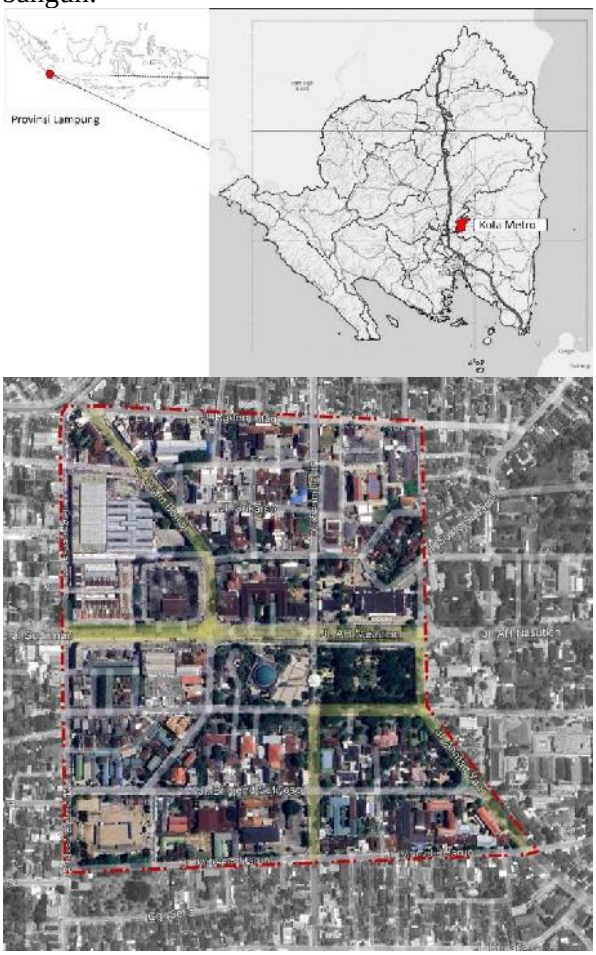
panas matahari yang ada, keberadaan tata hijau peneduh dan jenis material penutup permukaan tanah. Studi lain juga menunjukkan adanya pengaruh material bangunan terhadap perbedaan panas yang ditimbulkan. Berdasarkan studi yang dilakukan terdahulu, proposal penelitian ini diajukan untuk mengetahui kondisi suatu bagian lingkungan di perkotaan yang memiliki aktivitas tinggi, minim tata hijau dan berpotensi terdampak kenaikan suhu mikro akibat panas matahari pada kategori kota menengah. Kota Metro sebagai kota yang berkembang perlu diarahkan perkembangannya berbasis pada permodelan suhu. Hal ini dilakukan agar kondisi termal kota tetap berada pada kondisi ideal, dan pada akhirnya dapat memandu proses penataan suatu kawasan berdasarkan modeling suhu lingkungan. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan software Envi-met versi 4 sebagai software yang telah diakui dan dibakukan dalam mengukur dan mensimulasi rancangan ruang kota berbasis thermal.

Penelitian ini sangat penting dilakukan sebagai salah satu masukan bagi kondisi perkotaan akibat fenomena perubahan iklim dan antisipasi gelombang panas yang suatu saat bisa saja terjadi di wilayah Indonesia. Sebagaimana diketahui bahwa fenomena perubahan iklim dapat mengakibatkan adanya degradasi lingkungannya, baik daya dukung maupun daya tampungnya. Berkurangnya air bersih, minimnya udara bersih dan meningkatnya emisi karbon mengakibatkan terjadinya fenomena kenaikan suhu bumi yang merubah tatanan cuaca dan iklim. Kawasan atau wilayah perkotaan sebagai akumulasi aktivitas sosial dan ekonomi akan sangat rentan terganggu oleh kondisi tersebut.

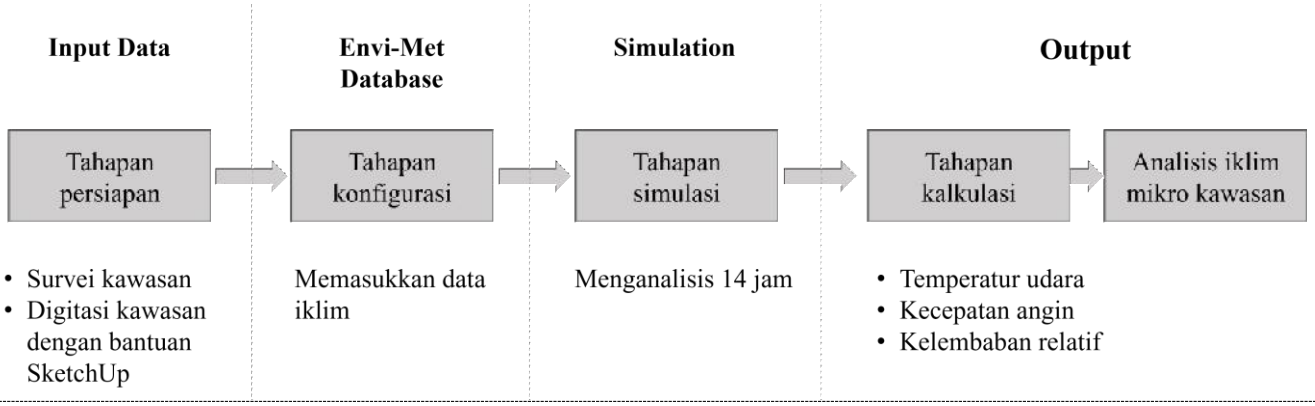
Penataan ruang terbuka adalah salah satu kunci dalam mengatasi kondisi tersebut, dimana kondisi dan keberadaan ruang terbuka di perkotaan perlu diidentifikasi dan dilakukan penataan sedemikian, sehingga ruang terbuka tersebut dapat menjadi area penyeimbang antara kebutuhan penggunaan lahan dan kondisi lingkungan di perkotaan. Ruang terbuka dapat menjadi salah satu komponen pembentuk infrastruktur hijau perkotaan, dengan fungsi-fungsi ekologisnya yang salah satunya adalah pembentuk iklim mikro lingkungan, dan menjadi dasar pembentukan dan keutuhan jaringan ekologi perkotaan.

2. Metodologi

Wilayah penelitian akan dilakukan di wilayah administratif Kota Metro, yaitu pada area pusat kota yang rentan terhadap ancaman fenomena UHI. Alasan pemilihan wilayah studi ini ditetapkan karena Kota Metro merupakan kota yang memiliki sejarah yang unik dan memiliki karakteristik pola dan bentuk ruang yang khusus, berbeda dengan kota-kota lain di Provinsi Lampung. Metro sejak dari kelahirannya memang dirancang sebagai pusat kegiatan dari kawasan kolonisasi di era pemerintahan kolonial, dengan lanskap kawasan berupa lahan pertanian. Potensi ini menjadi hal yang harus dilestarikan sebagai *cultural landscape*, sehingga pendekatan penataan kota perlu memperhatikan eksistensi ruang terbuka baik di kawasan pusat kota maupun pada kawasan tepiannya yang rentan dengan perluasan/pertumbuhan area terbangun.



Gambar 1. Delineasi studi/ Sumber peta: *Satellite Imagery Google Earth* diolah kembali oleh Tim Peneliti



Gambar 2. Diagram alur olah data Envi-Met

Kawasan yang menjadi objek studi berada di pusat Kota Metro yang berlokasi pada pusat Jalan AH. Nasution. Dalam hal ini objek yang akan menjadi penelitian terkhusus pada area pusat yang terdiri atas area ruang terbuka kota, masjid, pasar, alun-alun, pasar, pusat komersial, dan perumahan (lihat Gambar 7) seluas 30 hektar.

Metode analisis kuantitatif yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan alat analisis software Envi-met 5.1. Dalam hal ini, analisis dan hasil simulasi digunakan untuk mendapatkan analisis temperatur udar, kecepatan angin, dan kelembaban relatif di kawasan pusat Kota Metro. Analisis dilakukan pada satu waktu, yakni pada 27 Agustus 2023 pukul 05.00 pagi sampai 19.00 malam. Terdapat lima tahapan dalam pelaksanaan simulasi ini yakni dimulai dari survei, input data, memasukkan database Envi-met, menjalankan simulasi, sehingga didapatkan hasil kalkulasi terhadap iklim mikro kawasan.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Karakteristik dan Tipologi Ruang Terbuka di Kawasan Pusat Kota Metro

Berdasarkan tipologi ruang terbuka hijau yang mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 5/PRT/M/2008, kawasan pusat Kota Metro masuk dalam kategori fisik ruang terbuka hijau non-alami yang meliputi taman, lapangan olahraga, pemakaman, atau jalur-jalur hijau jalan. Jika dilihat dari fungsinya, RTH pada kawasan pusat ini masuk pada kategori fungsi ruang terbuka sosial budaya dan estetika. Struktur pada RTH juga terhimpun atas pola ekologis (mengelompok, memanjang, tersebar), dengan sifat kepemilikan ruang terbuka hijau privat dan publik.

Berdasarkan hasil observasi lapangan (lihat Gambar 10) diketahui bahwa RTH di Kota Metro memiliki bentuk dan struktur yang secara keseluruhan terbagi atas ruang terbuka berkumpul atau berkelompok (Cluster) dapat ditemukan di Taman Merdeka Metro. Kemudian pola menyebar (Scattered) yakni RTH yang tidak mempunyai pola tertentu, dengan komunitas vegetasinya tumbuh menyebar terpencar dalam bentuk rumpun atau gerombol-gerombol kecil, dimana tersedia pada area ruang parkir Plaza Cendrawasih Metro. Sedangkan, bentuk dan struktur paling banyak ditemukan adalah ruang tebuka hijau jalur (path), yakni pola yang berbentuk jalur komunitas vegetasinya tumbuh pada lahan yang berbentuk jalur lurus atau melengkung. Pola ini ditemukan pada Jalan ZA Pagar Alam, Jalan Sudirman, Jalan Ahmad Yani, dan Jalan AH Nasution (lihat Tabel 4). Ruang-ruang hijau dengan ragam vegetasi ini memiliki kontribusi signifikan pada kenyamanan termal skala iklim mikro. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, bahwa RTH mempunyai sifat yang dapat menetralisir peningkatan suhu permukaan dan menimbulkan efek pendinginan karena vegetasi melakukan proses evaporasi dan transpirasi yang mampu melepaskan air ke udara hingga menurunkan suhu udara (Arifah, 2018; Effendy & Aprihatmoko 2020). Sehingga, kajian terhadap efektivitasnya penting untuk dilakukan terutama pada kawasan perkotaan.

1. Taman Merdeka Kota Metro

1. Masjid Taqwa Kota Metro

2. Plaza Pasar Cendrawasih

3. Parkir Pertokoan Jl. Sudirman

4. Koridor Jalan AH. Nasution

1. Koridor Jalan AH. Nasution

2. Koridor Jalan ZA Pagar Alam

5. Koridor Jalan ZA Pagar Alam

6. Koridor Jalan Ahmad Yani

Gambar 3. Tipologi ruang terbuka di kawasan pusat Kota Metro

3.2 Permodelan Termal terhadap kondisi ekstisting Kawasan Pusat Kota Metro

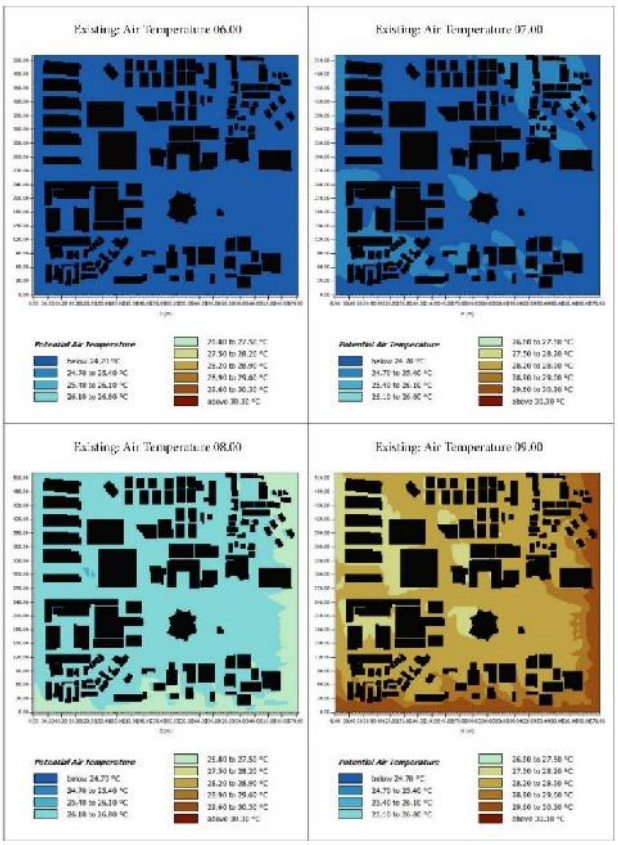
Penelitian ini diawali dengan melakukan survei awal di kawasan Pusat Kota Metro, Provinsi Lampung. Dalam hal ini, peneliti melakukan survei terhadap indikator ketersediaan ruang terbuka hijau, material perkerasan, ketinggian bangunan, dan jenis pepohonan pada ruang terbuka hijau. Selanjutnya, dilakukan digitasi dengan bantuan software SketchUp yang terhimpun langsung dengan software Envi-Met. Data-data eksisting yang sudah diperoleh dari lapangan dan studi sekunder dibuat permodelannya untuk dapat dianalisis menggunakan software Envi-Met versi 5.1.

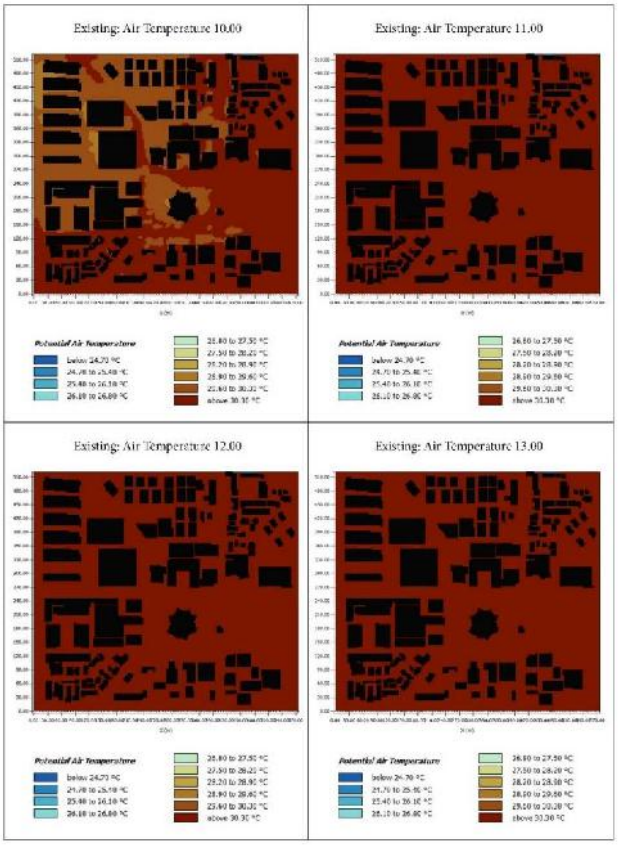
Analisis kawasan pusat Kota Metro menggunakan data tanggal 27 Agustus 2023 dengan simulasi pada jam 06.00 pagi sampai 19.00 malam. Simulasi seluruh permodelan akan dijalankan pada fokus terutama pada kenyamanan termal, yakni temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembaban relatif sebagai indikator dalam penentu kesimpulan. Penelitian ini akan mendeskripsikan hasil dari simulasi Envi-Met versi 5.1 berupa gambar peta kontur iklim mikro yang diambil dari ketinggian 1,5 meter dari permukaan tanah. Dalam hal ini, dilakukan juga perbandingan terhadap model-model simulasi eksisting dengan kondisi kawasan yang sudah direkayasa dari desain tata massa bangunan. Adapaun konfigurasi data untuk simulasi sebagai berikut:

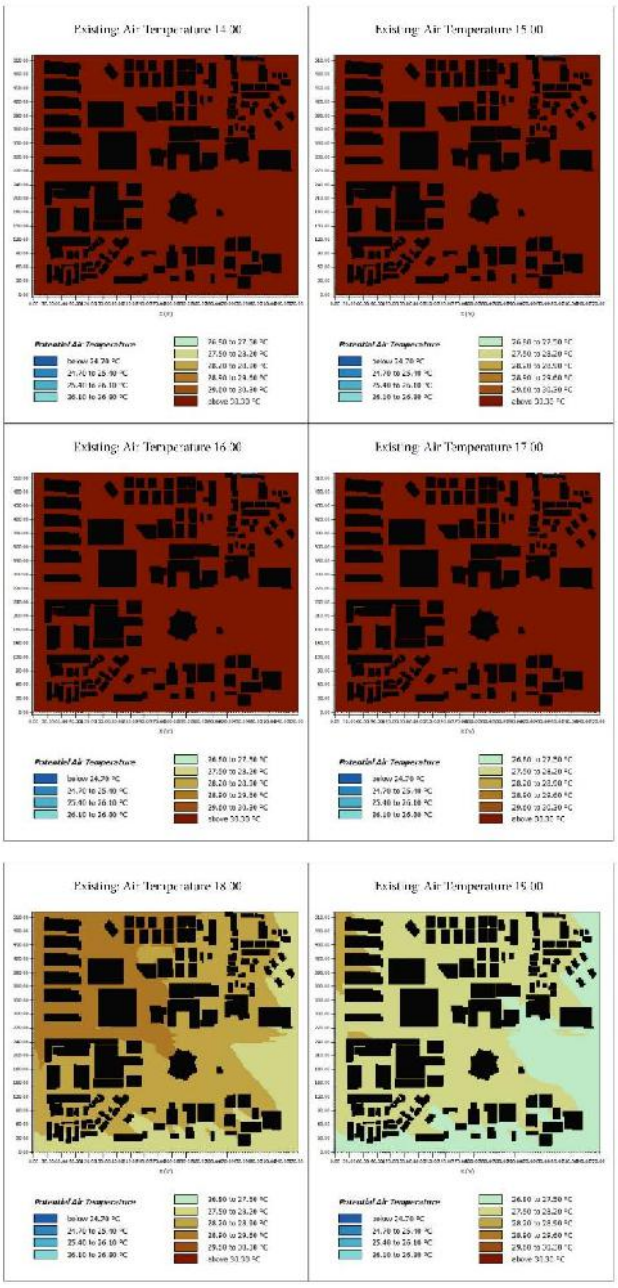
Gambar 4. Digitasi pada area studi

3.2.1 Analisis Temperatur Udara di Kawasan Pusat Kota Metro

Berdasarkan simulasi kondisi eksisting, temperatur udara pada pukul 06.00-07.00 masih berada pada suhu yang nyaman untuk melakukan aktivitas dengan nyaman dan optimal (22,8^{o}C – 25,8^{o}C). Sedangkan pada pukul 08.00-09.00 kondisi suhu udara sudah memulai memasuki fase hangat nyaman (25,8^{o}C-27,1^{o}C). Dalam konteks ini, terlihat bahwa area yang masih dilingkupi oleh naungan vegetasi dan ruang terbuka hijau masih berada pada suhu 26,1^{o}C.







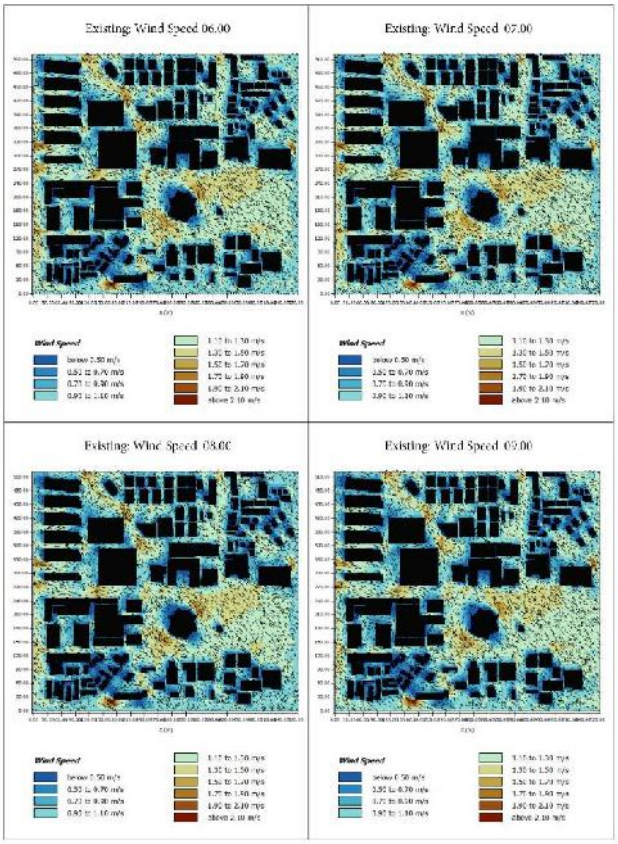
Gambar 5. Simulasi temperatur udara eksisting pukul 06.00-19.00

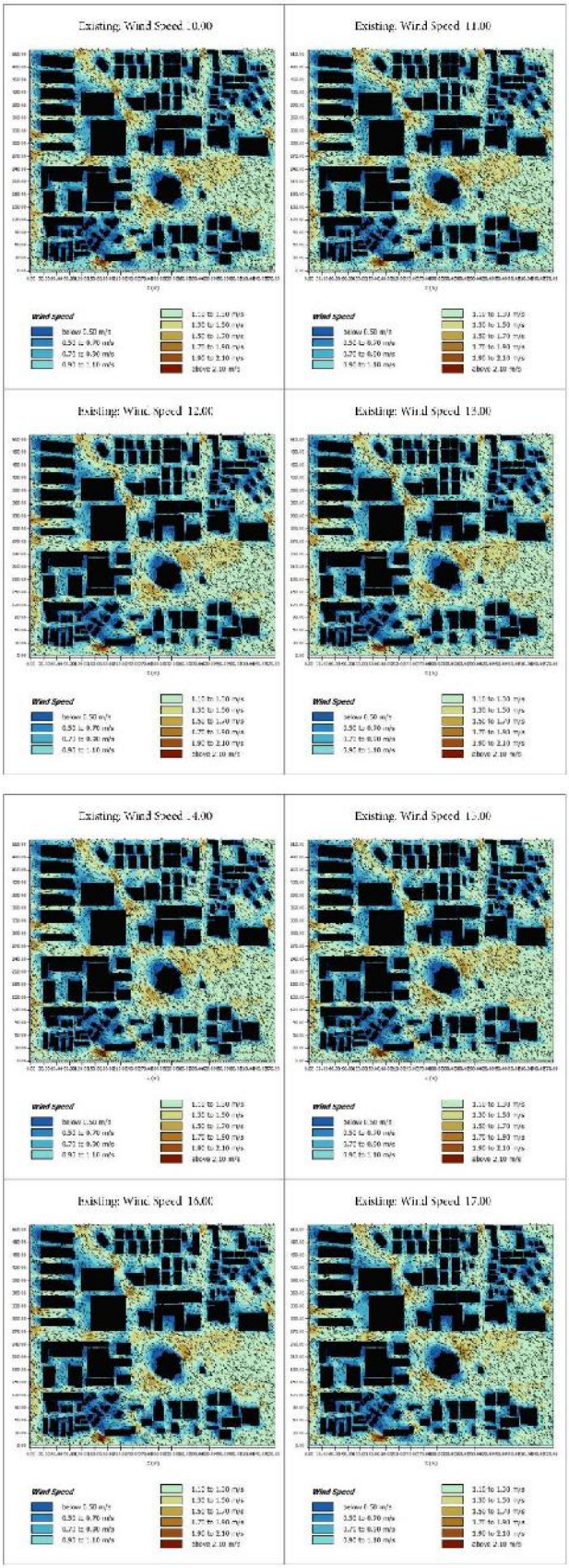
Kemudian pada pukul 10.00-13.00 terlihat bahwa kondisi termal sudah masuk ke dalam kategori tidak nyaman yakni di atas 26oC. Berdasarkan data diketahui bahwa pada pukul 10.00 area yang masih terlingkupi oleh vegetasi seperti pepohonan bermahkota lebar masih memiliki temperatur udara yang cenderung rendah, sehingga akhirnya temperatur naik secara signifikan pada pukul 11.00 dengan suhu udara di atas 30oC. Hingga pukul 17.00 sore, temperatur udara pada kawasan masih dalam lingkup yang tidak nyaman (>30oC).

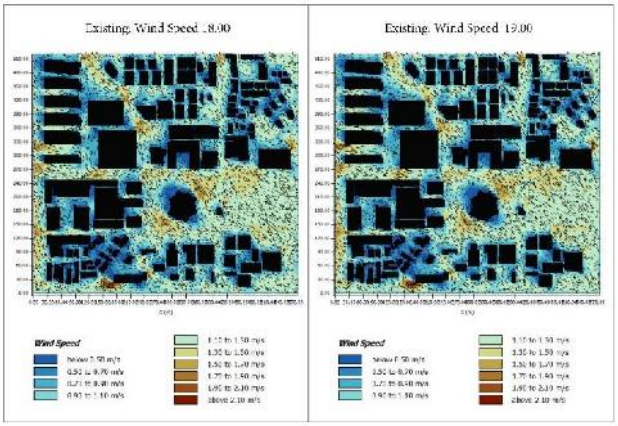
Berdasarkan data kontur temperatur udara eksisting kawasan pusat Kota Metro diketahui bahwa, suhu udara mulai turun di pukul 18.00-19.00. Walaupun masih belum masuk dalam kategori nyaman optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa RTH memiliki pengaruh positif terhadap kenyamanan termal, khususnya saat pagi dan sore. (Arifah, 2018; Effendy & Aprihatmoko 2020). Dimana diketahui suhu nyaman optimal dimulai dari pukul 06.00-07.00 dan kemudian kembali menurun pada pukul 18.00-19.00.

3.2.2 Analisis Kecepatan Angin di Kawasan Pusat Kota Metro

Dalam konteks iklim mikro sebuah kawasan diketahui bahwa parameter kecepatan angin yang dapat mengurangi kelembaban adalah 0,1 m/s sampai 0,5 m/s (Lippsmeier, 1980). Pada wilayah Indonesia yang merupakan negara beriklim tropis lembab maka angin dapat membantu mengurangi kelembaban, sehingga optimalisasi arahnya akan dapat menyejukkan ruang terbuka dan ruang antar bangunan. Berdasarkan simulasi terhadap kontur kecepatan angin kawasan, dapat dilihat bahwa angin berhembus dari arah tenggara kawasan. Pada ruang terbuka yang memiliki vegetasi pepohonan diketahui bahwa kecepatan angin menjadi semakin naik (>1 m/s). Pada simulasi yang dilakukan dari pukul 06.00-19.00 dapat diambil kesimpulan bahwa kecepatan angin cenderung stagnan atau tidak berubah-ubah pada setiap area.



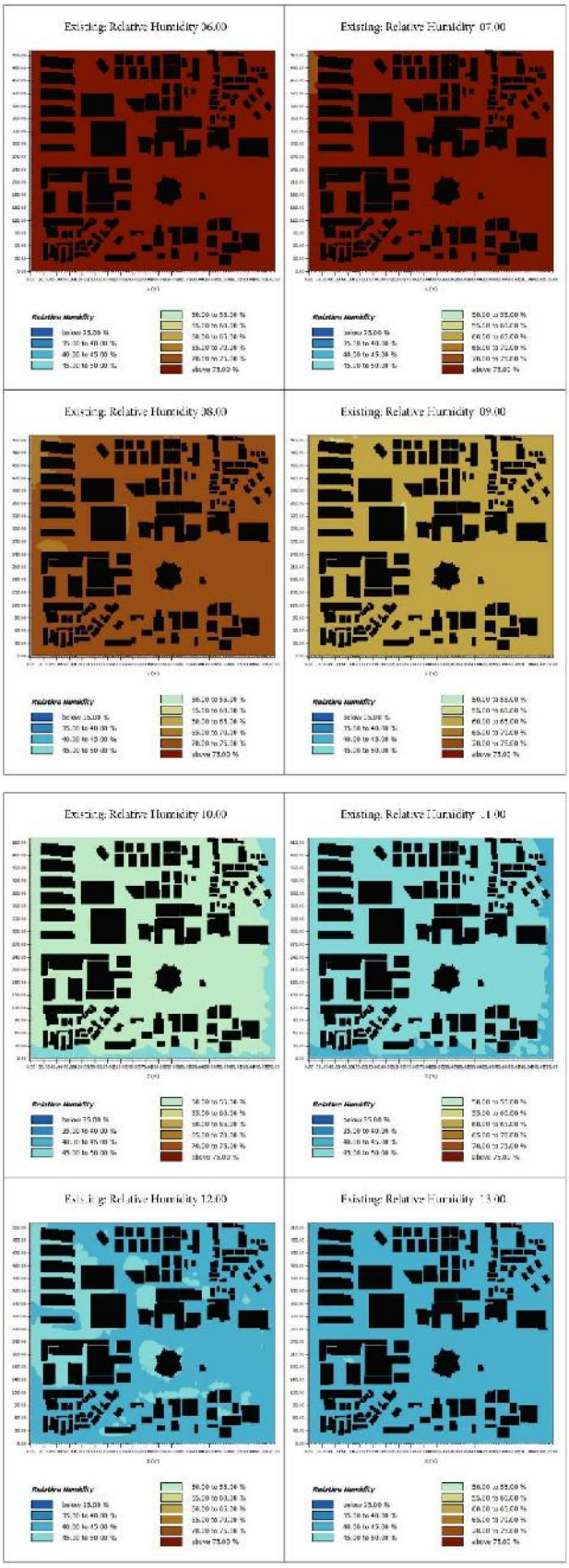


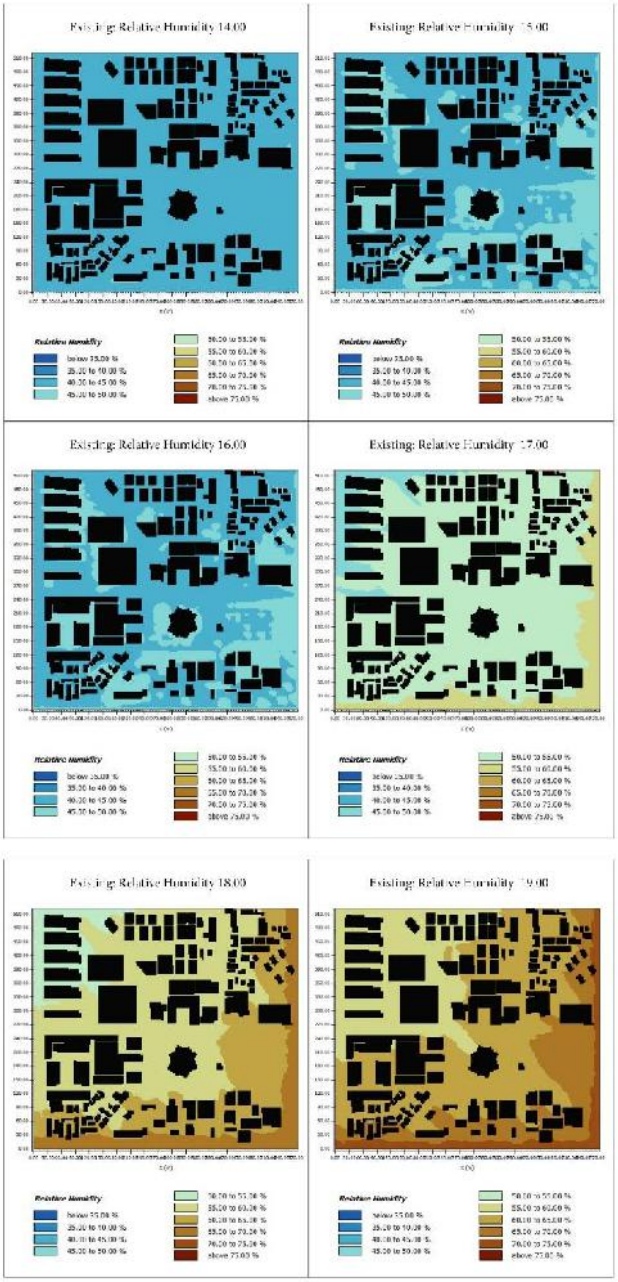


Gambar 6. Simulasi kecapatan angin eksisting pukul 06.00-19.00

3.2.3 Analisis Kelembaban Relatif di Kawasan Pusat Kota Metro

Berdasarkan parameter kenyamanan pada kelembaban udara berkisar antara 40% hingga 70% (Lippsmeier, 1980). Jika dilihat dari hasil simulasi pukul 06.00-07.00, maka kelembaban udara masih berada pada angka >75%, yang artinya dalam kategori tidak nyaman. Kemudian, ketika matahari mulai muncul pada pukul 08.00-09.00 maka kelembaban berada pada kisaran 60-70%. Selanjutnya, pada pukul 10.00-11.00 kelembaban relatif kembali menurun hingga mencapai angka 40-55%, kondisi ini termasuk dalam kategori tingkat kenyamanan yang optimal untuk wilayah tropis. Pada pukul 12.00-16.00 angka kelembaban relatif semakin menurun, yakni masuk ke dalam 40-50%, hingga pada pukul 17.00 kelembaban relatif kembali naik pada persentase hingga 60%. Semakin petang, pada pukul 18.00-19.00 kelemababan relatif perlahan naik ke angka 70%. Berdasarkan korelasinya terhadap iklim mikro perlu diketahui tinggi rendahnya kelembaban dipengaruhi oleh kondisi temperatur udara, kecepatan angin, kuantitas penyinaran, dan ketersediaan vegetasi.





Gambar 7. Simulasi kelembaban relatif eksisting pukul 06.00-19.00

4. Kesimpulan

Karakteristik ruang terbuka hijau kawasan pusat Kota Metro:

a. Ruang terbuka kawasan pusat Kota Metro masuk dalam kategori fisik ruang terbuka hijau non-alami yang meliputi taman, lapangan olahraga, pemakaman, atau jalur-jalur hijau jalan.
b. RTH pada kawasan pusat Kota Metro merupakan struktur utama kawasan sekaligus menjadi simpul dan tengaran di kota ini.
c. RTH pada kawasan pusat ini masuk pada kategori fungsi ruang terbuka sosial budaya dan estetika.
d. Struktur pada RTH kawasan pusat Kota Metro juga terhimpun atas pola ekologis (mengelompok,

memanjang, tersebar), dengan sifat kepemilikan ruang terbuka hijau privat dan publik.

e. RTH di Kota Metro memiliki bentuk dan struktur yang secara keseluruhan terbagi atas ruang terbuka berkumpul atau berkelompok (Cluster), pola menyebar (Scattered), dan bentuk dan struktur paling banyak ditemukan adalah ruang tebuka hijau jalur (path).

Permodelan Termal terhadap kondisi ekstisting Kawasan Pusat Kota Metro:

a. Jenis vegetasi yang ada pada kawasan terdiri atas pepohonan dengan tinggi kurang lebih 8 meter bermahkota lebar.
b. Ketinggian massa bangunan pada kawasan berkisar antara 1-4 lantai.
c. Kota Metro sudah banyak melingkupi perkerasan pada ruang terbuka dengan paving block, dapat ditemukan pada taman kota dan jalur pedestrian.
d. Temperatur udara pada pukul 06.00-07.00 masih berada pada suhu yang nyaman untuk melakukan aktivitas dengan nyaman dan optimal (22,8oC – 25,8oC). Kemudian temperatur udara mulai turun pada pukul 18.00-19.00 dimana kondisi ini terlihat pada area yang terlingkupi oleh RTH. Sejalan dengan penelitian sebelumnya bahwa RTH memiliki pengaruh positif terhadap kenyamanan termal, khususnya saat pagi dan sore.
e. Pada ruang terbuka yang memiliki vegetasi pepohonan diketahui bahwa kecepatan angin menjadi semakin naik (>1 m/s). Kecepatan angin akan memengaruhi temperatur udara kawasan, sehingga diperlukan optimalisasi dengan perencanaan desain yang terstruktur.
f. Persentase kelembaban relatif pada kawasan cenderung naik saat petang, kondisi ini dipengaruhi oleh temperatur udara, kecepatan angin, kuantitas penyinaran, dan ketersediaan vegetasi.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih dapat dituliskan jika diperlukan.

Daftar Pustaka

Abdallah, A. (2010). The use of geographical information systems for 3D urban models reconstruction from aerial lidar data.

Ajrina, H., & Kustiwan, I. (2019). From green open space to green infrastructure: The potential of green open space optimization towards sustainable cities in Bekasi City & Regency, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 399(1), 12130–12130. https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012130

Asri Sekar Ningrum, Muhamad Khairul Rosyidy, Novia Rahmat Desti Sukmawati, Ike Widia Ariani, & Astrid Damayanti. (2021). Pengaruh Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Di Wilayah Perkotaan (Studi Kasus di Kelurahan Sokanegara, Kota Purwokerto). Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 7(3), 20–28. Retrieved from https://jurnal.stmkg.ac.id/index.php/jmkg/article/view/199.

Baloloy, A., Cruz, J. A., Sta. Ana, R. R., Blanco, A., Lubrica, N. V., Valdez, C. J., & Bernardo, J. J. (2020). Modelling and Simulation of Potential Future Urbanization Scenarios and Its Effect on The Microclimate of Lower Session Road, Baguio City. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, V-4–2020, 187–194. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2020-187-2020

Berardi, U., & Wang, Y. (2016). The Effect of a Denser City over the Urban Microclimate: The Case of Toronto. Sustainability, 8(8). https://doi.org/10.3390/su8080822

Bruse, M. (2000). Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. https://hss-opus.ub.ruhr-uni-bochum.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/4174

Chatzinikolaou, E., Chalkias, C., & Dimopoulou, E. (2018). Urban Microclimate Improvement Using Envi-Met Climate Model. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII–4, 69–76. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-69-2018

Effendy, Sobri, and Ferdy Aprihatmoko. (2014). Kaitan Ruang Terbuka Hijau dengan Kenyamanan Termal Perkotaan. Agromet, vol. 28, no. 1, 2014.

Frey, H. (1999). Designing the City: Toward a More Sustainable Urban Form. E & FN Spo.

Gusson, C. S., & Duarte, D. H. S. (2016). Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate—Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. Fourth International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 30-31 May and 1 June 2016, 169, 2–10. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.001

Hidayat, Muhammad S. (2016). Kenyamanan Termal Pada Ruang Terbuka Hijau Di Jakarta Pusat. Vitruvian: Jurnal Arsitektur, Bangunan, dan Lingkungan, vol. 6, no. 1, 2016.

Ilham, V., Wakidi, & Arif, S. (2016). Tinjauan Historis Kolonisasi di Metro Tahun 1937. PESAGI (Jurnal Pendidikan Dan Penelitian Sejarah), 4(1). http://dx.doi.org/10.23960/pesagi

Irwan, Djamal. (2005). Tantangan Lingkungan dan Lansekap Hutan Kota. Jakarta: Bumi Aksara.

Krier, R. (1979). Urban Space. Academic Edition.

Koerniawan, Mochamad. (2015). The Simulation Study of Thermal Comfort in Urban Open Spaces of Commercial Area Using EnviMet Software.

Kusumastuty, Karina & Poerbo, Heru & Koerniawan, Mochamad. (2018). Climate-sensitive urban design through Envi-Met simulation: case study in Kemayoran, Jakarta. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 129. 012036. 10.1088/1755-1315/129/1/012036.

Kuswono, Hartati, U., Amboro, K., Mujiyati, N., Immawati, F. L., Tantri, A. D., & Wijaya, A. R. (2020). Metro Tempo Dulu: Sejarah Metro Era kolonisasi 1935-1942 (I). CV Laduny Alifatama.

Lakitan,Benyamin. (2002). Dasar-dasar Ilmu Klimatologi,PT Grafindo persada;Jakarta.

Lippsmeier, George. (1997). Bangunan tropis . Jakarta: Erlangga.

Lim, W. S. (1998). Asian New Urbanism. Select Books Pte.Ltd.

LIU, D., HU, S., & LIU, J. (2020). Contrasting the Performance Capabilities of Urban Radiation Field Between Three Microclimate Simulation Tools. Building and Environment, 175, 106789. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106789

Lynch, K. (1960). The Image of the City. The MIT Press.

McMahon, E. T. (2000). Green Infrastructure. Planning Commissioners Journal, 37.

Nasir, R. A., Ahmad, S., Zain Ahmed, A., & Ibrahim, N. (2015). Adapting Human Comfort in an Urban Area: The Role of Tree Shades Towards Urban Regeneration. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 170, 369–380. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.047

Octarino, Christian. (2019). Karakteristik Iklim Mikro di Ruang Publik Studi Kasus: Jalur Pedestrian Malioboro, YOGYAKARTA. Ragam Penelitian Mesin, vol. 1, no. 2, 11 Dec. 2019, doi:10.52429/grid.v1i2.336.

Rusche, K., Reimer, M., & Stichmann, R. (2019). Mapping and Assessing Green Infrastructure Connectivity in European City Regions. Sustainability, 11(6), 1819–1819. https://doi.org/10.3390/su11061819

Shirvani, H. (1985). Urban Design Process. Van Nostrand Reinhold.

Trancik, R. (1986). Finding Lost Space: The Three Theory of Urban Spatial Design. Van Nostrand Reinhold.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Identifikasi *Total Organic Carbon* pada Sumur BTO Berdasarkan Data Core dan Data Log di Jawa Timur Utara

Bagus Sapto Mulyatno [a,*], Ordas Dewanto [a], Ilham Dani [a], Isti Nur Kumalasari [a], Ambrosius Hernawan Wibisono [a], Suharso [a]

Jurusan/Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 16/07/2023
Direvisi 9/09/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
Hidrokarbon
Well Logging
Source Rock
Total Organic Carbon

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan hidrokarbon yang terjadi hingga saat ini disebabkan karena minyak dan gas bumi masih menjadi sumber energi utama yang digunakan oleh manusia di kehidupan sehari-hari. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan ekplorasi terhadap daerah – daerah yang diaggap mampu menghasilkan minyak dan gas bumi. Dalam metode geofisika ada sebuah metode yang dapat digunakan untuk menganalisis atau mengatahui sumber penghasil minyak dan gas bumi, metode tersebut yaitu metode *well logging*. *Well logging* adalah suatu teknik untuk mendapatkan data bawah permukaan dengan menggunakan alat ukur yang dimasukkan ke dalam lubang sumur untuk evaluasi formasi dan identifikasi ciri-ciri batuan di bawah permukaan. Untuk mengetahui potensi penghasil minyak dan gas bumi dibutuhkan analisis berupa batuan induk (*Source Rock*) dengan metode perhitungan *Total Organic Carbon* (TOC). Batuan induk sendiri merupakan batuan yang mengandung bahan organik yang nantinya akan menghasilkan minyak dan gas bumi.

1. Pendahuluan

Geofisika merupakan ilmu pengetahuan alam yang dapat digunakan untuk mengetahui keadaan serta karakteristik material-material di bawah permukaan bumi berdasarkan sifat-sifat fisiknya melalui pengukuran yang dapat menggunakan beberapa metode seperti metode seismic, metode geolistrik, metode elektromagnetik, metode geomagnetik, metode gaya berat, dan metode *well logging*. Dalam penelitian yang dilakukan digunakan metode *well logging*. *Well Logging* adalah salah satu teknik untuk mendapatkan data bawah permukaan secara vertikal dengan memanfaatkan alat ukur yang dimasukkan kedalam lubang sumur. Metode *well logging* merupakan suatu metode yang memberikan data untuk evaluasi secara kuantitatif dan kualitatif.

Peningkatan kebutuhan hidrokarbon yang terjadi hingga saat ini disebabkan karena minyak dan gas bumi masih menjadi sumber energi utama yang digunakan oleh manusia di kehidupan sehari-hari. Minyak dan gas bumi berada pada suatu tempat di bawah permukaan bumi (Wiloso, 2017).

* Penulis korespondensi.
E-mail: bagus.sapto@eng.unila.ac.id

Indonesia adalah salah satu negara di dunia yang kaya akan Sumber Daya Alam (SDA) misalnya cadangan sumber daya energi minyak dan gas. Cadangan migas (hidrokarbon) di Indonesia umumnya berada di cekungan belakang busur (*back arc basin*) yang berarti cekungan sedimen yang terletak di belakang busur vulkanik. Dalam *petroleum system*, selain *reservoir* ada juga unsur yang penting adalah batuan induk (*source rock*). Batuan induk adalah batuan yang mempunyai banyak kandungan material organik (Fatahillah, 2016).

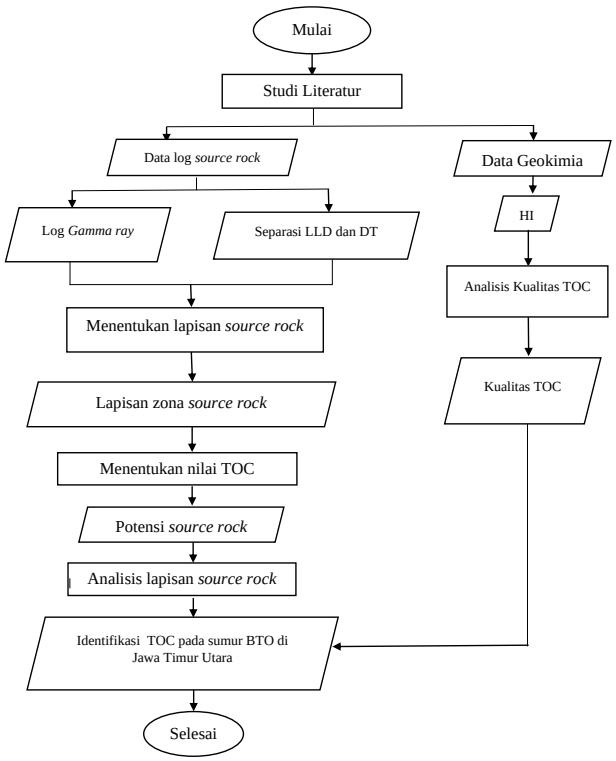
Salah satu cekungan hidrokarbon yang berada di Indonesia yaitu Cekungan Jawa Timur Utara. Cekungan Jawa Timur Utara adalah salah satu cekungan Tersier yang terletak di laut lepas sebelah utara Pulau Madura dan Pulau Kangean. Cekungan Jawa Timur Utara sebelah barat dibatasi oleh Busur Karimunjawa sehingga memisahkan dengan Cekungan Jawa Barat Utara, sebelah selatan cekungan dibatasi oleh busur vulkanik, sebelah timur cekungan dibatasi oleh Cekungan Lombok dan sebelah utara dibatasi oleh Tinggian *Paternoster* (Mujiono dan Pireno, 2001).

Cekungan Jawa Timur Utara adalah salah satu cekungan hidrokarbon yang sudah terbukti, beberapa blok sudah berproduksi dan eksplorasi. Hasil pengukuran dan analisis perubahan sifat kimia batuan di laboratorium memunculkan beberapa metode yang mendukung penelitian ini dalam menentukan kematangan hidrokarbon dan parameternya yang digunakan sebagai indikator untuk memprediksi tingkat perubahan bahan organik pada batuan. Untuk mengetahui potensi hidrokarbon, jenis material serpih, serta tingkat kematangan termalnya, dilakukan analisis geokimia berupa *Total Organic Carbon* (Dewanto et al, 2017). Perhitungan *Total Organic Carbon* (TOC) menjadi salah satu parameter penting dalam penentuan kualitas batuan hidrokarbon serpih dan dianggap menjadi kunci yang memepengaruhi kualitas batuan dan estimasi tempat hidrokarbon serpih. Menurut penelitian (Fatahillah, 2016) pada Cekungan Jawa Timur Utara di Formasi Ngimbang, didapatkan nilai TOC sebesar 0.310.715 wt% dengan klasifikasi buruk sampai baik.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan TOC dengan menggunakan metode *Passey*. Dimana motode ini dilakukan dengan menentukan separasi antara log DT dan ILD dan menentukan baseline untuk memperoleh Δlog resistivitas dengan mengikutsertakan nilai LOM (*Level of Organic Maturity*) untuk memperoleh potensi source rock di daerah penelitian

2. Metodologi

Analisis TOC dilakukan dengan menggunakan software IP dengan melakukan interpretasi kualitatif dengan menentukan zona-zona *source rock* dengan memanfaatkan data log *gamma ray*, log *sonic* dan log *resistivity*. Setelah menentukan daerah zona yang diindikasikan sebagai *source rock* selanjutnya dilakukan analisis TOC. Untuk melakukan analisis TOC digunakan data geokimia berupa nilai TOC Log beserta data HI untuk menentukan potensi batuan induk (*source rock*) yang ada di daerah penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

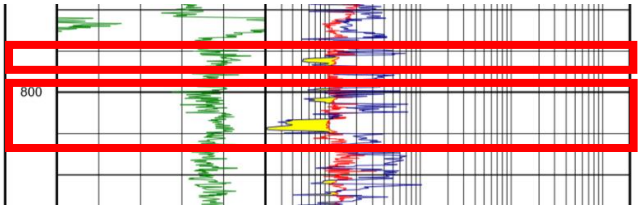
Pada penelitian ini digunakan data Log dan juga data Geokimia dari satu sumur penelitian yaitu sumur BTO. Data Log digunakan untuk menentukan daerah target *source rock* (batuan induk), sedangkan data Geokimia digunakan untuk menentukan tingkat maturasi hidrokarbon pada daerah penelitian. Pada penelitian ini digunakan satu data sumur untuk menentukan daerah zona target batuan induk. Pengolahan dilakukan dengan 2 aturan yaitu interpretasi secara kualitatif serta interpretasi secara kuantitatif.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Interpretasi Kualitatif Zona Source Rock

Interpretasi secara kualitatif dilakukan secara *quicklook* untuk dapat mengetahui daerah target

source rock dan menentukan batas zona batuan batuan induk pada sumur penelitian. Interpretasi ini dilakukan dengan menggunakan metode passey yaitu dengan mengamati defleksi kurva log ILD dan log DT. Suatu zona dikatakan sebagai daerah target *source rock* jika zona tersebut memiliki: (1) zat radioaktif yang tinggi yang ditandai dengan nilai log *gamma ray* yang tinggi dan (2) adanya separasi antara log resistivitas (ILD) dengan log sonic (DT). Interpretasi kualitatif dilakukan dengan melihat arah defleksi nilai log GR yang diidentifikasi dengan kurva berwarna hijau, log gamma ray yang tinggi arah kurvanya akan ke arah kanan dan adanya separasi antara kurva log resistivitas yang ditandai dengan kurva berwarna merah dengan kurva log sonic yang ditandai dengan warna biru. Gambar 17 dibawah ini menunjukkan contoh zona yang dianggap sebagai zona target *source rock*.

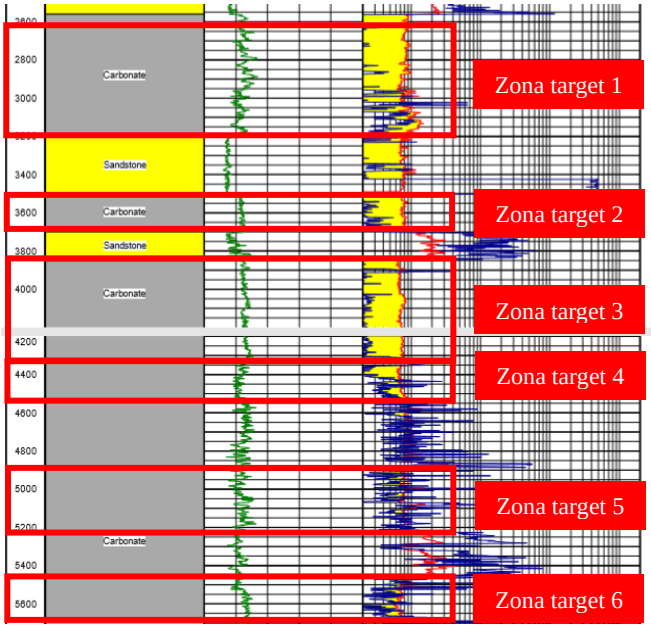


Gambar 2. Zona target dan bukan zona target *source rock*

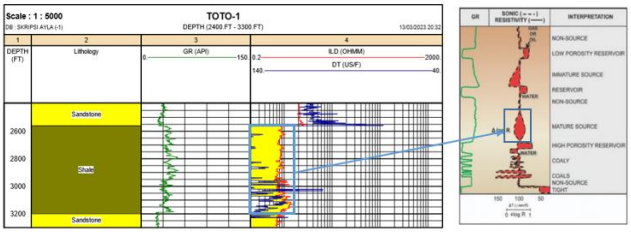
Terlihat pada Gambar 2, pada zona yang ditandai dengan kotak biru merupakan zona yang dianggap sebagai zona target. Sedangkan zona yang ditandai dengan warna merah dianggap bukan sebagai zona target *source*. Setelah menentukan zona target selanjutnya yaitu menentukan tingkat maturasi pada zona target, dengan cara pengambilan *picking* antara log resistivitas dengan log *sonic* kemudian disesuaikan dengan interpretasi kualitatif zona *source rock* menurut Passey et al (1990).

3.1.1 Interpretasi Kualitatif Zona Source Rock TO1

Sumur BTO memiliki kedalaman 0 ft hingga 6470 ft. hasil dari interpretasi kualitatif diketahui bahwa terdapat 6 lapisan zona *source rock* ditandai dengan kotak warna biru pada gambar dibawah ini.

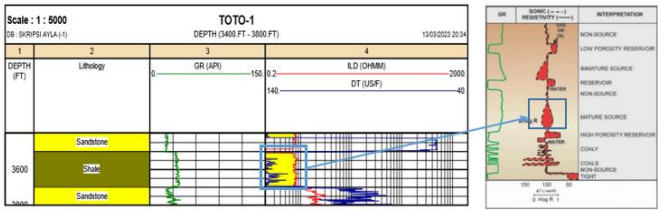


Gambar 3. Zona target *source rock* sumur TO1



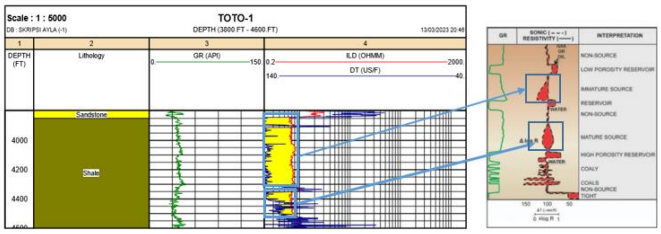
Gambar 4. Zona target *source rock* 1 sumur TO1

Terlihat pada Gambar 4 merupakan zona target batuan induk (*source rock*) 1 yang berada pada kedalaman dengan rentang 2564 – 3160 ft dengan besar nilai log *gamma ray* (GR) yaitu 51 API, log resistivitas (ILD) 0.82 Ohm.m dan log *sonic* (DT) sebesar 133 sec/ft. Berdasarkan interpretasi kualitatif dapat disimpulkan bahwa batuan yang ada pada zona target 1 dianggap sebagai batuan mature atau sudah matang.



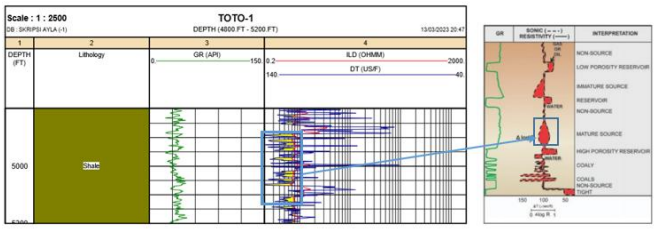
Gambar 5. Zona target *source rock* 2 sumur TO1

Terlihat pada Gambar 5 merupakan zona target batuan induk (*source rock*) 2 yang berada pada kedalaman dengan rentang 3501.5 – 3694 ft dengan besar nilai log *gamma ray* (GR) yaitu 46 API, log resistivitas (ILD) 0.87 Ohm dan log sonic (DT) sebesar 134 sec/ft. berdasarkan interpretasi kualitatif dapat disimpulkan bahwa batuan yang ada pada zona 2 dianggap sebagai batuan mature atau sudah matang.



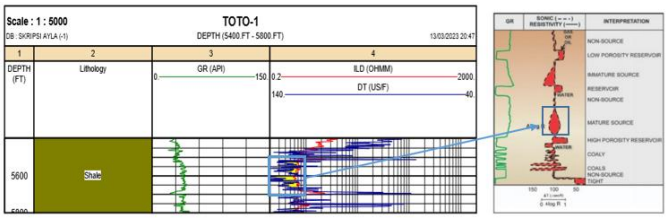
Gambar 6. Zona target *source rock* 3 dan 4 sumur TO1

Terlihat pada Gambar 6 merupakan zona target batuan induk 3 dan 4, dimana zona target 3 berada pada kedalaman dengan rentang 3845 – 4313.5 ft dengan besar nilai log *gamma ray* (GR) yaitu 49 API, log resistivitas (ILD) 0.79 Ohm.m dan log sonic (DT) sebesar 145 sec/ft. sedangkan untuk zona target 4 berada pada kedalaman 4350– 4532 ft dengan besar nilai log gamma ray (GR) yaitu 47 API, log resistivitas (ILD) 0.70 Ohm.m dan log sonic (DT) sebesar 142 sec/ft. Berdasarkan interpretasi kualitatif dapat disimpulkan bahwa batuan yang ada pada zona target 3 dan 4 dianggap sebagai batuan mature atau sudah matang.



Gambar 7. Zona target *source rock* 5 sumur TO1

Terlihat pada Gambar 7 merupakan zona target batuan induk 5 yang berada pada kedalaman dengan rentang 4888 – 5071 dengan besar nilai log *gamma ray* (GR) yaitu 45 API, log resistivitas (ILD) 0.75 Ohm.m dan log *sonic* (DT) sebesar 134 *sec/ft*. Berdasarkan interpretasi kualitatif dapat disimpulkan bahwa batuan yang ada pada zona target 5 dianggap sebagai batuan mature atau sudah matang.



Gambar 8. Zona target *source rock* 6 sumur TO1

Terlihat pada Gambar 8 merupakan zona target batuan induk 6 yang berada pada kedalaman dengan rentang 5497 – 5667.5 m dengan besar nilai log *gamma ray* (GR) yaitu 44 API, log resistivitas (ILD) 0.56 Ohm.m dan log *sonic* (DT) sebesar 133 sec/ft. Berdasarkan interpretasi kualitatif dapat disimpulkan bahwa batuan yang ada pada zona target 6 dianggap sebagai batuan mature atau sudah matang.

Tabel 1. Daerah target *source rock* sumur BTO

Kedalaman		Log Gr	Log ILD	Log DT	Tingkat Maturasi
Top	**Bottom**				
Sumur BTO					
2564	3160	51	0.82	133	*Mature*
3351.5	3694	46	0.87	134	*Mature*
3845	4313.5	49	0.79	145	*Mature*
4350	4532	47	0.79	142	*Mature*
4888	5071	45	0.75	134	*Immature*
5497	5667.5	44	0.56	133	*Mature*

3.2 Interpretasi Kuantitatif Zona *Source Rock*

Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui kemampuan batuan induk dalam menghasilkan minyak ataupun gas bumi. Dijelaskan bahwa untuk mengetahui kemampuan batuan induk dalam menghasilkan hidrokarbon bergantung pada tiga parameter yaitu: kandungan karbon organik dalam batuan, kualitas serta tingkat kematangan kerogennya. Pada penelitian ini dilakukan analisis kualitas TOC pada batuan induk serta analisis tingkat kematangan batuan induk berdasarkan besarnya nilai Ro.

3.2.1 Analisis *Total Organic Carbon* (TOC)

TOC atau *Total Carbon Organic* adalah suatu indikator dari total kandungan material organik yang ada dalam sebuah batuan. Peters dan Cassa (1994) telah mengkategorikan batuan induk dari yang buruk hingga istimewa berdasarkan nilai TOC-nya, dimana nilai TOC 0-0.5 wt% dianggap sebagai batuan induk yang *poor* (buruk), 0.5 – 1 wt% dianggap sebagai batuan induk *fair* (cukup), 1 – 2 wt% dianggap sebagai batuan induk *very good* (bagus) dan nilai TOC dari 2 – 4 wt% dianggap sebagai batuan induk yang *excellent* (istimewa).

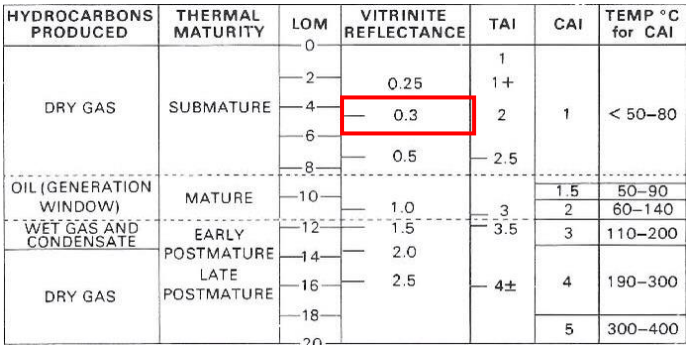
Untuk dapat menghasilkan nilai TOC dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus (Harsono, 1997) yaitu :

$$TOC = (\Delta Log\ R)\ \text{X}\ 10^{(2.297-0.1688xLOM)}$$

Dimana :
TOC : *Total Organic Carbon* (wt%)
ΔLog R : Kurva separasi overlay dari log resistivitas dan log sonic
LOM : *Level of Maturity*

Setelah menentukan zona target *source rock* pada daerah penelitian selanjutnya dilakukan perhitungan TOC untuk mengetahui kualitas batuan yang dikandungan dengan rumus diatas.

Zona target 1
Diketahui : Log Gr = 51 API
Log ILD = 0.82
Log DT = 133
Rb = 1.24
Tb = 0.92
Ro = 0.34
Untuk mendapatkan nilai LOM dibutuhkan nilai Ro (*Vitrinite Reflectance*) dengan menggunakan batuan grafik seperti di bawah ini:



Gambar 9. Grafik LOM vs Ro

Dari grafik diatas maka diketahui bahwa nilai LOM pada zona target 1 adalah 5.4. setelah mendapatkan nilai LOM maka perhitungan TOC dapat dilakukan sebagai berikut :

$$TOC = (\Delta Log\ R)\ X\ 10^{(2.297-0.1688xLOM)}$$

$$TOC = (Log\ (R - Rb)) + (0.02\ x\ (T - Tb))\ X\ 10^{(2.297-0.1688xLOM)}$$

$$TOC = (Log\ (0.82 - 0.92)) + (0.02\ x\ (133 - 124))\ X\ 10^{(2.297-0.1688xLOM)}$$

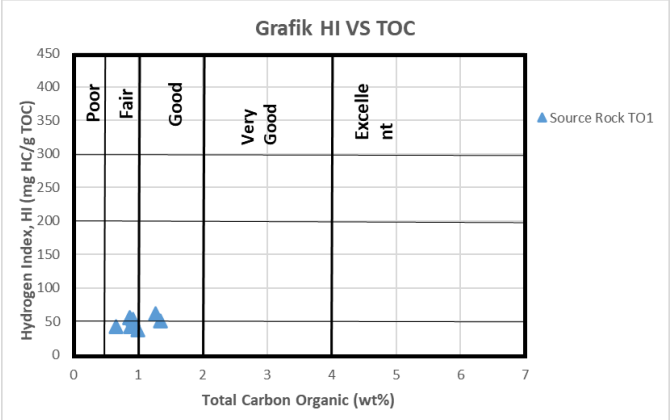
$$TOC = 0.9167$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan TOC untuk setiap zona target di sumur BTO dengan melakukan cara yang sama. Hasil dari perhitungan TOC untuk sumur BTO dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter nilai *Total Organic Carbon* pada sumur BTO

Depth (Ft)	TOC Core (wt%)	TOC Log (wt%)	Indikasi Batuan
2564 – 3160	0,99	0,917	*Fair*
3501 – 3694	1,04	1,000	*Fair*
3845 – 4313	1,34	1,351	*Good*
4350 – 4532	1,38	1,275	*Good*
4888 – 5071	0,9	0,873	*Fair*
5497 – 5667	0,58	0,663	*Fair*

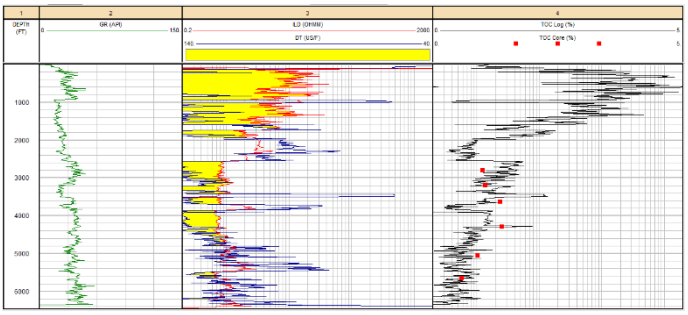
Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa pada sumur BTO terdapat 6 titik sampel dengan nilai TOC yang didapatkan berkisar 0.6 – 1.3 wt%. Dimana nilai TOC paling besar terdapat pada kedalaman 3845 – 4313.5 ft dengan nilai TOC sebesar 1.3 wt% yang menandakan bahwa batuan induk pada kedalaman tersebut tergolong batuan induk yang bagus atau good . sehingga batuan induk pada kedalaman tersebut berpotensi untuk dieksplorasi secara lanjut.



Gambar 10. *Cross-plot* Van Krevelen HI vs TOC untuk mengetahui kualitas batuan induk

3.2.2 Perbandingan TOC Core dan TOC Log

Perbandingan nilai TOC Core dan TOC Log dilakukan dengan cara memplot nilai antara TOC Core dan TOC Log pada software interactive petrophysics. Pada Gambar 25 merupakan gambar persebaran titik antara nilai TOC Core dan TOC Log untuk sumur penelitian yaitu sumur BTO, yang mana TOC Core dan TOC Log ditandai dalam kotak biru pada gambar dibawah. Grafik hitam dalam kotak merupakan TOC Log dan untuk kotak merah dalam kotak merupakan TOC Core.



Gambar 11. Titik persebaran TOC Log dengan TOC Core sumur TO1

Korelasi antara TOC Log dan TOC Core dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai kedua variabel tersebut. Nilai TOC Log didapatkan berdasarkan perhitungan data log dan untuk nilai TOC Core dihasilkan dari nilai aktual pengukuran di labotarium.

Untuk mengklasifikasikan tingkat korelasi dapat menggunakan kriteria nilai korelasi menurut Sarwono, 2006 dimana kriterianya yaitu :

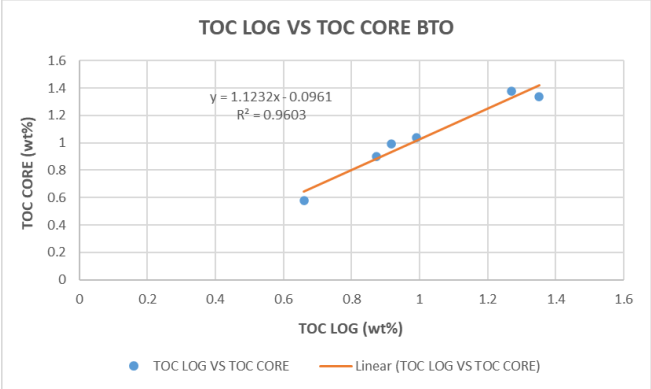
- 0 : Tidak ada korelasi antara dua variabel
- >0 – 0.25 : Korelasi sangat lemah
- >0.25 – 0.5 : Korelasi cukup
- >0.5 – 0.75 : Korelasi kuat
- >0.75 – 0.99 : Korelasi sangat kuat
- =1 : Korelasi sempurna

Dibawah ini merupakan data yang digunakan untuk mengetahui relevansi TOC Log terhadap TOC Core pada sumur penelitian.

Tabel 3. Data TOC Log dan TOC Core yang digunakan untuk korelasi

No	TOC Log (wt%)	TOC Core (wt%)
	Sumur BTO	
1	0,99	0,917
2	1,04	1,000
3	1,34	1,351
4	1,38	1,275
5	0,9	0,873
6	0,58	0,663

Dibawah ini merupakan gambar yang menunjukan relevansi antara TOC Core dan TOC Log dari ketiga sumur penelitian.



Gambar 12. Korelasi TOC Log dengan TOC Core sumur TO1

Berdasarkan gambar grafik 26 dapat diketahui bahwa relevansi antara nilai TOC Log dan TOC Core pada sumur penelitian sebesa 0,9 yang mana mengacu pada klasifikasi korelasi menurut Sarwono (2006), dikatakan jika nilai relevansi lebih dari 0.75 – 0.99 maka korelasi dianggap sangat kuat, maka dapat disimpulkan bahwa korelasi nilai TOC Log dan TOC Core pada sumur BTO tersebut adalah sangat kuat Dapat dilihat pada gambar 26 bahwa sumur BTO memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 0.96 yang artinya sumur TO1 memiliki koefisien yang sangat kuat.

4. Kesimpulan

Hasil dari interpretasi yang telah dilakukan disimpulkan bahwa pada sumur penelitian yaitu sumur BTO terdapat 6 zona lapisan *source rock*. Berdasarkan hasil perhitungan TOC dan analisis yang dilakukan didapatkan hasil dari perhitungan *Total Organic Carbon* (TOC) pada BTO diperoleh rata-rata nilai TOC sebesar 1.03%. jika dilihat berdasarkan indikasi batuan induk menurut Petter dan Cassa (1994) maka batuan induk pada sumur BTO1 dianggap sebagai batuan induk yang baik (good). Berdasarkan hasil korelasi antara nilai TOC Core dan TOC Log pada sumur penelitian yaitu sumur BTO memiliki indikasi sangat kuat karena pada sumur TO1 memiliki nilai korelasi sebesar 0.96.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada pihak Laboratorium Mitigasi Bencana Geologi Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah membantu dalam Penyedia fasilitas penelitian. Penulis juga meminta saran kepada pembaca apabila masih ada kesalahan atau kekurangan dalam penulisan artikel ini sekiranya dapat memebrikan koreksi dan masukkan sehingga penulis dapat menjadi lebih baik kedepannya dalam penulisan artikel.

Daftar Pustaka

Al-Areeq, N. M. (2018). *Petroleum Source Rocks Characterization and Hydrocarbon Generation*. London: Intech Open Publisher.

Asquith, G, E., dan Krygowski, D., (2004). Basic Well Log as an aid in Determining Some Reservoar Characteristics. *Trans., AIME*. 146 : 54-62.

Bemmelen Van, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia. Martinus Nijhoff, The Haque*. Netherlands.

Davies, J.R. (1989). *Generalized Stratigraphy and HC Existing of Kangean Block*. Gearhart Geodata Services Ltd.

Dewanto, O. (2018). *Well Logging*. Buku Ajar. Bandar Lampung: Penerbit Pustaka Media.

Fatahillah, Y. 2016. Penentuan Potensi Batuan Induk Menggunakan Model Log TOC, Pada Formasi Ngimbang, Lapangan "Arrazi", Cekungan Jawa Timur Utara. *Skripsi*. Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Fransiska, (2012). Analisis Resistivitas Batuan dengan Menggunakan Parameter dar zarrouk dan Konsep Anisotropi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITS. *Jurnal Sains dan Seni*. Vol 1(1). http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v1i1.232.

Harsono, A., (1997). *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log, Edisi 8*. Schlumberger Oilfield Service. Jakarta.

Malinda Arief, D., Dewanto, O., Karyanto, K., & Azzaino, Z. (2018). Analisis Petrofisika Dalam Penentuan Zona Prospek Dan Estimasi Cadangan Hidrokarbon Pada Sumur Dma-01 Dan Dma-04 Lapisan-9 Formasi "Dma" Cekungan "X". *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(17).

Nainggolan, T. (2018). Dekomposisi Spektral dengan Transformasi Wavelet Kontinyu untuk Deteksi Zona Hidrokarbon di Perairan Bali Utara. *Jurnal PPPGL*, Bandung.

Nukefi, A. (2007). Karakterisasi Reservoir dan Perhitungan Volumetrik Cadangan Hidrokarbon pada Reservoir "A", Lapangan Dalmatian, Cekungan Natuna Barat. *Skripsi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Passey, Q.R Creany, S., Kulla, J.B., Moretti, F.J., dan Strapund, J.D. (1989). Well logging evaluation of organic-rich rock. *International Meeting On Organic Geochemistry*. Paris.

Paters, K.E dan Cassa, M.R. (1994). *Applied Source Rock Geohemistry the Petroleum System From Source To Trap*. American Association of Petroleum Geologits. Hal 93 – 117.

Rider, M.H. (2002). *The Geological Interpretation of Well Logs Second Edition*. Scotland: Rider-French Consulting Ltd.

Satyana, A, H., dan Djumiati, M. (2003). Oligo-Miosen Carbonates of the East Java Basin Indonesia. In AAPG. *Journal International Conference*. Barcelona.

Setiahadiwibowo, A., P. (2016). Analisis Karakteristik Batubara Berdasarkan Rekaman Well Logging di Daerah Kabupaten Katingan Kalimantan Tengah. *Tesis*. UPN Veteran Yogyakarta.

SKK Migas. (2020). *Laporan Tahunan 2020 'Menuju 1 Juta BOPD & 12 BSCFD Di 2023*. Jakarta.

Sultan, Panjaitan., (2010). Prospek Migas pada Cekungan Jawa Timur Utara dengan Pengamatan Metode Gaya Berat. Bandung: *Buletin Sumber Daya Geologi*, Vol 5(3). https://doi.org/10.47599/bsdg.v5i3.266.

Subroto, E.A., (2012). *Catatan Kuliah : GL4192 Pengenalan Geokimia Petroleum dan Penggunaan Geokimia Petroleum*. Bandung: ITB

Sribudiyani, M.N., Ryucudu, Kunto, P., Astono, I., Prasetya, B., Sapie, S., Asikin, A.H. and Harsolumakso, I.Y. (2003). The Collision of the East Java Microplate and its Implication for Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin. *Proceddings Indonesian Petroleum Association 3oth Annual Convention & Exhibition*.

Waples, D., (1985). Geochemistry in Petroleum Exploration. *International human resources development corporation*. Boston, 323.

Wisnu, M. (2019). Analisis Fasies dan Lingkungan Pengendapan Batupasir A, B, dan C Formasi Talang Akar Berdasarkan Data Log dan Batuan Inti di Lapangan. *Skripsi*. Universitas Trisakti. Jakarta

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Alamat Prosiding: sinta.eng.unila.ac.id

Identifikasi Reservoir Panasbumi Waypanas Tanggamus Lampung Berdasarkan Analisa dan Pemodelan Gravity

M Sarkowi[a,*] , Karyanti [a], I B Darmawan[a], A Hidayatika[a] dan Suharno[ac]
Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145,
muh.sarkowi@eng.unila.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 12/07/2023
Direvisi 5/10/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
Panasbumi
Waypanas
Tanggamus
Gravity

ABSTRAK

Indonesia yang terlatak pada zona subduksi dan memiliki deretan jalur gunung api dari Aceh sampai Maluku dan Sulawesi mempunyai potensi energi panasbumi yang sangat besar mencapai 29.308 MWe. Potensi energi panasbumi yang sangat besar ini harus segera dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan. Untuk memanfaatkan potensi energi panasbumi maka harus dilakukan kegiatan eksplorasi untuk mendapatkan lokasi prospek reservoir panasbumi dan potensi dari energi panasbumi tersebut. Salah satu potensi panasbumi yang ada dipropinsi Lampung adalah prospek panasbumi Waypanas yang terletak di kabupaten Tanggamus. Metode gravity digunakan dalam eksplorasi panasbumi Waypanas dengan tujuan untuk mengindentifikasi lokasi prospek reservoir panasbumi dan struktur patahan yang berkembang di daerah penelitian. Data gravity yang digunakan berasal dari GGM-Plus yang telah terkoreksi oleh: gravity fungi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan koreksi terrain hingga diperoleh anomali Bouguer. Anomali Bouguer daerah panasbumi Waypanas memiliki nilai 39 – 62 mGall dengan pola kontur berarah SE-NW, dengan anomali tinggi berada dibagian Timur Laut dan anomali rendah dibagian Barat memanjang dari Selatan ke Utara. Hasil identifikasi sesar menggunakan analisa gradient menunjukkan keberadaan sesar Semangko dibagian Selatan berarah SE-NW sedangkan sesar sekunder berarah SW-NE.

Hasil pemodelan 3D anomali gravity yang berupa model distribusi densitas rendah menunjukkan adanya 3 daerah yang memiliki densitas rendah, yaitu: 1. Daerah Bandar Kejadian, Sinar Saudara, Padang Ratu, Pardasuka, dan Tanjung Kurung dibagian Selatan; 2. Daerah Wonosobo memanjang ke Utara; dan 3. Daerah Bandar Kejadian memanjang kearah Timurlaut. Daerah dengan densitas rendah tersebut kemungkinan merupakan daerah prospek reservoir panasbumi di daerah tersebut. Dari hasil slicing model distribusi densitas menunjukkan kedalaman reservoir panasbumi berapa pada kedalaman 1000 – 2500 meter.

1. Pendahuluan

Daerah prospek panasbumi Way Panas Wonosobo berada di daerah Way Panas Wonosobo Tanggamus. Daerah prospek panasbumi Way Panas mencakup 10 pekon, yaitu: Way Panas, Sampang Turus, Sumur Tujuh, Pekon Balak, Bandar Kejadian, Sridadi, Kanyangan, Kalimiring, Negara Batin dan Belu.

Way Panas terletak di bagian selatan Lapangan Panas Bumi Ulubelu, yang juga dikenal sebagai Rindingan-Ulubelu-Way Panas (RUW) sistem panas bumi (Suharno, 2003). Perkembangan struktur geologi di daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh sejarah tektonik Sesar Sumatera. Kajian geofisika menunjukkan bahwa sistem RUW merupakan struktur graben yang tertutup oleh produk vulkanic di daerah tersebut (Daud, 2000). Manifestasi termal permukaan yang muncul di daerah Way Panas, berupa: mata air panas, fumarol, gas, lumpur panas, tanah beruap, dan batuan ubahan. Ditafsirkan bahwa Way Panas berperan sebagai outflow zone sistem RUW (Daud, 2000; Yorinaldi, 2000).

Eksplorasi dan eksploitasi panasbumi menjadi listrik membutuhkan investasi yang sangat besar. Salah satu komponen biaya yang paling besar adalah pada komponen pengeboran sumur produksi. Untuk itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk meningkatkan sukses rasio pengeboran yaitu dengan mengetahui struktur bawah permukaan dan reservoir panasbumi secara baik. Eksplorasi sumberdaya panasbumi pada lokasi prospek panasbumi dengan

*Penulis korespondensi.
E-mail: xxx@... (P Pertama).

2655-2914/©2021 Fakultas Teknik-Universitas Lampung.

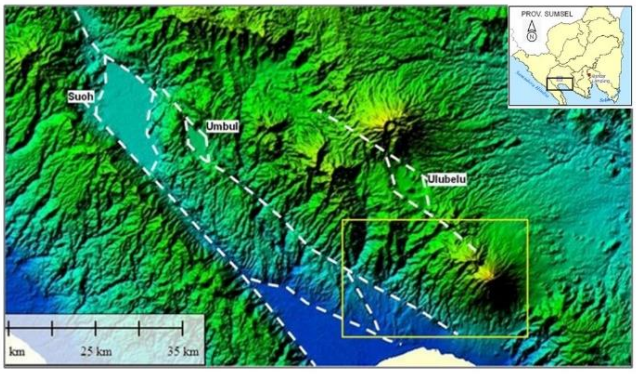
menggunakan beberapa metode baik geologi, geokimia dan geofisika sehingga dapat diketahui potensi dan lokasi reservoir dari prospek panasbumi tersebut. Pada penelitian ini dilakukan analisa dan pemodelan data gravity untuk menentukan lokasi prospek reservoir panasbumi di daerah penelitian.

1.1. Gelogi daerah Waypanas

Way Panas terletak di bagian selatan Lapangan Panas Bumi Ulubelu, yang juga dikenal sebagai Rindingan-Ulubelu-Way Panas (RUW) sistem panas bumi (Suharno, 2003). Perkembangan struktur geologi di daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh sejarah tektonik Sesar Sumatera. Kajian geofisika menunjukkan bahwa sistem RUW merupakan struktur graben yang tertutup oleh produk vulkanic di daerah tersebut (Daud, dkk. 2000). Manifestasi termal permukaan yang muncul di daerah Way Panas, berupa: mata air panas, fumarol, gas, lumpur panas, tanah beruap, dan batuan ubahan. Manifestasi ini tersebar di pekon Banjar Kejadian, Pardasuka, dan di bagian Tengah yang muncul disekitar sungai. Ditafsirkan bahwa Way Panas berperan sebagai outflow zone sistem RUW (Yorinaldi, dkk. 2000).

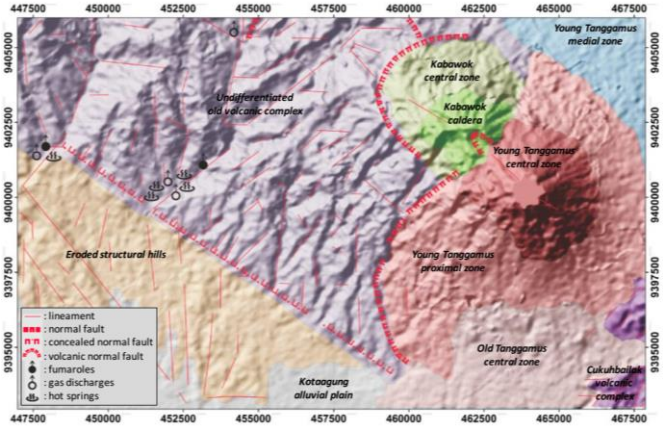
Secara tektonik, Pulau Sumatera dapat dibagi menjadi 5 wilayah, yaitu punggungan busur luar, cekungan muka busur, cekungan belakang busur, Pegunungan Barisan yang terjadi di sepanjang Sesar Sumatera, dan cekungan dalam busur yang berkembang di sepanjang Barisan Range (Darman dan Sidi, 2000). Vulkanisme kuarter mendominasi Pegunungan Barisan, diwakili oleh 50 pusat vulkanik di sepanjang zona Sesar Sumatera (Sieh dan Natawidjaja, 2000). Hubungan antara vulkanisme dan aktivitas tektonik Sesar Sumatera kurang dipahami, karena hanya sedikit vulkanisme yang terletak di zona sesar aktif, sementara sebagian besar tersebar pada jarak 20 hingga 40 km dari zona sesar.

Prospek Panasbumi Way Panas, Lampung, terletak di ujung selatan Sesar Sumatera. Sesar Semangko segmen Lampung memanjang 65 km, mulai dari cekungan Suoh hingga Teluk Semangko (Sieh dan Natawidjaja, 2000). Tebing curam yang menghadap ke timur laut segmen Semangko menunjukkan bahwa sesar ini adalah sesar normal, dengan blok timur laut sebagai bagian yang turun. Berdasarkan studi struktur mikro, Pramumijoyo (2008) mendapatkan bahwa segmen ini telah berevolusi oleh kompresi N-S sebelum 5 Ma yang lalu, kemudian digantikan oleh perpanjangan NE-SW menjadi 1 Ma yang lalu, sebelum diperpanjang ke arah E-W hingga saat ini (Gambar 1). Kegempaan segmen Semangko lebih rendah dari segmen lain di Sesar Sumatera, karena hanya tercatat gempa 7,0 Mw pada 26 Juli 1908 (Sieh dan Natawidjaja, 2000).



Gambar 1: Peta daerah penelitian Way Panas, DEM dan keberadan struktur sesar di sepanjang zona patahan Semangko.

Morfologi daerah penelitian berupa perbukitan, pegunungan dan gunung. Bagian Timur daerah penelitian terdapat kaldera Kabawok dan gunung Tanggamus dan dibagian Utara terdapat gunung Kukusan (Husein S., et.all. 2015) (Gambar 2).



Gambar 2. Peta Geomorfologi daerah Penelitian

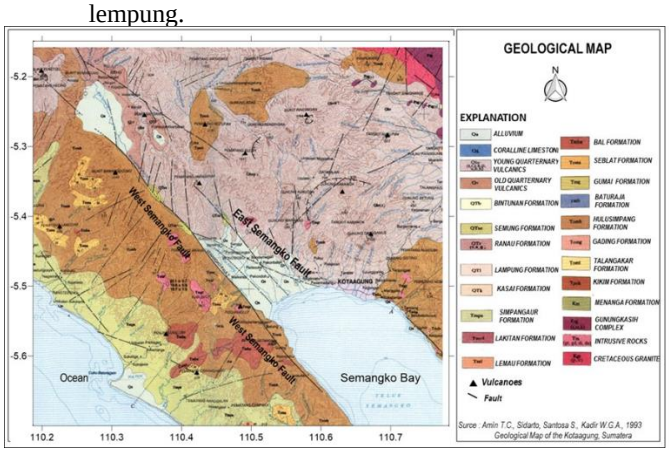
Lapangan panas bumi Way Panas memiliki lokasi di lingkungan komplek gunungapi berdampingan, yaitu Gunung Kabawok dan Gunung Tanggamus. Keberadaan gunung ini kemungkinan menjadi sumber panas dari sistem panasbumi Way Panas.

1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Stratigrafi daerah penelitian mengacu pada peta geologi daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 2 (Amin et al., 1993). Secara detail stratigrafi di daerah penelitian terdiri dari:

a. Formasi Menanga (Kapur Awal – Tengah): interkalasi serpih dan batupasir gampingan, dengan lensa rijang dan batugamping.
b. Formasi Kikim (Paleosen – Oligosen Awal): breksi vulkanik, tuf andesitik, dan tuf.
c. Formasi Gading (Oligosen – Miosen Awal): batupasir, batulanau, dan batulempung, diselingi dengan batugamping dan lignit.
d. Formasi Hulusimpang (Oligosen – Miosen Awal): breksi volkanik, lava, tuf basaltik-andesitik, sebagian teralterasi serta dipotong oleh urat kuarsa dan sulfida.
e. Formasi Bal (Miosen Akhir): breksi vulkanik yang diselingi dengan tufa dasit dan batupasir.
f. Intrusi batuan beku: batolit granodiorit dan tanggul dasit (intra-Miosen); saluran makan vulkanik seperti leher, tanggul, dan letusan celah, diselingi dengan tuf dasit (Plio-Pleistosen).
g. Formasi Lakitan (Miosen Akhir – Pliosen): breksi volkanik basaltik-andesitik, tufa dan batupasir tufaan, Sebagian profilitik diubah dan dipotong oleh vena Au-Ag.
h. Formasi Lampung (Pliosen – Pleistosen): tuf batuapung, batupasir tufaan, tuf.
i. Formasi Ranau (Pliosen – Pleistosen): breksi apung, tuf mika, tuf apung, kayu silisifikasi; sedikit mungkin sumber yaitu Ranau, Suoh, dan Gedung Surian.

j. Formasi Semung (Pliosen – Pleistosen): konglomerat batupasir, batupasir, batulempung.
k. Vulkanik Kuarter Tua (Pleistosen – Holosen Awal): lava basaltik-andesitik, tufa, breksi vulkanik.
l. Vulkanik Kuarter Muda (Holosen): breksi vulkanik, lava, tufa basaltik-andesitik.
m. M. Aluvial (Holosen): batu-batuan, kerikil, pasir, lanau, lempung.



Gambar 2. Peta Geologi daerah penelitian

1.3 Metode Gravity

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang berdasarkan pada perbedaan rapat massa dan jarak. Metode ini sangat sensitive terhadap perubahan vertikal dan horisontal, sehingga sangat cocok digunakan untuk mempelajari batuan dasar, kontak intrusi, struktur geologi dan lain-lain. Gayaberat di permukaan bumi menunjukkan besarnya tarikan benda anomali di bawah permukaan dengan arah ke pusat bumi dan merupakan turunan dari gaya yang dihasilkan melalui hukum Newton (Blakely, Richard J. 1996). Metode ini banyak digunakan untuk identifikasi basemen pada ekplorasi migas dan untuk identifikasi system panasbumi dapa eksplorasi panasbumi.

Anomali gravity merupakan perbedaan nilai gaya berat terukur dengan nilai gaya berat acuan, yaitu nilai gaya berat teoritis untuk suatu model teoritis Bumi (Sarkowi.M., 2014). Perbedaan ini merefleksikan variasi rapat massa yang terdapat pada suatu daerah dengan sekelilingnya baik kearah lateral maupun kearah vertikal. Tujuan akhir penerapan metoda gravity pada eksplorasi sumber daya alam adalah mendapatkan gambaran struktur bawah permukaan berdasarkan distribusi densitasnya, yang akan dianalisa dan interpretasi untuk mengetahui struktur bawah permukaan dan potensi sumberdaya alam di daerah tersebut.

Interpretasi anomali gravity merupakan salah satu proses pengolahan data gayaberat untuk mendapatkan struktur bawah permukaan berdasarkan anomali gayaberat yang terukur di permukaan. Interpretasi anomali gayaberat bersifat ambiguity, yaitu untuk satu anomali gayaberat dapat memberikan model bawah permukaan yang tidak unik. Untuk itu perlu adanya data pendukung dalam upaya mengurangi ambiguitas dari pemodelan dan interpretasi gravity, yang berupa: data sumur, data geologi, dan data pendukung lainnya. Salah satu teknik yang digunakan dalam penelitian ini ada teknik gradient gravity yang akan digunakan untuk identifikasi keberadaan sesar ataupun batas litologi.

2. Metodologi Penelitian

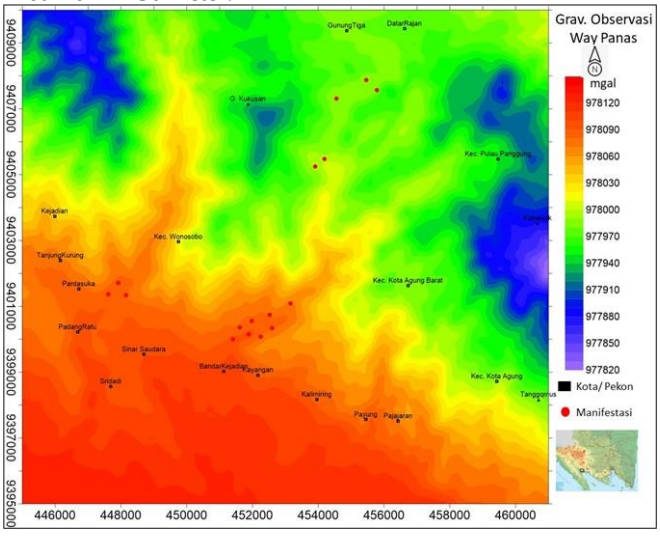
Penelitian Identifikasi Daerah Prospek Panasbumi Way Panas Berdasarkan Analisa Data Gravity dilakukan mellaui beberapa metode dan tahapan yang terdiri dari:

a) Studi literatur tentang daerah prospek panasbumi Way Panas Tanggamus– Lampung, meliputi studi Pustaka tentang: geologi, geokimia, geofisika daerah penelitian pembentukan bentang alam komplek Gunungapi yang mendasari pembentukan sistem panas bumi daerah Way Panas.
b) Pengambilan data gravity dan topografi daerah penelitian. Data gravity di ambil dari data satelit yang berupa data gravity observasi, yang selanjutnya dilakukan pengolahan data meliputi: koreksi gravity normal fungsi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan koreksi terrain hingga diperoleh anomali Bouguer lengkap dan gravity observasi. Data topografi diambil dari data Digital Elevation Model (DEM) yang dapat di akses dari Badan Informasi dan Geospasial.
c) Spektrum analisis anomali Bouguer untuk mengetahui kedalaman dari basemen di daerah penelitian
d) Pemisahan anomali Bouguer hingga diperoleh anomali Bouguer regional dan anomali residual
e) Analisa gradient anomali Bouguer dan anomali Bouguer Residual
f) Pemodelan Anomali Bouguer Residual. Pada pemodelan ini akan diperoleh model distribusi densitas bawah permukaan hasil pemodelan inversi anomali Bouguer.
g) Interpretasi dan Analisa. Interpretasi dan analisa dilakukan untuk mengetahui: struktur bawah permukaan daerah penelitian, deliniasi atau identifikasi keberadaan sesar, lokasi prospek panasbumi di daerah penelitian. Analisa ini dilakukan dengan melakukan korelasi hasil pemodelan gravity dengan data – data geologi, geokimia dan data geofisika lain yang ada di daerah penelitian

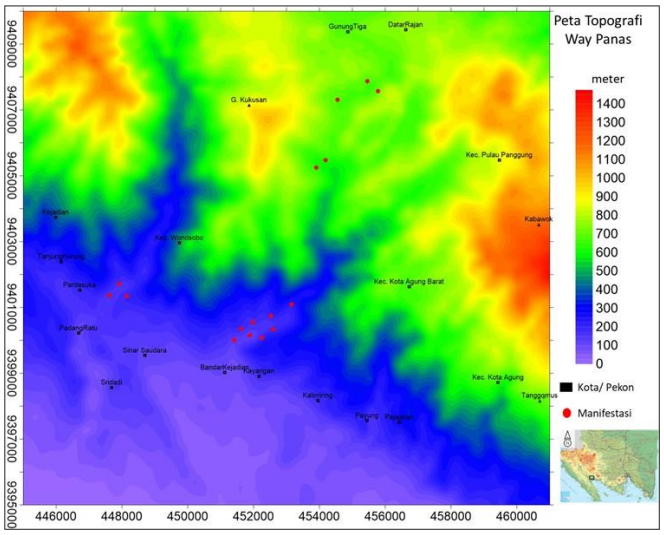
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gravity Observasi dan Topografi

Gravity observasi daerah penelitian memiliki nilai 977820 – 978250 mGall, dengan nilai tinggi di bagian Selatan dan rendah di bagian Timur dan Barat Laut (Gambar 3). Nilai gravity observasi ini berkebalikan dengan topografi di daerah peneitian (Gambar 4). Daerah penelitian memiliki topografi dari 0 – 1450 meter.



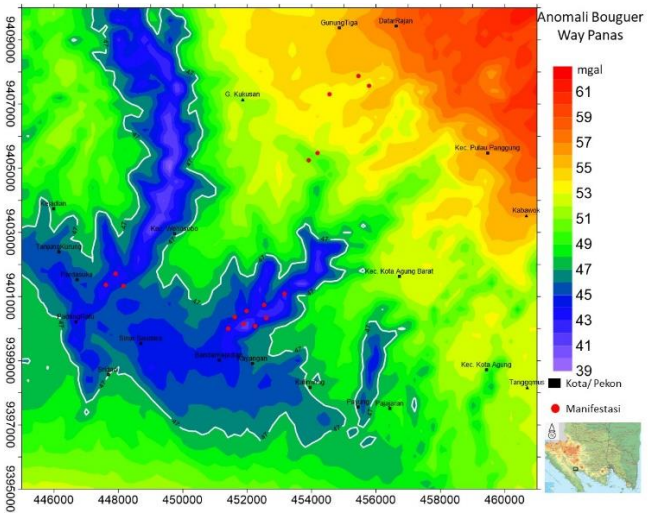
Gambar 3. Gravity observasi daerah penelitian



Gambar 4. Peta topografi daerah Penelitian

3.2 Anomali Bouguer Daerah Way Panas

Anomali Bouguer merupakan perbedaan nilai gayaberat observasi dengan nilai gayaberat teoritik. Perbedaan tersebut merefleksikan variasi rapat massa yang terdapat pada suatu daerah dengan daerah sekelilingnya kearah lateral, maupun kearah vertical. Peta anomali Bouguer daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.

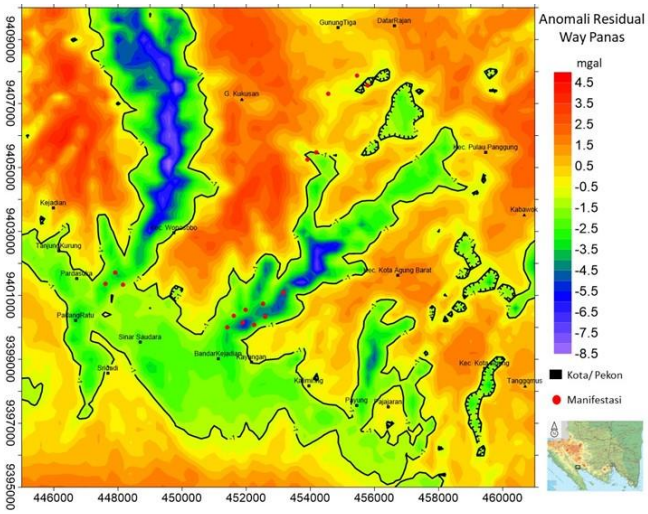


Gambar 5. Peta Anomali Bouguer daerah Penelitian.

Anomali Bouguer daerah penelitian memiliki nilai dari 39 – 62 mGal, dengan anomali rendah berada di bagian Barat Daya (Kayangan, Bandar Kejadian, Sinar Saudara, Padang Ratu, Pardasuka dan Tanjung Kurun), daerah Padang Ratu memanjang kearah Utara dan daerah Bandar Kejadian memanjang kearah Timur Laut. Daerah dengan anomali rendah ini kemungkinan berasosiasi dengna keberadaan reservoir panasbumi di daerah tersebut. Anomali tinggi berada di daerah Timur Laut (Gunung Kabawok) yang kemungkinan sebagai sumber panas dari sistem panasbumi Way Panas.

3.3 Anomali Bouguer Reidual Daerah Way Panas

Anomali Bouguer merupakan gabungan dari anomali yang berasal dari sumber dangkal (residual) maupun dalam (regional). Untuk mendapatkan anomali dari sumber yang dangkal, maka anomali Bouguer terebut harus dilakukan filtering untuk memisahkan antara anomali residual dan anomali regional menggunakan filter moving average. Peta anomali residual daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 6.

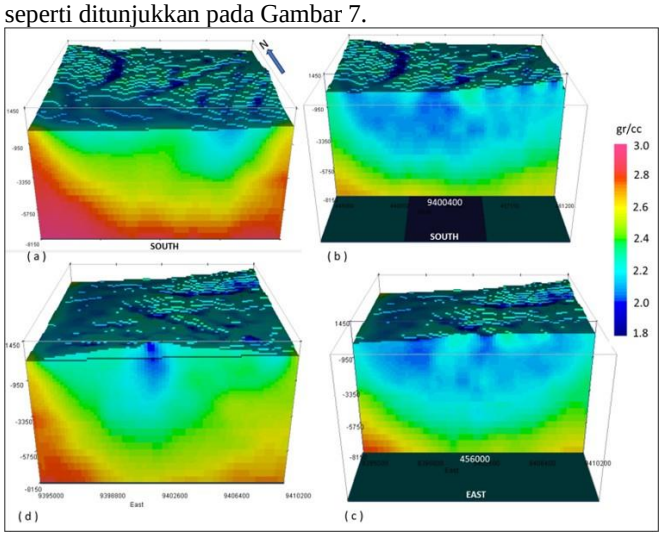


Gambar 6. Peta Anomali Bouguer Residual daerah Penelitian

Peta anomali residual daerah penelitian memiliki pola yang mirip dengan anomali Bouguer khususnya lokasi anomali rendah.

3.4 Model Distribusi Densitas Hasil Pemodelan Inversi 3D

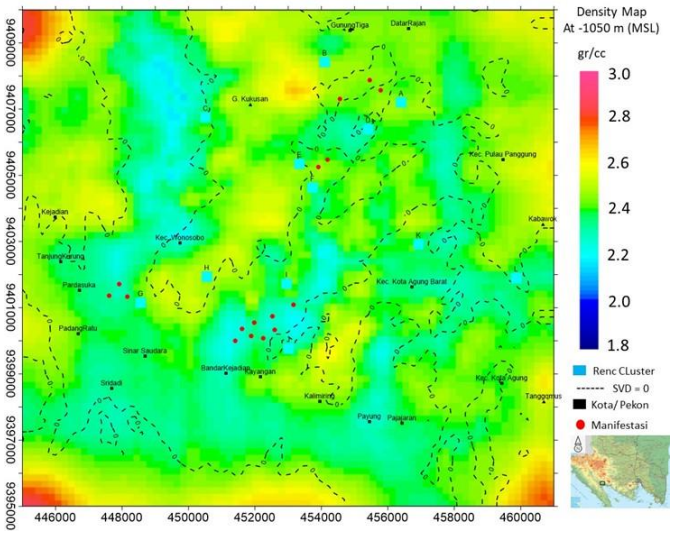
Pemodelan anomali gravity dilakukan untuk mendapatkan model distribusi densitas bawah permukaan yang nantinya akan dianalisa dan diinterpetasi untuk mengetahui struktur dan model sistem panasbumi di daerah penelitian. Pada penelitian ini telah dilakukan pemodelan inversi 3D dari anomali Bouguer residual sehingga diperoleh model distribusi densitas bawah permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Model distribusi densitas hasil pemodelan inversi 3D anomali Bouguer Reseidual

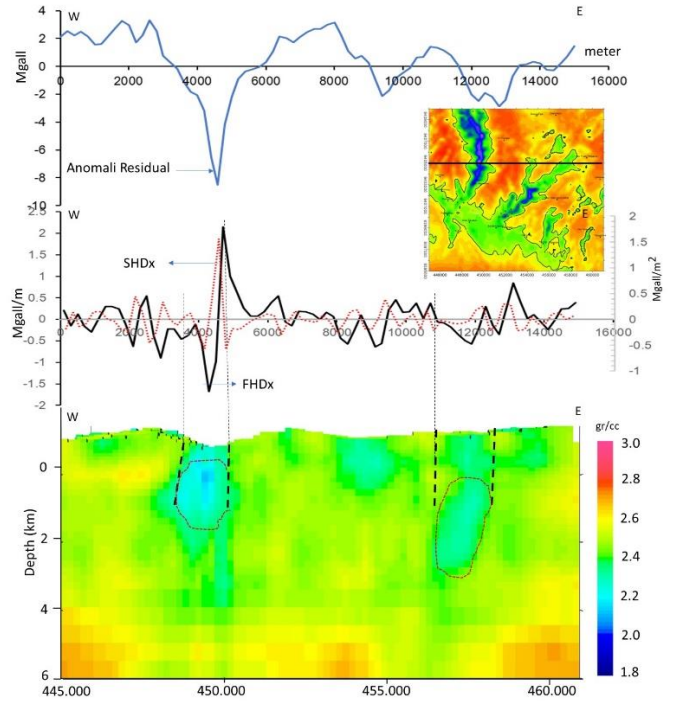
Hasil pemodelan menunjukkan adanya model distribusi densitas rendah di daerah tersebut. Batuan dengan densitas rendah pada umumnya akan memiliki porisitas tinggi sehingga akan menjadi reservoir yang baik (Sarkowi M and Rahmat C, 2021)
Untuk mendapatkan mengetahui model distribusi secara lateral dan vertical model 3D densitas pada Gambar 7 dilakukan slicing secara horisontal pada kedalaman tertentu dan slicing vertical pada lintasan terpilih. Model distribusi densitas pada kedalaman 1050 meter dari muka laut yang di overlay dengan peta SVD 0

(nol) ditunukkan pada Gambar 8. Nilai SVD 0 (0) dari anomali Bouguer menunjukkan adanya sesar ataupun batas litologi di daerah tersebut (Sarkowi M et.all., 2021).
Dari analisa komparasi model distribusi densitas rendah dan pola kontur SVD = 0 (nol) pada Gambar 8, menunjukkan bahwa penyebaran nilai densitas rendah dibatasi oleh kontur SVD=0 yang dapat diinterpretasikan bahwa lokasi reservoir ini dibatasi oleh keberadaan struktur sesar atau batas litologi batuan di daerah tersebut.



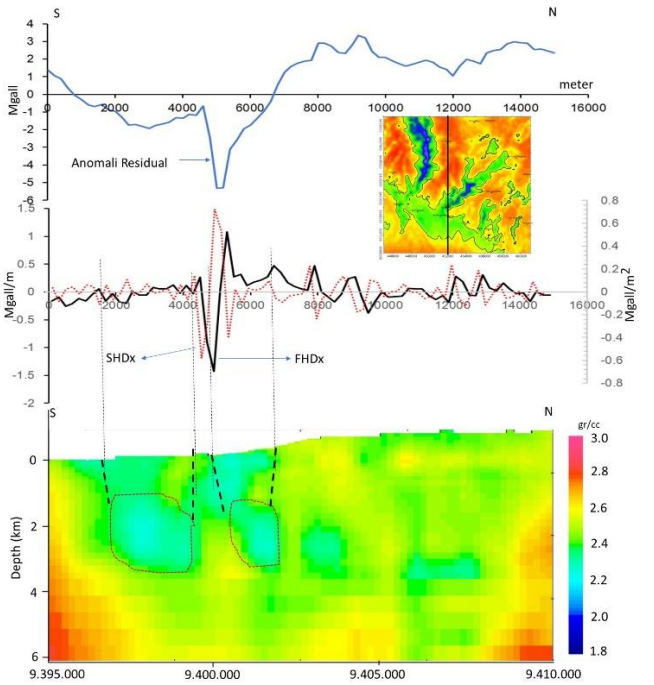
Gambar 8. Model distribusi densitas pada kedalaman 1450 dibawah MSL yang dioverlay dengan kontrur SVD 0 (nol).

Untuk mendapatkan secara detail model distribusi densitas, telah dilakukan pula slicing 2D penampang model densitas bawah permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Penampang vertical model distribusi densitas bawah permukaan lintasan Barat Timur dan keberadaan sesar yang diturunkan dari analisa gradient.

Daerah dengan densitas rendah dibagian kiri dan kanan yang dibatasi oleh sesar kemungkinan berhubungan dengan keberadaan reservoir panasbumi di Way Panas



Gambar 10. Penampang vertical model distribusi densitas bawah permukaan lintasan Selatan Utara dan keberadaan sesar yang diturunkan dari analisa gradient.

Daerah dengan densitas rendah dibagian kiri (Selatan) yang dibatasi oleh sesar kemungkinan berhubungan dengan keberadaan reservoir panasbumi di Way Panas

4. Kesimpulan

Daerah propek panasbumi Waypanas terletak di daerah Wonosobo Lampung berada pada ujung Selatan sesar Sumatera. Sebalah Utara terdapat gunung Kukusan dan sebelah Timur terdapat Gunung Tanggamus dan Kabawok. Manifestasi panasbumi tersebar di tengah – barat dan utara daerah penelitian. Anomali Bouguer daerah penelitian memiliki nilai dari 39 – 62 mGal, dengan anomali rendah berada di bagian Barat Daya (Kayangan, Bandar Kejadian, Sinar Saudara, Padang Ratu, Pardasuka dan Tanjung Kurun), daerah Padang Ratu memanjang kearah Utara dan daerah Bandar Kejadian memanjang kearah Timur Laut. Daerah dengan anomali rendah ini kemungkinan berasosiasi dengna keberadaan reservoir panasbumi di daerah tersebut. Anomali tinggi berada di daerah Timur Laut (Gunung Kabawok) yang kemungkinan sebagai sumber panas dari sistem panasbumi Way Panas. Hasil identifikasi sesar menggunakan analisa gradient menunjukkan keberadaan sesar Semangko dibagian Selatan berarah SE-NW sedangkan sesar sekunder berarah SW-NE. Hasil pemodelan 3D anomali gravity yang berupa model distribusi densitas rendah menunjukkan adanya 3 daerah yang memiliki densitas rendah, yaitu: 1. Daerah Bandar Kejadian, Sinar Saudara, Padang Ratu, Pardasuka, dan Tanjung Kurung dibagian Selatan; 2. Daerah Wonosobo memanjang ke Utara; dan 3. Daerah Bandar Kejadian memanjang kearah Timurlaut. Daerah dengan densitas rendah tersebut kemungkinan merupakan daerah prospek reservoir panasbumi di daerah tersebut. Dari hasil slicing model distribusi densitas menunjukkan kedalaman reservoir panasbumi berapa pada kedalaman 1000 – 2500 meter.

Daftar Pustaka

Amin, T.C., Sidarto, Santosa, S., Gunawan, W. 1993. Geological Map of Kotaagung Quadrangle, Sumatera, Center of Geological Survey, Bandung

Blakely, Richard J. (1996). Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge: Cambridge University Press.

Darman, H., Sidi, F.H. 2000. An Outline of the Geology of Indonesia, Indonesian Association of Geologists, Jakarta.

Daud, Y., Sudarman, S., Ushijima, K. 2000. Integrated Geophysical Studies of the Ulubelu Geothermal Field, South Sumatera, Indonesia. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu

Husein S., Setianto A., Nurseto S.T., Koestono H., 2015. Tectonic Control to Geothermal System of Way Panas, Lampung, Indonesia. Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015

Pramumijoyo, S. 2008. Geometri dan Kinematika Sesar Semangko dari Citra Radar dan Pengamatan Mikrotektonik di Lapangan. Media Teknik No. 3 Tahun XXX Edisi Agustus 2008

Sarkowi M., Wibowo R.C., 2021. Reservoir Identification of Bac-Man Geothermal Field Based on Gravity Anomaly Analysis and Modeling. Journal of Applied Science and Engineering 25 (2), 329-338

Sarkowi M., Wibowo R.C., Karyanto, 2021. Geothermal Reservoir Identification in Way Ratai Area Based on Gravity Data Analysis. Journal of Physics: Conference Series 2110 (2021) 012004. doi:10.1088/1742-6596/2110/1/012004

Sarkowi M. 2014. Eksplorasi gayaberat . PT Graha Ilmu Pers

Sieh, K., Natawidjaja, D.H. 2000. Neotectonics of the Sumatra Fault,Indonesia.Journal of Geophysical Research, 105

Suharno, 2003. Geophysical, geological, and paleohydrological studies of the Rendingan-Ulubelu-Way Panas (RUW) geothermal system, Lampung, Indonesia. Unpublished PhD thesis, Auckland University.

Yorinaldi, Mulyadi, Wintolo, D., Utami, P. 2000. Model Tentatif Daerah Prospek Panasbumi Ulubelu Kabupaten Lampung Selatan, Propinsi Lampung, Berdasarkan Data Magnetotelluric dan DC-Resistivity. Proceedings of Indonesian Association of Geologists the 29th Annual Convention, Bandung.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Analisis Tingkat Kerentanan Lingkungan Berdasarkan Ancaman Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Pesawaran

G Iwang Setiadi , Armijon* , T Christy Novianti

Universitas Lampung, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik,
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima 12/07/2023
Direvisi 10/09/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
Bencana Tanah Longsor
Kerentanan Lingkungan
Rencana Tata Ruang Wilayah
Kabupaten Pesawaran
Sistem Informasi Geografis

A B S T R A K

Berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Pesawaran Nomor 6 Tahun 2019 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Pesawaran Tahun 2019-2039, Kabupaten Pesawaran merupakan wilayah yang berpotensi terjadi bencana tanah longsor. Daerah yang rawan terhadap bencana alam akan menimbulkan aspek kerentanan. Salah satu bagian dari kerentanan dalam bencana adalah kerentanan yang menyangkut aspek lingkungan (ekologis). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerentanan lingkungan di Kabupaten Pesawaran dengan menggunakan metode analisis grid berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan menggunakan metode overlay. Penentuan tingkat kerentanan lingkungan diawali dengan penentuan daerah ancaman longsor dengan menggunakan data Digital Elevation Model (DEM) dan data Zona Kerentanan Pergerakan Tanah (ZKGT). Selanjutnya hasil pemetaan ancaman longsor divalidasi untuk membuktikan keakuratan penentuan daerah ancaman dengan metode pendekatan matriks konfusi. Validasi ini dilakukan dengan menggunakan catatan sejarah bencana. Sedangkan untuk menganalisis kerentanan lingkungan hidup, dilakukan penghitungan luas kawasan lindung (ekologis) yang terkena ancaman bencana tanah longsor berdasarkan administrasi desa sehingga menghasilkan tingkat kerentanan lingkungan hidup. Dari hasil analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tingkat kerentanan lingkungan hidup di Kabupaten Pesawaran termasuk dalam kategori kerentanan tinggi dengan luas lingkungan terancam kerusakan 15.157 ha.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kerentanan bencana alam yang cukup tinggi. Berdasarkan data World Risk Report 2018, Indonesia menempati peringkat ke-36 dengan indeks risiko 10,36 dari 172 negara paling rawan bencana alam di dunia. Kondisi tersebut disebabkan oleh keberadaan Indonesia yang menjadi tempat bertemunya tiga lempeng tektonik dunia yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik (Hadi dkk., 2019).

Kabupaten Pesawaran adalah sebuah kabupaten di Provinsi Lampung. Menurut Peraturan Daerah (Pemda Kabupaten Pesawaran, 2019) nomor 6 Tahun 2019 tentang “Rencana Tata Ruang Kabupaten Pesawaran Tahun 2019-2039”, Kabupaten Pesawaran merupakan daerah rawan bencana. Salah satu kawasan rawan bencana yang disebutkan dalam peraturan tersebut adalah kawasan rawan bencana tanah longsor.

Menurut (BNPB, 2019), zona potensi longsor terjadi pada wilayah dengan kemiringan >15% atau pada wilayah dengan kemiringan lebih dari 8,51°. Pada

* Penulis korespondensi.
E-mail: armijon@eng.unila.ac.id

umumnya daerah seperti ini merupakan daerah dengan topografi pegunungan atau perbukitan. Topografi wilayah Kabupaten Pesawaran berada pada kisaran ketinggian kurang lebih 0-1700 meter di atas permukaan laut dan memiliki empat gunung tinggi yakni Gunung Betung, Gunung Pesawaran, Gunung Ratai, dan Gunung Tanggang sehingga kemungkinan dapat berpotensi terancam longsor. Potensi tersebut dikarenakan daerah pegunungan pada umumnya mempunyai lereng yang curam. Ancaman bencana tanah longsor di Kabupaten Pesawaran tergolong tinggi sehingga dapat menimbulkan permasalahan, salah satunya kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap tingkat kerentanan lingkungan hidup di Kabupaten Pesawaran untuk meminimalisir dampak atau risiko yang ditimbulkan oleh bencana tanah longsor tersebut.

2. Metodologi

2.1. Metode dan Data

Salah satu metode analisis bencana alam adalah pemetaan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG juga dapat digunakan sebagai penetapan suatu unsur kebencanaan atau dengan kata lain SIG mempunyai tingkat keakuratan yang tinggi terhadap suatu lokasi (bencana) melalui koordinat geografis yang diukur. SIG juga berperan dalam melindungi kehidupan sosial, infrastruktur bangunan, analisis kerentanan, kajian kebencanaan, rencana jalur evakuasi dan tempat evakuasi bencana (Armijon, 2019). Penelitian ini menganalisis luasan lingkungan terdampak longsor pada lingkup administrasi desa. Menurut (BNBP, 2012) menyebutkan bahwa analisis kebencanaan dalam lingkup wilayah kabupaten harus memenuhi kedetailan analisis minimal hingga tingkat desa atau kelurahan.

Tahapan analisis diawali dengan penentuan daerah yang terancam akan terjadinya bencana tanah longsor. Daerah terancam bencana tanah longsor dapat diketahui dengan analisis pada zona yang berpotensi terjadinya longsor dan zona runout longsoran (BNPB, 2019). Pada tahapan ini data yang digunakan adalah data Digital Elevation Model (DEM) dan Zona Kerentanan Gerakan Tanah yang didapatkan dari pengolahan tumpang susun dari data kelerengan, curah hujan, jenis tanah, dan tutupan lahan yang bersumber dari instansi Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Pesawaran.

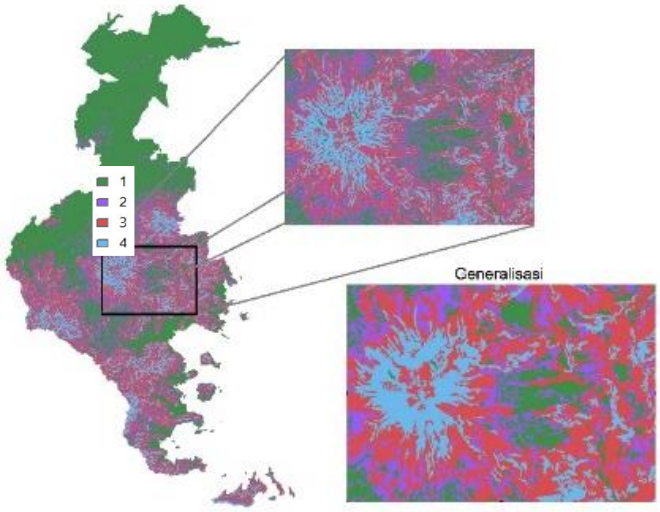
Hasil analisis daerah terancam longsor perlu dilakukan validasi untuk membuktikan kebenaran dan keakuratan hasil pengolahan ancaman longsor. Dalam penelitian ini validasi dilakukan dengan menggunakan catatan sejarah kejadian bencana tahun 2018 sampai dengan 2022. Validasi dilakukan dengan mencocokkan data catatan sejarah kejadian bencana dengan ancaman bencana tanah longsor yang telah dianalisis. Menurut (Isneni dkk., 2020), validasi peta bahaya longsor dapat dilakukan dengan data bahaya longsor masa lalu dengan menggunakan uji akurasi dengan matriks konfusi.

Sementara pada tahapan akhir yaitu analisis tingkat kerentanan lingkungan dilakukan dengan menghitung luas lingkungan yang terkena oleh ancaman bencana tanah longsor berdasarkan administrasi desa. Pada tahapan ini menggunakan data tutupan lahan yang menyangkut kawasan lindung (ekologis) serta batas administrasi desa.

2.2. Analisis

2.2.1 Analisis Ancaman Bencana Tanah Longsor

Analisis ancaman sebagai penentuan zona yang berpotensi terjadi longsoran dilakukan melalui analisis lereng dan Zona Kerentanan Gerakan Tanah. Analisis lereng menghasilkan beberapa kelas kemiringan yaitu kelas persen kemiringan dengan nilai 15 (1), 25 (2), 45 (3), dan >45 (4). Pada tahap analisis kemiringan ini, tujuannya adalah untuk menemukan daerah dengan kemiringan >15 persen sebagai daerah yang berpotensi terjadi longsor (Gambar 1).



Gambar 1. Analisis Lereng.

Zona rawan pergerakan tanah merupakan zona yang dapat terjadinya pergerakan tanah. Zona kerentanan pergerakan tanah (tabel 1) dianalisis menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dengan pembobotan setiap parameter yang dapat menyebabkan pergerakan tanah seperti kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah dan tutupan lahan.

Tabel 1. Penilaian Parameter Zona Kerentanan Gerakan Tanah.

Parameter	Klasifikasi	Skor	Bobot
Kelerengan	0-8%	0	0.35
	8-15%	0.3	
	15-25%	0.6	
	25-45%	0.8	
	>45%	1	
Curah Hujan	2500-3000 mm	0.7	0.20
	>3000 mm	0.9	
Jenis Tanah	Entisols	0.3	0.20
	Inceptisols	0.7	
	Ultisols	0.5	
Tutupan Lahan	Hutan Rimba	0.1	0.25
	Perkebunan	0.2	
	Permukiman	0.8	
	Sawah	0.6	
	Semak belukar	0.4	
	Sungai	0.1	
	Kolam	0.1	
	Tanah kosong	1	
	Tegalan/Lapangan	0.3	

Hasil penilaian setiap parameter zona kerentanan pergerakan tanah dihitung sehingga diperoleh skor total berdasarkan perkalian skor dengan bobot masing-masing parameter (persamaan 1).

$$Skor_Total = (Skor_Kl * Bobot_Kl) + (Skor_Ch * Bobot_Ch) + (Skor_Jt * Bobot_Jt) + (Skor_Tl * Bobot_Tl) \quad (1)$$

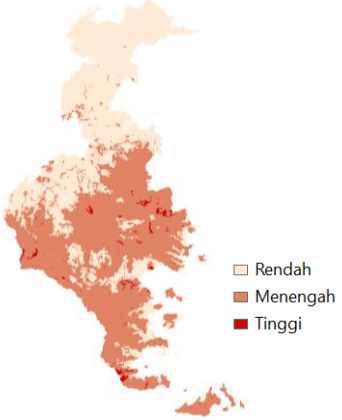
Keterangan :

KL	: Kemiringan Lereng	JT	: Jenis Tanah
CH	: Curah Hujan	TL	: Tutupan Lahan

Sementara itu, pengkelasan zona kerentanan gerakan tanah dihitung menggunakan persamaan interval kelas ZKGT (Persamaan 2) sebagai berikut :

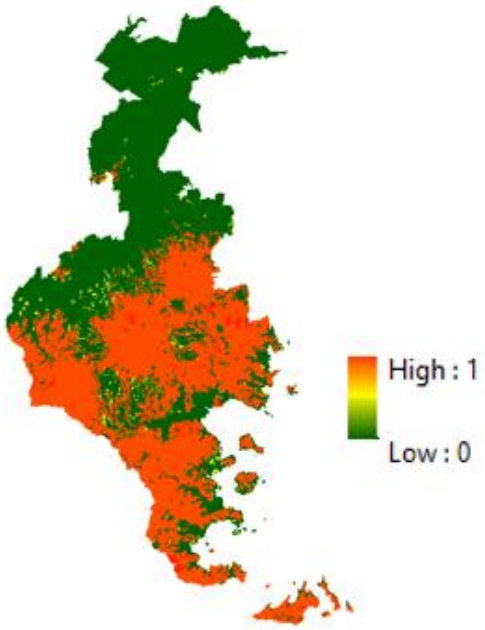
$$\text{Kelas ZKGT} = \frac{Skor\ Tertinggi - Skor\ Terendah}{Jumlah\ Kelas} \quad (2)$$

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan penulis, Kabupaten Pesawaran mempunyai kelas zona kerentanan pergerakan tanah yaitu rendah, sedang, dan tinggi yang tersaji pada Gambar 2.



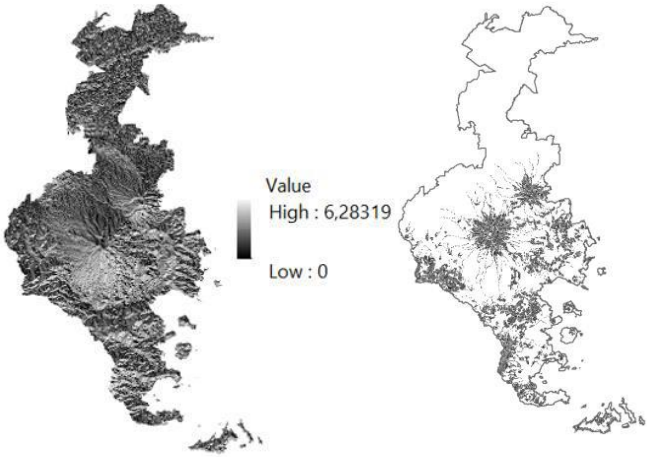
Gambar 2. Zona Kerentanan Gerakan Tanah Kabupaten Pesawaran.

Zona potensi longsor (gambar 3) merupakan zona pemotongan kerentanan pergerakan tanah berdasarkan luas lereng >15%.



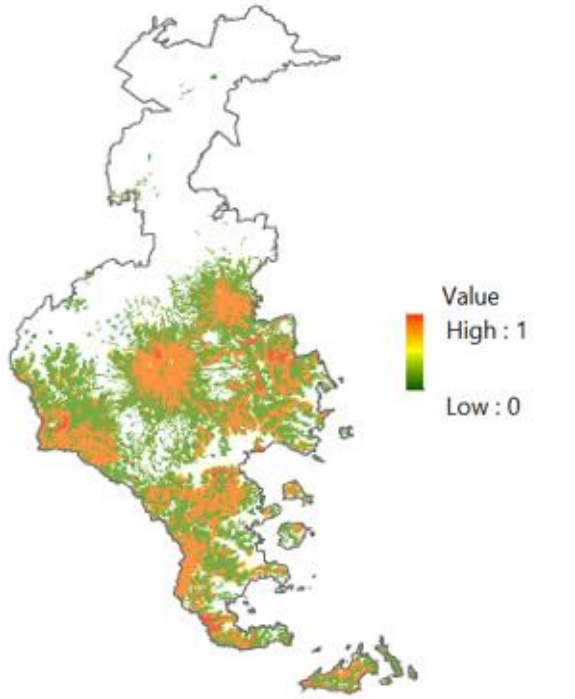
Gambar 3. Zona Potensi Longsor Kabupaten Pesawaran.

Analisis dilanjutkan dengan membuat zona potensial material longsor atau biasa disebut runout. Penghitungan zona runout potensial dilakukan dengan perhitungan data Zona Kerentanan Pergerakan Tanah kelas 2 dan 3 (Sedang dan Tinggi), serta kelas kemiringan >45% (kelas 4). Tahap selanjutnya adalah membuat model runout (Gambar 4). Menurut (Blahut et al., 2010), model *runout* umumnya menggunakan dua jenis algoritma, yaitu algoritma arah aliran yang menghitung jalur yang akan dilalui material longsor dan algoritma yang menentukan jarak runout.



Gambar 4. Flow Direction dan Zona Runout

Ancaman bencana tanah longsor dibuat dengan menggabungkan data skor zona longsor dan skor zona *runout* (Gambar 5).



Gambar 5. Ancaman Bencana Tanah Longsor Kabupaten Pesawaran

2.2.2 Validasi Daerah Terancam Tanah Longsor

Ancaman longsor perlu dilakukan validasi untuk membuktikan kebenaran dan keakuratan hasil pengolahan ancaman longsor. Dalam penelitian ini validasi dilakukan dengan menggunakan catatan sejarah kejadian bencana dalam lima tahun terakhir yaitu tahun 2018 hingga tahun 2022. Validasi dilakukan dengan mencocokkan data catatan sejarah kejadian bencana dengan ancaman bencana tanah longsor yang telah dianalisis. Menurut (Isneni et al., 2020), validasi peta bahaya longsor dapat dilakukan dengan data bahaya longsor masa lalu dengan menggunakan uji akurasi dengan matriks konfusi (lihat tabel 2).

Tabel 2. Validasi Ancaman Tanah Longsor

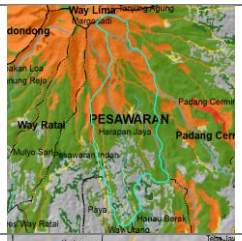
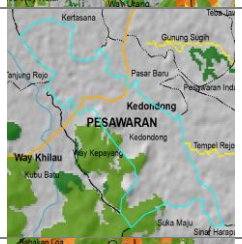
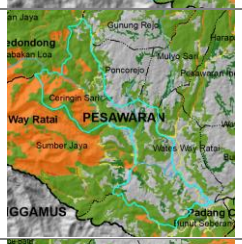
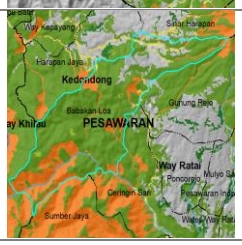
Validasi Daerah Terancam Longsor		Catatan Sejarah Kejadian Bencana Tanah Longsor	
		Tercatat Terjadi	Tidak Tercatat Terjadi
Daerah Terancan Tanah Longsor	Terancam	Benar	Benar
	Tidak Terancam	Salah	Benar

Berdasarkan matriks konfusi pada daerah yang terancam longsor dan tercatat pernah terjadi adalah sebagai berikut dijelaskan pada tabel 3:

Tabel 3. Validasi Pemetaan Ancaman Tanah Longsor

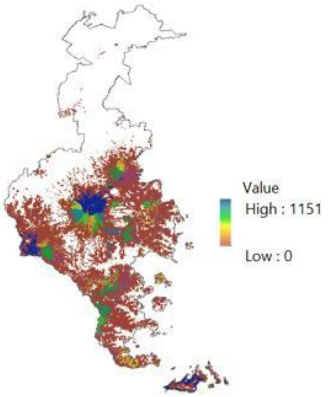
Lokasi Daerah Terancam Longsor	Pemetaan Daerah Terancam Longsor
Desa Sumber Jaya, Kecamatan Way Ratai	
Desa Gebang, Kecamatan Teluk Pandan	
Desa Batu Menyan Kecamatan Teluk Pandan	
Dusun Maja Pasar dan Maja Induk	
Dusun I Desa Kunyaian Kecamatan Marga Punduh	

Dusun Jembat Ayun, Desa Kampung Baru, Kecamatan Marga Punduh	
Desa Banding Agung, Kecamatan Punduh Pidada	
Desa Baturaja Kecamatan Punduh Pidada	
Desa Tanjung Agung Kecamatan Teluk Pandan	
Desa Cilimus Kecamatan Teluk Pandan	
Desa Muncak, Kecamatan Teluk Pandan	
Desa Suka Jaya Lempasing, Kecamatan Teluk Pandan	
Desa Hurun, Kecamatan Teluk Pandan	

Desa Harapan Jaya, Kecamatan Way Ratai	
Desa Kedondong, Kecamatan Kedondong	
Desa Sumber Jaya, Kecamatan Way Ratai	
Desa Ceringin Asri, Kecamatan Way Ratai	
Desa Babakan Loa, Kecamatan Kedondong	

2.2.3 Analisis Tingkat Kerentanan Lingkungan

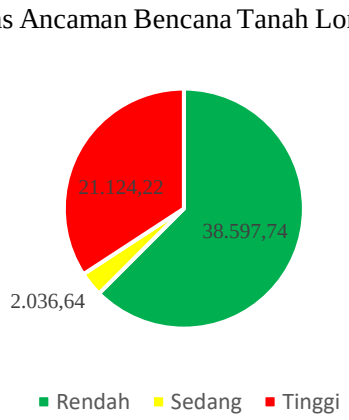
Tingkat kerentanan lingkungan terhadap bencana tanah longsor dianalisis menggunakan data tutupan lahan yang telah direklasifikasi. Menurut (BNBP, 2012) jenis lingkungan hidup yang berfungsi secara ekologis adalah hutan lindung, hutan alam, hutan bakau dan semak belukar.



Gambar 6. Luas Lingkungan Terancam Longsor di Kabupaten Pesawaran.

3. Hasil dan pembahasan

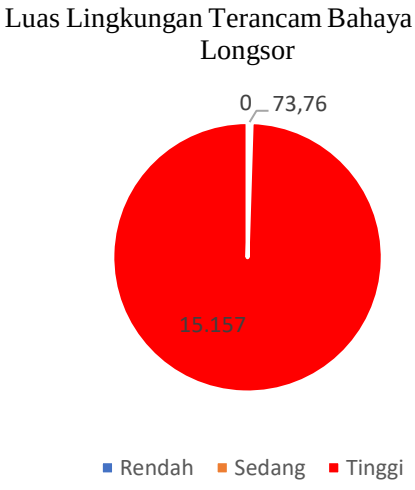
Dari pemetaan ancaman longsor yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dari total 144 desa di Kabupaten Pesawaran, terdapat 111 desa di Kabupaten Pesawaran yang masuk dalam zona ancaman longsor. Wilayah zona ancaman longsor yang paling dominan adalah wilayah rawan rendah sebesar 38.597,74 (Ha) dan wilayah rawan tinggi sebesar 21.124,22 (Ha). Hanya sebagian kecil saja yang mempunyai luas bahaya sedang yaitu 2036,64 (Ha).



Gambar 7. Diagram Luas Ancaman Tanah Longsor Kabupaten Pesawaran.

Dari hasil validasi yang dilakukan dengan mencocokkan hasil pemetaan ancaman bencana tanah longsor dengan catatan sejarah kejadian bencana menunjukkan bahwa seluruh wilayah yang tercatat dalam peristiwa sejarah terpetakan pada wilayah yang terancam bencana tanah longsor.

Analisis luasan lingkungan yang terancam mengalami kerusakan yaitu berada pada kelas sedang dengan luas 73,76 (Ha) dan sebagian besar didominasi oleh kelas tinggi dengan total luas yaitu 15.157 (Ha) tersaji pada Gambar 8..



Gambar 8. Diagram Luas Lingkungan Terancam oleh Tanah Longsor di Kabupaten Pesawaran.

4. Kesimpulan

Hasil Analisis tingkat kerentanan lingkungan menunjukkan bahwa wilayah kajian di Kabupaten Pesawaran memiliki tingkat kerentanan lingkungan yang termasuk dalam kategori kerentanan lingkungan kelas tinggi. Lingkungan yang terancam kerusakan pada kelas tinggi ini terindikasi dengan luasan sebesar 15.157 hektar.

Daftar Pustaka

Armijon, A. (2019). Analisis dan Identifikasi Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Non Alami di Perkotaan Kabupaten/Kota. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Lampung*, *23*(1), 483487.

Ariani, D. M., Armijon, A., & Murdapa, F. (2023). Kajian Risiko Bencana Tanah Longsor Dan Gempa Bumi Kabupaten Pringsewu Provinsi Lampung. *Journal of Geodesy and Geomatics*, *3*(1), 42-53.

BNBP. (2012). *Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tentang Daftar Isi Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko 2 . Lampiran Peraturan*.

BNPB. (2019). *Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tanah Longsor*. *1*, 1–94.

Hadi, H., Agustina, S., & Subhani, A. (2019). Penguatan Kesiapsiagaan Stakeholder dalam Pengurangan Risiko Bencana Alam Gempabumi. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, *3*(1), 30. https://doi.org/10.29408/geodika.v3i1.1476

Isneni, A. N., Putranto, T. T., & Trisnawati, D. (2020). Analisis Sebaran Daerah Rawan Longsor Menggunakan Remote Sensing dan Analytical Hierarchy Process (AHP) di Kabupaten Magelang Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, *3*(3), 149–160. https://doi.org/10.14710/jgt.3.3.2020.149-160

Pemda Kabupaten Pesawaran. (2019). *Peraturan Daerah Kabupaten Pesawaran Nomor 6 Tahun 2019 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Pesawaran Tahun 2019-2039.*

Prasetia, A., Armijon, A., & Rahmadi, E. (2022). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman Di Zona Rawan Bencana Tanah Longsor Pada Kawasan Rawan Bencana Kabupaten Lampung Barat. *Journal of Geodesy and Geomatics*, *2*(2), 1-10.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Sortasi Buah Jambu Kristal (Psidium Guajava L.) Berbasis Citra RGB Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network untuk Membantu Proses Pasca Panen

P B Wintoro[a,*], R A Pradipta[b], M Pratama[c]

[a,b,c]*Program Studi Teknik Informatika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145*

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima 22/07/2023
Direvisi 15/09/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
Sortasi
Smart Farming
Psidum Guajava L.
CNN

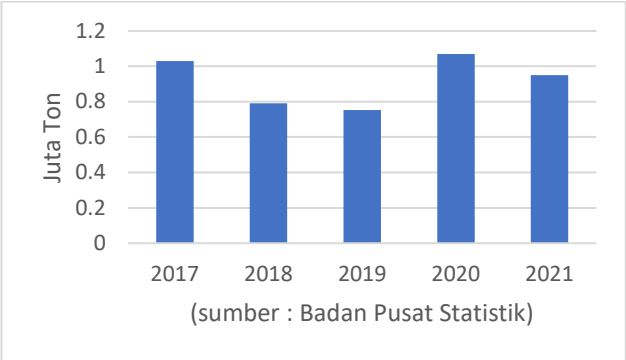
A B S T R A K

Teknologi kecerdasan buatan dapat membantu sektor pertanian dalam mewujudkan smart farming. Salah satu tahapan pertanian yang membutuhkan sentuhan kecerdasan artifisial adalah sortasi buah, yang biasanya dilakukan oleh manusia secara manual. Sortasi buah dilakukan untuk memisahkan antara buah yang layak di pasarkan di supermarket/ekspor, pasar tradisional atau tidak layak pasar. Computer vision merupakan salah satu teknologi kecerdasan buatan yang tepat untuk membantu sortasi buah, karena mampu mengesktrak karakteristik buah sesuai warna dan tekstur dan mengklasifikasikannya sesuai grade yang dibutuhkan pasar. Penelitian ini akan merancang arsitektur Convolutional Neural Network dan menguji tingkat akurasi model sebelum diterapkan pada alat sortasi buah yang sebenarnya. Objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah buah Jambu Kristal (Psidium Guajava L.). Jambu Kristal merupakan salah satu tanaman perkebunan yang sering dibudidayakan petani. Permintaan pasar untuk jambu jenis ini memang cukup tinggi, hal tersebut dikarenakan teksturnya yang gurih dan buahnya yang manis hampir menyerupai buah pir atau apel. Warna kulit pada jambu kristal dapat menjadi ukuran dalam menentukan kematangan dan waktu panen buah tersebut, sehingga cocok jika menggunakan tekologi computer vision untuk membantu sortasi buah jambu kristal. Diharapkan dengan penerapan teknologi kecerdasan artifisial pada sortasi buah, mampu mempercepat penerapan teknologi smart farming di Indonesia, khususnya pada sub sektor holtikultura.

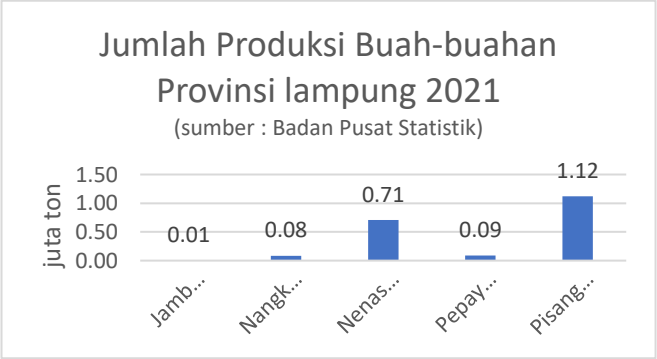
1. Pendahuluan

Pertanian di Indonesia menjadi penyelamat ekonomi Indonesia di masa pandemi. Masa pandemi Covid-19 tidak menutup peluang ekspor produk pertanian Indonesia ke luar negeri. Menurut data yang didapatkan dari kementerian perdagangan pada tahun 2020, pada sub sektor pertanian holtikultura, Indonesia mampu mengekspor 3 ton buah dan sayur segar, seperti jambu merah, jambu kristal, buah naga, lemon kuning, semangka, ubi Murasaki, dan ubi cilembu hanya ke satu negara saja yaitu UEA. Artinya potensi buah dan sayur segar di Indonesia sangat besar untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia khususnya para petani.

* Puput Budi Wintoro
E-mail: budi.wintoro@eng.unila.ac.id



Jambu kristal merupakan salah satu komoditas unggulan holtikultura di Indonesia yang memiliki potensi ekspor yang besar jika dikelola dengan serius. Buah ini bahkan mampu tumbuh hampir di seluruh wilayah Indonesia, seperti daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, DIY, Lampung, Kalimantan Barat, Sulawesi Selatan, Bengkulu dan NTB. Dagingnya yang renyah dan rasanya yang manis bahkan nyaris tanpa biji menjadikan buah ini sangat diminati dan berpeluang menjadi alternatif pilihan buah unggulan ekspor selain pir dan apel. Potensi tersebut masih belum dikelola secara maksimal. Untuk dapat memaksimalkan potensi pertanian khususnya pada budidaya jambu kristal, perlu menggalakkan penerapan teknologi yang lebih komprehensif seperti salah satunya adalah teknologi kecerdasan buatan pada tiap tahapan pertanian.



Gambar 2 menunjukkan bahwa produksi buah-buahan unggulan ekspor Indonesia di provinsi Lampung masih belum maksimal jika dibandingkan dengan kebutuhan ekspor yang tinggi khususnya pada tanaman jambu biji kristal (Psidium Guajava L.). Permasalahan utama penyediaan komoditas pertanian termasuk holtikultura di Indonesia adalah minimnya penerapan teknologi pascapanen, salah satunya adalah pada tahap sortasi buah untuk menentukan kualitas buah sesuai target pasar. Proses sortasi buah jambu kristal selama ini masih dilakukan secara manual, sehingga berpotensi menyebabkan tidak standarnya kualitas buah di pasaran dan juga lamanya buah untuk sampai di pasar. Teknologi yang mampu membantu tahapan sortasi buah adalah computer vision dengan menggunakan algoritma deep learning yaitu convolutional neural network, yang mampu melakukan klasifikasi kualitas buah sesuai grade yang dibutuhkan.

Penelitian ini akan menguji tingkat akurasi algoritma convolutional neural network untuk mengklasifikan citra untuk membantu tahapan sortasi buah jambu kristal. Diharapkan dengan penerapan algoritma ini pada tahapan sortasi mampu meningkatkan kualitas buah di pasar sehingga mampu bersaing baik d level nasional maupun internasional.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sortasi

Sortasi buah adalah proses pengelompokan buah berdasarkan kriteria tertentu, seperti ukuran, warna, kualitas, dan kematangan. Tujuannya adalah untuk memisahkan buah yang baik dan sesuai standar dari buah yang cacat atau tidak sesuai standar. Proses sortasi buah sangat penting bagi industri perdagangan buah, karena memastikan bahwa konsumen menerima produk yang berkualitas dan memenuhi standar. Sortasi buah juga membantu meningkatkan efisiensi dalam pengiriman dan penyimpanan buah, karena memastikan bahwa buah yang sama dikelompokkan bersama-sama(Pramono C., 2018).

2.2. Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network atau disingkat CNN adalah jenis jaringan saraf tiruan yang digunakan untuk tugas pengolahan citra. CNN dirancang untuk menangani tugas pengenalan pola dan klasifikasi pada data citra, dan sering digunakan dalam aplikasi seperti pengenalan wajah, pengenalan objek, dan analisis citra medis. CNN memiliki beberapa fitur unik seperti arsitektur yang terdiri dari lapisan konvolusi, pooling, dan fully connected layer, dan memiliki kemampuan untuk menangani citra dengan ukuran yang berbeda-beda. Kelebihan utama dari CNN adalah kemampuannya untuk menangani dan mengekstrak fitur penting dari citra, sehingga mempermudah tugas pengenalan pola dan klasifikasi (Rahim A., 2020).

2.3. Psidium Guajava L.

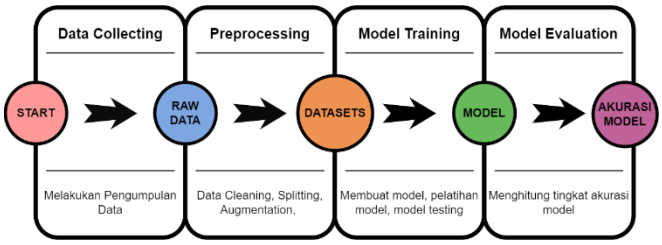
Psidium guajava L., yang lebih dikenal sebagai jambu biji, adalah tanaman yang berasal dari Amerika Tropis, tetapi sekarang tersebar luas di seluruh dunia. Tanaman ini terkenal karena buahnya yang berwarna hijau atau kuning, dengan daging yang manis dan sedikit masam. Berikut ini adalah beberapa aspek penting yang berkaitan dengan Psidium guajava L. berdasarkan tinjauan pustaka:

- Deskripsi Botani: Jambu biji adalah pohon dengan tinggi hingga 10 meter, daunnya berbentuk oval, dan buahnya berdiameter antara 3 hingga 10 cm dengan daging buah yang manis dan sedikit masam.
- Komposisi Kimia: Buah jambu biji mengandung sejumlah senyawa bioaktif seperti vitamin C, vitamin A, serat, flavonoid, polifenol, karotenoid, kalium, dan magnesium. Kandungan antioksidannya tinggi, memberikan manfaat kesehatan.
- Manfaat Kesehatan: Jambu biji dikaitkan dengan sejumlah manfaat kesehatan, termasuk efek antioksidan, dukungan untuk sistem pencernaan, penguatan sistem kekebalan tubuh, dan pengendalian kadar gula darah.
- Pemanfaatan Tradisional: Di berbagai negara tropis, jambu biji telah digunakan secara tradisional untuk pengobatan berbagai penyakit dan gangguan kesehatan.
- Potensi Industri: Selain sebagai buah segar, jambu biji dapat diolah menjadi berbagai produk makanan dan minuman seperti jus, selai, dan sirup.

Dengan berbagai manfaat kesehatan dan potensi industri yang dimilikinya, Psidium guajava L. adalah tanaman yang penting dalam konteks agribisnis dan kesehatan. Sharma, P., Ahuja, D., & Bhardwaj, A. (2018)

3. Metodologi

Ada 6 tahapan penelitian yang dibagi menjadi 2 bagian, yaitu 2 tahapan persiapan dan 4 tahapan implementasi. Tahapan persiapan sudah dilakukan yaitu studi literatur dan survey, sedangakan tahapan implementasi terdiri dari 4 tahapan, yaitu: data collecting, data preprocessing, model training, model evaluation. Gambar 3 menunjukkan diagram alir tahapan penelitian ini.

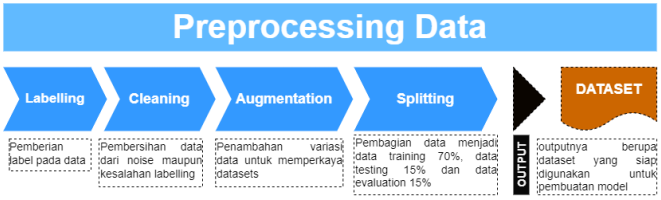


3.1. Data collecting

Tahapan pertama pada penelitian ini adalah data collecting atau pengumpulan data. Data pada penelitian ini adalah citra jambu kristal yang diambil dari perkebunan milik warga di kelurahan Sribasuki, Kotabumi, Lampung Utara. Pengambilan data dilakukan dengan pemotretan langsung hasil panen pada perkebunan tersebut khususnya setelah dilakukan sortasi pada hasil panen sesuai grade.

3.2. Data preprocessing

Data citra jambu kristal yang telah terkumpul pada tahapan data collecting masih berupa data mentah yang belum siap untuk digunakan. Ada 3 tahapan penting pada data preprocessing yang perlu dilakukan , antara lain : Labelling, Data Cleaning, Data Augmentasion. Output dari tahapan ini adalah dataset yang siap digunakan untuk pembuatan model. Gambar 3 menunjukkan tahapan data preprocessing



Gambar 4. Tahapan preprocessing data

3.3. Model training

Tahapan model training dilakukan menggunakan perangkat computer dengan menggunakan software jupyter notebook. Perancangan model sesuai dengan

onfigurasi yang ada pada setiap arsitektur CNN, yaitu dengan mengatur beberapa parameter seperti jumlah layer convolusi, filter,padding, activation, input_shape, pooling, jenis optimizer, loss function dan metrics.

3.4. Model evaluation

Proses ini dilakukan untuk mengevaluasi performa klasifikator dengan menggunakan menggunakan metric Accuracy. Adapun parameter penting yang didapatkan adalah accuracy. Accuracy didapatkan dengan membandingkan jumlah prediksi benar dengan total data pengujian.

4. Hasil dan pembahasan

4.1. Pengumpulan data

Pada tahapan ini diperoleh dataset yang digunakan dari tahapan perancangan sebelumnya. Dataset yang dikumpulkan terdiri dari 500 data yang dikumpulkan secara mandiri dengan cara memfoto langsung dan mencarinya dari internet. Untuk memenuhi jumlah dataset, akan dilakukan augmentasi menggunakan library keras ImageDataGenerator agar data dapat mencukupi kebutuhan. Tiap data pada dataset merupakan gambar berekstensi .jpg atau Joint Photographic Experts Group. Dataset tersebut diperoleh dengan cara meletakkan ke dalam folder yang telah ditentukan.

4.2 Pengolahan data

Pada tahapan ini penulis mengolah dataset yang sudah dikumpulkan sebelumnya untuk selanjutnya dibagi dan diaugmentasi.

1. Cleaning data

Pada tahapan ini dilakukan crop secara manual terhadap data resolusi foto menjadi 512x384px, juga dilakukan convert format dari jpg ke PNG.

2. Pembagian data

Pada tahapan ini penulis membagi dataset yang dikumpulkan menjadi beberapa bagian yaitu data latih (training), data validasi (validation), dan data uji (testing), dengan rasio masing-masing sebesar 0.7, 0.15, dan 0.15 dari total seluruh data yang berasio 1. Dari pembagian tersebut diperoleh 1850 data latih, 402 data validasi, dan 395 data uji. Rasio pembagian dataset tersebut akan mempengaruhi jumlah langkah pada pelatihan dan pengujian model nantinya.

3. Augmentasi data

Penulis melakukan augmentasi data untuk kemudian digunakan pada model yang dibuat. Adapun pada penelitian ini, penulis menggunakan argumen dan memberikan nilai pada argumen tersebut sebagai berikut:

1. Argumen rescale diberikan nilai 1./255.
2. Argumen height_shift_range diberikan nilai sebesar 0.1
3. Argumen shear_range diberikan nilai sebesar 0.
4. Argumen zoom_range diberikan nilai sebesar 0.1
5. Argumen horizontal_flip diberikan nilai True
6. Argumen vertial_flip diberikan nilai True
7. Argumen validation_split bernilai 0.1

Setelah mengisi argumen pada kelas ImageDataGenerator, terdapat tahapan untuk menyimpan data yang sudah diberikan argumen ke masing-masing variabel seperti variabel train_generator, test_generator, dan validation_generator. Pada tahapan ini, penulis melakukan inisialisasi terhadap variabel train_generator, test_generator, dan validation_generator dengan menggunakan fungsi flow_from_directory dari kelas ImageDataGenerator. Pada tahapan ini penulis menginialisasi variabel BATCH_SIZE = 64, TARGET_SIZE = (300,300), dan save_to = ‘./data/’. Penulis kemudian mengisi nilai argumen pada fungsi flow_from_directory ini yaitu sebagai berikut: base_path, mengisi nilai target_size dengan variabel TARGET_SIZE, mengisi nilai batch_size dengan variabel BATCH_SIZE, mengisi nilai class_mode dengan ‘categorical’.

Setelah melakukan augmentasi data, maka diperoleh sebanyak 2.647 gambar untuk masing-masing kelas. Dari total gambar tersebut 1850 gambar digunakan sebagai data latih, 402 gambar sebagi data uji, dan 395 gambar sebagai data validasi. Masing-masing data tersebut akan digunakan pada proses pelatihan, validasi, dan pengujian atau evaluasi model

4.3 Perancangan model

Pada tahapan ini penulis melakukan pengaturan fungsi dan lapisan-lapisan yang akan digunakan untuk arsitektur CNN. Model yang dibuat adalah Sequential dengan memiliki 4 layer convolusi, 1 Fully Connected Layer dan 1 Output Layer. Tabel 2 menunjukkan detail layer konvolusi. Selain layer selanjutnya adalah Fully Connected Layer dengan jumlah neuron 64 dan activation relu. Kemudian di lapisan output jml neuron adalah 2 karena ada 2 kategori dan activation yang digunakan adalah softmax. Gambar 2 menunjukkan Summary Model yang telah dibuat.

Tabel 2 Detail 4 layer konvolusi

	Layer1	Layer2	Layer3	Layer4
Conv	Conv2D	Conv2D	Conv2D	Conv2D
Filters	32	64	32	32
Kernel	3	3	3	3
Padding	Same	Same	Same	same
Act	relu	relu	relu	relu
pool	MaxPooling2D (pool_size=2)	MaxPooling2D (pool_size=2)	MaxPooling2D (pool_size=2)	MaxPooling2D (pool_size=2)

4.4 Penyusunan model

Pada tahap ini penulis menyusunan (compile) model dengan optimizer, dan metrics yang diuji. Detail tahapan compile ditunjukkan table 4

Tabel 4 Penyusunan (Compile) Model

Model	Optimizer	Loss	metrics
Model1	Adam	categorical_crossentropy	acc
Model2	RMSProp	categorical_crossentropy	acc
Model3	SGD	categorical_crossentropy	acc

4.5 Pelatihan model

Pada tahapan ini penulis melakukan pelatihan pada masing-masing model dengan optimizer dan learning rate yang berbeda. Pada tahap ini, model dilatih selama 20 epoch.

4.6 Evaluasi model

Pada tahapan ini diperoleh akurasi model untuk setiap optimizer dengan menggunakan metode evaluate terhadap variabel model. Tabel berikut merupakan nilai akurasi yang diperoleh dari masing-masing model.

Parameter	Optimizer		
	Adam	RMSProp	SGD
Train_loss	0.0145	0.0607	0.6016
Train_acc	0.996	0.9805	0.6777
Test_loss	1.0781	0.892	0.7784
Test_Acc	0.701	0.6759	0.332

Berdasarkan tabel di atas, nilai akurasi model terbaik berdasarkan parameter test_acc yaitu sebesar 70.01% yang dimana model tersebut menggunakan optimizer Adam.

4. Kesimpulan

Model machine learning pada sistem sortasi buah jambu kristal yang dirancang menggunakan optimizer Adam memiliki akurasi yang lebih baik yaitu sebesar 70.01% dibandingkan dengan model yang dirancang menggunakan optimizer SGD dengan nilai accuracy ??? dan RMSProp dengan nilai accuracy 70.01% l.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih saya tujukan kepada penyumbang dana yaitu DIPA Fakultas Teknik dan kepada seluruh tim peneliti baik dosen dan mahasiswa yang telah ikut berpartisipasi dalam menyukseskan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Dandavate, R., & Patodkar, V. (2020). CNN and data augmentation based fruit classification model. Proceedings of the 4th International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, ISMAC 2020, 784–787. https://doi.org/10.1109/I-SMAC49090.2020.9243440

Helsaputra, A., Luhur Prasasti, A., & Septiawan, R. R. (2021). Implementasi Deep Learning Untuk Prediksi Tingkat Kematangan Dan Bobot Buah Pepaya Deep Learning Implementation For Weight And Ripeness Prediction Of Papaya. 8(6), 11993.

Iskandar Mulyana, D., Akbar, A., Zikri, M., Informatika, T., & Cipta Karya Informatika, S. (2022). Optimasi Klasifikasi Buah Anggur Menggunakan Data Augmentasi dan Convolutional Neural Network. 11(2).

Khayer, M. A., Hasan, M. S., & Sattar, A. (2021). Arabian date classification using CNN algorithm with various pre-trained models. Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks, ICICV 2021, 1431–1436. https://doi.org/10.1109/ICICV50876.2021.9388413

Pramono C., Suharno K., Putranto R.A.(2018). "Pengaruh Waktu Grading Terhadap Kualitas Biji Kopi Arabika". Seminar Nasional Edusainstek ISBN : 978-602-5614-35-4 FMIPA UNIMUS 2018

Rahim A., Kusrini, and Luthfi E. T. (2020). "Convolutional Neural Network Untuk Kalasifikasi Penggunaan Masker." Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi, vol. 10, no. 2, pp. 109 – 115. 2020. P-ISSN: 2088-6705. E-ISSN: 2621-5608.

Saveetha Engineering College. Department of Electronics and Communication Engineering, Saveetha Engineering College. IEEE Student Branch, Institution of Electronics and Telecommunication Engineers (India), & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). 7th International Conference on "Smart Structures and Systems" : 23rd & 24th July, 2020.

Berbner, S., Loffler, F. (1994) Pulse jet cleaning of rigid ceramic barriers filters separating hard and brown coal fly ashes at high temperature, *Proceeding of the 11th International Pittsburgh Coal Conference*, Pittsburgh, 12-16 September, 1357-1363.

Primack, H.S. (1983) Method of Stabilizing Polyvalent Metal Solutions, *U.S. Patent No. 4,373,104*

Riley, R. J. (1987) The magnetically stabilized fluidized bed as a solid/liquid separator, *M.S. Thesis* University of Michigan, U.S.A.

Kurniawan, R. (2023) Implementasi Arsitektur Xception Pada Model Machine Learning Klasifikasi Sampah Anorganik, Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, Vol. 11 No 2.

Serbezov, A. S., Sotirchos, S. V., García, M. T. (1997) Mathematical modeling of the adsorptive separation of multicomponent gaseous mixtures, *Chemical Engineering Science*, 52, 79-91.

Shinnar, R. (1987), *Use of residence and contact time distributions in reactor design*, dalam Carberry, J. J., Varma, A. (eds.), *Chemical Reaction and Reactor Engineering*, Marcel Dekker, New York.

Skelland, A. H. P. (1974) *Diffusional Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Pengaruh Torefaksi Terhadap Karakterstik Kulit Manggis Sebagai Bahan Bakar Padat

Hadi Prayitno*, Amrul, Herry Wardono dan Ihsan Restu Maulana Supriatna

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung , Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima 24/07/2023
Direvisi 17/09/2023
Publikasi 12/12/2023

Kata kunci:
Bahan Bakar Padat
Energi Baru dan Terbarukan
Kulit Manggis
Torefaksi

A B S T R A K

Potensi sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dari biomassa mencapai 146,7 juta ton per tahun. Salah satu biomassa yang dioptimalkan sebagai bahan bakar padat adalah limbah kulit manggis. Karakteristik kulit manggis sebagai bahan bakar dapat ditingkatkan melalui proses konversi termal yaitu torefaksi. Torefaksi sangat dipengaruhi oleh temperatur operasi, ukuran biomassa, waktu tinggal dan jenis biomassa. Perlu adanya perlakuan awal sebelum kulit manggis ditorefaksi yaitu dikeringkan secara alami dengan panas matahari. Agar diperoleh hasil yang lebih optimal kulit manggis setelah kering dicacah terlebih dahulu dengan ukuran 10-20 mm. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur kerja proses torefaksi yaitu 250, 275 dan 300°C dengan waktu tinggal 30 menit. Torefaksi dilakukan dengan menggunakan reaktor kontinu tipe tubular sistem *oil jacket.* Sumber pemanas yang digunakan reaktor ini adalah LPG. Untuk mengetahui nilai kalor hasil torefaksi dilakukan pengujian nilai kalor dengan bomb kalorimeter. Selanjutnya dilakukan analasis *proxymate* dan *ultimate*, untuk mengetahaui karakteristik kulit manggis tertorefaksi. *Mass yield* dan *energy yield* dianalisis dengan mengukur penurunan massa setelah torefaksi dan nilai kalor produk. Produk torefakasi kulit manggis memiliki nilai kalor 6876 kkal/kg pada temperatur 300°C meningkat sebesar 21,57% dari mentahnya. Setelah ditorefaksi kadar air dan zat volatil yang menurun serta persetasi karbon tetap meningkat. *Mass yield* dan *energy yield* setelah ditorefaksi pada temperatur 300°C menurun sebesar 44% dan 31,93%. Kandungan oksigen dan hidrogen yang tersimpan menurun pada setiap peningkatan temperatur kerja torefaksi. Nilai kalor produk torefaksi kulit manggis pada temperatur 300°C setara dengan batubara bituminous c, terlihat dari perbandingan atom H/C dan O/C yang menurun..

* Penulis korespondensi.
E-mail: hadi.prayitno@eng.unila.ac.id

1. Pendahuluan

Kepala Badan Geologi Kementerian ESDM, Surono mengatakan ketergantungan energi fosil terutama batubara yaitu mencapai 29 persen sedangkan cadangan batubara diperkirakan hanya cukup untuk 80 tahun yang akan mendatang. Sebagai salah satu negara yang kaya akan potensi sumber daya energi terbarukan, Indonesia sangat mampu untuk bisa terbebas dari kekhawatiran akan ketersediaan bahan bakar fosil yang kian menipis. Dengan syarat utamanya yaitu adanya pengembangan pengolahan dan teknologi yang optimal. Salah satu potensi sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang paling melimpah jumlahnya di Indonesia adalah biomassa. Potensi biomassa di Indonesia yang relatif sangat besar yaitu hingga 146,7 juta ton per tahun.

Buah manggis merupakan salah satu buah khas dari hutan hujan tropis seperti Malaysia dan termasuk Indonesia. Kulit buah manggis merupakan cangkang yang dibuang konsumen atau dapat disebut dengan limbah pertanian dengan produksi di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 303.934 ton. Kulit buah manggis dimanfaatkan sebagai zat warna hitam untuk makanan dan industri tekstil, sedangkan getah kuningnya dimanfaatkan sebagai bahan baku cat dan insektisida. Biomassa kulit manggis memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi yaitu sekitar 48,81 % serta memiliki *fixed carbon* yang lebih tinggi dibanding tempurung kelapa dan bonggol jagung. Kandungan *fixed carbon* ini menunjukkan jumlah karbon maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu biomassa setelah proses *thermal treatment*.

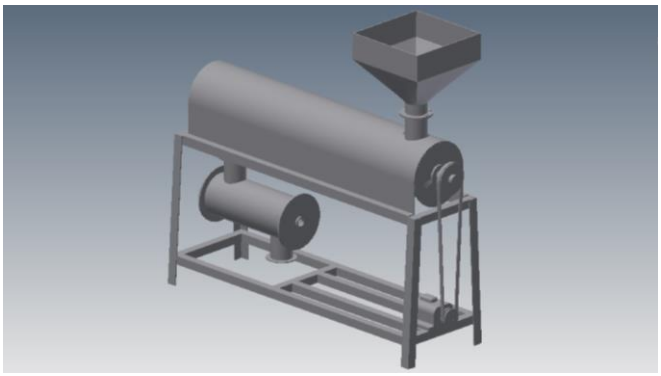
Salah satu metode untuk menjadikan *waste to energy* adalah dengan proses thermal treatment pada biomassa yaitu dengan mengkonversi biomassa menggunakan proses torefaksi. Torefaksi atau pirolisis ringan merupakan proses thermal treatment pada temperatur 200-300°C pada tekanan atmosfer dalam kondisi inert atau tanpa adanya oksigen. Hasil utama dari proses torefaksi yaitu berupa padatan dan gas. Torefaksi biomassa dapat menghasilkan bahan bakar padat setara batubara *sub-bituminous*.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian torefaksi limbah kulit manggis untuk meningkatkan kualitas kulit manggis sebagai bahan bakar padat dengan menggunakan tiga variasi temperatur pengujian yang berbeda yaitu 250, 275 dan 300°C. Kulit manggis yang telah ditorefaksi dilakukan pengujian *calorific value*, nilai *proxymate*, nilai *ultimate*, *mass yield* dan *energy yield* untuk mengetahui karakteristik bahan bakar padat yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan spesimen limbah kulit manggis karena keunikan dari karakteristik kulit manggis yang mendekati karakteristik batubara serta sebagai salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan batubara di masa mendatang.

2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari reaktor tipe tubular, *thermocouple* tipe K 12 *channel temperature recorder datalogger*, pemantik api, gas LPG 12 kg beserta regulator, sarung tangan tahan panas dan timbangan digital. Spesimen yang digunakan adalah kulit manggis yang memiliki rentan ukuran 10 mm hingga 20 mm yang telah dijemur terlebih dahulu dibawah terik matahari. Dapat dilihat pada Gambar 1 merupakan gambar 3D reaktor torefaksi yang digunakan.



Gambar 1. Gambar 3D reaktor torefaksi kontinu tipe tubular.

2.2. Prosedur percobaan

Pengujian torefaksi dilakukan menggunakan reaktor kontinu tipe tubular dengan sistem *oil jacket* dan sumber pemanas LPG. Temperatur reaktor diukur menggunakan *thermocouple* yang terhubung dengan 12 *Channel Temperature Recorder Datalogger*. *Thermocouple* dipasang pada posisi material masuk (*inlet*), bagian tengah tabung reaktor (*center*), dan posisi keluar material (*outlet*). Proses awal yang diperlukan adalah menghidupkan reaktor hingga mencapai temperatur kerja yang diinginkan yaitu 250°C untuk temperatur kerja awal kemudian setelah stabil dilakukan proses *input* sampel untuk pengujian dan setelah sampel keluar maka dilakukan *input* sampel kembali dengan menggunakan variasi temperatur kerja yang berbeda yaitu 250 dan 300°C.

Mekanisme pengujian ini dilakukan dengan menguji seluruh sampel dengan memasukan sampel secara bertahap yaitu 100 gram untuk setiap 1 menit, sehingga 300 gram untuk setiap variasi temperatur dilakukan dalam 3 kali tahap pemasukan sampel untuk mencegah terjadinya kemacetan pada *screw conveyor*. Variasi temperatur torefaksi yang digunakan yaitu

250°C, 275°C, dan 300°C serta parameter lainnya yaitu waktu tinggal (*resident time)* selama 30 menit.

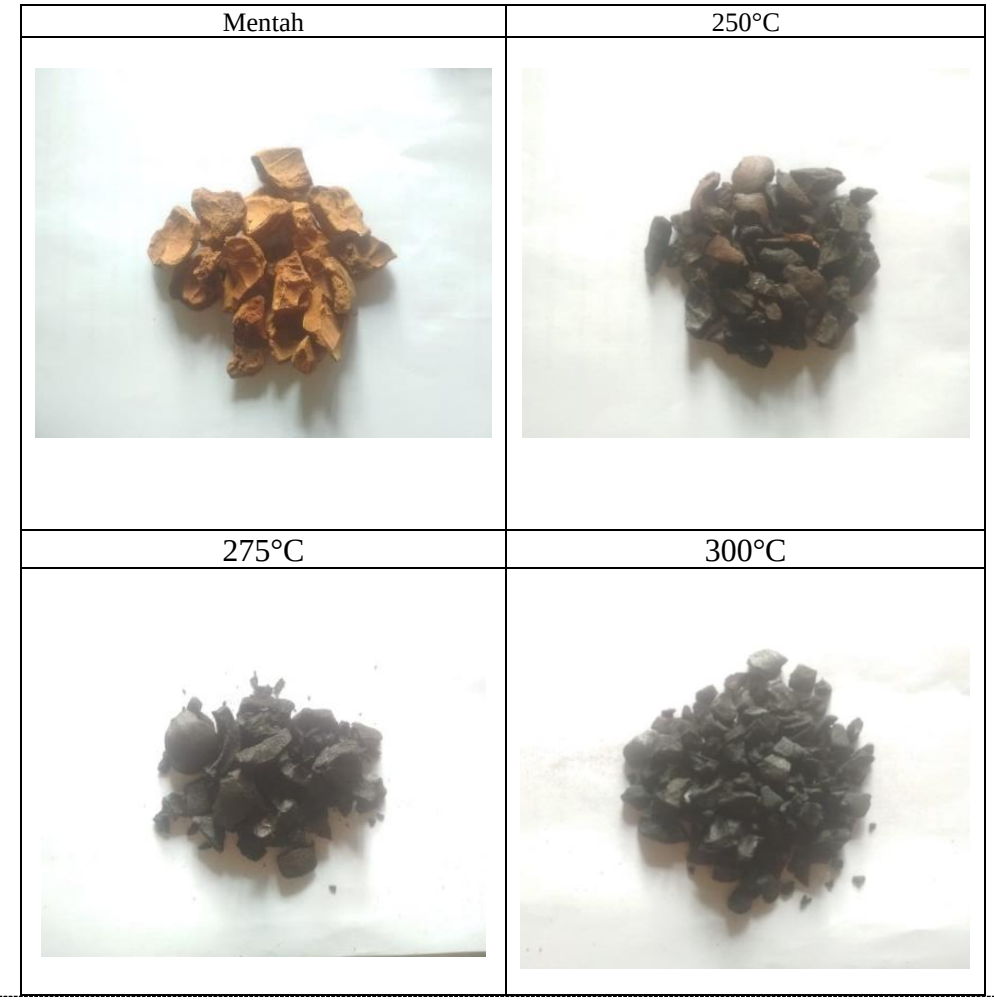
2.3. Analisis

Setelah seluruh sampel dilakukan torefaksi dan didapatkan produk torefaksi, selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium secara bertahap dimana sampel diaduk dan diambil secara acak pada setiap variasi temperatur. Sampel yang telah diambil kemudian dilakukan pengujian laboratorium yang meliputi sampel mentah dan sampel hasil torefaksi setiap variasi temperatur untuk dilakukan pengujian karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi yang meliputi pengujian *proxymate*, pengujian *ultimate*, dan pengujian nilai kalor serta *mass yield* dan *energy yield*.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Perubahan Visual dan Fisik

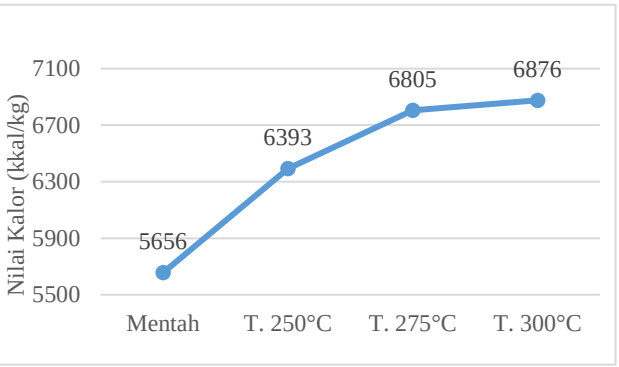
Sampel biomassa kulit manggis produk torefaksi mengalami perubahan visual yaitu rona wama menjadi kehitaman seperti arang. Perubahan warna pada sampel biomassa kulit manggis mengalami perubahan yang beragam sesuai dengan variasi temperatur yang digunakan. Semakin tinggi temperatur torefaksi yang diaplikasikan, maka semakin pekat warna dari produk torefaksi kulit manggis. Warna hitam paling pekat dari produk torefaksi kulit manggis adalah pada temperatur 300°C. Selain perubahan wama, perubahan juga terjadi pada sifat kekerasan dan keuletan dari sampel biomassa kulit manggis yang menjadi lebih rapuh setelah ditorrfaksi. Hasil ini sejalan dengan pendapat bahwa proses torefaksi mengubah bentuk visual menjadi kehitaman dan menjadikan produk lebih lunak sehingga mudah untuk dihancurkan yang artinya *grindability* meningkat. Dapat dilihat pada Gambar 2. merupakan bentuk visual sampel kulit manggis.



Gambar 2. Bentuk dan visual sampel kulit manggis mentah serta produk kulit manggis yang ditorefaksi.

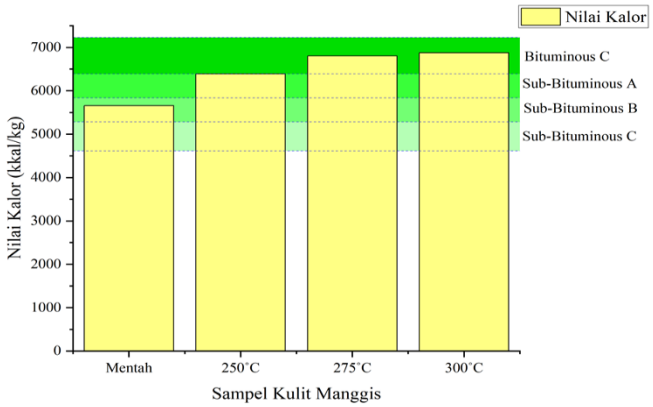
3.2. Nilai Kalor

Produk torefaksi biomassa kulit manggis memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding dengan biomassa kulit manggis mentah yang ditampilkan dalam bentuk grafik kenaikan nilai kalor biomaasa kulit manggis setelah ditorefaksi pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik nilai kalor produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 3. menunjukkan nilai kalor tertinggi diperoleh dari produk torefaksi kulit manggis pada temperatur 300°C sebesar 6.876 kkal/kg. Peningkatan nilai kalor produk torefaksi yang signifikan terjadi pada temperatur 250°C menuju temperatur 275°C dengan selisih sebesar 412 kkal/kg. Peningkatan nilai kalor pada kulit manggis mentah hingga nilai kalor produk torefaksi pada temperatur 300°C secara berturut turut terjadi kenaikan yaitu 13,03% pada temperatur 250°C, kemudian terjadi kenaikan nilai kalor sebesar 20,31% pada temperatur 275°C dan kembali meningkat menjadi sebesar 21,57%. pada temperatur 300°C. Berdasarkan klasifikasi ASTM D-388, produk torefaksi pada temperatur 300°C setara dengan batubara *bituminous c*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini merupakan plot klasifikasi nilai kalor produk torefaksi kulit manggis.

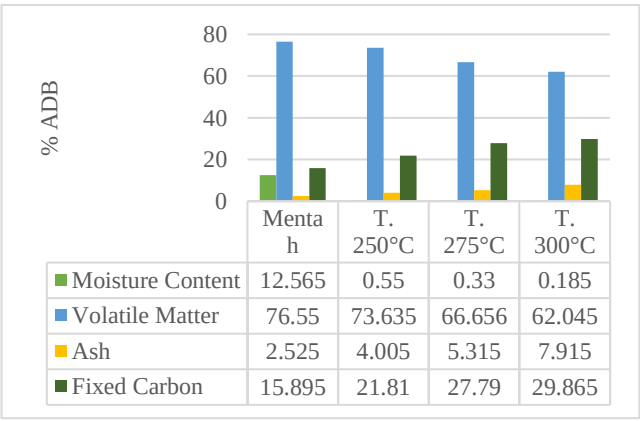


Gambar 4. Plot klasifikasi nilai kalor produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 4 menunjukkan produk torefaksi kulit manggis dengan temperatur 275 °C dan 300 °C masuk dalam klasifikasi batubara *bituminous c* dengan nilai kalor pada temperatur 275 °C sebesar 6805 kkal/kg dan pada temperatur 300 °C sebesar 6876 kkal/kg. Untuk temperatur 250 °C masuk dalam golongan batubara sub-bituminous a dengan nilai kalor sebesar 6393 kkal/kg**.**

3.3. Pengujian Proxymate

Pengujian proxymate dilakukan untuk mengetahui karakteristik suatu bahan bakar padat dengan mengidentifikasi beberapa parameter ukuran kualitas suatu bahan bakar padat yang terdiri dari kadar air (moisture content), kandungan zat volatil (volatile matter), kadar abu (ash) dan karbon tetap (fixed carbon). Hasil pengujian ini ditunjukkan dalam bentuk diagram dalam Gambar 5 di bawah ini.



	Mentah	T. 250°C	T. 275°C	T. 300°C
Moisture Content	12.565	0.55	0.33	0.185
Volatile Matter	76.55	73.635	66.656	62.045
Ash	2.525	4.005	5.315	7.915
Fixed Carbon	15.895	21.81	27.79	29.865

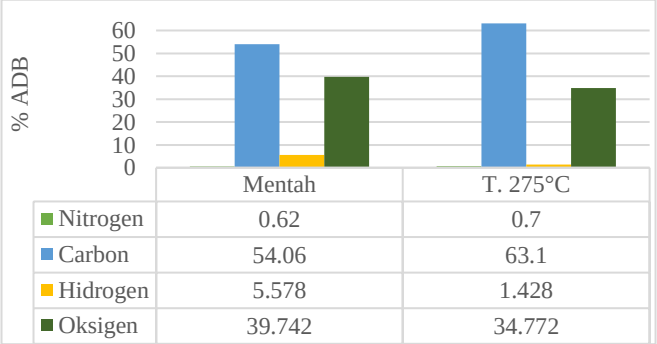
Gambar 5. Hasil uji *proxymate* produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 5. merupakan hasil uji *proxymate* menunjukan persentase kandungan *fixed carbon* tertinggi pada ternperatur 300°C yakni sebesar

29,865% dan terendah pada sarnpel mentah sebesar 15,895%. Sedangkan persentase kandungan *volatile matter* menurun mencapai 62,045% pada ternperatur 300°C dibandingkan dengan sampel mentah sebesar 76,55%. Proses torefaksi mampu mengurangi kandungan air dari sampel mentah dari 12,565% sampai dengan 0,185% seiring dengan kenaikan temperatur torefaksi. Sedangkan kadar abu setelah dilakukan torefaksi tersisa kadar abu yang relatif kecil antara 2,525% sampai dengan 7,915%. Proses torefaksi biomassa kulit manggis menghasilkan produk bahan bakar padat yang memiliki kadar air dan kadar zat volatil yang rendah dengan nilai kalor yang meningkat.

3.4. Pengujian Ultimate

Hasil uji *ultimate* digunakan untuk mengidentifikasi kandungan unsur-unsur pentusun bahan bakar padat dengan menampilkan hasil nya dalam bentuk persentase. Dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



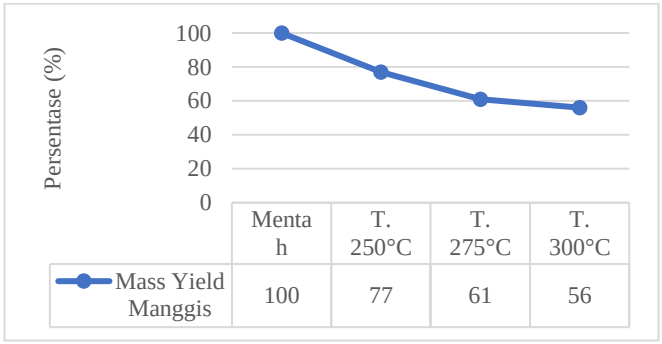
	Mentah	T. 275°C
Nitrogen	0.62	0.7
Carbon	54.06	63.1
Hidrogen	5.578	1.428
Oksigen	39.742	34.772

Gambar 6. Hasil uji *ultimate* torefaksi kulit manggis.

Gambar 6. menunjukan hasil uji *ultimate* torefaksi kulit manggis dengan variasi temperatur. Komponen penyusun dari uji *ultimate* terdiri dari Karbon (C), Hidrogen (H), Nitrogen (N) dan Oksigen (O). Persentase perbandingan komponen penyusun sampel mentah biomassa kulit manggis adalah persentase C>O>H>N, begitu juga dengan produk torefaksi biomassa kulit manggis memiliki persentase C>O>H>N. Meskipun persentase C>O>H>N, komponen penyusun biomassa ini tidak sama melainkan mengalami penurunan dan juga kenaikan persentase. Persentase C dan N mengalami peningkatan sedangkan H dan O mengalami penurunan persentase. Sehingga torefaksi ini dapat meningkatkan karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi kulit manggis. Persentase kadar karbon mentah 54,06% mengalami peningkatan sebesar 9,04% setelah ditorefaksi pada temperatur 275°C yaitu menjadi 63,1%. Komponen O mengalami kebalikan dari karbon yakni mengalami penurunan dari sampel mentah sebesar 39,742% menjadi 34,772% setelah ditorefaksi pada temperatur 275°C. Komponen H mengalami penurunan yang cenderung sama dengan penurunan O. Hal ini disebabkan karena zat-zat volatil mengalami efek perpecahan rantai dan oksigen mengalami oksidasi.

3.5. Mass Yield

Mass yield merupakan perolehan massa yang tersisa dalam produk torefaksi. Perolehan *mass yield* ditampilkan dalam bentuk diagram seperti Gambar 7 di bawah ini.



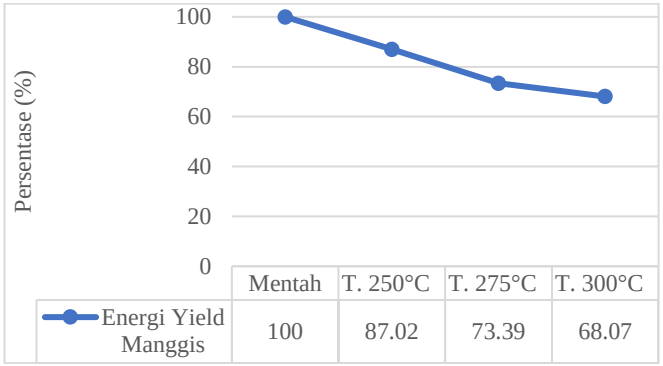
	Mentah	T. 250°C	T. 275°C	T. 300°C
Mass Yield Manggis	100	77	61	56

Gambar 7. perolehan massa *(mass yield)* torefaksi kulit manggis.

Gambar 7. menunjukkan produk torefaksi kulit manggis masih tersisa 56% sampai 77%. Ketika temperatur proses torefaksi meningkat dari 250°C sampai 300°C perolehan massa mengalami penurunan secara drastis mencapai 56%. Semakin temperatur torefaksi meningkat maka perolehan massa akan semakin menurun. Perolehan massa (*mass yield*) diperoleh karena degradasi termal yang menyebabkan turunnya kadar air, zat volatil dan terjadinya dekomposisi senyawa lignoselulosa pada suhu yang lebih tinggi.

3.6. Energy Yield

Energy yield merupakan fraksi energi dari produk torefaksi dengan biomassa mentah, yang diperoleh dengan menghitung rasio perbandingan nilai kalor produk torefaksi dengan nilai kalor mentah nya dikalikan dengan perolehan massa produk dan dibuat dalam bentuk persentase. Dapat dilihat pada Gambar 6 merupakan grafik perolehan energi *(energy yield)* produk torefaksi kulit manggis.



Gambar 8. Perolehan energi *(energy yield)* torefaksi kulit manggis

Gambar 8. menunjukkan perolehan energi (*energy yield*) pada produk torefaksi kulit manggis. Produk torefaksi kulit manggis masih tersimpan perolehan energi 68,07% sampai dengan 87,02%. Penurunan perolehan energi sampel biomassa kulit manggis antara 13,63% hingga 5, 32%. Penurunan drastis mencapai 13,63% terjadi pada temperatur 275°C. Hasil ini dipengaruhi semakin meningkatnya temperatur torefaksi maka perolehan massa akan mengalami penurunan sehingga kandungan energi atau perolehan energi juga akan mengalami penurunan.

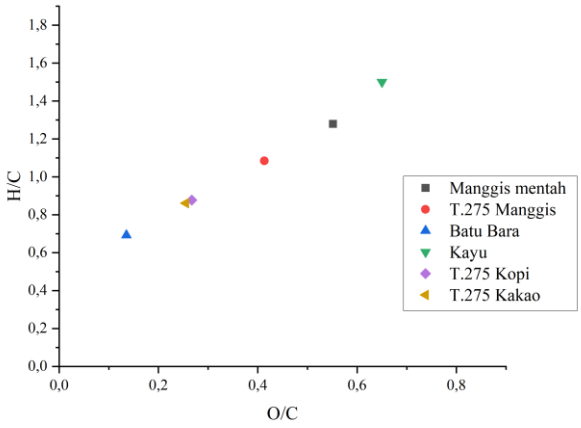
3.7. Rasio O/C dan H/C

Hasil analisis dari proses torefaksi biomassa kulit manggis pada kondisi mentah dan pada kondisi setelah dilakukan torefaksi pada salah satu variasi temperatur, yaitu temperatur 275°C menunjukkan bahwa rasio O/C dan H/C mengalami penurunan. Dapat dilihat pada Tabel 1. merupakan rasio O/C dan H/C kulit manggis mentah dan produk torefaksi.

Tabel 1. Rasio 0/C dan H/C

Sampel Kulit Manggis	O/C	H/C
Mentah	0,551	1,279
Torefaksi T. 275°C	0,413	1,084

Dari Tabel 1 dapat dilihat torefaksi biomassa kulit manggis pada kondisi mentah dan pada kondisi setelah dilakukan torefaksi pada temperatur 275°C menunjukkan bahwa rasio O/C dan H/C mengalami penurunan. Untuk rasio O/C dari kondisi mentah ke kondisi torefaksi temperatur 275°C terjadi penurun yaitu sebesar 0,138 sedangkan rasio H/C terjadi penurunan sebesar 0,195. Penurunan kedua rasio ini memberikan keuntungan karena nilai kalor dan kualitas bahan bakar mengalami peningkatan, atom H dan O banyak terdapat dalam senyawa hemiselulosa sehingga ketika persentase H dan O dari produk torefaksi menurun maka menandakan bahwa kandungan hemiselulosa dari produk torefaksi terdegradasi sehingga nilai kalor biomassa kulit manggis akan meningkat. Dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini merupakan plot rasio O/C dan H/C produk torefaksi kulit manggis dalam diagram *van krevelen.*



Gambar 9. Diagram *van krevelen* untuk produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 9. merupakan rasio O/C dan H/C dari produk torefaksi kulit manggis dan manggis mentah yang dibandingkan dengan biomasssa kayu, produk torefaksi kulit kopi, kulit kakako dan batubara. Untuk Biomassa kulit manggis memiliki rasio O/C sebesar 0,551 dengan rasio H/C yaitu sebesar 1,279 sehingga kulit manggis ini berada di zona biomassa. Kemudian untuk kulit manggis yang ditorefaksi pada temperatur 275 °C memiliki rasio O/C sebesar 0,413 dan rasio H/C yaitu sebesar 1,084 sehingga produk torefaksi kulit manggis ini memiliki rasio O/C dan H/C yang mendekati batubara

4. Kesimpulan

Torefaksi kulit manggis pada temperatur 250, 275 dan 300°C dapat meningkatkan karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi kulit manggis yang ditunjukan dengan meningkatnya nilai kalor, persentase *fixed carbon* meningkat, *mass yield* dan *energy yield* yang menurun serta menurunnya persentase zat volatil dan kadar air. Parameter lainnya yaitu hasil uji ultimate dimana persentase O dan H menurun, C dan N meningkat sehingga menjadikan rasio O/C dan H/C menurun pada produk torefaksi. Nilai kalor produk torefaksi kulit manggis temperatur 300 °C setara dengan batubara *bituminous c*

Daftar Pustaka

Amrul, Apriyanto, A., Sanjaya, I., & Amrizal. (2018). Experimental Study on Waste Biomass TorrefactionUsing a Continuous Tubular Reactor. *PROSIDING Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2018 - SNTTM XVII*, 304–309.

Apriyanto, A. (2020). Torefaksi Kontinu Municiple Solid Waste (Msw) Pada Screw Conveyor Reaktor Dengan Sistem Pemanas Heat Transfer Oil. *Teknika Sains : Jurnal Ilmu Teknik*, *5*(1), 35–44. https://doi.org/10.24967/teksis.v5i1.705.

Meichika. (2020). *Strategi Pemerintah Indonesia Dalam Upaya Mengatasi Ketergantungan Terhadap Bahan Bakar Fosil*. 39–55.

Mukti, N. I. F., Prasetyo, I., & Mindaryani, A. (2015). Preparasi Karbon Teremban Oksida Cobalt Dari Limbah Kulit Manggis Sebagai Adsorben Penjerap Etilen Untuk Pengawetan Buah. *Reaktor*, *15*(3), 165. https://doi.org/10.14710/reaktor.15.3.165-174.

Nofriati, D., Novalinda, D., & Herwenita. (2009). Prospek Pemanfaatan Kulit Buah Manggis Menjadi Minuman Herbal Sebagai Upaya Meningkatkan Nilai Tambah Produk (Studi Kasus di Provinsi Jambi). *Jurnal BPTP Jambi*, 1–7.

Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, *5*(2), 88–92. https://www.dosenpendidikan.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri
(SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

INVESTIGASI GERAK MASSA MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK 2D PEKON SIDOLUHUR, KECAMATAN KELUMBAYAN BARAT

K Karyanto, S Rasimeng, S Suharno, RC Wibowo, F Alami dan PM Haidar

Fakultas Teknik, Universitas Lampung

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima tgl/bln/tahun
Direvisi tgl/bln/tahun

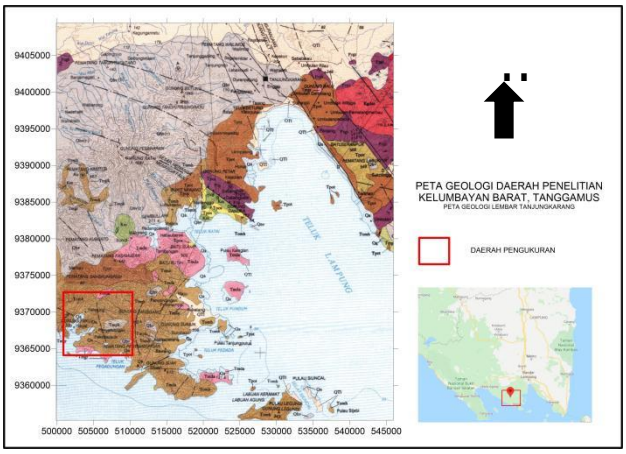
Kata kunci:
Pergerakan massa
Metode geolistrik
Bidang gelincir

A B S T R A K

Daerah Kelumbayan memiliki potensi pergerakan massa yang cukup tinggi. Hal ini terjadi dikarenakan tipe lapisan atas permukaan yang berlitologi tuff dan didukung oleh kemiringan lereng yang cukup curam. Untuk dapat menganalisis potensi pergerakan massa di daerah ini dilakukanlah pengukuran geolistrik untuk mematakan struktur bawah permukaan dengan fokus utama ialah bidang gelincir. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran sebanyak 5 lintasan yang masing-masing menunjukkan dapat menggambarkan daerah dengan litologi tuff yang memiliki resistivitas di atas 90 Ohm dan daerah yang tersaturasi air dibawah 90 Ohm. Dari 5 penampang geolistrik yang didapatkan sudah dapat di interpretasi daerah yang tersaturasi air sehingga dapat diprediksi pergerakan massa yang mungkin terjadi.

1. Pendahuluan

Daerah Kelumbayan memiliki potensi pergerakan massa atau tanah longsor yang cukup tinggi, dikarenakan kontur permukaan yang relatif berbukit curam, yang dapat mendorong material permukaan untuk turun dikarenakan gaya tarik gravitasi. Peristiwa gerakan massa tanah, yang dapat didefinisikan sebagai perpindahan material pembentuk lereng, yang berupa batuan asli maupun bahan timbunan yang bergerak kearah bawah dan keluar lereng (Goncalves dkk., 2021). Salah satu faktor penyebab longsor yang sangat berpengaruh adalah bidang gelincir (*slip surface*) (Fadli dkk., 2022). Di daerah Kelumbayan termasuk dalam formasi **Tomh** (Gambar 1) dengan litologi dasar Batuan Breksi, dan lapisan atas permukaan dengan litologi Tuff (Mangga dkk., 1993). Lapisan Tuff ini memiliki karakteristik yang dapat menyimpan air, sehingga dapat menambah massa material yang menjadi pemicu terjadinya pergerakan massa atau longsor.



Gambar 1. Peta geologi regional lembar tanjungkarang daerah Kelumbayan, Tanggamus (dimodifikasi dari Mangga dkk., 1993).

Oleh karena itu, diperlukan analisis bidang gelincir dan struktur bawah permukaan tanah sebagai langkah awal mitigasi bencana longsor Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk menentukan struktur lapisan tanah dan mendeteksi bidang gelincir adalah metode resistivitas (Mulyasari dkk., 2021; Fuadi dkk., 2020). Metode resistivitas merupakan metode yang mempelajari sifat tahanan jenis listrik dari lapisan batuan di dalam bumi. Prinsip dasar metode resistivitas yaitu mengirimkan arus ke bawah permukaan, dan mengukur kembali potensial yang diterima di permukaan (Reynolds, 2011; Vebrianto, 2016).

Untuk dapat menampilkan penggambaran keadaan bawah permukaan dilakukan processing data geolistrik 2D. Lapisan bawah tanah yang tergambarakan berupa penampang kartesian dengan koordinat berisi informasi kedalaman dan absis berisi informasi jarak horizontal serta dibedakan dengan warna yang masing-masing warna tersebut memiliki nilai hambatan jenis masingmasing. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan struktur bawah permukaan daerah survei dengan metode resistivitas menggunakan konfigurasi dipole-dipole, menentukan keberadaan dan kedalaman bidang gelincir, dan menggambarkan bidang gelincir berdasarkan penampang 2D dan memperkirakan tipe gerakan tanah yang mungkin terjadi.

Geolistrik adalah salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi (Kirsch dan Yaramanchi, 2009). Pendeteksian ini meliputi pengukuran beda potensial, arus, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Umumnya, metode resistivitas ini hanya baik untuk eksplorasi yang dangkal, sekitar 100 m.

Dalam suatu materi akan terjadi interaksi antara satu atom dengan atom lainnya, sehingga menyebabkan beberapa elektron dapat lepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Banyak tidaknya elektron bebas ini dalam suatu materi akan menentukan sifat materi dalam menghantarkan arus listrik. Batuan merupakan suatu jenis materi, sehingga batuan mempunyai sifat-sifat kelistrikan. Sifat ini merupakan karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya.

2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

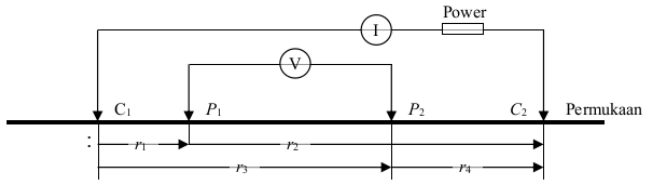
Adapun alat dan bahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. ARES Resistivitimeter
2. Aki
3. GPS
4. Kompas
5. Elektroda Potensial dan Arus
6. Kabel Multicore

2.2. Metode akuisisi data lapangan

Dengan diasumsikan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis (Pujianiki dan Simpen, 2018). Dengan asumsi ini resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Pada kenyataaannya, bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan yang berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut maka harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, hal ini terutama untuk spasi elektroda yang besar. Nilai resistivitas yang terukur ini kemudian disebut sebagai resistivitas semu.

Untuk medium homogen isotropis posisi dua elektroda arus dan 2 elektroda potensia di permukaan di perlihatkan pada sebagai berikut.



Gambar 2. Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial pada permukaan homogen isotropis (Telford dkk, 1990)

Untuk nilai tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) diperoleh dengan persamaan:

$$\rho_{app} = K\frac{V}{I} \quad (1)$$

dengan,

ρ_{app} : tahanan jenis semu,
K : faktor gometri,
V : beda potensial,
I : kuat arus.

2.3. Metode akuisisi data lapangan

Hasil pengukuran di lapangan diteruskan ke perhitungan untuk menentukan harga tahanan jenis semu. Setelah diketahui tahanan jenis semu, kemudian dibentuk pemodelan inversi dua dimensi menggunakan program res2dinv.

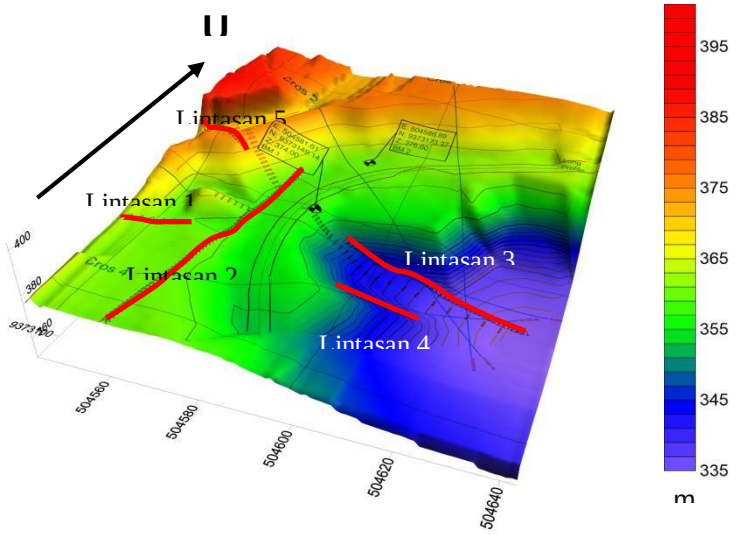
2.4. Interpretasi data (penafsiran model geolistrik)

Untuk Memperoleh hasil interpretasi yang lebih baik, maka diperlukannya data penunjang yaitu data geologi daerah penelitian serta literatur mengenai harga tahanan jenis batuan. Dari hasil pengolahan data telah diketahui nilai-nilai tahanan jenis serta kedalaman/ ketebalan lapisan bawah permukaan setiap tttik pengukuran. Untuk mengetahui jenis batuan serta litologi daerah penelitian, maka dilakukan korelasi antar titik pengukuran berdasarkan nilai-nilai tahanan jenis yang diperoleh dengan data geologi serta literatur yang ada.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Sebaran lokasi pengukuran

Dari hasil pengukuran didapatkan sebanyak 5 lintasan (Gambar 3) yang ditunjukkan dengan garis merah. Warna pada peta meunjukkan elevasi di daerah penelitian.



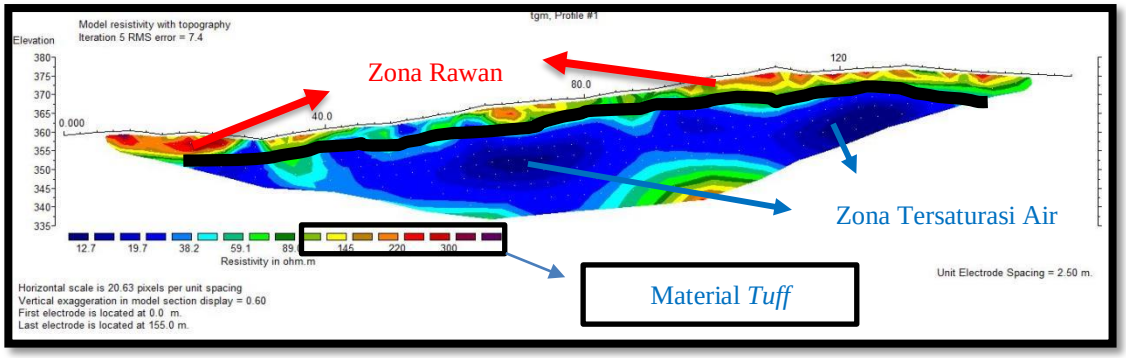
Gambar 3. Peta distribusi pengukuran geolistrik

3.2. Analisis lintasan 1

Hasil pengolahan untuk lintasan pertama, dengan lintasan sepanjang 155 m, dengan arah lintasan barat daya ke timur laut, dimana bagian barat daya lebih rendah dari bagain timur laut dan kemudian turun kembali mengarah ke jalan, dengan Titik 0 pengukuran terletak pada koordinat E 504456, dan N 9373075 dengan elevasi yaitu 341 mdpl dan titik akhir yaitu dengan bentangan 155 m terletak pada koordinat E 504598, dan N 9373136 dengan elevasi yaitu 366 mdpl. memiliki selisih ketinggian berkisar 25 m. sehingga menghsilkan model inversi tahanan jenis yang disajikan dalam Gambar 8. Berdasarkan tabel Telford (1990), lintasan 1 dapat dibagi menjadi 2 lapisan yaitu sedimen tuff dengan nilai tahanan jenis yaitu 90-450 Ωm dengan citra pada pemodelan yaitu hijau muda merah pekat , lapisan kedua yaitu lempung basah dengan nilai tahanan

jenis yaitu 1-89 Ωm dengan citra pada pemodelan biru langit sampai hijau muda. Total penetrasi dari pemodelan inversi tahanan jenis pada lintasan 1 yaitu mencapai 24 m dengan iterasi 5 menghasilkan nilai root mean square error yaitu 7.4%, dengan ketebalan sedimen tuff yang sangat dalam hingga mencapai kedalaman 0-6 m.

Pada umumnya jenis tanah sedimen tuff sangat mudah meresap air, karena nilai porositas medium ini sangat tinggi, akan tetapi daya menahan air sangat kurang, ditambah dengan kontak nilai resistivitas yaang berbeda dengan lempung. yang terdeteksi diduga sebagi lapisan batuan lapuk atau zona rawan (dicitrakan dengan garis hitam) yaitu berupa lapisan sedimen tuff, jika curah hujan tinggi memungkinkan air akan terakumulasi pada lapisan-lapisan tersebut, sehingga apabila terjadi longsoran lapisan-lapisan tersebut yang mengalami pergerakan. Pada Lintasan pertama ini daerah zona rawan terdapat di tepat samping jalan memiliki kemiringan lereng >30° yang membuat daerah ini merupakan daerah rawan bencana longsor.



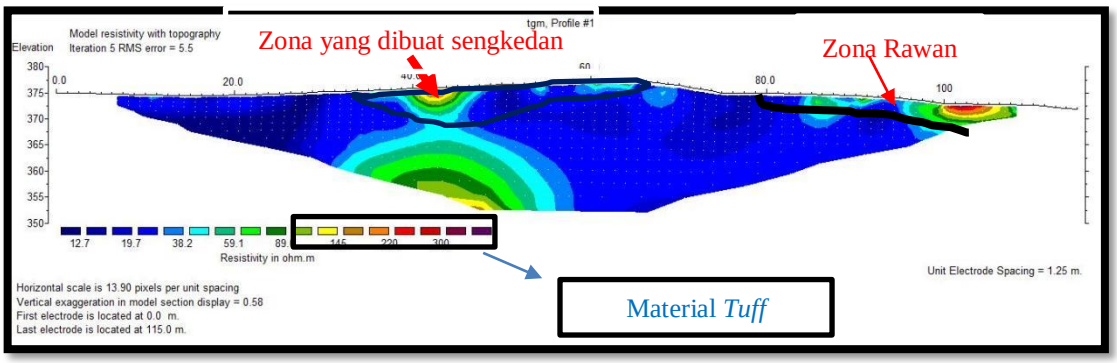
Gambar 4. Penampang melintang lintasan 1

3.3. Analisis lintasan 2

Hasil pengolahan untuk lintasan kedua, dengan lintasan sepanjang 115 m, dengan arah lintasan barat daya ke timur laut, dimana bagian utara lebih rendah dari bagian selatan, dengan Titik 0 pengukuran terletak pada koordinat E 504604, dan N 9373170 dengan elevasi yaitu 385 mdpl dan titik akhir yaitu dengan bentangan 115 m terletak pada koordinat E 504588, dan N 9373070 dengan elevasi yaitu 381 mdpl. memiliki selisih ketinggian berkisar 4 m lintasan ini relatif memiliki selisih ketinggian yang tidak besar, hal ini dikarenakan lintasan ini bersilangan dengan lintasan 1 yang relatif lebih curam . sehingga menghsilkan model inversi tahanan jenis yang disajikan dalam **Gambar 5**.

Berdasarkan tabel Telford (1990), lintasan 2 dapat dibagi menjadi 2 lapisan yaitu sedimen tuff dengan nilai tahanan jenis yaitu 90-450 Ωm dengan citra pada pemodelan yaitu hijau muda merah pekat, lapisan kedua yaitu lempung basah dengan nilai tahanan jenis yaitu 1-89 Ωm dengan citra pada pemodelan biru langit sampai hijau muda. Total penetrasi dari pemodelan inversi tahanan jenis pada lintasan 2 yaitu mencapai 20 m dengan iterasi 5 menghasilkan nilai *root mean square error* yaitu 5.5 %, dengan ketebalan sedimen tuff yang sangat dalam hingga mencapai kedalaman 0-5 m, pada lintasan ini berada di samping dan mengikuti alur jalan, sehingga ada beberapa bagian pada llintasan in dibuat sengkedan pada daerah yang lebih curam, namun ada kemungkinan daearah potensi untuk material turun kebawah, dikarenakan lokasi yang relatif curam.

3.4. Analisis lintasan 3

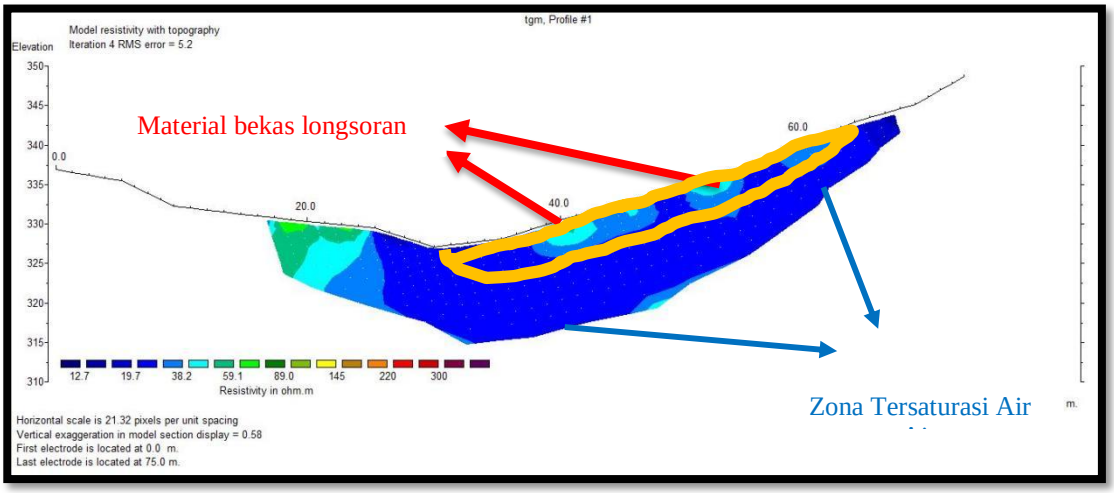


Gambar 5. Penampang melintang lintasan 2

Hasil pengolahan untuk lintasan ketiga, dengan lintasan sepanjang 75 m, dengan arah lintasan barat daya ke timur laut, dimana bagian barat lebih rendah dari bagain timur, dengan titik 0 pengukuran terletak pada

koordinat E 504678, dan N 9373130 dengan elevasi yaitu 336 mdpl dan titik akhir yaitu dengan bentangan 75 m terletak pada koordinat E 504616, dan N 9373146 dengan elevasi yaitu 348 mdpl. memiliki selisih ketinggian berkisar 20 m. sehingga menghsilkan model inversi tahanan jenis yang disajikan dalam **Gambar 6.**

Berdasarkan tabel Telford (1990), lintasan 3 dapat dibagi menjadi 2 lapisan yaitu sedimen tuff dengan nilai tahanan jenis yaitu 90-450 Ωm dengan citra pada pemodelan yaitu hijau muda merah pekat, dengan



Gambar 6. Penampang melintang lintasan 3

3.5. Analisis lintasan 4

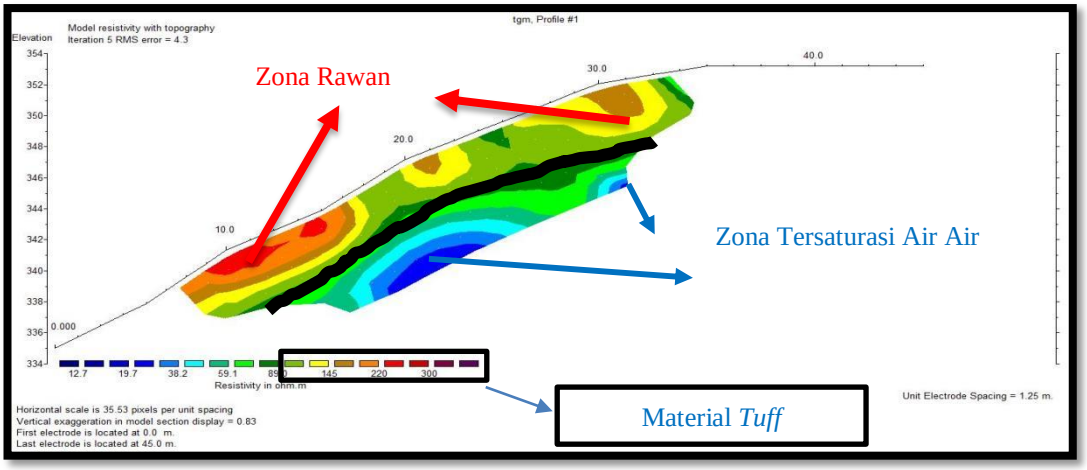
Hasil pengolahan untuk lintasan 4, dengan lintasan sepanjang 155 m, dengan arah lintasan barat daya ke timur laut, dimana bagian barat lebih rendah dari bagain timur, dengan itik 0 pengukuran terletak pada koordinat E 504647, dan N 9373127 dengan elevasi yaitu 335 mdpl dan titik akhir yaitu dengan bentangan 35 m terletak pada koordinat E 504616, dan N 9373127 dengan elevasi yaitu 353 mdpl. memiliki selisih ketinggian berkisar 18 m, dengan panjng lintasan 35 m dengan selisih ketinggian 18 meter maka daerah pengukuran pada lintasan keempatini memiliki kemiringan yang sangat curam >300, sehingga menghsilkan model yang disajikan dalam **Gambar 7**.

Berdasarkan tabel Telford (1990), lintasan 4 dapat dibagi menjadi 2 lapisan yaitu sedimen tuff dengan nilai tahanan jenis yaitu 90-450 Ωm dengan

citra pada pemodelan yaitu hijau muda merah pekat, lapisan kedua yaitu lempung basah dengan nilai tahanan

lapisan kedua yaitu lempung basah dengan nilai tahanan jenis yaitu 1-89 Ωm dengan citra pada pemodelan biru langit sampai hijau muda. Total penetrasi dari pemodelan inversi tahanan jenis pada lintasan 3 yaitu mencapai 13 m dengan iterasi 5 menghasilkan nilai root mean square error yaitu 5.2%. pada lintasan ini merupakan lintasan yang telah terjadi longsor sehingga dalam pemodelan dapat terlihat banyak nilai resistivitas yang rendah dikarenakan hampir semua material tersaturasi dengan air.

jenis yaitu 1-89 Ωm dengan citra pada pemodelan biru langit sampai hijau muda. Total penetrasi dari pemodelan inversi tahanan jenis pada lintasan 1 yaitu mencapai 7 m dengan iterasi 5 menghasilkan nilai root mean square error yaitu 4.3%, dengan ketebalan sedimen tuff yang sangat dalam hingga mencapai kedalaman 0-3.5 m. Pada lintasan ke empat ini memilikitingkat kecuraman yang tinggi, lintasan ini terletak di samping dari lintasan ke tiga yang telah terjadi longsor, sehingga potensi longsor pada lintasan ini relative tinggi, di dorong oleh lapisan tuff yang belum terlalu tersaturasi oleh air sehingga nilai resisistibitas relatif lebih tinggi, hal ini dikarenakan lapisan kering memiliki nilai reistivitas yang tinggi.

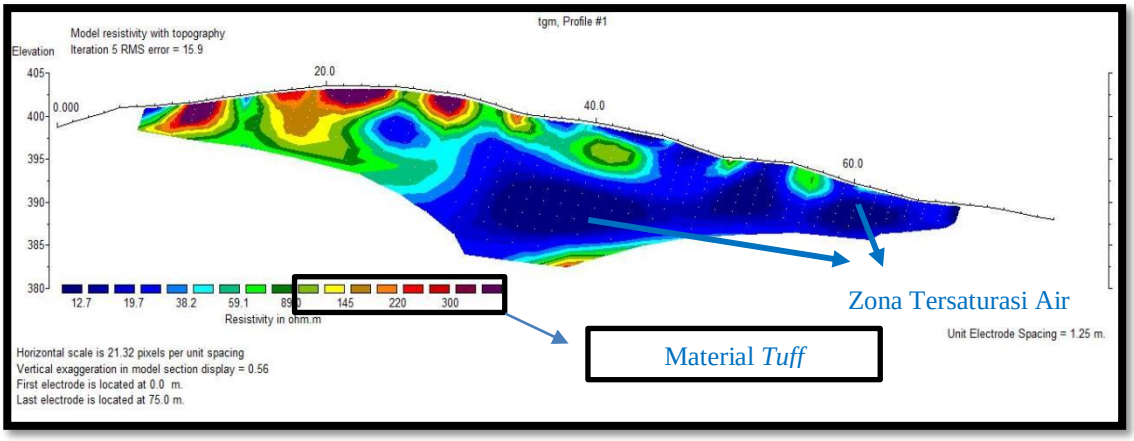


Gambar 7. Penampang melintang lintasan 4

3.6. Analisis lintasan 4

Hasil pengolahan untuk lintasan pertama, dengan lintasan sepanjang 155 m, dengan arah lintasan barat daya ke timur laut, dimana bagian tenggara lebih rendah dari bagain tenggara, denganitik 0 pengukuran terletak pada koordinat E 504534, dan N 9373183 dengan elevasi yaitu 398 mdpl dan titik akhir yaitu dengan bentangan 75 m terletak pada koordinat E 504593, dan N 9373159 dengan elevasi yaitu 387 mdpl, memiliki selisih ketinggian berkisar 17 m. sehingga menghsilkan model inversi tahanan jenis yang disajikan dalam **Gambar 8**.

Berdasarkan tabel Telford (1990), lintasan 5 dapat dibagi menjadi 2 lapisan yaitu sedimen tuff dengan nilai tahanan jenis yaitu 90-450 Ωm dengan citra pada pemodelan yaitu hijau muda merah pekat, lempung dengan nilai tahanan jenis yaitu 1-89 Ωm dengan citra pada pemodelan biru langit sampai hijau muda. Total penetrasi dari pemodelan inversi tahanan jenis pada lintasan 1 yaitu mencapai 15 m dengan iterasi 5 menghasilkan nilai root mean square error yaitu 15.9%, dengan ketebalan sedimen tuff yang sangat dalam hingga mencapai kedalaman 0-7 m.



Gambar 8. Penampang melintang lintasan 5

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Daerah dengan litologi tuff di interpretasikan memiliki nilai resistivitas diatas 90 Ohm. Sedangkan litologi yang diduga sebagai zona tersaturasi air memiliki resistivitas dibawah 90 Ohm.
2. Daerah penelitian memiliki litologi tuff dengan kedalaman beragam yakni sekitar 0 - 7 m. Daerah berlitologi tuff inilah yang memiliki potensi longsor dan kemudian disebut sebagai zona rawan.

Daftar Pustaka

Fadli, A. S., Fathani, T. F., Faris, F. (2022). Prediksi Bidang Gelincir Gerakan Tanah Menggunakan Metode Electrical Resistivity Tomography (ERT). *Jurnal Teknik Sipil*, 17(1), 18-25.

Fuadi, Z., Muhardi, M., Yusa, M. (2020). Identifikasi Lapisan Bawah Permukaan dan Bidang Gelincir Lereng Kelurahan Muara Lembu Metode Geolistrik. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 56-66.

Goncalves, A. B., Bahar, H., Yuwanto, S. H., Utamakno, L. (2021). Klasifikasi Kerentanan Gerakan Tanah di Desa Senepo dan Sekitarnya, Kecamatan Slahung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. J*urnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 3(1), 473-477.

Kirsch, R., Yaramanci, U. (2009). *Geoelectrical Methods. in Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology* (pp. 85-117). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Loke, M. H., Acworth, I., & Dahlin, T. (2003). A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration geophysics*, 34(3), 182-187.

Mangga, S. A., Amirudin, A., Suwarti, T., Gafoer, S., Sidarto, S. (1993). *Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Mulyasari, R., Darmawan, I. G. B., Haerudin, N. (2021). Perbandingan Konfigurasi Elektroda Metode Geolistrik Resistivitas Untuk Identifikasi Litologi dan Bidang Gelincir Di Kelurahan Pidada Bandar Lampung. *Journal Online of Physics*, 6(2), 16-23.

Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge university press.

Vebrianto, S. (2016). *Eksplorasi Metode Geolistrik*. Universitas Brawijaya Press.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Rancang bangun sistem kontrol suhu air kolam benih lobster dengan pengendali PID berbasis mikrokontrol ESP32

Herlinawati [a], I K Mubarok [b,*], A Yudamson [c]

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima tgl/bln/tahun
Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:
Lobster
Suhu
PID
ESP32

A B S T R A K

Proses pengendalian suhu air kolam benih lobster sebelumnya belum dilakukan secara optimal karena belum adanya perangkat yang memadai, sehingga dapat menurunkan tingkat pertumbuhan dan sintasan benih lobster yang berpengaruh besar pada lobster yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan dengan merancang sistem kontrol suhu untuk air kolam benih lobster menggunakan pengendali PID dengan mikrokontroler ESP32, sensor DS18B20, dan perangkat peltier. Penelitian ini dilakukan pada akuarium dengan volume air 15 – 25 liter yang dikondisikan pada suhu ruangan. Hasil rata-rata nilai *error* pada pengjuian sensor sebesar 0,18℃, kemudian untuk proses pengamatan data dilakukan melalui internet setiap 30 menit sekali. Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa alat mampu menjaga suhu tetap stabil dengan nilai rata-rata suhu pada nilai *set point* 28℃ yaitu 28,0441℃ dan pada nilai *set point* 25,5℃ yaitu 25,5062℃.

* Penulis korespondensi.
E-mail: ilhamkholid.m@gmail.com

1. Pendahuluan

Lobster air tawar merupakan salah satu jenis krustasea yang memiliki ukuran dan bentuk tubuh hampir sama dengan lobster air laut. Lobster ini memiliki keunggulan dibandingkan lobster air laut, diantaranya sudah dapat dibudidayakan dan Teknik budidayanya lebih mudah disbanding udang windu dan udang galah. Lobster air tawar sudah banyak dikembangkan dalam skala akuarium atau kolam sebagai komoditi konsumsi dan hias (Lengka dkk., 2013).

Pada dunia perikanan khusunya tambak lobster, proses pembenihan lobster sangatlah penting untuk meningkatkan produksi lobster tersebut. Kondisi kolam tambak yang dipakai akan sangat berperan penting dalam proses pembenihan lobster terutama kondisi suhu pada kolam harus stabil untuk menjaga kualitas pertumbuhan benih lobster atau benur pada kolam tersebut. Lobster air tawar memiliki pertumbuhan dan tingkat sintasan yang baik pada suhu 24℃ - 30℃(Kusmini dkk., 2006).

Penggunaan sistem kontrol PID atau *Proportional Integral Derivative* bertujuan untuk menjaga suhu pada air kolam benih lobster tetap stabil agarpertumbuhan benih lobster tetap bagus dan tidak terhambat. Sehingga nantinya lobster yang dihasilkan akan memiliki kualitas dan kuantitas yang maksimal. Pada penelitian ini, penulis menggunakan mikrokontroler ESP32 karena dinilai lebih efisien karena hanya memerlukan tegangan 3,3V serta lebih mudah dalam pengambilan data karena dalam *board* – nya sudah terdapat *Wi – Fi* dan *Bluetooth* sehingga dapat disambungkan dengan internet.

Pengendali PID merupaka kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem terebut. Dalam sistem pengendali PID memiliki beberapa aksi kontrol, yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral, dan aksi kontrol derivatif.

Sistem kendali proporsional pada dasarnya adalah penguat yang mempunyai penguatan konstan, dalam hal ini keluaran pengendali berbanding langsung dengan masukan. Masukan sebagai isyarat galat *e* merupakan sebuah fungsi waktu, jadi

$$Keluaran = K_P e \qquad (1)$$

dengan K_p adalah suatu tetapan yang disebut penguatan proporsional (Setyawan dkk., 2016).

Sistem kendali integral merupakan sistem kendali yang memiliki keluaran integral yang sebanding degan integral galat isyarat *e* terhadap waktu, yaitu

$$Keluaran = K_i \int_0^t e \; dt \qquad (2)$$

dalam hal ini K_i adalah suatu tetapan yang disebut penguatan integral (Setyawan dkk., 2016).

Sistem kendali derivatif adalah kendali yang memiliki karakter mampu meningkatkan stabilitas sistem, mengurangi *overshoot*, dan menaikkan respon transfer (Setyawan dkk., 2016). Pengendali bentuk derivatif mempunyai keluaran yang sebanding dengan galat *e* terhadap waktu, yaitu

$$Keluaran = K_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (3)$$

Sistem pengendali PID memiliki keluaran, yaitu

$$Keluaran = K_p e + K_i \int_0^t e \; dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (4)$$

2. Metodologi

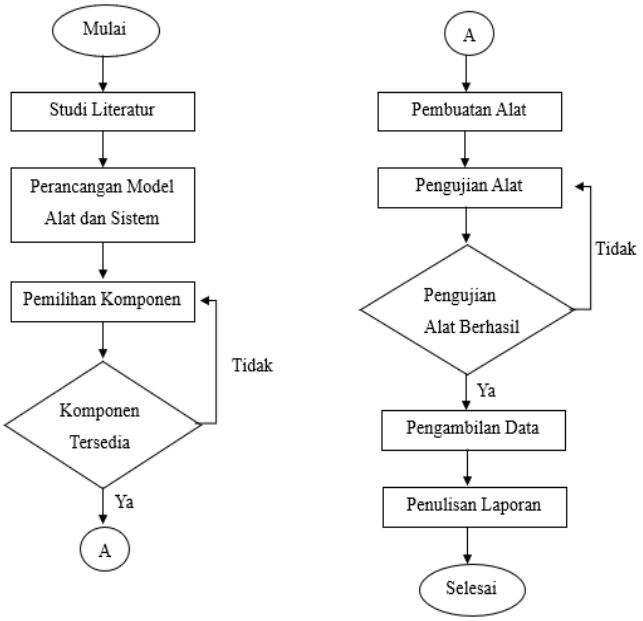
2.1. Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Power supply* 12VDC sebagai sumber tegangan komponen.
2. ESP32 sebagai *control system.*
3. Sensor DS18B20 sebagai sensor pendeteksi suhu air kolam.
4. *Driver motor* BTS7960 sebagai pengendali perangkat peltier melalui sinyal PWM dari mikrokontroler.
5. LCD 12C 20x4 untuk menampilkan suhu pada alat.
6. Sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu lingkungan.
7. Peltier kit tipe TEC1 - 12706 untuk mengatur suhu air kolam pada alat.
8. Laptop untuk memprogram alat.
9. Selang air diameter 1cm untuk mensirkulasikan air pada *waterblock dan* aquarium.
10. Aquarium untuk menampung air dan benih lobster.
11. *Waterpump* atau pompa air mini 12VDC untuk memompa air pada aquarium.
12. *Aerator microbubble* untuk memasok oksigen pada kolam/aquarium.
13. *Junction box* untuk wadah panel mikrokontroler, *driver motor,* dan LCD.
14. *Waterblock* untuk membuang sisi dingin atau panas peltier ke air.

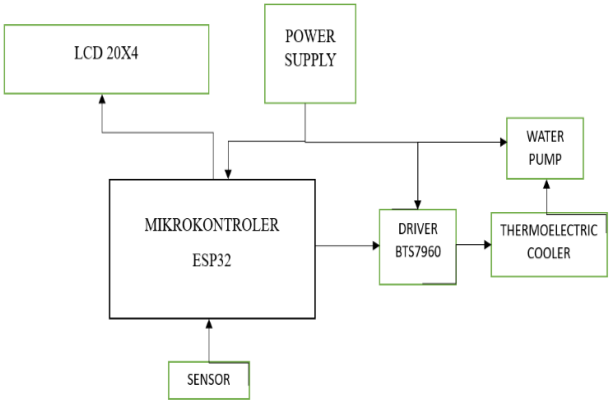
2.2. Prosedur percobaan

Adapun prosedur percobaan pada penelitian ini terdapat pada gambar 1 dibawah ini

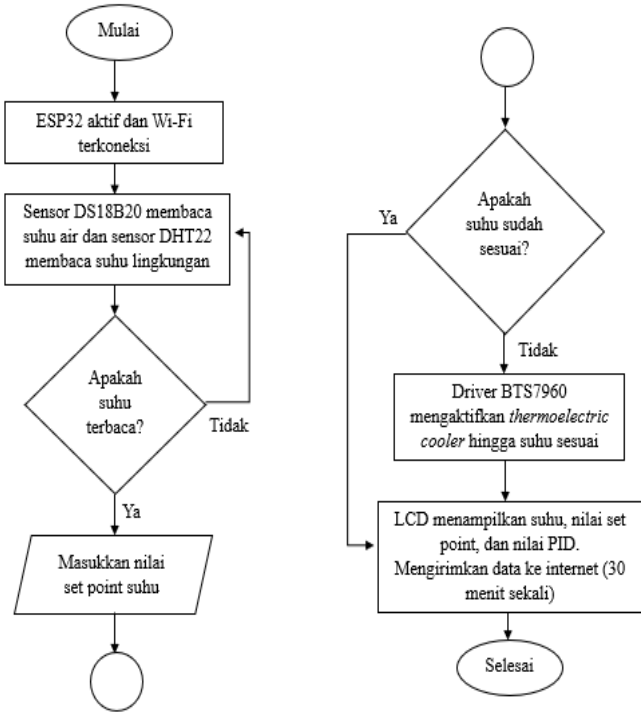


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berdasarkan Gambar 1 penelitian akan dimulai dari studi literatur, dimana penulis akan mencari rreferensi terkait dengan dengan penelitian yang akan dilakukan dari berbagai sumber seperti, buku, jurnal penelitian terkait, ataupun skripsi terdahulu. Kemudian akan dilanjutkan dengan perancangan model alat dan sistem mengenai akan seperti apa alat yang dibuat serta bagaimana cara kerjanya, dilanjutkan dengan pemilihan komponen untuk pembuatan alat dimana apabila komponen tersedia maka penelitian akan dilanjutkan dan apabila belum tersedia maka akan dilakukan pemilihan komponen kembali. Selanjutnya dilanjutkan dengan pembuatan alat kemudian dilakukan pengujian alat, apabila dalam pengujian belum berhasil maka akan dilakukan pengujian kembali hingga berhasil lalu dilakukan pengambilan data. Kemudian apabila pengambilan data sudah dilakukan dan sudah memenuhi kriteria yang diharapkan maka akan dilakukan penulisan laporan berdasarkan data tersebut.



Gambar 2. Diagram blok perancangan alat



Gambar 3. Diagram alir cara kerja alat

Berdasarkan Gambar 3. Diagram alir perancangan alat dimulai dengan mikrokontroler ESP32 aktif. Kemudian dilanjutkan dengan sensor akan membaca suhu air. Apabila suhu air terbaca oleh sensor maka akan dilanjutkan ke proses selanjutnya namun apabila tidak terbaca maka sensor akan membaca kembali. Selanjutnya dilanjutkan dengan memasukkan nilai *set point* suhu. Kemudian diteruskan dengan nilai suhu yang terdeteksi, apakah sudah sesuai dengan nilai *set point* yang telah dimasukkan, apabila sudah sesuai maka LCD akan menampilkan nilai suhu terdeteksi, nilai *set point*, dan nilai PID. Namun apabila belum sesuai maka *motor driver* BTS7960 akan mengaktifkan atau memberikan tegangan kepada pendingin/penghangat untuk menyesuaikan nilai suhu

hingga sesuai dengan nilai *set point* yang telah dimasukkan.

2.3. Analisis

Adapun analisa yang dilakukan pada penelitian ini yaitu analisa pada pengujian dan kalibrasi sensor DS18B20 dilakukan dengan cara menghubungkan sensor ke mikrokontroler ESP32 dan kemudian memprogramnya dengan aplikasi Arduino IDE. Pengujian menggunakan media air, kemudian membandingkan nilai yang terbaca pada sensor dengan alat ukur suhu yang sudah ada yaitu termometer. Nilai toleransi *error* atau kesalahan dalam membaca suhu dari sensor DS18B20 adalah 0,5℃.

Tabel 1. Hasil pengujian dan kalibrasi sensor DS18B20

NO	Sensor DS18B20	Termometer	Nilai *error*
1	28,56℃	28,20℃	0,36℃
2	29,00℃	29,00℃	0℃
3	30,30℃	30,50℃	0,20℃
4	35,50℃	35,20℃	0,30℃
5	37,30℃	37,00℃	0,30℃
6	41,20℃	41,20℃	0℃
7	44,87℃	45,00℃	0,13℃
8	Rata-rata *error*		0.18℃

Hasil dari pengujian dan kalibrasi sensor DS18B20 dapat dilihat pada tabel 4.1, dimana hasil dari pembacaan sensor dan pembacaan pada thermometer memiliki nilai rata-rata *error* sebesar 0,18℃. Dimana nilai rata-rata *error* dari sensor DS18B20 masih dalam kondisi normal dikarenakan belum melebihi 0,5℃.

3. Hasil dan pembahasan

Pengujian alat dilakukan pada dua nilai *set point*, yaitu pada nilai suhu 28℃ dan nilai suhu 25,5℃. Pengujian alat pada nilai *set point* 28℃ karena sintasan tertinggi pada benih lobster berada pada suhu 26℃ dan 28℃ (Kusmini dkk., 2006). Pada pengujian ini menggunakan media air sebanyak 15-25 liter, pada pengujian ini perangkat peltier akan berfungsi sebagai pendingin atau penghangat air pada akuarium, dikarenakan suhu air pada ruangan masih memiliki kemungkinan berada dibawah dan diatas 28℃. Pada pengujian ini pendingin ruangan atau AC dinyalakan untuk mendapatkan suhu air dibawah nilai *set point*, hal ini untuk simulasi ketika malam hari dimana suhu ruangan dan suhu air cenderung akan lebih rendah.

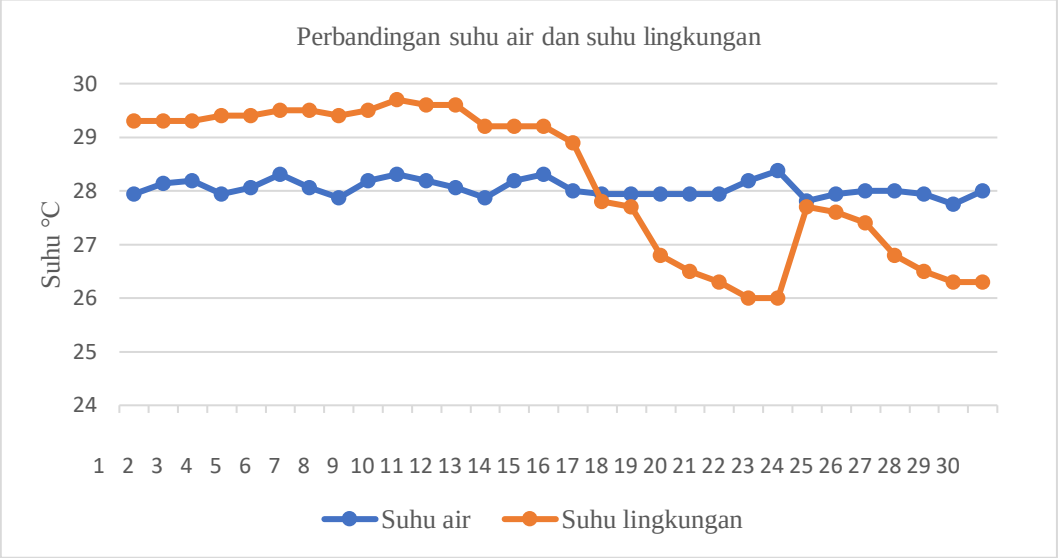
Pengujian alat yang kedua yaitu dengan nilai *set point* 25,5℃ hal ini karena suhu pemeliharaan lobster air tawar adalah 25 - 26℃ (Ernawati dkk., 2017). Pada pengujian ini menggunakan air sebanyak 15-25 liter. Pada pengujian ini perangkat peltier hanya berfungsi sebagai pendingin air dalam akurium, hal ini karena suhu air dalam akuarium tidak pernah berada dibawah angka 25,5℃ pada waktu malam hari sekalipun.

Gambar 4. Pengujian alat

Tabel 2. Hasil percobaan pada nilai *set point* 28℃

No	Suhu air (℃)	PWM	Suhu lingkungan (℃)
1	27.9375	255	29.3
2	28.1375	255	29.3

3	28.1875	255	29.3
4	27.9375	255	29.4
5	28.0625	255	29.4
6	28.3125	255	29.5
7	28.0625	255	29.5
8	27.875	255	29.4
9	28.1875	255	29.5
10	28.3125	255	29.7
11	28.1875	255	29.6
12	28.0625	255	29.6
13	27.875	255	29.2
14	28.1875	255	29.2
15	28.3125	255	29.2
16	28	255	28.9
17	27.9375	255	27.8
18	27.9375	255	27.7
19	27.9375	255	26.8
20	27.9375	255	26.5
21	27.9375	255	26.3
22	28.1875	255	26
23	28.375	255	26
24	27.8125	255	27.7
25	27.9375	255	27.6
26	28	255	27.4
27	28	255	26.8
28	27.9375	255	26.5
29	27.75	255	26.3
30	28	255	26.3
Nilai rata - rata	28.0441		28.19



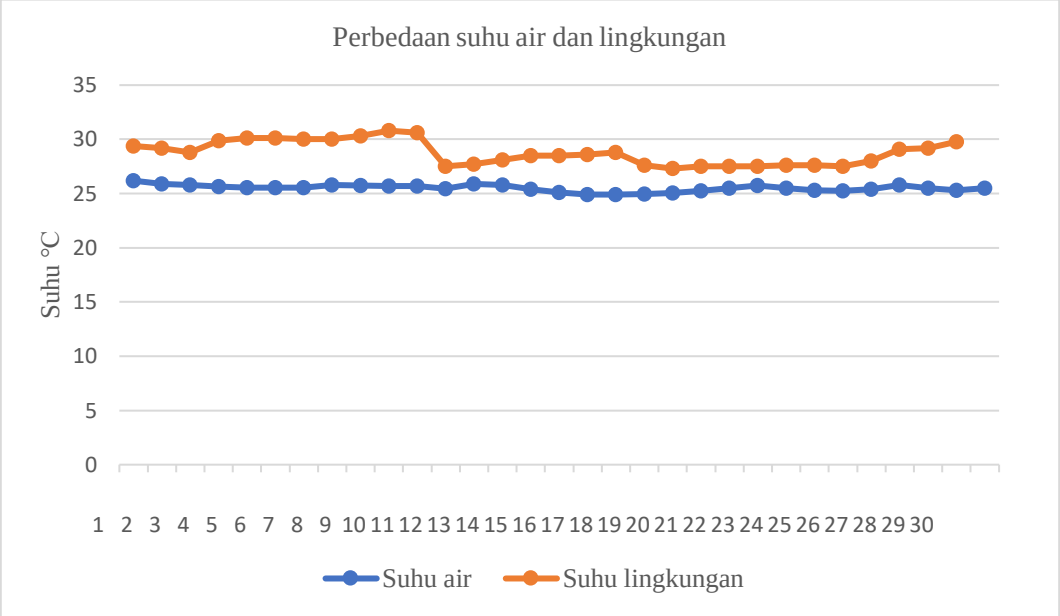
Gambar 5. Grafik perbedaan antara suhu air dan suhu lingkungan pada *set point* 28℃

Berdasarkan Tabel 2 hasil pengujian alat pada nilai set point 28℃ didapatkan hasil rata-rata nilai suhu air pada aquarium yaitu 28,0441℃ dengan rata-rata nilai suhu ruangan pada 28,19℃. Kemudian untuk nilai PWM selalu menunjukkan pada nilai 255 atau *duty cycle* 100% yang menandakan perangkat peltier selalu secara maksimal bekerja untuk mendinginkan atau menghangatkan air agar selalu pada nilai *set point.* Apabila suhu air dibawah nilai *set point* maka perangkat peltier akan menghangatkan air dalam akuarium dengan mengubah sisi dingin perangkat peltier menjadi sisi panas dengan mengubah polaritasnya melalui *motor driver*, namun apabila suhu air diatas nilai *set point* maka peltier akan mendinginkan dengan menggunakan sisi dinginnya tanpa mengubah polaritasnya.

Berdasarkan pada Gambar 5 grafik perbedaan antara suhu air dan suhu ruangan, suhu air memiliki nilai paling tinggi pada angka 28,37℃ dan memiliki nilai terendah pada angka 27,75℃. Kemudian untuk suhu lingkungan memiliki nilai paling tinggi pada angka 29,7℃ dan memiliki nilai terendah pada angka 26℃.

Tabel 3. Hasil percobaan pada nilai *set point* 25,5℃

No	Suhu air (℃)	PWM	Suhu lingkungan (℃)
1	26.1875	255	29.4
2	25.875	255	29.2
3	25.8125	255	28.8
4	25.625	255	29.9
5	25.5625	255	30.1
6	25.5625	255	30.1
7	25.5625	255	30
8	25.8125	255	30
9	25.75	255	30.3
10	25.6875	255	30.8
11	25.6875	255	30.6
12	25.4375	235	27.5
13	25.875	255	27.7
14	25.8125	255	28.1
15	25.375	255	28.5
16	25.125	255	28.5
17	24.9125	0	28.6
18	24.925	0	28.8
19	24.975	0	27.6
20	25.0625	0	27.3
21	25.25	0	27.5
22	25.5	0	27.5
23	25.75	255	27.5
24	25.5	255	27.6
25	25.3125	143	27.6
26	25.25	0	27.5
27	25.375	0	28
28	25.8125	235	29.1
29	25.5	105	29.2
30	25.3125	142	29.8
Nilai rata - rata	25.5062		28.77



Gambar 6. Grafik perbedaan antara suhu air dan suhu lingkungan pada *set point* 25,5℃

Berdasarkan Tabel 3 hasil pengujian alat pada nilai set point 25,5℃ didapatkan hasil rata-rata nilai suhu air pada aquarium yaitu 25,5062℃ dengan rata-rata nilai suhu ruangan pada 28,77℃. Kemudian untuk nilai PWM tidak selalu menunjukkan pada nilai 255 atau *duty cycle* 100%, namun juga mengalami kenaikan dan penurunan yang menandakan perangkat peltier hanya bekerja secara maksimal atau naik ketika suhu air melebihi nilai pada nilai *set point* dan akan menurun ketika suhu telah mencapai *setpoint.*

Berdasarkan pada Gambar 6 grafik perbedaan antara suhu air dan suhu ruangan, suhu air memiliki nilai paling tinggi pada angka 25.8125℃ dan memiliki nilai terendah pada angka 24,9125℃. Kemudian untuk suhu lingkungan memiliki nilai paling tinggi pada angka 30,8℃ dan memiliki nilai terendah pada angka 27,5℃. Titik terendah pada suhu air yaitu 24,9125℃ merupakan *error overshoot* dari sistem yang sesekali terjadi, meskipun pada pengujian menggunakan aplikasi Arduino IDE menunjukkan nilai *overshoot* sebesar 0,15℃.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah didapatkan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Telah terealisasi alat pengontrol suhu pada air kolam benur dengan menggunakan metode PID dengan berbasis mikrokontroler ESP32 dengan nilai rata-rata suhu pada nilai *set point* 28℃ yaitu 28,0441℃ dan pada nilai *set point* 25,5℃ yaitu 25,5062℃.
- Alat pengontrol suhu pada air kolam benur mampu mengirim data berupa suhu air, suhu lingkungan, dan nilai PWM melalui internet pada platform *thingspeak* setiap 30 menit sekali.
- Berdasarkan hasil pengujian dan kalibrasi sensor DS18B20 didapatkan nilai rata-rata *error* dari sensor sebesar 0,18℃.
- Berdasarkan pengujian alat terkadang terdapat *error* terdapat pada sistem terkadang masih terlambat melakukan respon meskipun pada pengujian PID dengan aplikasi Arduino IDE sudah benar.

Daftar Pustaka

Anamika, Shifa. Joni Warta., dan Prio Kustanto. 2022. Sistem Monitoring pH, Suhu, dan Pakan Otomatis pada Budidaya Lobster air Tawar Berbasis IoT Menggunakan Metode K – NN. Jurnal Of Information and Information Security (JIFORTY), Vol.3, No.2.

Ernawati, E., Crisbiyantoro, C. 2017. Teknik Pembenihan Lobster Air Tawar *Red Claw* (*Cherax quadricarinatus*) di Unit Pembenihan Budidaya Air Tawar (UPBAT) Punten Kota Batu Jawa Timur. Agromix, Vol.4, No.3:65 – 71.

Firdaus, Ramadan dan Wildan Zulfikar. 2016. Pengontrol Suhu Ruangan Menggunakan Metode PID. Telekontran, Vol.4, No.2.

Kusmini, Irin Iriana. Wartono Hadi., dan Elinda P Sianipar. 2006. Suhu Optimum Untuk Laju Pertumbuhan dan Sintasan Benih Lobster Air Tawar *Cherax quadricarinatus*. Jurnal Riset Akuatur, Vol.1, No.1.

Komarudin, M dkk. 2020. *Multi Node sensors for Water Quality Monitoring Towards Precision Aquaqulture.* IOP Conf. Series: Earth and environmental Science, 739 (2021) 012026. https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012026.

Lengka, Kedis. Magdalena Kolopita., dan Siti Asma. 2013. Teknik Budidaya Lobster (*Cherax quadricarinatus*) Air Tawar di Balai Budidaya Air tawar (BBAT) Tatelu. Budidaya Perairan, Vol.1, No.1, 15 – 21.

Setyawan, FX Arinto dkk. 2016. Dasar Sistem Kendali. Bandar Lampung: Anugerah Utama Raharja.

Tumembouw, S Sipriana. 2011. Kualitas Air Pada Kolam Lobster Air Tawar (*Cherax quadricarinatus*) di BBAT Tatelu. Jurnal Perikanan dan Kelautan tropis, Vol.VII – 3.

Universitas Medan Area. 2021. Menggunakan Sensor Suhu DS18B20. Diakses pada 8 Maret 2023, dari https://elektro.uma.ac.id/2021/03/10/10780/.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

KAJIAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DALAM PENGEMBANGAN EKOWISATA PULAU PADA KAWASAN TELUK LAMPUNG (Studi Kasus Pulau Sebesi)

Sugeng Prayitno Harianto [a] , Tomy Pratama Zuhelmi [b*], Machya Kartika Tsani [c], Refi Arioen [d], dan Sunaryanti [e]

[a,c,e] *Program Studi Kehutanan, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Lampung 35145*
[b] *Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno Hatta No.10, Bandar Lampung, Lampung 35144*
[d] *Program Studi Manajemen, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Jl. Imam Bonjol No.486, Bandar Lampung, Lampung 35118*

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima tgl/bln/tahun
Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:
Kebutuhan energi listrik
Potensi wisata
Pengembangan ekowisata
Sumber energi ramah lingkungan
Teluk Lampung

A B S T R A K

Teluk Lampung memiliki potensi wisata yang besar, namun pengembangan wisata yang tidak terkendali dapat berdampak negatif pada lingkungan dan masyarakat sekitar. Salah satu aspek penting dalam pengembangan ekowisata adalah kebutuhan energi listrik yang harus dipenuhi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kebutuhan energi listrik pada lokasi wisata di Teluk Lampung dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan ekowisata yang berkelanjutan. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah observasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik pada lokasi wisata di Teluk Lampung cukup besar, terutama pada malam hari. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan sumber energi yang ramah lingkungan dan efisien untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada lokasi wisata di Teluk Lampung.

1. Pendahuluan

Pengembangan ekowisata menjadi isu penting dalam konteks pembangunan berkelanjutan di era modern. Perpaduan antara keindahan alam, kesadaran lingkungan, dan potensi ekonomi telah menjadikan ekowisata sebagai salah satu sektor yang berkembang pesat. Namun, pertumbuhan ini tidak lepas dari tantangan yang kompleks, salah satunya adalah kebutuhan energi listrik yang semakin besar. Oleh karena itu, kajian mendalam mengenai kebutuhan energi listrik dalam pengembangan ekowisata menjadi hal yang mendesak.

Sektor pariwisata di Indonesia mempuyai sumbangan yang penting dalam pembentukan Pendapatan Domestik Bruto (PDB), penerimaan devisa, dan penyerapan tenaga kerja. Sumbangan dalam ketiga hal tersebut diperkirakan akan terus meningkat dari waktu ke waktu karena tren gaya hidup masyarakat yang senang berwisata dan juga dukungan berbagai pemangku kepentingan (Nugroho, 2020). Alasan mengapa model ekowisata sangat sesuai dikembangkan di Teluk Lampung oleh masyarakat lokal adalah masyarakat lebih mudah menerima dan mengelola objek dan atraksi wisata dengan skala kecil dan karena kepemilikan objek wisata oleh masyarakat maka keuntungan dan hasil baik dari pengelolaan akan lebih banyak diterima oleh masyarakat lokal (Kaharuddin dkk., 2020). Yulianda (2020) juga menjelaskan bahwa daya dukung yang dapat mendukung kegiatan wisata yang sesuai dengan sumber daya ekowisata merupakan hal utama dalam konsep pemanfaatan sumber daya

ekowisata. Ekowisata menawarkan wisata yang menghubungkan perjalanan menikmati wisata alam dengan visi misi konservasi dengan tindakan tindakan kecintaan lingkungan (Abdoellah et al., 2019).

Pentingnya keberlanjutan dalam ekowisata mengharuskan perhatian khusus terhadap aspek penggunaan energi. Ekowisata yang berkelanjutan harus mampu meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar, termasuk konsumsi energi yang berlebihan. Namun, pada saat yang sama, pengembangan fasilitas dan infrastruktur dalam ekowisata memerlukan pasokan energi listrik yang andal dan memadai.

Dalam perspektif pariwisata sebagai sistem adaptif yang kompleks, penerapan stategi untuk tujuan pengembangan pariwisata, perlu untuk memberi masukan tentang kebijakan perbaikan tata kelola dan menyelaraskannya dengan dinamika kondisi dan situasi masyarakat saat ini serta ekonomi global (Hartman, 2021). Pendekatan pariwisata sebagai sistem, memberi alternatif upaya meningkatkan perekonomian rakyat (Mu'alim & Habibussalam, 2021).

Dalam konteks ini, penelitian yang berfokus pada kajian kebutuhan energi listrik dalam pengembangan ekowisata yang memiliki nilai yang sangat penting pada Pulau Sebesi.

Pulau Sebesi adalah salah satu pulau yang terletak di Provinsi Lampung, Sumatera Selatan, Indonesia. Pulau ini terletak di Selat Sunda dan merupakan bagian dari kelompok pulau yang meliputi Sebuku, Sertung, dan Rakata. Pulau Sebesi terkenal dengan pantai yang indah dan air yang jernih, sehingga menjadi destinasi populer bagi wisatawan. Pulau ini juga memiliki mercusuar yang dibangun oleh Belanda pada tahun 1885. Pengunjung dapat mendaki ke puncak mercusuar untuk menikmati pemandangan sekitar. Pulau ini dapat diakses dengan kapal dari kota terdekat, Bandar Lampung

Dengan menganalisis pola konsumsi energi, sumber energi yang digunakan, serta potensi pengoptimalan efisiensi energi, penelitian ini berupaya memberikan wawasan yang mendalam mengenai bagaimana energi listrik dapat diintegrasikan secara berkelanjutan dalam ekowisata.

Dalam pendahuluan ini, kita akan membahas latar belakang ekowisata sebagai fenomena yang berkembang pesat, serta permasalahan yang timbul terkait kebutuhan energi listrik dalam konteks pengembangan ekowisata. Kami juga akan merinci tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk menganalisis secara holistik kebutuhan energi listrik dalam pengembangan ekowisata dan mengidentifikasi potensi langkah-langkah berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi ini.

Melalui analisis mendalam terhadap kajian kebutuhan energi listrik dalam pengembangan ekowisata, diharapkan penelitian ini dapat memberikan panduan yang berharga bagi para pengambil keputusan, praktisi industri, dan pihak terkait lainnya dalam mengembangkan ekowisata yang tidak hanya menguntungkan secara ekonomi, tetapi juga berkontribusi positif terhadap lingkungan dan masyarakat setempat.

2. Metodologi

Studi ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan analitis yang menggabungkan metode survei lapangan dan analisis data statistik. Langkah-langkah berikut ini menjelaskan secara rinci metode yang digunakan dalam penelitian "Kajian Kebutuhan Energi Listrik Dalam Pengembangan Ekowisata Pada Teluk Lampung"

2.1. Pemilihan Lokasi Studi

Lokasi ekowisata tempat penelitian ini dilakukan mewakili variasi dalam skala dan jenis fasilitas, serta memiliki dampak yang signifikan terhadap konsumsi energi listrik. Lokasi ini mencakup berbagai jenis akomodasi, restoran, dan fasilitas lain yang umumnya ada dalam destinasi ekowisata. Lokasi yang menjadi tempat penelitian kajian kebutuhan energi listrik dalam pengembangan ekowisata adalah di teluk Lampung.

2.2. Survei Kebutuhan Energi

Survei Konsumsi Energi langsung dilaksanakan di lokasi ekowisata Teluk Lampung untuk mengumpulkan data mengenai konsumsi energi listrik dari berbagai fasilitas. Data yang diperoleh meliputi pemakaian listrik harian, mingguan, dan bulanan.

Identifikasi peralatan dan fasilitas yang menjadi penyumbang utama konsumsi energi listrik. Ini termasuk penerangan, pendingin udara, peralatan dapur, dan lain sebagainya.

2.3. Analisis Efisiensi Energi

Pengukuran efisiensi energi dari peralatan yang signifikan dalam konsumsi listrik. Ini melibatkan pengukuran daya dan pemakaian energi dalam berbagai kondisi.

2.5. Analisis Data

Analisis statistik dilakukan terhadap data yang diperoleh dari survei dan pengukuran. Ini dapat mencakup perhitungan rata-rata, distribusi, dan tren konsumsi energi.

Analisis data menghasilkan wawasan tentang pola konsumsi energi listrik dalam pengembangan ekowisata, serta potensi untuk mengurangi konsumsi dengan cara yang berkelanjutan.

Melalui kombinasi pendekatan survei lapangan, pengukuran efisiensi energi, dan analisis data statistik, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kebutuhan energi listrik dalam pengembangan ekowisata dan potensi solusi berkelanjutan yang dapat diterapkan.

3. Hasil dan pembahasan

Pulau Sebesi, yang terletak di sekitar Gunung Krakatau, merupakan salah satu pulau di wilayah ini yang dihuni oleh penduduk. Potensi besar terletak pada pengembangan Pulau Sebesi menjadi salah satu Objek Daerah Tujuan Wisata (ODTW) yang berfokus pada keberlanjutan ekologi. Luas wilayah Pulau Sebesi mencapai 2620 hektar dengan garis pantai yang membentang sepanjang 19,55 kilometer. Mayoritas daratan Pulau Sebesi terdiri dari endapan gunung berapi yang relatif baru dan memiliki topografi berbukit. Puncak tertinggi di Pulau Sebesi mencapai 884 meter di atas permukaan laut dan memiliki bentuk kerucut dengan tiga puncak yang khas (Wiryawan et al., 2002).

Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) menurut PP No. 50 tahun 2011 merupakan kawasan yang memiliki fungsi utama pariwisata atau memiliki potensi untuk pengembangan pariwisata yang mempunyai pengaruh penting dalam satu atau lebih aspek, seperti pertumbuhan ekonomi, sosial dan budaya, pemberdayaan sumber daya alam, daya dukung lingkungan hidup serta pertahanan dan keamanan. Dalam pengembangannya, beberapa KSPN telah memiliki akses terhadap energi terbarukan misalnya tenaga surya, air dan panas bumi.

Profil Konsumsi Energi Listrik: Berdasarkan survei yang dilakukan, ditemukan profil konsumsi energi listrik yang bervariasi di berbagai fasilitas ekowisata di Teluk Lampung. Peralatan seperti penerangan, pendingin udara, dan peralatan dapur teridentifikasi sebagai kontributor utama dalam konsumsi energi.

Polanya Ketersediaan Energi: Analisis data lingkungan menunjukkan bahwa lokasi ekowisata yang lebih terpencil cenderung mengalami keterbatasan pasokan energi listrik. Fasilitas yang terletak di daerah dengan paparan sinar matahari yang cukup tinggi memiliki potensi untuk mengintegrasikan panel surya sebagai sumber energi alternatif.

Efisiensi Energi yang Tersedia: Melalui pengukuran dan simulasi efisiensi energi, ditemukan bahwa penggantian peralatan yang lebih tua dengan model yang lebih efisien dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Selain itu, pengaturan otomatisasi untuk penerangan dan pendingin udara juga berpotensi mengoptimalkan penggunaan energi.

Potensi Pengembangan Berkelanjutan: Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengembangan ekowisata yang berkelanjutan memerlukan pendekatan holistik dalam mengintegrasikan kebutuhan energi. Penggunaan sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya dan energi angin, dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dengan dampak lingkungan yang lebih rendah.

Keterkaitan Kebutuhan Energi dan Keberlanjutan: Hasil penelitian menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan konsumsi energi dalam pengembangan ekowisata yang berkelanjutan. Kebutuhan energi yang lebih tinggi dapat mengarah pada dampak lingkungan yang lebih besar, terutama jika energi berasal dari sumber non-terbarukan.

Tabel 1. Kebutuhan enegeri berdasarkan masa *open-trip*

Nama Beban	Jumlah beban	Daya (Watt)	Jumlah daya	Waktu pemakaian (jam)	Beban/ hari
Lampu	40	15	600	12	7200
Pompa Air	1	500	500	4	2000
AC	3	840	2520	5	12600
Kipas angin	10	40	400	12	4800
Charger hp	21	10	210	5	1050

Implikasi Strategis: Simulasi efisiensi energi memberikan wawasan tentang potensi penghematan energi dengan menerapkan peralatan yang lebih efisien. Implementasi pengaturan otomatisasi juga dapat membantu mengurangi pemborosan energi yang sering terjadi karena peralatan yang dibiarkan beroperasi tanpa pengawasan.

Penekanan pada Energi Terbarukan: Dalam konteks pengembangan ekowisata, penerapan teknologi energi terbarukan menjadi kunci. Panel surya, turbin angin, dan teknologi lainnya memiliki potensi untuk memberikan pasokan energi yang berkelanjutan tanpa mengganggu keindahan alam.

Penerapan konsep daya dukung adalah suatu metode yang mempertimbangkan pembatasan dalam penggunaan sumberdaya, bertujuan untuk menjaga kelangsungan sumberdaya tanpa merusaknya dan lingkungan sekitarnya. Teori yang dikemukakan oleh (Clark,1996) menyatakan bahwa daya dukung seringkali dijadikan sebagai parameter pembatas dalam aktivitas pariwisata.

Keterlibatan Pihak Terkait: Studi ini menyoroti perlunya kolaborasi antara pihak-pihak terkait, termasuk manajemen ekowisata, pemerintah, dan masyarakat lokal, dalam merencanakan dan mengelola penggunaan energi. Kesadaran akan manfaat ekonomi dan lingkungan dari solusi berkelanjutan dapat mendorong implementasi tindakan yang diperlukan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kebutuhan energi listrik dalam pengembangan ekowisata dan potensi langkah-langkah berkelanjutan yang dapat diambil. Melalui pendekatan ini, diharapkan ekowisata dapat tumbuh secara berkelanjutan tanpa mengorbankan aspek lingkungan dan sosialnya.

Dari hasil penelitian yang telah dianalisis dan dibahas, beberapa hal penting dapat ditegaskan:

a. Kesadaran akan Konsumsi Energi: Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya memahami dampak konsumsi energi listrik dalam pengembangan ekowisata. Peralatan seperti penerangan dan pendingin udara, yang menjadi kontributor utama dalam konsumsi energi, membutuhkan perhatian lebih terkait efisiensi penggunaannya.

b. Solusi Berkelanjutan: Hasil analisis menunjukkan bahwa pengembangan ekowisata yang berkelanjutan harus melibatkan penerapan solusi berkelanjutan dalam penggunaan energi. Penggunaan sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, memiliki potensi untuk memberikan pasokan energi yang berkelanjutan tanpa merusak keindahan alam.

c. Tantangan dan Peluang: Studi ini mengidentifikasi tantangan dalam hal ketersediaan energi, terutama di lokasi ekowisata yang terpencil. Namun, tantangan ini juga membuka peluang untuk eksplorasi teknologi energi terbarukan yang dapat disesuaikan dengan kondisi lingkungan setempat.

d. Kolaborasi dan Kesadaran: Perlunya kolaborasi antara berbagai pihak terkait, termasuk manajemen ekowisata, pemerintah, dan masyarakat lokal. Kesadaran akan manfaat jangka panjang dari solusi berkelanjutan dapat memacu tindakan bersama menuju pengelolaan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

4. Kesimpulan

Dalam era di mana keberlanjutan dan konservasi lingkungan menjadi semakin penting, pengembangan ekowisata telah muncul sebagai pendekatan yang menarik dalam memanfaatkan keindahan alam sambil tetap menjaga lingkungan. Penelitian ini, yang berjudul "Kajian Kebutuhan Energi Listrik Dalam Pengembangan Ekowisata", telah menggali lebih dalam tentang implikasi energi listrik dalam konteks pengembangan ekowisata yang berkelanjutan.

Dengan demikian, kajian ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang pentingnya mempertimbangkan aspek energi listrik dalam pengembangan ekowisata. Dengan penerapan langkah-langkah berkelanjutan, ekowisata dapat menjadi model yang menginspirasi untuk menggabungkan pariwisata, konservasi alam, dan efisiensi energi dalam harmoni yang seimbang. Kesimpulan ini menunjukkan jalan menuju pengembangan ekowisata yang tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga melestarikan keindahan alam dan masyarakat setempat dalam jangka panjang.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didukung oleh Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Nomor hibah: 131/E5/PG.02.00.PL/2023).

Daftar Pustaka

Abdoellah, O. S., Sunardi, Widianingsih, I., Cahyandito, M. F., Wiyanti, D. T., & Nurseto, H. E. 2019. Pengembangan Ekowisata Berbasis Masyarakat Di Desa Tarumajaya , Hulu Sungai Citarum : Potensi Dan Development of a Community Based Ecotourism in Ta- Rumajaya Village , Upstream Citarum River : Potentials and Obstacles. Kumawula : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 2(3), 236–247.https://doi.org/10.24198/kumawula.v1i3.24553.

Clark JR. 1996. Coastal zone management. Handbook. CRS Press. Lewis Publishers. Florida.

Hartman, S. (2021). Destination governance in times of change: a complex adaptive systems perspective to improve tourism destination development. In Journal of Tourism Futures. Emerald Group Holdings Ltd. https://doi.org/10.1108/JTF-11-2020-0213/FULL/PDF

Kaharuddin, K., Pudyatmoko, S., Fandeli, C., & Martani, W. (2020). Partisipasi Masyarakat Lokal dalam Pengembangan Ekowisata. Jurnal Ilmu Kehutanan, 14(1), 42-54.

Mu'alim, Z. A., & Habibussalam, H. (2021). Tinjauan Literatur Sistematis Terhadap Pembangunan Kepariwisataan Yang Berkelanjutan. J-3P (Jurnal Pembangunan Pemberdayaan Pemerintahan), 6(2), 171–192. https://doi.org/10.33701/J 3P.V6I2.1756

Nugroho, SBM. (2020). Beberapa Masalah dalam Pengembangan Sektor Pariwisata di Indonesia. Jurnal Pariwisata, 7(2), 124-131. https://doi.org/10.31311/par.v7i2.8810

Wiryawan B, Yulianto I, Haryanto B. 2002. Rencana Pembangunan dan Pengelolaan Pulau Sebesi. Desa Tejang Pulau Sebesi, Kecamatan Rajabasa Kabupaten Lampung Selatan. Penerbitan Khusus Proyek Pesisir. Coastal Recources Center- University of Rhode Island.

Yulianda, F. 2020. Ekowisata perairan suatu konsep kesesuaian dan daya dukung wisata bahari dan wisata air tawar. PT Penerbit IPB Press.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan *Komposit Karbon-Bentonite* Asal *Spent Bleaching Earth* secara Batch

L.Hermida*, J. Agustian, A. A. Azwan, A. K. Zaman

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Prof. S. Broojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Rajabasa, Bandar Lampung, 35145. Indonesia

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima tgl/bln/tahun
Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:
Adsorbsi
Komposit Karbon Bentonit
Limbah Cair Tahu
Spent Bleaching Earth

A B S T R A K

Air limbah industri tahu adalah salah satu limbah yang secara langsung dibuang ke sungai dimana kandungan limbah tersebut meliputi *turbidty*, TDS, TSS, COD, Serta nilai pH. Proses adsorpsi merupakan salah satu cara efektif untuk mengurangi kadar limbah industri tahu. Komposit karbon-bentonit asal *Spent Bleaching Earth* dapat digunakan sebagai adsorben yang baik. *Spent Belaching Earth* dikalsinasi di suhu 300°C selama 3 jam hingga menghasilkan Komposit Karbon Bentonit. Komposit Karbon Bentonit dikontakkan dengan limbah tahu lalu di aduk dengan variasi waktu 15, 20, 25, dan 30 menit serta variasi massa adsorben yaitu 3,4, dan 5 gram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa adsorben yang digunakan untuk mengurangi kadar limbah sebesar 5 gram dan dikontakkan selama 30 menit dengan nilai penurunan dari setiap parameter, yaitu Turbidity 15,78 NTU; Ph 6,55; COD 1644 mg/l; TDS 86 mg/l; TSS 221,8 mg/l. Kadar limbah tersebut mengalami penurunan serta memenuhi kadar baku mutu limbah yang telah ditentukan oleh pemerintah.

1. Pendahuluan

Tahu adalah salah satu makanan yang sangat digemari oleh masyarakat di Indonesia. Tahu sendiri ternyata berasal dari china. Setelah masuknya tahu ke Indonesia, peminat tahu pun semakin banyak di kawasan nusantara, bahkan tahu pun menjadi salah satu penyelamat pada saat krisis di Indonesia akibat tanam paksa pada masa penjajahan oleh pihak kolonial. Selain rasanya yang enak, serta banyaknya kandungan gizi yang didapat, pembuatan tahu pun terbilang cukup mudah.

Pembuatan tahu yang mudah serta banyaknya minat masyarakat Indonesia terhadap tahu mengakibatkan banyaknya industri tahu di Indonesia. Teknologi dalam industri pembuatan tahu terbilang cukup sederhana. Akibatnya banyak industri pembuatan tahu tidak membuat pengolahan limbah buangan industrinya.

Limbah tahu terbagi menjadi dua, yaitu limbah padat serta limbah cair. Limbah tahu padatan terdiri dari kulit kedelai dan ampas tahu. Ampas tahu dapat diolah kembali menjadi pakan ternak sedangkan kulit kedelai dapat dioleh kembali menjadi sereal (Wiwien, 2005). Namun untuk limbah cair tahu, kebanyakan industri tahu tidak mengeolanya terlebih dahulu, sehingga limbah cair tersebut langsung dibuang ke lingkungan.

Limbah cair tahu secara fisik terlihat keruh dan berbau. Keruhnya limbah tahu disebabkan banyaknya zat yang tersuspensi dari bahan organik maupun non organik (Effendi, 2003). Sedangkan untuk bau berasal dari aktifitas mikroorganisme untuk menguraikan zat organik (Wignyanto, dkk, 2009). Dampaknya, buangan

* Penulis korespondensi.
E-mail: lilis.hermida@eng.unila.ac.id

limbah cair tahu apabila dibuang langsung ke sungai, dapat merusak biota sungai.

Pengolahan limbah cair tahu dapat dilakukan secara fisika dan kimia. Secara kimia, dapat dilakukan dengan cara koagulasi, presiptasi, dan netralisasi, sedangkan secara fisika, dapat dilakukan dengan cara sedimentasi, adsorpsi, dan filtrasi. Adsorpsi untuk pengolahan limbah cair tahu ini, biasanya menggunakan zeolit dan karbon aktif. Namun pengolahan yang rumit serta biaya yang tinggi, membutuhkan alternatif lain untuk adanya adsorben yang efektif, salah satunya yaitu bentonit. Bentonit dapat dibuat dari tanah lempung. Cadangan tanah lempung di Indonesia sangat banyak, namun pemanfaatannya belum optimal (Hardayanti, dkk, 2017).

Selain untuk adosrpsi dalam pengolahan limbah, bentonit dapat digunakan untuk bleaching dalam pengolahan CPO. Namun setelah proses *bleaching*, bentonit yang sudah digunakan, tidak dapat digunakan kembali dan akan menjadi limbah. *Spent Bleaching Earth*, atau bentonit yang telah digunakan untuk bleaching, dapat diaktifasi kembali untuk dapat digunakan sebagai adsorben.

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengolahan limbah cair tahu agar dapat sesuai dengan baku mutu buangan limbah yang sesuai dengan ketetapan pemerintah menggunakan Komposit Karbon-Bentonit asal *Spent Bleaching Earth* (SBE) sebagai adsorben. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui waktu optimum adsorpsi Komposit Karbon Bentonit ke limbah serta massa optimal dari Komposit Karbon Bentonit.

2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain ayakan 200 mesh, *Muffle Furnace Thermoline* 6000, Neraca Digital, gelas beaker, pipet tetes, gelas ukur, *stop watch*, pH meter, *turbidity* meter, *Cyanide* meter, *magnetic stirrer*, kertas saring, *hot plate*, dan Erlenmeyer. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain *spent bleacing earth*, limbah cair tahu dan aquades.

2.2. Karakteriasi Kompsit Karbon Bentonit

Pada penelitian ini adsorben yang dipakai merupakan adopsi dari penelitian Tang, 2015 yaitu *Spent Bleaching Earth* yang didapat dari hasil buangan pembuatan CPO, diaktifasi dengan cara kalsinasi selama 3 jam di suhu 300°C. Setelah diaktifasi, *Spent Bleaching Earth* dan komposit karbon bentonit di uji BET untuk mengetahui besarnya perbedaan luas permukaan dari *Spent Bleaching Earth* dengan komposit karbon-bentonit.

2.3. Adsorbsi Limbah Cair Tahu oleh Komposit Karbon-Bentonit

Limbah cair tahu akan menjadi akan menjadi bahan untuk menguji komposit karbon-bentonit yang telah dibuat. Adsorpsi dilakukan secara batch pada suhu normal dengan variabel massa dan waktu kontak. Variasi massa yang digunakan yaitu 3 gram, 4 gram dan 5 gram serta variasi waktu kontak yaitu 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit. Proses adsorpsi dilakukan dengan mengontakan limbah cair tahu dan adsorben berdasarkan massa dan waktu kontak yang telah ditetapkan dengan bantuan magnetic stirrer sebagai pengaduk. Setelah proses adsorpsi selesai adsorben dan adsorbat dipisahkan menggunkan kertas saring.

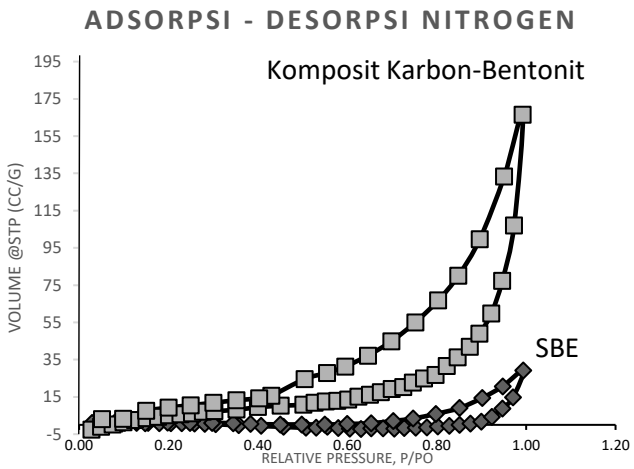
Selanjutnya hasil adsorbat dianilis *turbidity* dan pH hingga diperoleh nilai terbaik. Sampel dengan hasil nilai terbaik tersebut akan dijadikan acuan untuk analisis TDS, TSS, dan COD.

.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Karakterisasi Komposit Karbon Bentonite

Karakterisasi pada adsorben di penelitian ini dilakukan dengan uji BET *(Brunaeur, Emmet,* dan *Teller)* untuk mengetahui luas permukaan dari adsorben. Analisa ini dilakukan di ITS (Institut Teknologi Surabaya). Tujuan karakteristik BET ialah untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume pori, dan ukuran pori rata-rata dengan menggunakan metode adsorpsi-desorpsi nitrogen pada tipe loop hirterisis pada material. Metode ini merupakan adsorpsi fisik pada karakteristik BET agar material mikropori maupun mesopori dapat teranalisa dengan baik, kemudian menentukan total luas permukaan serta struktur pori suatu padatan (Haber, dkk., 1995), (Hamid, dkk., 2011). Proses analisa material mesopori dapat diketahui melalui metode grafik isoterm langmuir berdasarkan nilai perbandingan P/Po (mmHg) terhadap volume N2 per gram sampel (cc/g).

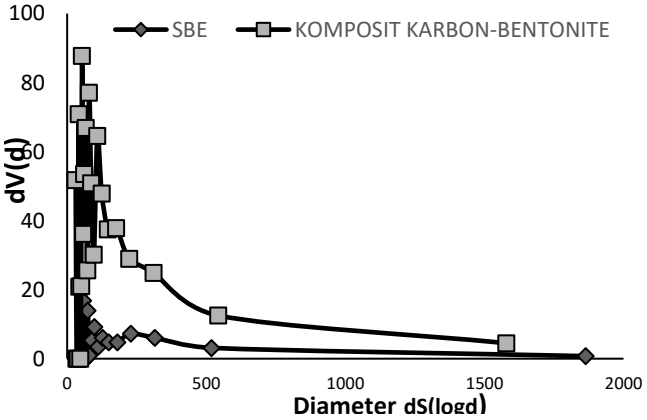


Gambar 1. Kurva Isoterm Adsorpsi-Desorpsi

Berdasarkan Gambar 1, di dapat nilai jumlah adsorpsi nitrogen pada tekanan relatif P/P0 yang terdapat pada sampel SBE dan Komposit Karbon-Bentonit. Pada adsorpsi molekul nitrogen P/P0 = 0,0 hingga 1, isotherm adsorpsi nitrogen memiliki pola yang sangat berbeda antara SBE dan Komposit Karbon-Bentonit. Proses adsorpsi terjadi dengan adsorpsi nitrogen yang akan meningkat seiring dengan naiknya P/P0 yaitu dari relatif rendah kemudian naik perlahan hingga naik dengan sangat tajam. Hal ini menandakan jika tekanan semakin tinggi maka jumlah gas yang teradsorp semakin banyak. Peristiwa ini terjadi karena adsorben memiliki pori yang cukup besar (Perry, J.H., dkk, 1997). Setelah itu tekanan akan di turunkan untuk melakukan desorpsi gas. Dalam kurva isothermal terjadi loop histerisis dimana jumlah gas terdesorp tidak sama dengan jumlah gas teradsorp. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa jumlah gas yang terdesorpsi lebih kecil dibandingkan jumlah gas yang teradsorpsi dikarenakan terjadinya kondesnsasi kapiler pada mesopori (Kang, dkk, 2004).

Setelah itu tekanan akan di turunkan untuk melakukan desorpsi gas. Dalam kurva isothermal terjadi loop histerisis dimana jumlah gas terdesorp tidak sama dengan jumlah gas teradsorp. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa jumlah gas yang terdesorpsi lebih kecil dibandingkan jumlah gas yang teradsorpsi dikarenakan terjadinya kondesnsasi kapiler pada mesopori (Kang, dkk, 2004).

Sesuai dengan klasifikasi IUAPAC (International Union of Pure and Applied Chemsitry), tipe grafik ishotermal pada sampel SBE dan Komposit Karbon-Bentonite adalah tipe IV dengan percabangan loop histerisis tipe H3 yang menunjukkan bentuk pori celah lebar (Machado, A.E.H., dkk, 2015). Percabangan tersebut diakibatkan oleh fenomena kondensasi kapiler yang terjadi didalam pori material (Thahir, dkk, 2019). Sehingga saat tekanan diturunkan jumlah gas yang terdesorpsi tidak sama dengan jumlah gas yang teradsorpsi diawal. Dapat disimpulkan bahwa SBE dan Komposit Karbon-Bentonite yang terbentuk adalah material fotokatalisis mesopori. Dalam mengetahui karakteristik padatan berpori dapat dilihat pada data grafik distribusi ukuran pori dengan *Barret, Joyner,* dan *Halenda* (BJH).



Gambar 2. Analisis Distribusi Ukuran Pori pada SBE dan Komposit Karbon-Bentonit

Data distribusi pori pada Gambar 2 menunjukkan bahwa SBE dan Komposit Karbon-Bentonite memiliki ukuran pori yang tidak seragam. Pada diameter 30,00 - 58,12 Å mengalami penaikan. Pada SBE terjadi kenaikan perubahan volume pada diameter pori 31,04 – 58,127 Å. Sedangkan pada Komposit Karbon-Bentonite terjadi kenaikan pada diameter pori 30,6-53,6 Å. Pada SBE kenaikan volume tertinggi didapatkan pada diameter pori berukuran 58,1277 Å dengan kenaikan volume tertinggi yaitu 16,817 cc/g. Sedangkan pada komposit karbon-bentonite mengalami penaikan volume pada diameter pori 53,6551 Å dengan kenaikan volume tertingginya 87,805 cc/g. Hasil tersebut m1enunjukkan bahwa Komposit Karbon-Bentonite dan SBE tergolong dalam kelompok mesopori serta Komposit Karbon-Bentonite lebih mengalami kenaikan volume dibandingkan dengan SBE.

3.2 Baku Mutu Limbah Cair Tahu

Kadar zat pencemar pada limbah cair tahu sangat tinggi, oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan supaya kualitas limbah cair tahunya tidak mencemari lingkungan. Berikut adalah parameter baku mutu untuk limbah yang di tetapkan oleh pemerintah pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 serta Peraturan Mentri Kesehatan Republik Indonesia nomor 32 tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan air.

Tabel 1 baku mutu limbah cair untuk industri tahu

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Satuan
Turbidity	25	NTU
COD	300	Mg/l
TSS	200	Mg/l
TDS	1000	Mg/l
pH	6,0-9,0	-

3.3 Analisis Sampel Awal

Sebelum proses pengolahan limbah cair tahu dilakukan, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu analisa Turbidity, pH, COD, TSS, dan TDS pada kondisi awal limbah cair tahu tersebut, yang mana parameter tersebut akan dijadikan acuan perbandingan sebelum dan sesudah proses pengolahan air dengan menggunakan Komposit Karbon-Bentonit. Hasil analisa sampel awal pada limbah cair tahu terlihat bahwa belum memenuhi standar baku mutu limbah cair tahu sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 serta Peraturan Mentri Kesehatan Republik Indonesia nomor 32 tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan air. Kontaminan yang tidak sesuai dengan standar baku mutu tentu akan berdampak negatif apabila terkontaminasi dengan lingkungan, sehingga dibutuhkan proses pengolahan yang tepat untuk mengolah limbah.

Tabel 2 Hasil pengujian kualitas limbah cair tahu yang belum diolah

No	Parameter	Satuan	Limbah cair tahu
1	Turbidity	NTU	25,60
2	Ph	-	4,32
3	COD	mg/l	8730
4	TDS	mg/l	3772
5	TSS	mg/l	463,8

Pada penelitian ini akan dilakukan uji adsorben pada limbah cair tahu yang telah ditentukan. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Tanah dan Air, Polinela untuk menguji pH, COD dan TSS.

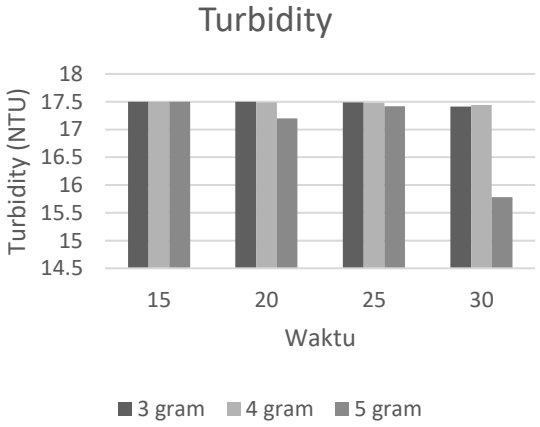
Tabel 3 pengujian sampel terhadap komposit karbon-bentonit

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	
			Sampel Awal	Kondisi Terbaik
1	Turbidity	NTU	25,60	15,78
2	pH	-	4,32	6,55
3	COD	mg/l	8730	1644
4	TDS	mg/l	3772	86
5	TSS	mg/l	463,8	221,8

3.4 Adsorpsi Komposit Korbon-Bentonit

3.4.1 Pengaruh Adsorpsi Terhadap Turbidity

Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyak cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat didalam air. Nilai kekeruhan umumnya berkolerasi positif terhadap TSS. Semakin tinggi nilai TSS maka nilai kekeruhan juga akan semakin tinggi.



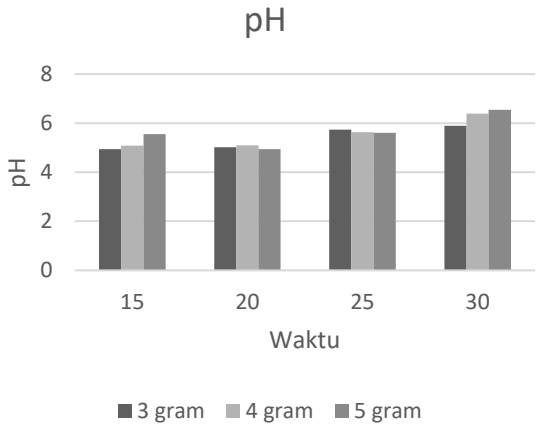
Gambar 3 Grafik penurunan nilai kekeruhan terhadap massa adsorben oleh waktu kontak

Berdasarkan Gambar 3.1 penyisihan turbidity terbaik yaitu pada massa 5 gram dan waktu 30 menit dengan nilai sampel sebelum diolah sebesar 25,60 NTU dan setelah diolah sebesar 15,78 NTU. Hal ini disebabkan oleh faktor yang mempengaruhi efisiensi adsorpsi yaitu waktu kantak dan jumlah adsorben yang digunakan. Bertambahnya massa adsorben komposit karbon-bentonit maka semkain banyak pula pori-pori komposit karbon-bentonit yang digunakan untuk

menyerap zat-zat organik (Nurullita dan Mufbakhuddin, 2015). Selain itu semakin lama waktu pengolahannya maka adsorbat yang teradsorpsi juga akan semakin banyak sehingga zat yang tak diinginkan yang terkandung pada limbah cair tahu tersebut akan menurun (Caroline, 2004).

3.3.2 Pengaruh Adsorpsi Terhadap pH

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter universal yang digunakan untuk mengukur intensitas asam dan basa dari larutan. Pengukuran pH merupakan cara untuk mengukur konsentrasi dan aktifitas ion H (sururi, 2014).

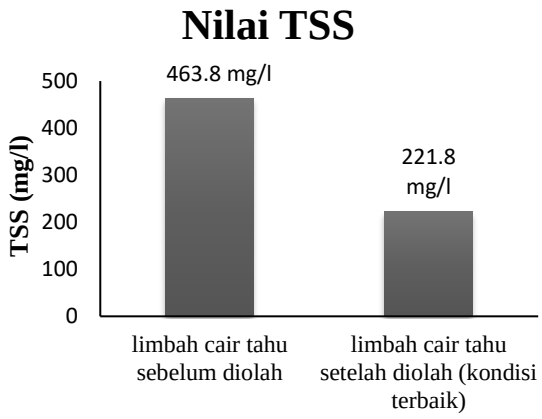


Gambar 4 Grafik perubahan nilai pH terhadap massa adsorben oleh waktu kontak

Dari gambar 4 perubahan nilai pH terbaik yaitu pada massa 5 gram dengan waktu kontak selama 30 menit dengan nilai pH sebelum diolah sebesar 4,32 dan setelah diolah sebesar 6,55. PH dapat memengarhui proses adsorbsi. Karena pH akan memengaruhi muatan pada permukaan absorben (Riapanitra, dkk, 2006).

3.3.3 Pengaruh Adsorpsi Terhadap TSS

Nilai TSS (*Total Suspended Solid*)merupakan jumlah total padatan yang tidak terlarut didalam air. Nilai TSS sangat erat kaitannya dengan nilai kekeruhan.

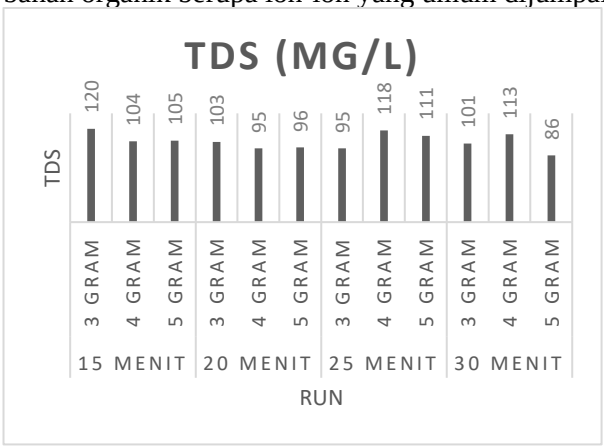


Gambar 5 Grafik perbandingan penurunan nilai TSS limbah cair tahu sebelum diolah dengan kondisi waktu 30 menit dan massa adsorben 5 gram

Berdasarkan gambar 5 grafik perbandingan penurunan nilai TSS limbah cair tahu sebelum diolah dan setelah diolah dikethui bahwa kadar TSS pada limbah cair tahu sebelum dilakukan proses pengolahan adalah 463,8 mg/l hasil ini belum memenuhi standar Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 serta Peraturan Mentri Kesehatan Republik Indonesia nomor 32 tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan air yaitu kurang dari 200 mg/l, setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan adsorben komposit karbon-bentonit kadar TSS mengalami penurunan menjadi 221,8 mg/l. Penurunan nilai tersebut diduga karena komposit karbon-bentonit memiliki pori pori yang luas. Menurut prabowo, 2009 komposit karbon-bentonite mempunyai mekanisme adsorpsi yang sama dengan karbon aktif dimana permukaan adsorben terbaik dalam sistem adsorpsi komposit karbon-bentonit memiliki permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang tinggi sehingga pemanfaatannya dapat optimal. Pada proses adsorpsi komposit karbon-bentonit dengan adsorbat berupa limbah cair tahu terjadi adsorpsi fisik, dimana terjadi gaya tarik-menarik anatar adsorben karbon aktif dan padatan dalam adsorbat, sehimgga adsorbat denan bebas menutupi keseluruhan permukaan adsorben (Irmanto dan Suyata, 2010).

3.3.4 Pengaruh Adsorpsi Terhadap TDS

TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah zat terlarut organik maupun anorganik dalam suatu larutan. Zat terlarut ini dapat melewati saringan berukuran diameter 2 mikrometer. Terbentuknya TDS dikarenakan adanya bahan organik berupa ion-ion yang umum dijumpai.



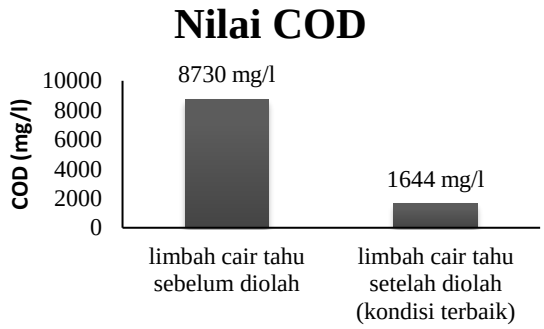
Gambar 6 Grafik perubahan nilai TDS limbah cair tahu terhadap massa adsorben oleh waktu kontak

Berdasarkan gambar 6 grafik perbandingan penurunan nilai TDS limbah cair tahu sebelum diolah dan setelah diolah diketahui bahwa kadar TDS pada

limbah cair tahu sebelum dilakukan proses pengolahan adalah 3772 mg/l setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan adsorben komposit karbon-bentonit kadar TDS mengalami penurunan menjadi 86 mg/l. Hasil pengujian nilai TDS sebelum dan sesudah perlakuan mengalami penurunan signifikan Hal ini disebabkan karena besarnya pori pori yang ada pada komposit karbon-bentonit sehingga komposit karbon-bentonit tersebut memiliki daya adsorpsi yang tinggi (Hardayanti, dkk., 2017). Pada penelitian ini, kadar TDS telah memenuhi kadar baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

3.3.5 Pengaruh Adsorpsi Terhadap COD

COD (*Chemichal Oxygen Demand*) merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Kandungan COD yang tinggi akan menimbulkan bau karena kandungan zat organik didalamnya menyebabkan oksigen tidak mampu mengurainya.



Gambar 7 Grafik perbandingan penurunan nilai COD limbah cair tahu sebelum diolah dengan kondisi waktu 30 menit dan massa adsorben 5 gram

Berdasarkan gambar 7 grafik perbandingan penurunan nilai COD limbah cair tahu sebelum diolah dan setelah diolah diketahui bahwa kadar COD pada limbah cair tahu sebelum dilakukan proses pengolahan adalah 8730 mg/l hasil ini tidak memenuhi standar baku mutu yang telah ditentukan oleh pemerintah yaitu kurang dari 300 mg/l, setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan adsorben komposit karbon-bentonit kadar COD mengalami penurunan menjadi 1644 mg/l. Hal ini disebabkan karena semakin bertambah massa karbon aktif yang digunakan, maka nilai efisiensi adsorpsinya terhadap ion semakin tinggi. Bertambahnya massa karbon aktif sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan karbon aktif sehingga menyebabkan tempat mengikat ion bertambah dan efisiensi adsorpsinya pun meningkat (Messayu, 2009).

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukan adanya perbaikan kualitas limbah cair tahu pada parameter yang ditinjau dengan nilai penyisihan sebesar pH 6,55; TDS 86 mg/l; TSS 221,8 mg/l; COD 1644 mg/l. Namun, pada parameter COD dan TSS nilai yang dihasilkan masih belum memenuhi standar baku yang ditetapkan oleh pemerintah tetapi mengalami penurunan removal yang cukup besar yaitu 81,23% dan 52,17%. Berdasarkan data dan analisis penelitian, hasil yang terbaik adalah penggunaan dosis komposit karbon-bentonit 5 gram selama 30 menit.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Laboratorium Kimia Terapan Jurusan Teknik kimia Universitas Lampung yang telah memberikan fasilitas terhadap terlaksanya penelitian ini.

Daftar Pustaka

Alaerts G., & S.S Santika.1984. Metode Penelitian Air. Usaha Nasional. Surabaya. Indonesia.

Apriliani, Ade., (2010), Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.

Arifin, M. dan A. Sudrajat, 1997. Bahan Galian Industri: Bentonit. Departemen Pertambangan dan Energi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung

Atkins, P. & Paula, J. 2006. Physical Chemistry Eight Edition. New York: Oxford University Press.

Asip, F., Mardhiah, R., Husna. 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur Dalam Mengadsorbsi Ion Fe Dengan Proses Batch. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Palembang.

Chanrai, N.G. and S.G. Burde, 2004. Recovery of Oil from Spent Bleaching Earth. US Patent No. 6,780,321 B2.

Devine, T and D.N Williams., 1961. The Chemistry and Technology of Edible Oils and Fats. Permagon Press. New York.

Effendi, H., 2003. Telaah kualitas air, bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Kanisius.

Ketaren,S., 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Cetakan Pertama. Jakarta: UI-Press

Komisi Pengawas persaingan Usaha (2007), Laporan Evaluasi dan Kajian Dampak Kebijakan Persaingan Terkait Dengan Industri Minyak Goreng Sawit

Kriteria dan standar kualitas air nasional, Dir. Penyelidikan Masalah Air, Jakarta Maret 1981 (241/LA-18/1981)

Lalu, Jamiludin., 2010.,*Artikel Bahan Galian Industri*. Makalah Ilmiah. Program Studi Kimia Fakultas MIPA Universitas Mataram, Mataram.

Meneghetti, E., Baroni, P., dan Vieira, R. S. 2010. Dynamic Adsorption of Chromium Ions onto Natural and Crosslinked Chitosan Membranes fo Wastewater Treatment. Materials Res. 13 (1): 89-94

Nurhasni, dkk., 2012, "Penyerapan Ion Alumunium dan Besi Dalam Larutan Sodium Silikat Menggunakan Karbon Aktif"., Jakarta

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2017, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang : Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum, Jakarta.

Peraturan Mentri Lingkungan Hidup, 2014, Peraturan Mentri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 Tentang : Baku Mutu Air Limbah, Mentri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta.

Peraturan Pemerintah, 1999, Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 Tentang : Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, Presiden Republik Indonesia, Jakarta.

Pranoto, 2005, *Penggunaan Biofilter Enceng Gondok Untuk Menurunkan Kadar Cod Limbah Cair Tahu*, skripsi, UNNES, Semarang

Pranoto, 1999, *Pengelolaan Lingkungan Di Perusahaan Tahu (Unit Pengelolaan Air Limbah),* UNS, Surakarta

Ratnani, R. D. 2011. Kecepatan Penyerapan Zat Organik Pada Limbah Cair Industri Tahu Dengan Lumpur Aktif. Jurnal Teknik Kimia Universitas Wahid Hasyim. Semarang

Sembodo, B. S. T., 2006.*Model Kinetika Langmuir untuk Adsorpsi Timbal pada Abu Sekam Padi*. Ekuilibrium

Tank, K.H., 1993. Principles of Soil Chemsitry, 2nd Edition. Marcel Dekker, New York.

Wahyudi, M.Y., 2000. *Studi Penggunaan Kembali Bleaching Earth Bekas sebagai Adsorben dalam Proses Refining CPO*. Tesis Magister. Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Bandung

Wambu, E.W., Shiundu, P. M., Thiongo, K. J., Muthakia, G.K., 2009. *Kinetics of Copper Desorption from Regenerated Spent Bleaching Earth*. Journal Scientific research.

Wignyanto, dkk. 2009. Bioremediasi Limbah Cair Sentra Industri Tempe Sanan Serta Perencanaan Unit Pengelolaannya. Jurnal Teknologi Pertanian Vol 10 No. 2

Young, F., 1987. *Refining and fractionation of palm oil*. The Society of Chemical Industri Publication, New York.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Monitoring kondisi pertumbuhan mangrove kecamatan labuhan maringgai kabupaten lampung timur

D R Kurniawan [a,*], A Zakaria [b], C Dewi [c] , R Fadly [d]

Universitas Lampung, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, JL. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Kata kunci:

Kerapatan mangrove
Suhu permukaan
Evi (*enhanced vegetation index*)
Salinitas

ABSTRAK

Mangrove merupakan ekosistem peralihan antara darat dan laut yang biasanya tumbuh dan berkembang di kawasan pesisir yang memiliki peran dan fungsi yang sangat penting bagi biota laut dan masyarakat setempat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis pertumbuhan mangrove dari tahun 2013, 2015, 2017, 2020, 2022 dan mengetahui hubungan keterkaitan antara suhu dan salinitas dengan pertumbuhan mangrove. Penelitian ini dilakukan di Daerah Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode EVI (*Enhanced vegetation index*) dalam penentuan kerapatan mangrove dan metode LST (*Land surface temperature*) dalam penentuan suhu rata-rata dengan data citra landsat 8 tahun 2013, 2015, 2017, 2020, dan 2022. Sedangkan untuk mengetahui kondisi salinitas dilakukan dengan pengamatan langsung lapangan dengan beberapa titik pengamatan. Hasil dari penelitian menunjukan adanya peningkatan luas hutan mangrove dari tahun 2013 dengan luas 350.12 ha menjadi 817.68 ha pada tahun 2022. Sedangkan kondisi kerapatan tajuk mangrove dalam kondisi kurang baik ditunjukkan dengan tingginya kondisi kerapatan tajuk dengan kondisi jarang setiap tahunnya. Pertumbuhan mangrove tersebut dipengaruhi oleh suhu permukaan dan salinitas air laut yang dibuktikan dengan diperolehnya nilai sebesar 0,52 yang berarti suhu memiliki korelasi sedang terhadap pertumbuhan mangrove. Sedangkan salinitas memiliki korelasi yang sangat kuat terhadap pertumbuhan mangrove dibandingkan dengan suhu, ditunjukkan dengan adanya nilai korelasi sebesar 0,95 pada salinitas terhadap pertumbuhan mangrove.

1. Pendahuluan

Hutan mangrove merupakan formasi tumbuhan yang spesifik dan biasanya tumbuh dan berkembang di kawasan pesisir yang dilindungi di daerah tropis dan subtropis. Kata mangrove sendiri berasal dari gabungan bahasa Portugis yaitu *mangue* dan bahasa Inggris yaitu *grove* (M. Aufa, 2020). menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada Tahun 2021 diketahui bahwa luas hutan mangrove Indonesia memiliki luas 3.364.076 ha. Indonesia memiliki rata-rata tingkat kehilangan luas hutan mangrove 52.000 ha setiap tahunnya.

Provinsi Lampung bagian timur merupakan salah satu daerah yang memiliki sebaran hutan mangrove yang cukup luas, berada di sepanjang 896 km dari total panjang pantai sepanjang 1.105 km yang tepatnya berada di pantai timur Sumatera. Daerah tersebut masuk kedalam kawasan Taman Nasional Way Kambas (TNWK), Pasir Sakti, dan Labuhan Maringgai. Tercatat pada tahun 1973 luas hutan mangrove di Lampung Timur mencapai 2.373,29 ha, mengalami penurunan luas pada tahun 1994 hingga luasannya menjadi 626,67

* Penulis korespondensi.
E-mail: rahlikurniawanderi@gmail.com

ha, dan kemudian mengalami penambahan luas di tahun 2013 menjadi 1.166,21 ha. Kenaikan luasan tutupan mangrove ini terjadi karena adanya fenomena tanah timbul yang luasnya mencapai 700 ha (Yuliasamaya, 2014).

Menurut (Safe'i, 2020) kondisi kesehatan hutan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai cenderung kearah yang kurang baik yang menyebabkan mangrove jenis api-api banyak yang mati. Hal tersebut ditunjukan berdasarkan kategori status kondisi kesehatan hutan mangrove dengan status "sedang" dan "baik" tercatat masing-masing sebesar 25% dan status "buruk" sebesar 50%. Perubahan kondisi hutan mangrove tersebut disebabkan karena peningkatan kerusakan pohon dan kondisi tajuk yang dapat berpengaruh pada pertumbuhan pohon sehingga akan berdampak pada kondisi tumbuhan mangrove secara keseluruhan.

Faktor yang mempengaruhi sebaran dan kondisi mangrove adalah pengaruh dari perubahan suhu dan kualitas air yang akan berdampak pada kerentanan kondisi ekosistem mangrove dan dapat menyebabkan ancaman kerusakan, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup mangrove. Untuk mengetahui kondisi pertumbuhan dan sebaran mangrove perlu dilakukan pemetaan dengan memanfaatkan sistem informasi geografis (SIG) dan penginderaan jauh sebagai alat bantu untuk menentukan tingkat kerapatan mangrove dan kondisi suhu. Sedangkan kualitas air laut diperoleh melalui pengambilan data lapangan dengan melakukan sebaran sampel berdasarkan kategori kondisi mangrove.

Berdasarkan penelitian sebelumnya menyebutkan kondisi hutan mangrove yang berada di Lampung Timur dalam kondisi kurang baik. Penelitian ini sangat penting dilakukan untuk memonitoring kondisi pertumbuhan mangrove sehingga dapat mendukung kegiatan pengelolaan hutan mangreove di sepanjang pesisir Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur

2. Metodologi

2.1. Metode dan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari kadar garam air laut dan foto kerapatan tajuk mangrove. sedangkan data sekunder terdiri dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Kabupaten Lampung Timur skala 1:50.000, Peta batas Administrasi Kecamatan Lampung Timur, dan Citra landsat 8 tahun 2013, 2015, 2017, 2020, dan 2022. Sedangkan alat yang digunakan adalah laptop, GPS Navigasi, kamera, salinometer, dan Quantum GIS.

Metodologi penelitian meliputi berbagai tahapan dimulai dengan penentuan kerapatan mangrove yaitu dengan melakukan koreksi citra satelit, transformasi indeks vegetasi dengan metode EVI, pemotongan citra, klasifikasi kerapatan mangrove, dan uji akurasi. Selanjutnya menentukan suhu permukaan dengan melakukan ekstraksi suhu permukaan pada citra landsat 8 dan melakukan interpolasi saliniatas air laut. Tahapan trahir yaitu melakukan *overlay* data kerapatan mangrove, suhu rata-rata, dan salinitas.

2.2. Analisis

2.2.*1.* Analisis kerapatan mangrove dan suhu rata-rata

Analisis sebaran kerapatan mangrove bertujuan untuk menetukan kondisi pertumbuhan mangrove dan pengaruh suhu rata-rata terhadap pertmbuhan mangrove. penentuan kerapatan mangrove memanfaatkan citra landsat 8 tahun 2013, 2015, 2017, 2020, dan 2022 yang akan menghasilkan tiga kelas kategori kerapatan yaitu mangrove kategori tajuk rapat, tajuk sedang, dan tajuk jarang. Departemen Kehutanan, (2005) menyebutkan bahwa nilai indeks vegetasi untuk kerapatan tajuk mangrove adalah sebagai berikut:

1) Kerapatan tajuk lebat ($0{,}43 \leq NDVI \leq 1{,}00$)
2) Kerapatan tajuk sedang ($0{,}33 \leq NDVI \leq 0{,}42$)
3) Kerapatan tajuk jarang ($-1{,}0 \leq NDVI \leq 0{,}32$).

Dalam penentuan suhu permukaan ini memanfaatkan citra landsat 8 tahun 2013, 2015, 2017, 2020, dan 2022. Menurut (Kusmana, 2005) mangrove akan tumbuh subur pada daerah tropis dengan suhu udara lebih dari 20°C dengan kisaran perubahan suhu udara rata-rata kurang dari 5°C. Suhu permukaan merupakan suhu hasil pantulan objek yang terekam oleh citra satelit pada waktu tertentu. Menurut (Tirda, 2019) Citra satelit Landsat 8 selain terbebas dari striping akibat dari SLC-off juga memiliki RMSE yang lebih baik, sehingga citra satelit Landsat 8 cenderung lebih baik dalam memetakan LST. Dalam penentuan suhu permukaan ini memanfaatkan citra landsat 8 menggunakan band 10 dan band 11 dengan persamamaan sebagai berikut :

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \qquad (1)$$

Keterangan:
Lλ : *Spektral Radiance*
ML : Faktor skala perkalian radiansi untuk band
Qcal : Level 1 *pixel value* dalam DN
AL : Faktor skala penjumlahan radiansi untuk band.

Kemudian mengubah nilai radiansi menjadi suhu kecerahan dengan persamaan :

$$T = \frac{K2}{ln(\frac{K1}{L\lambda} + 1)} \quad (2)$$

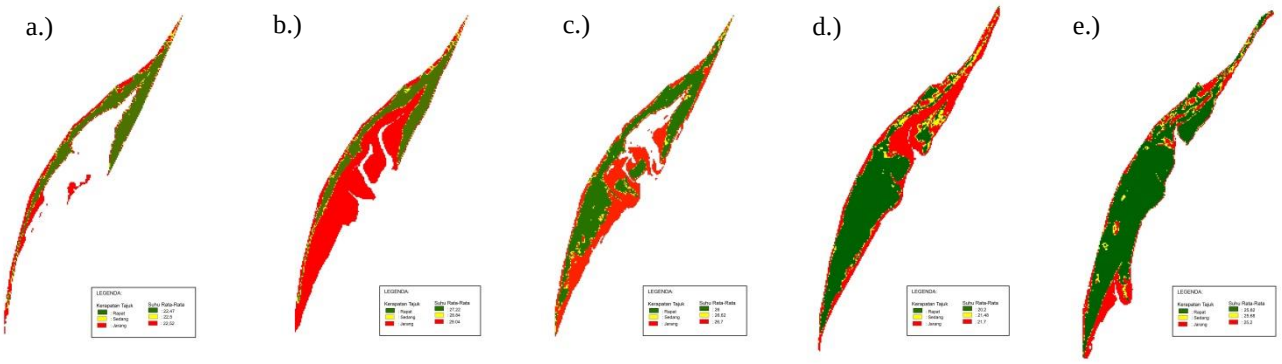
Keterangan:

T : Temperatur
Lλ : TOA *spectral radiance*
K1 : *Band specific thermal conversion constan from the metadata*
K2 : *Band specific thermal conversion constan from the metadata.*

Selanjutnya suhu kecerahan hasil pengolahan tersebut dirubah satuannya menjadi celcius dengan persamaan :

$$T\ (°C) = T(K) - 273 \quad (3)$$

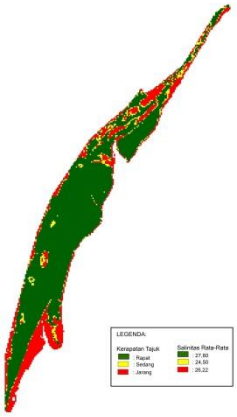
Dari hasil pengolahan kerapatan mangrove dan suhu rata-rata tahun 2013, 2015, 2017, 2020, 2022 tersebut selanjutnya dilakukan *overlay* yang bertujuan untuk mengetahui sebaran suhu rata-rata, dan salinitas rata-rata pada area yang memiliki kerapatan tajuk rapat, sedang dan jarang.



Gambar 1. Sebaran kerapatan mangrove dan suhu rata-rata tahun 2013 (a), 2015 (b), 2017 (c), 2020 (d), dan 2022 (e)

2.2.2. Analisis kerapatan mangrove dan salinitas rata-rata

sebaran kerapatan mangrove dan salinitas rata-rata merupakan hasil dari *overlay* peta kerapatan mangrove dan peta salinitas hasil dari pengambilan data lapangan yang kemudian dilakukan interpolasi untuk mengetahui hasil dari peta tersebut menunjukkan salinitas lebih tinggi pada daerah yang kondisi kerapatan tajuk rapat dan salinitas lebih rendah pada daerah dengan kondisi kerapatan tajuk sedang.



Gambar 2. Sebaran kerapatan mangrove dan salintas rata-rata

2.2.3. Uji akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk menilai ketelitian hasil klasifikasi citra. Uji akurasi dilakukan setelah pengambilan sampel dilapangan. Dalam melakukan uji akurasi untuk mendapatkan hasil ketelitian klasifikasi citra yang lebih baik, hasil klasifikasi citra dilakukan pengujian terhadap data sampel lapangan. Pengujian ketelitian yang dimaksud adalah melakukan perbandingan dengan menyusun matriks kesalahan *(confusion matrix)*. Berdasarkan Peraturan Kepala BIG No 8 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal, akurasi hasil interpretasi minimal sebesar 60%. Kerapatan tajuk hasil validasi lapangan diperoleh dari hasil foto tajuk mangrove yang diolah menggunakan *software* imajeJ untuk memisahkan nilai piksel langit dengan nilai piksel tutupan mangrove. Persentase tutupan mangrove merupakan perbandingan dari jumlah piksel yang bernilai 255 (P255) dengan jumlah seluruh piksel (ΣP) dikalikan dengan 100% (Dharmawan dan Pramudji, 2014).

2.2.4. Uji korelasi

Uji korelasi merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji keterkaitan hubungan serta

arah hubungan dari dua variabel. Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kaitannya antara suhu rata-rata terhadap kerapatan mangrove dan salinitas rata-rata terhadap kerapatan mangrove. Besar kecilnya hubungan antara dua variabel dinyatakan dalam bilangan yang disebut koefisien korelasi. Nilai koefesien korelasi berkisar antara -1 sampai dengan 1. Korelasi positif ditunjukkan dengan koefesien korelasi yang bernilai positif, korelasi negatif ditunjukkan dengan koefesien korelasi yang bernilai negatif. Sedangkan nilai koefesien 0 atau mendekati 0 dianggap tidak memiliki hubungan antara varibel yang diuji. Koefesien korelasi (r) dapat diartikan sebagai berikut:

R = 0,00 – 0,199 memiliki hubungan sangat rendah
R = 0,20 – 0,399 memiliki hubungan rendah
R = 0,40 – 0,599 memiliki hubungan sedang
R = 0,60 – 0,799 memiliki hubungan kuat
R = 0,80 – 1,000 memiliki hubungan sangat kuat.

Menurut (Kurniawan, dalam Syilfi *et al*., 2012) regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk membentuk model atau hubungan antara satu atau lebih variabel bebas X dengan sebuah variabel respon Y. Analisis regresi adalah analisis statistika yang digunakan untuk memeriksa serta memodelkan hubungan antar variabel-variabel. Dalam analisis regresi memiliki dua jenis variabel yaitu variabel dependen (variabel terikat) yang dinotasikan dengan Y, variabel dependen merupakan variabel yang dipengaruhi variabel lainnya. Serta variabel independen (variabel bebas) dapat dinotasikan dengan X, variabel ini merupakan variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain. hubungan antara dua variabel tersebut dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$Y = \alpha + \beta X \qquad (4)$$

$$\alpha = \frac{(\Sigma Yi)(\Sigma Xi) - (\Sigma Xi)(\Sigma XiYi)}{n\Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2}$$

$$b = \frac{n\,(\Sigma XiYi) - (\Sigma Xi)(\Sigma Yi)}{n\Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2}$$

Dimana:
Y: variabel tak bebas
X: variabel bebas
α : perpotongan sumbu tegak
β : *gradient* / kemiringan

3. Hasil dan pembahasan

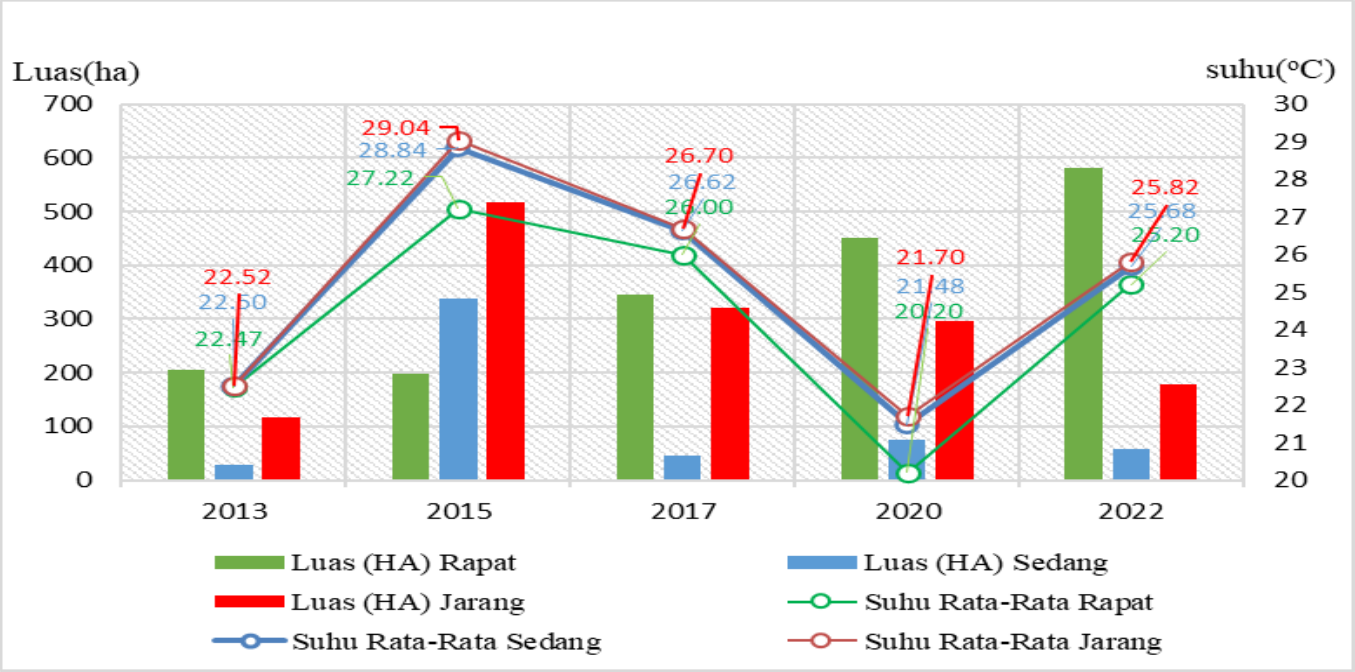
3.1. Kerapatan mangrove dan suhu rata-rata

Kerapatan mangrove dan suhu rata-rata diperoleh dari pengolahan citra landsat 8 tahun 2013, 2015, 2017, 2020, dan 2022. Dari hasil pengolahan tersebut menunjukan bahwa hutan mangrove dari tahun 2013 sampai dengan 2022 mengalami peningkatan luas hutan sebesar 467,56 ha. Suhu rata-rata tertinggi terjadi pada tahun 2015 mencapai 28,4^{o}C dan suhu terendah mencapai 18,66^{o}C.

Tabel 1. Kerapatan mangrove dan suhu rata-rata**.**

Tahun	Luas (HA)			Suhu rata-rata (^{o}C)		
	Rapat	Sedang	Jarang	Rapat	Sedang	Jarang
2013	205,500	27,556	117,060	22	23	23,8
2015	198,206	337,500	516,634	25,4	28	28,4
2017	345,083	44,486	320,679	24,81	24	28,11
2020	450,806	75,734	297,084	18,66	22,5	22,7
2022	581,112	58,084	178,484	24,6	26,5	26,88

Sedangkan suhu rata-rata tertinggi terjadi pada daerah dengan kondisi kerapatan tajuk jarang. Sedangkan suhu rata-rata terendah terjadi pada daerah dengan kondisi tajuk rapat.



Gambar 3. Grafik kerapatan mangrove dan suhu rata-rata

3.2. Kerapatan mangrove dan Salinitas Rata-rata

Salinitas merupakan faktor utama dalam sebaran dan pertumbuhan mangrove. Pengkuran salinitas dilakukan pada 21 titik di tempat yang berbeda-beda yang diambil secara acak berdasarkan kondisi kerapatan tajuk di area hutan mangrove. Dari pengukuran sebanyak 21 titik sampel tersebut menunjukkan salinitas di area hutan mangrove memiliki nilai salinitas terendah sebesar 18 ppt sedangkan salinitas tertinggi sebesar 32 ppt. Pengukuran salinitas rata-rata menunjukkan nilai salinitas tertinggi terjadi pada area dengan kerapatan tajuk rapat. Sedangkan nilai salinitas terendah terjadi pada daerah dengan kondisi tajuk sedang.

Tabel 2. Kerapatan mangrove dan salinitas rata-rata

Kerapatan tajuk	Salinitas rata-rata	Luas(ha)
rapat	27,8	581,11
sedang	24,5	58,08
jarang	26,22	178,48

3.3 . Uji akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat hasil yang diperoleh dari hasil pengolahan kerapatan tajuk mangrove dengan data citra landsat 8 terhadap kerapatan tajuk mangrove hasil validasi lapangan dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Perhitungan matriks konfusi.

Data prediksi	Data validasi			Total baris	Ketelitan pembuat
	Rapat	Sedang	Jarang		
Rapat	11	2	2	15	73.33
Sedang	0	2	0	2	100
Jarang	0	1	3	4	75
Total kolom	11	5	5	21	
Ketelitian pengguna	73.33	100	75		

Dari tabel diatas dapat dihitung nilai akurasi data dengan rumus sebagai berikut:

$$Accuracy = \frac{\text{N Benar}}{\text{N}} \; X \; 100\%$$

$$Accuracy = \frac{16}{21} \; X \; 100\%$$

Accuracy = 76,19%.

3.4. Uji korelasi

Untuk mengetahui hubungan antara suhu dan salinitas dengan pertumbuhan mangrove dilakukan uji korelasi dengan menggunakan metode regresi linier untuk menganalisis besar pengaruh dari suhu dan salinitas terhadap pertumbuhan mangrove. Uji korelasi dilakukan dengan menentukan nilai suhu rata-rata, salinitas rata-rata, dan luas mangrove. Hasil dari perhitungan tersebut diperoleh nilai sebesar 0,52 yang berarti suhu memiliki korelasi sedang terhadap pertumbuhan mangrove. Sedangkan salinitas memiliki korelasi yang sangat kuat terhadap pertumbuhan mangrove dibandingkan dengan suhu, ditunjukkan dengan adanya nilai korelasi sebesar 0,95 pada salinitas terhadap pertumbuhan mangrove.

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa hutan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai mengalami peningkatan luas hutan mangrove sebesar 467,56 ha dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2022. Sedangkan kondisi pertumbuhan mangrove dalam kondisi kurang baik ditunjukkan dengan tingginya kondisi kerapatan tajuk dengan kondisi jarang mencapai 178,484 ha pada tahun 2022. Sedangkan pertumbuhan mangrove dipengaruhi oleh suhu permukaan dan salinitas air laut ditunjukan dengan nilai korelasi sebesar 0,95 yang berarti memiliki korelasi sangat kuat.

Daftar Pustaka

Aufa M. (2020) Perbandingan Algoritma Transformasi Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) Dan Enhanced Vegetation Index (Evi) Untuk Analisis Kerapatan Lahan Mangrove. Ilmiah Go Infotech.

Badan Informasi Geospasial (2014) Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove. Cibinong: Kepala Badan Informasi Geospasial.

Departemen Kehutanan (2005) Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove. Jakarta: Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial.

Kusmana C. (2005) Directives for Mangrove Forest and Coastal Forest Rehabilitation in Earthquake and Tsunami Disaster Area in the Provinces of Manggroe Aceh Darussalam and Sumatera Utara (Nias Island), Indonesia. J Manaj Hutan Trop;11(2):70–84.

Pravita D. (2020)Perbandingan Algoritma Transformasi Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) Dan Enhanced Vegetation Index (Evi) Untuk Analisis Kerapatan Lahan Mangrove. Vol. 55, Ilmiah Go infotech. p. 1–55.

Safe'i R. (2020) Nilai Status Dan Perubahan Kesehatan Hutan Mangrove (Studi Kasus Hutan Mangrove Di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur): The Value of Status and Changes in Mangrove Forest Health (Case Study in Margasari Village, Labuhan M. Perennial;16(2):73–9.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Kendali optimal pengoperasian PV terhubung ke grid menggunakan *voltage souce converter* (VSC)

Z Huda [a,*], H Gusmedi [b], O Zebua [c]

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145

I N F O R M A S I A R T I K E L

Riwayat artikel:
Diterima tgl/bln/tahun
Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:
fotovoltaik
voltage souce converter
kedali P/V
MPPT

A B S T R A K

Pembangkit listrik terbarukan mulai meningkat pemanfaatannya pada sistem tenaga listrik, namun masing-masing jenis pembangkit mempunyai karakteritik yang berbeda. Pada penelitian ini Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) akan dimodelkan dan dihubungkan ke jaringan melalui *Voltage Souce Converter* (VSC). Strategi kendali untuk mengatur daya aktif dan tegangan pada PLTS yang memungkinkan dapat mengirim daya tidak hanya ke beban namun dapat juga mengirimkan ke sistem jika sistem menghasilkan daya yang berlebih. Dengan strategi pengendalian yang efektif akan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan PLTS, meningkatkan keandalan dan stabilitas sistem dalam melayani beban. Dari skema kendali pada penelitian ini perubahan tingkat irradian dari PLTS dapat tetap menjaga nilai tegangan output konstan dengan daya ouput yang dihasilkan optimal.

1. Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan akan energi dan isu lingkungan akan emisi karbon yang dihasilkan oleh pembangkit konvensional menjadikan kebutuhan akan energi listrik mulai beralih kepada energi baru dan terbarukan.

Ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan pada integrasi energi terbarukan dan beban yaitu mempelajari cara untuk mengelola dan mengkoordinasikan sumber energi terbarukan dan pemakaian energi dalam microgrid. Pemantauan dan kontrol sistem dengan mengembangkan teknologi pemantauan dan kontrol untuk memastikan kinerja yang optimal dan pengelolaan yang efektif. Sistem penyimpanan energi dengan riset pada teknologi penyimpanan energi, seperti baterai, untuk meningkatkan fleksibilitas dan reliabilitas dari sistem. Interkoneksi dengan jaringan utama dengan mempelajari cara untuk mengintegrasikan ke jaringan utama dengan cara yang efisien dan aman(Usova and Velkin 2018).

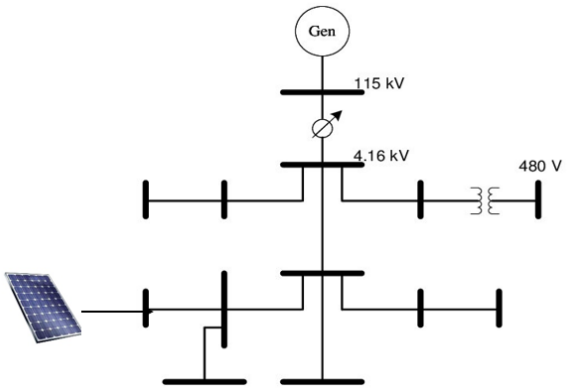
Berbagai penelitian mengenai pemodelan sistem PV menunjukkan bahwa hal ini menjadi penting dalam pengembangan PV. Perencana utilitas memerlukan model sistem PV untuk menilai dampak perencanaan dan pengoperasian. Pemodelan sistem PV juga penting dalam studi elektronika daya dimana karakteristik kelistrikan sistem dapat dipelajari dan dianalisis. PV dan MPPT yang digunakan model diusulkan dalam pemodelan matematika dan pendekatan berbasis sirkuit. Model susunan PV menerima radiasi dan suhu sebagai parameter variabel yang menghasilkan karakteristik I-V dan P-V sebagai keluaran. MPPT yang dipasang pada PV akan menghasilkan daya DC maksimum yang dapat dihasilkan oleh PV(Nordin and Omar 2011; Sandali, Oukhoya, and Cheriti 2015).

* Penulis korespondensi.
E-mail: zulmiftah.huda@eng.unila.ac.id

2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

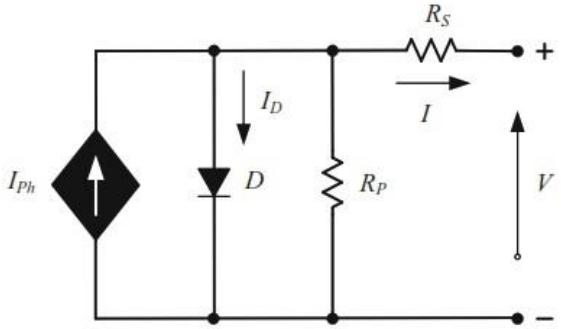
Permodelan dari sistem pengujian IEEE 13 Bus yang dibangun disimulasikan pada Matlab.



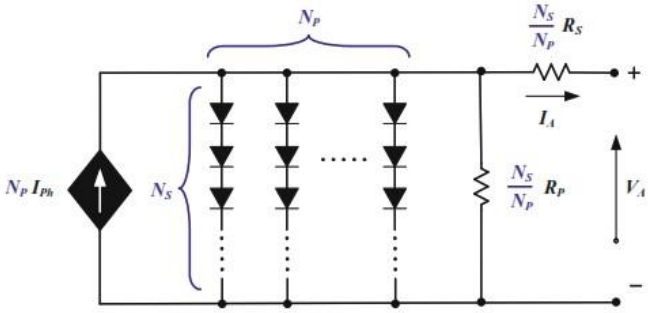
Gambar 1. PV terhubung sistem model IEEE 13 Bus.

2.2. Model PV

Blok penyusun PV adalah sel surya, yang merupakan sambungan semikonduktor P-N yang secara langsung mengubah radiasi matahari menjadi arus DC menggunakan efek fotovoltaik. Model yang paling umum digunakan untuk memprediksi produksi energi dalam sel fotovoltaik adalah model rangkaian dioda tunggal, seperti yang digambarkan pada Gambar 2. Dalam model ini, sel PV biasanya diwakili oleh rangkaian ekivalen yang terdiri dari sumber arus yang dihasilkan oleh cahaya, dioda tunggal yang mewakili impedansi nonlinier dari sambungan P-N, dan resistansi intrinsik seri dan paralel yang merupakan kerugian resistif dari PV(Suthar, Singh, and Saini 2013).



Gambar 2. Rangkaian ekivalen sel PV.



Gambar 3. rangkaian ekivalen PV secara keseluruhan.

Persamaan yang dapat diturunkan dari Gambar 3, antara lain(Bal, Anurag, and Babu 2012):

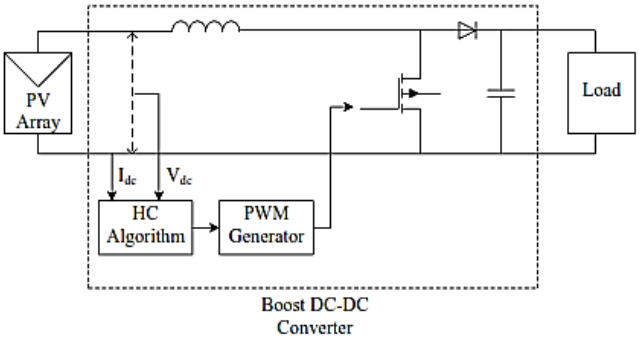
$$I_A = N_P I_{Ph} - N_P I_{RS}\left\{exp\left[\frac{1}{A.V_{TH}}\left(\frac{V_A}{N_s}+\frac{I_A R_S}{N_P}\right)\right]-1\right\}-\frac{N_P}{R_P}\left(\frac{V_A}{N_s}+\frac{I_A R_S}{N_P}\right)$$

dimana:

I_A : Arus output PV (A)
V_A : Tegangan output PV (V)
I_{Ph} : Sumber arus yang dihasilkan dari cahaya (A)
R_S : Resistansi seri internal sel PV (Ω)
R_P : Resistansi parallel internal sel PV (Ω)
N_S : Jumlah seri sel PV
N_P : Jumlah parallel sel PV

2.3. MPPT

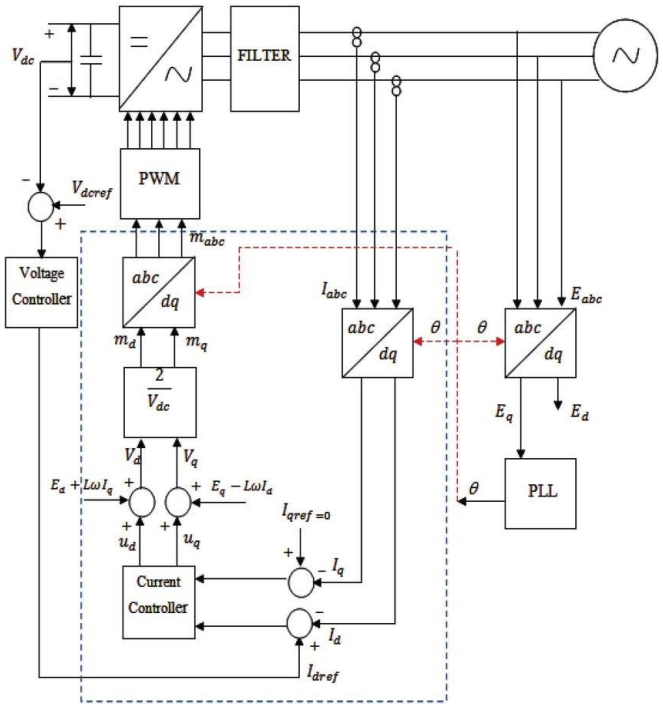
Dalam praktiknya, PV dihubungkan ke MPPT agar PV dapat menghasilkan daya maksimum yang mampu dihasilkannya dengan memvariasikan titik pengoperasian PV. MPPT pada dasarnya adalah konverter DC-DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Konverter mengubah level tegangan operasi PV agar dapat beroperasi pada Vapp untuk menghasilkan daya maksimum. Level tegangan operasi dikontrol dengan mengubah siklus kerja konverter. Sinyal kontrol modulasi lebar pulsa (PWM) diterapkan ke gerbang transistor di konverter DC-DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pembangkitan sinyal kontrol PWM dikontrol secara otomatis(Nordin and Omar 2011).



Gambar 4. PV dengan MPPT.

2.4. Voltage Source Converter

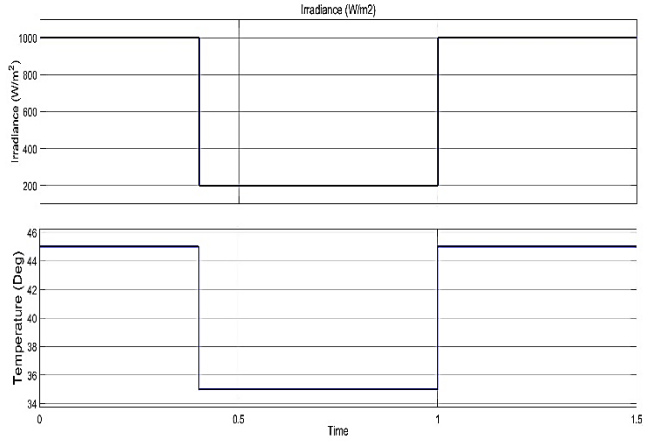
V_{dc} merupakan tegangan yang terukur dari output PV, sedangkan V_{abc} dan I_{abc} merupakan tegangan dan arus yang terukur dari grid dan PLL yang menghasilkan nilai phase dan sudut dari grid. MPPT memberikan output daya maksimum dari PV yang digunakan sebagai V_{dcref} untuk kendali tegangan, nilai I_{dref} sebagai kendali arus(Zhang Junjun, Zheng Fei, and Ding Mingchang 2013).



Gambar 5. Skema kontrol PV terhubung ke grid.

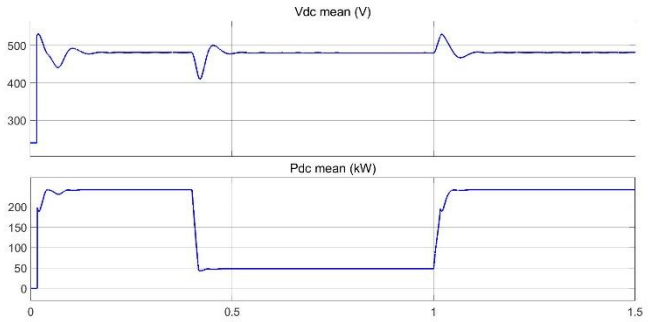
3. Hasil dan pembahasan

Pada simulasi ini menggunakan panel surya dengan spesifikasi : 1000 W/m2 dan dengan temperature kerja 25 ◦C, PMPP=200 W; VMPP =26.30 V; IMPP=7.61 A; VOC=32.90 V; dan ISC=8.21 A.

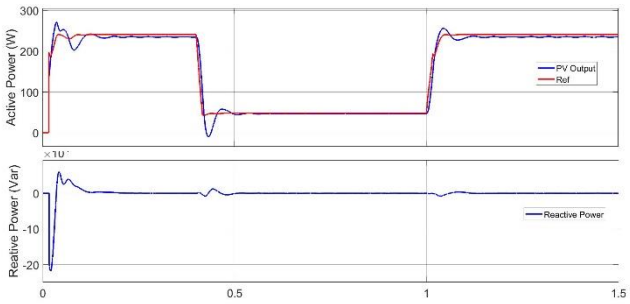


Gambar 6. Irrandian dan temperature PV

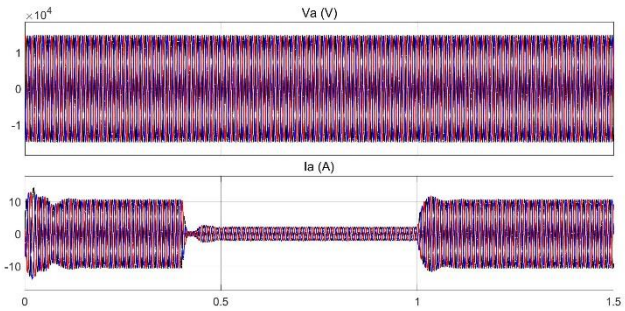
Pada gambar 4.1 dapat dilihat untuk mendapatkan respon dinamis kondisi irradian terjadi perubahan penurunan pada 0,4 detik dan kembali menghasilkan daya out makmsimal pada 1 detik dari nilai itradian 1000 W/m2 menjdai 200 W/m2. Pada kondisi ini juga terjadi perubahan temperatur yang mempengaruhi daya outpur yang dihasilkan oleh PV pada 0,4 detik dan juga kembali normal pada 1 detik. Pada kedua kondisi ini akan dilihat bagaimana respon model sistem kendali yang dibangun dapat menjaga daya output yang dihasilkan tetap maksimal dan dapat menjaga nila tegangan output tetap konstan.



Gambar 7. Tegangan dan daya output PV



Gambar 8. Output daya aktif dan daya reaktif dari hasil skema kendali



Gambar 9. Output tegangan AC dan arus AC PV ke grid

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, algoritma untuk kontrol P-V dengan MPPT diusulkan dalam konfigurasi dua tahap. Pada P-V dengan kontrol MPPT, tegangan sisi dc dikontrol secara tidak langsung melalui keseimbangan daya dc dan ac yang merupakan karakteristik dari metode yang diusulkan. Hal ini mengurangi salah satu dari dua loop kontrol yang digunakan dalam metode kontrol tegangan sisi DC. Pengendalian ini memastikan

bahwa kebutuhan dilayani dengan baik dan tegangan pada sisi ac dan dc dijaga dengan baik pada nilai yang diinginkan sesuai kebutuhan utilitas. Selain itu, kontrol MPPT memastikan bahwa PV yang terpasang dimanfaatkan secara optimal untuk tingkat irradian tertentu.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih hibah DIPA FT 2023 yang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

Bal, Satarupa, Anup Anurag, and B. Chitti Babu. 2012. "Comparative Analysis of Mathematical Modeling of Photo-Voltaic (PV) Array." In *2012 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 269–74. Kochi, India: IEEE. https://doi.org/10.1109/INDCON.2012.6420627.

Nordin, Atiqah Hamizah Mohd, and Ahmad Maliki Omar. 2011. "Modeling and Simulation of Photovoltaic (PV) Array and Maximum Power Point Tracker (MPPT) for Grid-Connected PV System." In *2011 3rd International Symposium & Exhibition in Sustainable Energy & Environment (ISESEE)*, 114–19. Malacca, Malaysia: IEEE. https://doi.org/10.1109/ISESEE.2011.5977080.

Sandali, Abdelhalim, Tarik Oukhoya, and Ahmed Cheriti. 2015. "LVRT Control Strategy for PV Grid Connected System Based on P-V Optimal Slope MPPT Technique." In *2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 1–6. Marrakech: IEEE. https://doi.org/10.1109/IRSEC.2015.7455087.

Suthar, M., G. K. Singh, and R. P. Saini. 2013. "Comparison of Mathematical Models of Photo-Voltaic (PV) Module and Effect of Various Parameters on Its Performance." In *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, 1354–59. Nagercoil: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICEETS.2013.6533584.

Usova, Maria A, and Vladimir I Velkin. 2018. "Possibility to Use Renewable Energy Sources for Increasing the Reliability of the Responsible Energy Consumers on the Enterprise."

Zhang Junjun, Zheng Fei, and Ding Mingchang. 2013. "Modelling and Simulation of Grid-Connected PV System in DIgSILENT/PowerFactory." In *2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013)*, 4.01-4.01. Beijing, China: Institution of Engineering and Technology. https://doi.org/10.1049/cp.2013.1867.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Dampak Citra Kota Terhadap Pertumbuhan Kawasan. Studi Kasus: Kawasan Komersial Bandar Jaya, Lampung Tengah)

Panji Kurniawan [a,*], Kelik Hendro Basuki [b], Dona Jhonnata [c], Dini Agumsari [d]

Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1 Kota Bandar Lampung

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima tgl/bln/tahun
Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:
Citra kota
Pertumbuhan kawasan
Morfologi
Komersial
Bandar Jaya

ABSTRAK

Penelitian dengan judul "Dampak Citra Kota Terhadap Pertumbuhan Kawasan" dapat memberikan kontribusi mendasar pada bidang keahlian ilmu arsitektur dan urban, terutama dalam memahami hubungan antara citra kota dan pertumbuhan kawasan. Penelitian ini dapat melibatkan pengumpulan data tentang citra kota dari masyarakat, baik dari sudut pandang visual, fisik, maupun sosial-budaya. Selain itu, penelitian ini dapat mengkaji dampak citra kota terhadap pertumbuhan kawasan, seperti pengaruhnya pada tingkat investasi, daya tarik pariwisata, kualitas lingkungan hidup, dan kesejahteraan masyarakat. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat teridentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi citra kota dan dampaknya pada pertumbuhan kawasan, sehingga dapat dikembangkan rencana dan strategi pembangunan kawasan yang lebih baik dan berkelanjutan. Penelitian ini juga dapat memberikan masukan untuk para praktisi dalam merencanakan pembangunan kawasan yang mengutamakan keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi akademisi dalam mengembangkan ilmu pengetahuan di bidang arsitektur dan urban, serta sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya tentang citra kota dan dampaknya pada kawasan perkotaan.

1. Pendahuluan

Perkembangan kota yang pesat saat ini menyebabkan masalah-masalah seperti kemacetan, polusi, dan kesenjangan sosial semakin kompleks. Oleh karena itu, perlu adanya perencanaan dan pengelolaan yang baik untuk menciptakan kota yang berkualitas dan berkelanjutan. Citra kota menjadi salah satu aspek penting dalam pengelolaan kota karena citra kota dapat mempengaruhi persepsi masyarakat tentang kota dan memengaruhi keputusan mereka untuk tinggal atau bekerja di kota tersebut. Citra kota yang positif dapat membantu menarik investasi, meningkatkan pertumbuhan ekonomi, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

Kawasan komersial merupakan salah satu jenis kawasan yang menjadi fokus pengembangan kota, karena kawasan ini menjadi pusat kegiatan ekonomi yang penting. Pertumbuhan kawasan komersial dapat berdampak pada pertumbuhan kawasan di sekitarnya, baik secara positif maupun negatif. Dalam konteks ini, citra kota menjadi faktor yang sangat penting dalam pengembangan kawasan komersial karena citra kota dapat mempengaruhi keputusan investor untuk berinvestasi di kawasan tersebut.

Bandar Jaya di Lampung Tengah merupakan pusat Kota yang juga merupakan kawasan komersial. Oleh karena itu, penelitian yang mengidentifikasi citra kota dan dampaknya terhadap pertumbuhan kawasan di Bandar Jaya sangat penting untuk dilakukan. Penelitian

* Penulis korespondensi.
E-mail: xxx@xxx (P Pertama)

ini dapat memberikan gambaran yang jelas tentang citra kota di Bandar Jaya dan dampaknya terhadap pertumbuhan kawasan di sekitarnya.

Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan masukan yang berguna bagi para pengambil kebijakan dalam pengembangan kawasan komersial di Bandar Jaya dan pengelolaan kota secara keseluruhan. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan kota yang lebih baik di masa depan, khususnya di kawasan komersial Bandar Jaya.

2. Metodologi

2.1. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data (primer dan sekunder) dalam penelitian ini menggunakan metode gabungan antara metode observasi (pengamatan), pengumpulan foto survei dan peta-peta kawasan, pemotretan kondisi lingkungan, penggambaran dua dimensional. Metode observasi dilakukan peneliti untuk mengamati dan mengetahui langsung (visual) obyek penelitian di lokasi penelitian dengan mengambil data primer yang diwujudkan melalui alat perekam gambar (kamera digital) dan juga menggunakan drone.

Pada tahap ini juga akan dilakukan penyebaran kuisioner dengan pertanyaan yang diajukan kepada responden adalah seputar pengetahuan dan pengalaman tentang Kondisi yang ada di Kawasan Komersial Bandar Jaya dan sekitarnya.

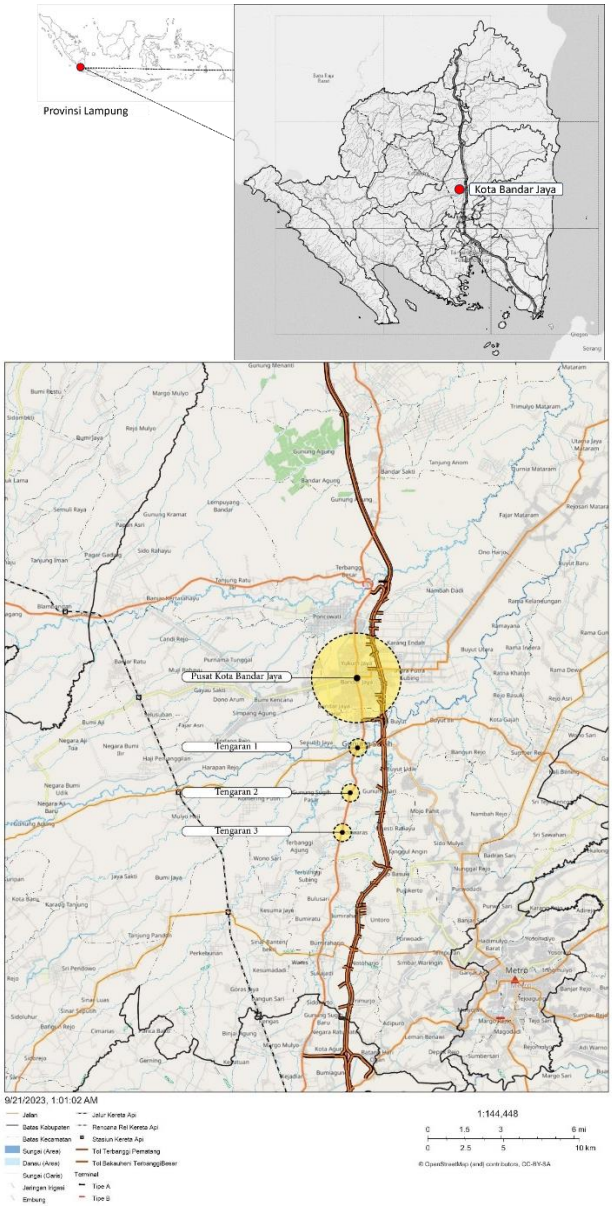
2.2. Analisis

Pengumpulan data akan dilakukan dengan cara mengambil foto-foto kawasan komersial Bandar Jaya Lampung Tengah dari berbagai sudut pandang yang mencakup elemen fisik kota, seperti bangunan, jalan, taman, danau, dan sebagainya. Kemudian, analisis citra kota dilakukan untuk mengukur kualitas citra kota dari sudut pandang pengguna jalan.

Survei dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari pengguna jalan, pedagang, dan pengusaha di kawasan komersial Bandar Jaya Lampung Tengah. Survei dilakukan untuk mengumpulkan data tentang persepsi pengguna jalan terhadap kualitas kawasan komersial dan juga untuk mengetahui dampak kawasan komersial terhadap pertumbuhan kawasan.

Analisis spasial dilakukan untuk menentukan sebaran kawasan komersial di Bandar Jaya Lampung Tengah dan mempelajari dampaknya terhadap pertumbuhan kawasan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan peta satelit Google Earth untuk memetakan sebaran kawasan komersial dan melihat hubungannya dengan kawasan lain di sekitarnya.

Adapun lokasi yang menjadi fokus di dalam Kegiatan Penelitian ini berada di Kawasan Komersial Bandar Jaya Lampung Tengah yang terdiri dari Pasar Bandar Jaya sebagai generator perkembangan kawasan hingga area deliniasi di sekitar yang dianggap mengalami pengaruh dari keberadaan generator besar ini.



Gambar 1. Delineasi Kawasan Penelitian. (Sumber: Open Street Map - https://geoportal.lampungprov.go.id/ diakses 21 September 2023 diolah kembali oleh Peneliti)

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Identifikasi Elemen Pembentuk Citra di Kota Bandar Jaya

Kevin Lynch (1960) menyatakan bahwa ada lima elemen yang membentuk citra fisik sebuah kota yakni, jalur, tepian, distrik, simpul, dan tengaran. Kelima

elemen ini teridentifikasi pada pengembangan Kota Bandar Jaya, Lampung Tengah. Dalam hal ini, identifikasi mengambil kelima kriteria tersebut (Tabel 1), kemudian direpresentasikan persebarannya dengan pemetaan (Gambar 10 dan 11).

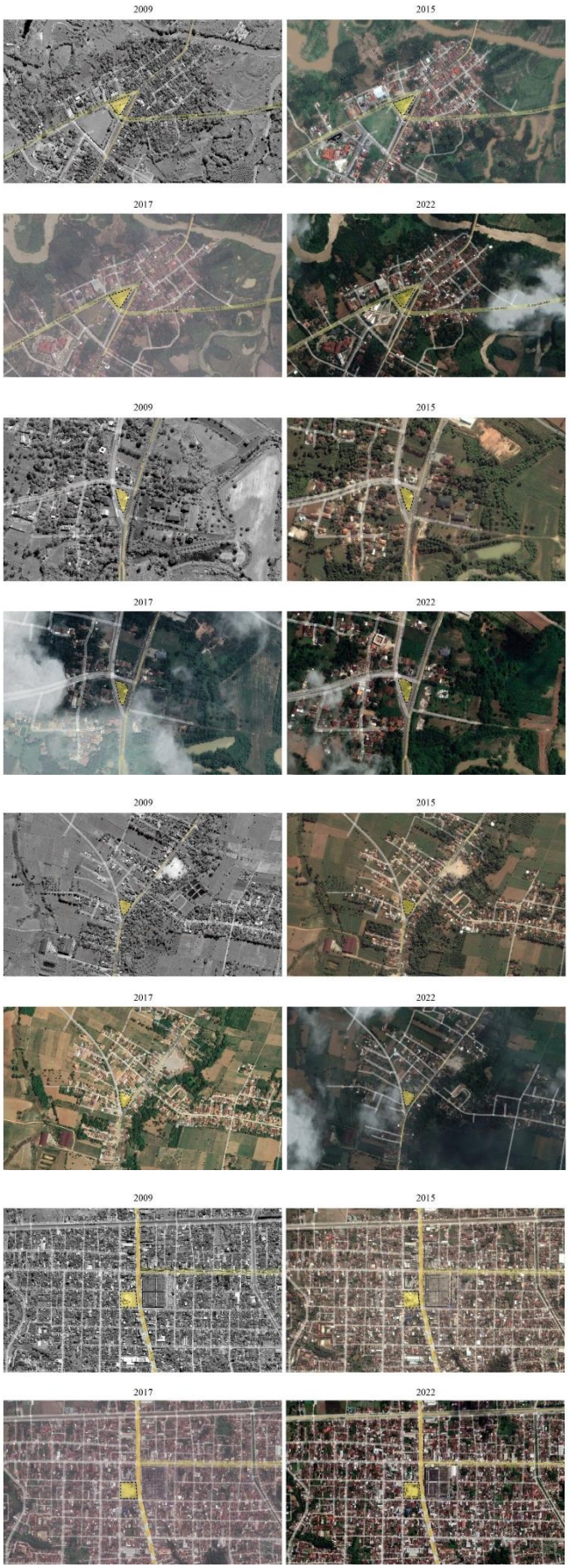
Tabel 1. Identifikasi elemen pembentuk citra di Kota Bandar Jaya

Elemen Citra Kota	**Identifikasi**
Jalur *(Path)*	Tiga jalur yang memiliki citra kuat yang membangkitkan aktivitas komersial sekitarnya, yakni: – Jalan Lintas Sumatera/Jalan Proklamator Raya – Jalan S. Parman – Jalan Sudirman **Gambar 5.** Jalan Proklamator Raya sebagai elemen citra jalur terkuat pada kawasan (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).
Tepi *(Edge)*	Batas tepi kawasan terdefinisikan dengan jelas pada wilayah utara (saluran irigasi) dan timur (jalan tol). **Gambar 6.** Jalur irigasi dan jalan tol sebagai elemen citra tepi terkuat pada kawasan (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).
Distrik *(District)*	Distrik yang terdefinisikan pada kota ini adalah distrik dengan fungsi komersial dan pemerintahan. Kedua distrik ini terletak di pusat kota Bandar Jaya. **Gambar 7.** Distrik komersial dan pemerintahan sebagai elemen citra distrik terkuat pada kawasan (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).
Simpul *(Node)*	Simpul kawasan pusat kota Bandar Jaya adalah pasar modern yang biasanya dijadikan tempat berkumpul atau titik temu. Selain itu, ruang terbuka berupa lapangan bola juga merupakan titik favorit masyarakat untuk berkumpul. **Gambar 8.** Pasar dan ruang terbuka adalah elemen citra simpul terkuat pada kawasan (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).
Tengaran *(Landmark)*	Lampung Tengah khususnya memiliki banyak simbol yang merepresentasikan budaya lokal setempat, diantaranya Tugu Kopiah, Taman Budaya, dan Taman Tugu Sembilan Gajah. Sedangkan, tengaran pada pusat kota teridentifikasi berupa bangunan peribadatan yakni, Masjid Istiqlal Bandar Jaya. **Gambar 9.** Elemen citra tengaran terkuat pada kawasan (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).

3.2 Morfologi Kawasan Kota Bandar Jaya

Elemen Morfologi	Kawasan Tengaran 1 (Tugu Kopiah)	Kawasan Tengaran 2 (Taman Budaya)	Kawasan Tengaran 3 (Taman Tugu Gajah)	Kawasan Pasar Bandar Jaya
Guna Lahan	Perubahan fungsi permukiman menjadi fungsi komersial seperti pertokoan, salon, toko bangunan. Dalam konteks ini terlihat juga banyak aktivitas pedagang informal di sekitar taman. **Gambar 12.** Perubahan guna lahan pada tengaran 1 (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023). Perubahan ini terlihat di sekitar Jalan Lintas Sumatera, sebagai jalan nasional.	Perubahan fungsi permukiman menjadi fungsi campuran (rumah tinggal + komersial) seperti membuka usaha kos atau warung, rumah makan terjadi, namun tidak terlalu dominan. **Gambar 16.** Perubahan guna lahan pada tengaran 2 (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023). Perubahan ini terlihat di sekitar jalan menuju kawasan pemerintahan Lampung Tengah.	Perubahan fungsi permukiman menjadi fungsi campuran (rumah tinggal + komersial) seperti membuka usaha kos atau warung, rumah makan terjadi, namun tidak terlalu dominan. **Gambar 20.** Perubahan guna lahan pada tengaran 3 (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023). Perubahan ini terlihat di sekitar Jalan Lintas Sumatera, sebagai jalan nasional.	Perubahan fungsi permukiman menjadi koridor komersial yang terjadi di sepanjang Jalan Sudirman dan Jalan Supraman, dimana saat 2009 keberadaan Pasar Bandar Jaya menjadi katalis perkembangan kawasan. **Gambar 23.** Koridor komersial Jalan Sudirman (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023). **Gambar 24.** Pasar Bandar Jaya (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).
Massa Bangunan	Perkembangan horizontal terjadi pada area ini dimana ditemukan perkembangan pada perluasan area permukiman, namun tidak terlihat secara signifikan.	Perkembangan horizontal terjadi pada area ini dimana ditemukan perkembangan pada perluasan area permukiman, namun tidak terlihat secara signifikan.	Perkembangan horizontal terjadi pada area ini dimana ditemukan perkembangan pada perluasan area permukiman, namun tidak terlihat secara signifikan.	Perkembangan vertikal terjadi pada kawasan pusat ini, dimana ditemukan banyak rumah yang menambahkan level lantai, khususnya pada koridor komersial Jalan Sudirman dan Jalan S.Parman.
Sirkulasi	Tidak ada perubahan dan penambahan signifikan pada segmen jalan.	Tidak ada perubahan dan penambahan signifikan pada segmen jalan.	Tidak ada perubahan dan penambahan signifikan pada segmen jalan.	Tidak ada perubahan dan penambahan signifikan pada segmen jalan.

	Gambar 13. Segmen jalan nasional Lintas Sumatera (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).	**Gambar 17.** Segmen jalan nasional Lintas Sumatera (kanan), segmen jalan menuju komplek kantor pemerintaha (kiri). (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).	**Gambar 21.** Segmen jalan nasional Lintas Sumatera (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).	**Gambar 25.** Segmen jalan nasional Proklamtor Raya (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).
Ruang Terbuka	Terdapat dua taman yang memiliki fungsi signifikan sebagai ruang publik sekaligus tengaran, dimana letaknya juga berdekatan dengan area pemerintahan Kota Bandar Jaya. **Gambar 14.** Taman Tugu Kopiah dan Pengantin (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023). **Gambar 15.** Taman dengan Tugu Canang (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).	Taman Budaya berfungsi sebagai simpul sekaligus tengaran pada area. Terdapat juga pengembangan ruang terbuka pada sisi barat dekat area pemerintahan, namun tidak termanfaatkan dengan baik. **Gambar 18.** Taman Budaya (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023). **Gambar 19.** Ruang terbuka dekat area pemerintahan (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).	Tengaran pada pulau jalan yang sebelumnya berupa ruang terbuka di persimpangan dibangun pada 2017. **Gambar 22.** Taman Tugu Sembilan Gajah Putih (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).	Terdapat dua taman yang memiliki fungsi signifikan sebagai ruang publik sekaligus tengaran, dimana letaknya berada pada tepi jalur irigasi. **Gambar 26.** Lapangan PU (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023). **Gambar 27.** Taman Gotong Royong (Sumber: *Google Street View*, diakses 9 September 2023).



Gambar 3. Morfologi kawasan pusat Bandar Jaya

Sumber: Satellite Imagery Maps – Google Earth / diakses 21 September 2023 diolah kembali oleh Peneliti.

3.3. Identifikasi Generator pada Kawasan

Berdasarkan identifikasi terhadap elemen citra kota dan elemen moroflogi kota, diketahui bahwa terdapat elemen-elemen yang dapat menjadi katalis perkembangan kawasan. Pada kawasan tengaran 1, tengaran 2, dan tengaran 3 terlihat jelas perkembangan kawasan lebih mengarah pada perubahan fungsi bangunan, dari permukiman menjadi fungsi campuran (hunian dan komersial). Kemudian, tengaran pada kawasan juga memiliki kontribusi terhadap perubahan guna lahan ini. Selanjutnya, jika diuurutkan berdasarkan kronologisnya, Pasar Bandar Jaya dan Jalan Lintas Sumatera merupakan generator terbesar yang menjadi titik perkembangan koridor komersial yang meluas di Jalan S. Parman dan Jalan Sudirman.

3.4. Identifikasi Dampak Citra Kawasan terhadap Kota Bandar Jaya

Dalam mengidentifikasi dampak citra kota terhadap pertumbuhan kawasan di Bandar Jaya, Lampung Tengah, terdapat berbagai aspek yang memberikan dampak secara langsung maupun tidak langsung pada kawasan. Aspek ekonomi, sosial, dan budaya dalam hal ini telaah dengan menandingkan pada elemen citra kota. Tabel 4 menjelaskan bahwa jalur dan simpul memiliki ikatan yang kuat terhadap aspek ekonomi, yakni menstimulus perkembangan fungsi perdagangan di sekitarnya. Sedangkan, elemen tepi belum teridentifikasi sebagai elemen yang memberikan dampak pada aspek sosial dan budaya, namun erat kaitannya dengan aspek ekonomi, dimana seperti yang diketahui pengembangan tepi (batas buatan) seperti jalan tol yang menstimulasi pengembangan disekitarnya. Elemen tengaran memiliki signifikansi terhadap dampak sosial dan budaya. Distrik memberikan keterikatan khusus pada pengguna kawasan (masyarakat), seperti menjadi stimulus kepada masyarakat terhadap batas gambaran berbagai distrik pada aspek ekonomi, kesamarataan sarana dan prasarana pada aspek sosial, dan penyematan identitas kota pada aspek budaya.

Tabel 3. Matriks identifiksi dampak elemen citra sebagai generator kawasan di Bandar Jaya

Citra Kota	Morfologi Kota	Aspek Ekonomi	Aspek Sosial	Aspek Budaya
Jalur	Sirkulasi	Membangkitkan fungsi campuran dan komersial disekitarnya	Mengelimi nasi jarak untuk kesetaraan aksesibilitas	-
Tepi	Batas alami dan buatan	Pengembangan kawasan sekitarnya (misal pengembangan dekat pintu masuk atau keluar tol)	-	-
Distrik	Guna lahan dan massa bangunan	Memberikan stimulus kepada masyarakat terhadap batas gambaran distrik perdagangan, industri, permukiman, dan sebagainya.	Memberikan kesamaratan sarana dan prasarana (pada aspek pendidikan, kesehatan dan sosial) kota.	Mempertahankan identitas distirk
Simpul	Ruang terbuka	Membangkitkan ruang perdagangan informal kawasan	Mengakomodasi ruang interaksi masyarakat	Menjadi ruang apresiasi budaya lokal
Tengaran	Ruang terbuka	Membangkitkan ruang perdagangan	Mengakomodasi ruang interaksi	Menjadi ruang apresiasi budaya lokal
		informal kawasan	masyarakat	

4. Kesimpulan

Bandar Jaya memiliki kelima elemen fisik pembentuk citra kota yakni, jalur, tepian, distrik, simpul, dan tengaran. Dengan elemen yang terlihat paling kuat yakni, jalur, simpul, dan tengaran. Morfologi kawasan tengaran 1,2,3, dan kawasan pusat Bandar Jaya mengalami perubahan signifikan pada elemen guna lahan, massa bangunan, dan ketersediaan ruang terbuka. Generator yang membangkitkan perkembangan kawasan tengaran 1,2,3 di Bandar Jaya adalah elemen jalur dan tengaran, sedangkan katalis pada kawasan Pasar Bandar Jaya adalah elemen jalur dan simpul. Secara keseluruhan elemen fisik pembentuk citra kota memiliki peran signifikan terhadap aspek ekonomi, sosial, dan budaya di Bandar Jaya. Namun, aspek ekonomi teridentifikasi paling signifikan dalam kaitannya dengan elemen fisik pembentuk citra kota.

Penelitian ini berusaha mengkaji dampak elemen fisik citra kota terhadap perkembangan kawasan. Penelitian ini masih terbatas pada sudut pandang secara kualitatif dari peneliti yang didapatkan dari hasil observasi langsung terhadap kota Bandar Jaya, diharapkan pada penelitian selanjutnya identifikasi dampak ini dapat berjalan secara kuantitatif dalam memetakan citra Kota Bandar Jaya. Akhirnya, semoga penelitian ini dapat menjadi masukan terhadap perencanaan sebagai bagian dari penguatan citra kota.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih dapat dituliskan jika diperlukan.

Daftar Pustaka

Ashtari, A., Mokhtarian, P., & Handy, S. (2018). Neighborhood design and walking in small urban centers: An empirical study of older adults. Journal of Transport and Health, 8, 304-313. https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.02.001

Berry, B. J. L. (1964). Cities as systems within systems of cities. Papers and proceedings of the regional science association, 13(1), 147-163.

Darmawan, A., & Zulkarnain, M. (2020). Analisis Citra Kota dengan Pendekatan Visualisasi Geospasial dalam Pengembangan Kawasan Perkotaan. Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota, 16(3), 422-431.

D. Ayudya, and I. Ikaputra, "Memahami Perkembangan Kota Melalui Urban Morphology," Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota, vol. 18, no. 3, pp. 235 – 245, Sep. 2022. https://doi.org/10.14710/pwk.v18i3.36135

Djojoatmodjo, B. (2017). Urban Design as a Factor of City Image. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 234, 119-127. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2017.01.040

Duany, A., Plater-Zyberk, E., & Speck, J. (2010). The Smart Growth Manual. McGraw Hill Professional.

Gaffar, S. A., & Setiawan, A. (2021). Analisis Spatial dalam Perencanaan Tata Ruang Kota. Jurnal Pengembangan Kota, 9(1), 1-12.

Han, L., & Rui, F. (2020). A Comprehensive Study of the Urban Commercial System Based on New Urbanism: Taking Wuhan as an Example. Sustainability, 12(14), 5757. doi: 10.3390/su12145757.

Hillier, B., & Hanson, J. (1984). The Social Logic of Space. Cambridge, New York: Cambridge University Press. http://dx.doi.org/10.1017/CBO978051 1597237

Jaewook, C., & Chung, K. (2015). The relationship between urban design and city image: Focusing on commercial districts. Landscape and Urban Planning, 142, 76-85. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.05.008

Kim, M., & Moon, H. (2018). The effects of city image on perceived value and satisfaction in tourism: The case of Seoul, Korea. Sustainability, 10(4), 1044. https://doi.org/10.3390/su10041044

Kim, S., Lee, S., & Koo, C. (2018). The Impact of Urban Design on City Image and City Branding: Focused on Commercial Districts in Seoul. Sustainability, 10(7), 2495. https://doi.org/10.3390/su10072495

Krayenhoff, E. S., Schellen, L., & van der Sterren, J. (2017). ENVI-met: A review of recent developments in its urban climate applications. Urban Climate, 19, 221-240.

Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2011). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan: An application of the RayMan model and ENVI-met. International Journal of Biometeorology, 55(4), 479-490.

Perroux, F. (1955). Economic space: Theory and applications. Quarterly Journal of Economics, 69(4), 538-558.

Shirvani, H. (1985) The Urban Design Process. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Siswanto, I., & Susilo, Y. (2019). Analisis Regresi untuk Menentukan Faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Transportasi pada Mahasiswa. Jurnal Transportasi, 19(2), 95-105.

Zahnd, Markus. (2006). Perancangan Kota Secara Terpadu. Teori perancangan kota dan penerapannya. Cetakan ke 2. Yogyakarta: Kanisius.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

ANALISIS TINGKAT RESIKO KAWASAN BENCANA GUNUNG MERAPI DAERAH KABUPATEN SLEMAN MELALUI PENDEKATAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

F.M. Arbi [a], Hanifah [a], A. Ramadhona [a] dan S. Erfani [b*]

[a] *Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145*
[b] *Program Studi Teknik Geologi Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima tgl/bln/tahun

Direvisi tgl/bln/tahun

Kata kunci:
Gunungapi
Merapi
Sistem informasi geografis
Analisis tingkat kerawanan
Miitigasi

ABSTRAK

Gunung Merapi, salah satu gunungapi aktif di Indonesia yang menjadi ancaman bagi daerah disekitarnya, termasuk Kabupaten Sleman. Salah satu ancamannya primer hasil erupsi gunungapi adalah aliran piroklastik. Erupsi terbesarnya adalah pada Desember 2010 dengan aliran piroklastik yang meluas mencapai jarak 15 kilometer yang memakan korban sebanyak 386 orang meninggal dan kerugian kerusakan mencapai Rp 2,14 triliun dan erupsi Desember 2020 yang menghasilkan *ash plumes, ash fall*, dan aliran piroklastik. Hingga saat ini tingkat aktivitas Gunung Merapi masih relatif tinggi. Dalam menghadapi kondisi tersebut, diperlukan analisis tingkat kerawanan maupunrisiko bencana akibat aktivitas Gunung Merapi, khususnya pada daerah lereng selatan. Adanya pemetaan tingkat kerawanan dan risiko tersebut dapat sebagai upaya memperkecil korban jiwa, kerusakan maupun kerugian di masa mendatang. Untuk itu, juga diperlukan manajemen penanggulangan bencana yang mencakup beberapa tahapan esensial. Tahap-tahap tersebut melibatkan berupa tindakan pencegahan mitigasi, kesiap-siagaan, tanggap darurat (*quick response*) dan rehabilitas, tindakan preventif dan mitigasi untuk mengurangi risiko masa depan, serta kesiapsiagaan sebagai langkah antisipatif. Selanjutnya dilakukan analisis terkait tingkat kerawanan dan risiko melalui Sistem Informasi Geografis. Harapannya, dapat menerapkan jalur evakuasi yang memastikan evakuasi seluruh penduduk di wilayah rawan bahaya erupsi ke tempat yang lebih aman.

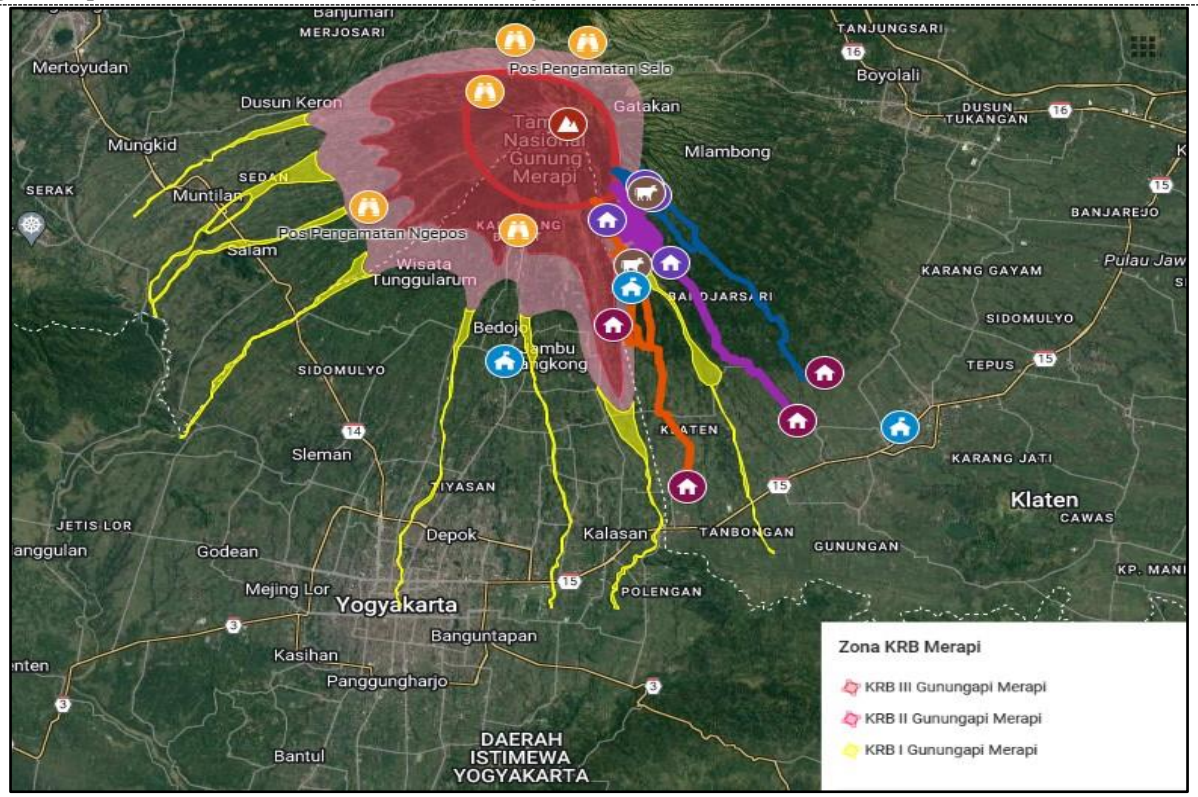
1. Pendahuluan

Indonesia ialah negara kepulauan yang memiliki busur vulkanik terpanjang di dunia, bahkan mengestimasi sekitar 30% vulkan aktif di dunia ada di Indonesia (Verstappen, 2013; Pratomo, 2006; Kardono dkk, 2015). Tatanan geologi Indonesia, yang terletak di zona pertemuan tiga lempeng utama, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan lempeng Pasifik (Katili, 1980), menjadi penyebab munculnya sejumlah besar gunungapi di negara ini. Menurut data dari PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi) tahun 2019, sebanyak 127 gunungapi aktif tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Kondisi ini membuat Indonesia menjadi sangat berisiko terhadap bencana vulkanik, memperlihatkan perlunya perencanaan dan mitigasi yang efektif untuk mengatasi potensi ancaman dan melindungi masyarakat serta lingkungan dari dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh aktivitas vulkanik. Indonesia memiliki sekitar 13% dari total gunung berapi

* Penulis korespondensi.
E-mail: sandri.erfani@eng.unila.ac.id

aktif di dunia, yang berjumlah 127 gunung, menjadikan negara ini sebagai pemilik terbanyak gunung api di dunia. Namun, perlu diingat bahwa sekitar 60% dari gunung api tersebut berpotensi membahayakan penduduk yang tinggal di sekitarnya (Widanty, T., & Pamungkas, J., 2023).

Gunung Merapi merupakan gunung berapi dengan tipe strato, dengan ketinggian 2980 meter dari permukaan laut. Gunung berapi bertipe strato (stratovolcano) atau disebut juga gunung berapi komposit ialah pegunungan (gunung berapi) yang tinggi dan mengerucut yang terdiri atas lava dan abu vulkanik yang mengeras (McDonald, 1972; Pangestu, 2010). Bentuk gunung berapi itu secar khas curam di pencak dan landai di kaki karena aliran lava yang membentuk gunung berapi itu amat kental karena banyak mengandung silika, dan begitu dingin serta mengeras sebelum menyebar jauh. Lava seperti itu dikelompokkan asam karena tingginya konsentrasi silikat. Dari segi administratif, Gunungapi Merapi membentang di empat Kabupaten, meliputi Kabupaten Sleman di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Klaten, dan Kabupaten Magelang di Provinsi Jawa Tengah (BAPPENAS dan BNPB, 2011; Selles dkk., 2012) sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Aktivitas Gunung Merapi telah terus menerus tercatat selama periode Holocene (Newhall dkk., 2000). Letusan terkini terjadi pada 21 Juni 2020, sedangkan letusan pada tahun 1872 dan 2010 menjadi peristiwa terbesar dalam 200 tahun terakhir dengan nilai *Volcanic Explosivity Index* (VEI) sebesar 4 (Nakada dkk., 2019).



Gambar 1. Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi

Bahaya utama yang mengancam sekitar wilayah Merapi adalah aliran awan panas (*piroclastic flow*), lontaran batu (pijar), hujan abu lebat, lelehan lava (*lava flow*) dan gas beracun di samping bahaya sekunder banjir lahar dingin yang dapat terjadi pada musim hujan (Nurjanah dkk, 2011).

Pada tanggal 26 Oktober 2010, Merapi mengalami erupsi yang berlanjut hingga awal November 2010. Kejadian ini menjadi bencana terbesar dibandingkan dengan lima erupsi sebelumnya yang tercatat pada tahun 1994, 1997, 1998, 2001, dan 2006 dan erupsi setelahnya pada tahun 2020. Menurut laporan BNPB tahun 2010, erupsi Merapi pada tanggal 26 Oktober 2010 menyebabkan korban jiwa sebanyak 347 orang meninggal dan 258 orang luka-luka. Selain menimbulkan dampak kemanusiaan yang signifikan, erupsi tersebut juga merugikan sektor-sektor lain seperti permukiman, infrastruktur, telekomunikasi, listrik,

energi, dan air bersih. Pada sektor permukiman, data dari BNPB tahun 2010 mencatat bahwa erupsi tersebut mengakibatkan tenggelamnya sejumlah dusun di Provinsi DI Yogyakarta, dengan ribuan rumah penduduk mengalami kerusakan. Di Provinsi tersebut, terdapat 2.636 unit rumah rusak berat dan tidak layak huni, 156 rumah rusak sedang, dan 632 rumah rusak ringan, sehingga total 3.424 rumah mengalami kerusakan akibat erupsi Gunung Merapi. Di Provinsi Jawa Tengah, sebanyak 3.705 rumah juga mengalami kerusakan, dengan perincian 551 rumah rusak berat, 950 rumah rusak sedang, dan 2.204 rumah rusak ringan. Menurut penilaian Widodo (2010), dampak bencana ini menyebabkan kerusakan dan kerugian mencapai Rp. 3,557 triliun, dengan sektor ekonomi produktif menanggung beban terbesar sebesar Rp. 1,692 triliun (46,64% dari total kerusakan dan kerugian). Sementara itu, sektor infrastruktur, perumahan, lintas sektor, dan sosial juga turut mengalami kerugian yang signifikan.

Salah satu kawasan yang terkena dampak erupsi Gunung Merapi yaitu Kabupaten Sleman. Kabupaten Sleman merupakan salah satu wilayah yang terdampak paling parah oleh erupsi Gunung Merapi tahun 2010 yang terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan data dari (BNPB, 2010) Kabupaten Sleman, erupsi tersebut mengakibatkan kerusakan dan kerugian di berbagai sektor, termasuk sektor permukiman, infrastruktur, dan ekonomi. Erupsi Gunung Merapi 2010 telah mengubur sejumlah dusun di Kabupaten Sleman. Tercatat sebanyak 10 dusun di 5 desa di Kabupaten Sleman yang hancur dan tidak dapat dihuni kembali. Selain itu, sebanyak 1.272 rumah di Kabupaten Sleman juga mengalami kerusakan, baik rusak berat, rusak sedang, maupun rusak ringan. Kerusakan infrastruktur di Kabupaten Sleman akibat erupsi Gunung Merapi 2010 juga sangatlah luas. Beberapa infrastruktur yang rusak antara lain jalan, jembatan, saluran air, dan jaringan listrik. Kerusakan infrastruktur tersebut menyebabkan terhambatnya aktivitas masyarakat dan perekonomian di wilayah terdampak yang meliputi jalan 138 kilometer, kerusakan jembatan 11 unit, saluran air sepanjang 4.250 meter, serta jaringan listrik sepanjang 200 kilometer. Beberapa sektor ekonomi juga terdampak, antara lain pertanian mengalami kerugian sebesar Rp 1,4 triliun, perkebunan Rp 300 miliar, perikanan sebesar Rp 200 miliar, dan pariwisata sebesar Rp 300 miliar, sehingga total kerusakan ekonomi di Kabupaten Sleman ditafsir mencapai Rp. 2,2 triliun.

Mengingat besarnya dampak kerugian yang dihasilkan oleh erupsi Gunung Merapi, diperlukan upaya serius dalam penanggulangan bencana untuk mengurangi konsekuensi yang merugikan. Salah satu pendekatan yang efektif dalam upaya ini adalah melalui perencanaan mitigasi yang dapat meminimalkan jumlah korban jiwa saat terjadi bencana. Dengan merancang strategi mitigasi yang efektif, setidaknya penduduk yang mungkin terdampak erupsi dapat diberikan bantuan untuk menemukan tempat tinggal yang aman dari potensi bahaya erupsi Merapi dan mengurangi tingkat kerusakan akibat bencana yang pernah dialami sebelumnya. Mitigasi adalah suatu tahapan yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan dampak negatif kejadian bencana terhadap kehidupan atau dapat diartikan bahwa mitigasi sebagai mengambil tindakan-tindakan untuk mengurangi pengaruh-pengaruh dari suatu bahaya sebelum bahaya terjadi (Rahmat dalam Nirmalawati, 2011). Sedangkan bencana sendiri adalah keadaan yang mengganggu kehidupan sosial ekonomi masyarakat yang disebabkan oleh gejala alam atau perbuatan manusia. Bencana dapat terjadi melalui suatu proses yang panjang atau situasi tertentu dalam waktu yang sangat cepat tanpa adanya tanda-tanda (Fidel dalam Nirmalawati, 2011).

Oleh karena itu, diperlukan usaha untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut, terutama bagi warga yang kehilangan tempat tinggalnya akibat erupsi Gunung Merapi. Suatu analisis dampak erupsi Gunung Merapi menjadi langkah kritis, khususnya dalam mengevaluasi sejauh mana bencana erupsi tersebut dapat memengaruhi kawasan permukiman. Dengan melakukan analisis ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman mendalam mengenai dampak erupsi terhadap permukiman penduduk, sehingga dapat menentukan jalur evakuasi yang aman bagi para korban erupsi di Kabupaten Sleman. Selain itu, hasil analisis ini juga diharapkan mampu menentukan titik-titik jalur evakuasi yang dapat digunakan oleh para korban erupsi Merapi, memberikan panduan yang lebih efektif dalam rangka mengantisipasi dan mengelola bencana yang mungkin terjadi di masa depan.

2. Metodologi

2.1. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan.

Alat dan Bahan	Fungsi
Laptop	*Hardware* pengolahan data.
Microsoft Word	Digunakan dalam proses penyusunan hasil penelitian.
ArcGIS 10.8	*Software* untuk membuat peta lokasi untuk dilakukan analisis.

2.2. Prosedur percobaan

Penelitian ini didasari oleh munculnya permasalahan-permasalahan terkait semakin banyaknya permukiman penduduk di Kabupaten Sleman khususnya wilayah yang berada di lereng gunung Merapi, meliputi desa-desa yang berada pada Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan. Munculnya permasalahan pada kawasan permukiman di daerah rawan bencana tersebut tidak lepas dari kondisi lahan di daerah tersebut yang subur sehingga menarik penduduk di kabupaten Sleman untuk melakukan kegiatan pertanian dan mengolah lahan tersebut menjadi lahan pertanian. Semakin banyaknya permukiman warga yang muncul di daerah rawan bencana tersebut menambah resiko terkena dampak dari gunung Merapi yang aktif yang tidak ketahui kapan akan kembali erupsi. Penelitian yang akan dilakukan ini ditekankan pada seberapa luas jangkauan erupsi Gunung Merapi yang mengenai permukiman penduduk di Kabupaten Sleman. Sebagaimana yang telah diketahui, akibat dari erupsi Gunung Merapi sebelumnya telah banyak rumah warga yang mengalami kerusakan sehingga banyak warga yang kehilangan tempat tinggalnya. Oleh karena itu penelitian ini dibatasi ruang lingkupnya pada dampak erupsi Gunung Merapi yang mengenai permukiman penduduk di kabupaten Sleman yang terkena dampak langsung erupsi Gunung Merapi karena secara administrasi sebagian besar wilayah Kabupaten Sleman tepat berada di lereng Gunung Merapi tersebut.

2.3. Analisis

Analisis yang pertama yaitu analisis tata guna lahan Kabupaten Sleman. Analisis tata guna lahan ini dilakukan untuk mngidentifikasi kondisi kawasan permukiman yang ada di Kabupaten Sleman. Analisis ini dilakukan dengan menganalisis tata guna lahan Kabupaten Sleman dan mengidentifikasi kawasan permukiman yang ada di Kabupaten Sleman. Kemudian dari kawasan permukiman yang didapatkan di analisis dengankesesuaian lahan Kabupaten Sleman untuk mengidentifikasi kawasan permukiman yang ada di daerah rawan bencana Merapi.

Analisis kedua yaitu analisis kawasan permukiman yang berada di kawasan rawan bencana Merapi. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kondisi kawasan permukiman yang berada di sekitar daerah rawan bencana gunung Merapi. Analisis ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi kawasan permukiman di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan sebagai kawasan lereng gunung Merapi yang merupakan kawasan paling rawan di Kabupaten Sleman. Dari kawasan - kawasan tersebut di *overlay* menggunakan *tools* ArcGIS 10.8 yang akan menghasilkan peta kawasan permukiman yang berada di daerah rawan bencana Merapi. Kabupaten Sleman yang sebagian besar wilayahnya berada di daerah rawan bencana Merapi, tetap menarik minat para penduduk untuk tetap bertempat tinggal di wilayah tersebut. Hal ini tidak lain dikarenakan kondisi kesuburan tanahnya yang tinggi sehingga baik untuk daerah pertanian. Dengan adanya penduduk yang berada di daerah rawan bencana tersebut, akan meningkatkan resiko jumlah korban jika suatu saat terjadi erupsi gunung Merapi yang secara tiba-tiba. Untuk itu perlu dilakukan analisis jumlah permukiman yang berada atau masuk didaerah rawan bencana Merapi tersebut sehingga dapat dijadikan acuan untuk melakukan analisis mitigasi bencana di daerah Kabupaten Sleman khususnya pada tiga kecamatan tersebut.

Analisis yang ketiga yaitu analisis desa pada tiga kecamatan yang beresiko paling tinggi terkena dampak erupsi Gunung Merapi. Analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang ada di Kabupaten Sleman yang terkena dampak erupsi gunung Merapi. Dampak yang akan diamati yaitu dampak erupsi Merapi secara fisik yang merusak permukiman penduduk di Kabupaten Sleman. Analisis ini dilakukan dengan pertama-tama mengidentifikasi arah aliran erupsi Merapi yang menuju ke Kabupaten Sleman. Kemudian untuk mengidentifikasi dampak erupsi Merapi terhadap kawasan permukiman dilakukan dengan citra dan melihat seberapa besar dan luas dampak erupsi Merapi yang mengenai permukiman penduduk Kabupaten Sleman. Sebelum menganalisis dampak erupsi Merapi terlebih dahulu mengidentifikasi besar kecilnya resiko dampak erupsi Merapi di tiga kecamatan yang paling dekat dengan puncak Merapi di Kabupaten Sleman dengan menggunakan pembobotan.

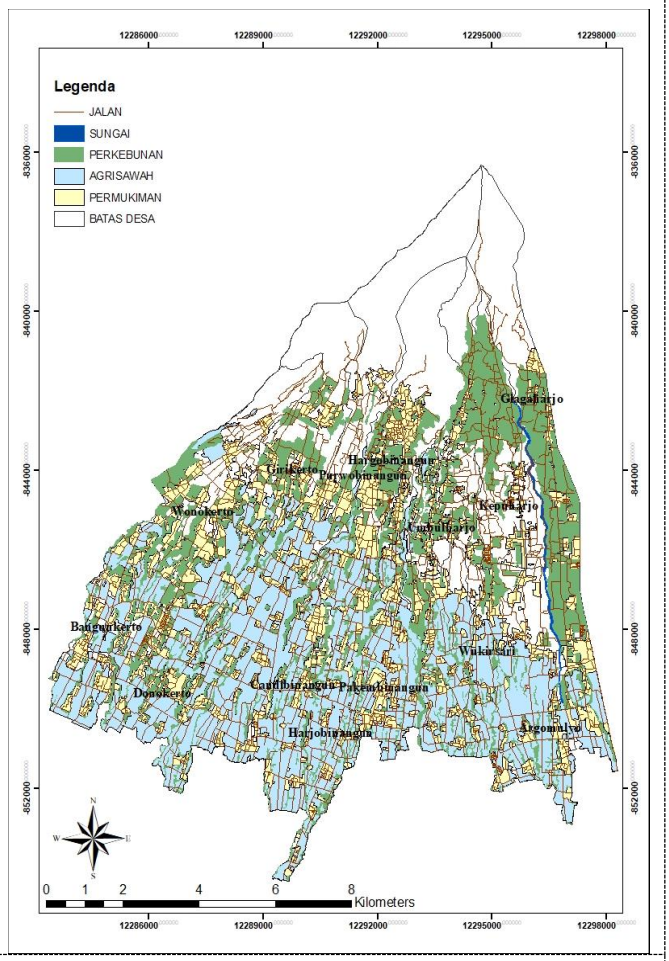
Analisis yang keempat yaitu analisis jalur evakuasi korban erupsi Merapi. Analisis ini dilakukan untuk menentukan suatu jalur evakuasi yang dapat digunakan korban bencana erupsi Merapi mengungsi ke tempat yang lebih aman dari bencana erupsi Merapi. Analisis yang keempat ini dapat dilakukan dengan melakukan *overlay* aliran erupsi Merapi dengan jalan di Kabupaten Sleman di tiga kecamatan yang paling dekat dengan

puncak Merapi. Kemudian dari *overlay* tersebut akan dihasilkan rute-rute atau jalur-jalur yang dapat dijadikan jalur evakuasi yang aman dan jauh dari erupsi Merapi.

3. Hasil dan pembahasan

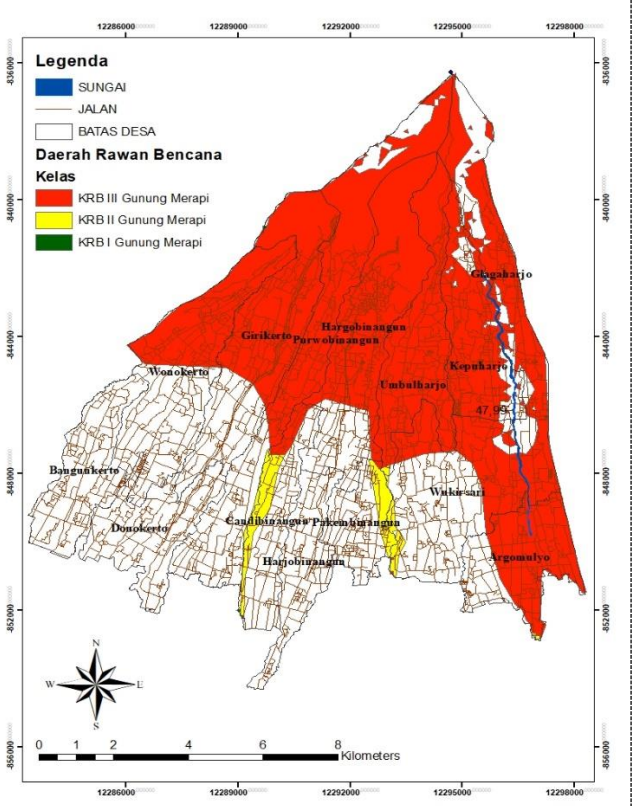
Identifikasi Daerah Rawan Bencana di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan, Kabupaten Sleman

Kecamatan Turi, Pakem, dan Sleman merupakan kecamatan-kecamatan yang terletak di kawasan lereng gunung Merapi sampai dengan puncak gunung Merapi. Wilayah ini merupakan sumber daya air dan ekowisata yang berorientasi pada kegiatan gunung Merapi dan ekosistemnya. Wilayah ketiga kecamatan tersebut berada pada ketinggian 500-1.500 meter di atas permukaan laut. Kecamatan Turi dan Pakem memiliki ketinggian yang lebih rendah, yaitu 500-1.000 meter di atas permukaan laut, sedangkan Kecamatan Cangkringan memiliki ketinggian yang lebih tinggi, yaitu 600-1.500 meter di atas permukaan laut. Berdasarkan data dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Sleman, sebagian besar lahan di tiga kecamatan tersebut dimanfaatkan untuk keperluan pertanian dan permukiman. Kabupaten Sleman memiliki ketinggian wilayah yang bervariasi yang meliputi luas 6.538 ha atau 11,38% dari luas wilayah, meliputi Kecamatan Tempel, Turi, Pakem, dan Cangkringan yang didominasi oleh persawahan, tegalan dan pekarangan. Analisis yang pertama dilakukan, yaitu identifikasi arah aliran erupsi Merapi yang mengarah ke pada ketiga kecamatan tersebut. Selanjutnya, untuk menilai dampak erupsi Merapi pada kawasan permukiman, dilakukan analisis menggunakan citra guna menentukan sejauh mana dan seberapa luas dampaknya terhadap pemukiman penduduk di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan, Kabupaten Sleman. Sebelum mendalami dampak erupsi Merapi, dilakukan identifikasi risiko dampak di setiap desa di tiga kecamatan tersebut dengan pembobotan. Analisis berikutnya mencakup penentuan jalur evakuasi korban erupsi Merapi. Langkah ini bertujuan menemukan jalur yang aman bagi korban bencana untuk mengungsi ke lokasi yang bebas dari risiko erupsi Merapi. Evaluasi jalur evakuasi dilakukan dengan *overlay* antara aliran erupsi Merapi dan jalan di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan, menghasilkan rute-rute yang dapat dijadikan jalur evakuasi yang aman dan menjauh dari ancaman erupsi Merapi. Sementara lahan subur di daerah tersebut digunakan secara luas untuk pertanian dan pemukiman, daerah tersebut juga berpotensi rawan bencana terutama di sekitar lereng gunung Merapi. Daerah rawan bencana tersebut, berjarak 5 km dari puncak Merapi, diharapkan tetap steril dari aktivitas penduduk. Untuk gambaran lebih rinci mengenai tata guna lahan di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan, dapat dilihat pada Gambar 2.

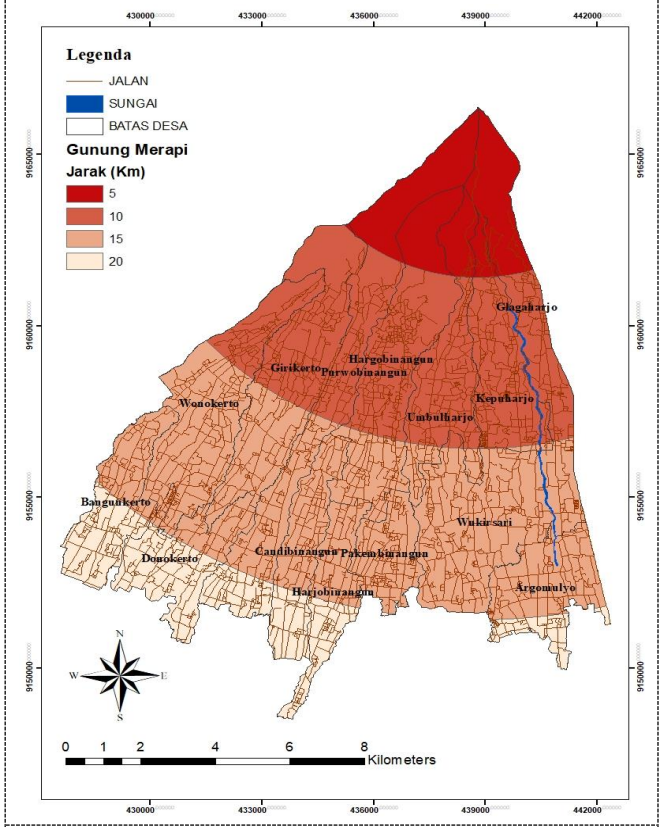


Gambar 2. Peta tata guna lahan di kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan

Kehadiran penduduk di wilayah rawan bencana meningkatkan potensi risiko terhadap jumlah korban dalam kejadian erupsi mendadak gunung Merapi. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap jumlah permukiman yang terletak atau masuk ke dalam daerah rawan bencana Merapi tersebut. Analisis ini menjadi landasan untuk merancang strategi mitigasi bencana di Kabupaten Sleman khusunya tiga kecamatan yang berada pada lereng puncak gunung Merapi. Fokus analisis ini adalah mengevaluasi sejauh mana luasnya kawasan permukiman yang berada di daerah rawan bencana Merapi di Kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan. Pendekatan ini melibatkan pemantauan jumlah permukiman yang berdekatan dengan daerah rawan bencana Merapi di kecamatan - kecamatan tersebut.



Gambar 3. Peta daerah rawan bencana di Kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan, Kabupaten Sleman



Gambar 4. Peta skoring jarak dari puncak Merapi Kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan, Kabupaten Sleman

Analisis Skoring Radius Permukiman Dari Puncak Merapi

Tabel 2. Skoring radius puncak Merapi

Jarak	Skor
<5 km	15
5-15 km	10
>15 km	5

Sumber: Indeks Rawan bencana Indonesia, 2010 dan Analisis Penyusun, 2013

Jarak merupakan faktor utama yang menyebabkan tingginya tingkat kerusakan pada permukiman akibat erupsi Merapi. Fenomena ini disebabkan oleh prinsip bahwa semakin dekat jarak permukiman dengan puncak Merapi, semakin besar dampak yang akan dialami akibat erupsi Merapi. Untuk menggali lebih lanjut tentang pengaruh jarak ini, dilakukan analisis *skoring* terhadap jarak permukiman dari puncak Merapi. Analisis tersebut bertujuan untuk memberikan skor pada setiap desa atau kawasan permukiman, mencerminkan seberapa dekatnya mereka dengan puncak Merapi dalam rangka mengevaluasi tingkat risiko dampak erupsi.

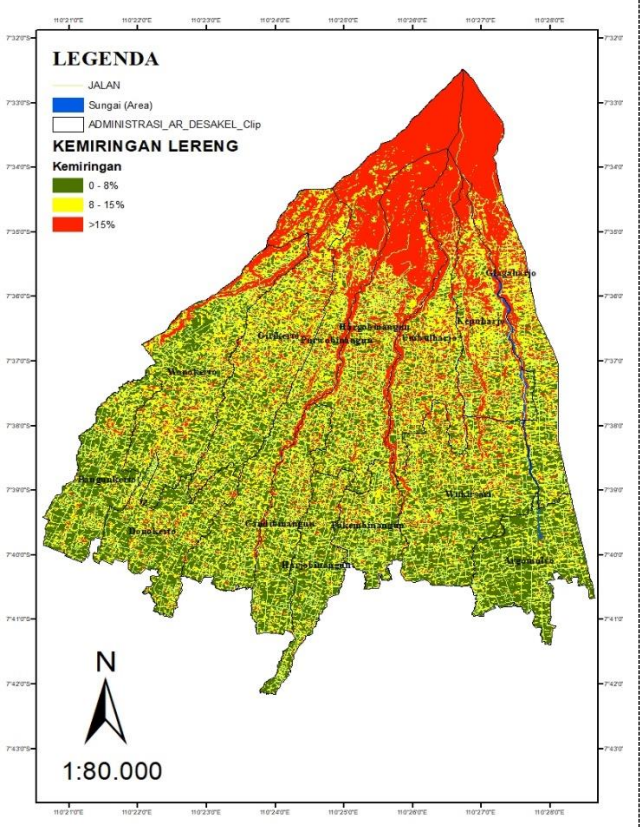
Analisis Skoring Kelerengan

Tabel 3. Skoring kelerengan

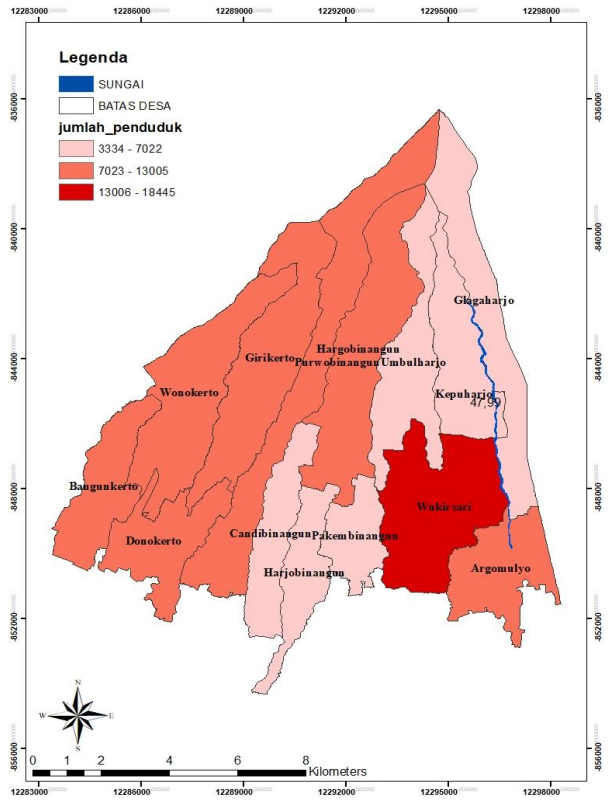
Kelerengan	Skor
<8 %	15
8-15 %	10
>15 %	5

Sumber: Indeks Rawan bencana Indonesia, 2010 dan Analisis Penyusun, 2013.

Semakin curam daerah permukiman maka semakin besar pula dampak terkena erupsi Merapi. Analisis skoring kelerengan ini dilakukan untuk mengetahui kelerengan dari masing-masing desa di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan. Berikut ini adalah peta hasil analisis skoring kerlerengan di masing-masing desa di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan.



Gambar 5. Peta skoring kelerengan di Kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan, Kabupaten Sleman



Gambar 6. Peta jumlah penduduk di Kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan, Kabupaten Sleman

Analisis Skoring Jumlah Penduduk

Tabel 4. Skoring jumlah penduduk

Jumlah penduduk	Skor
<1000 jiwa	15
1000-2500 jiwa	10
>2500 jiwa	5

Sumber: Indeks Rawan bencana Indonesia, 2010 dan Analisis Penyusun, 2013.

Jumlah penduduk juga merupakan salah satu faktor penyebab besarnya dampak yang diakibatkan oleh erupsi Merapi beberapa tahun yang lalu. Desa dengan jumlah penduduk yang lebih banyak cenderung mengalami dampak yang lebih besar. Untuk mengukur variabel jumlah penduduk ini, dilakukan skoring guna memberikan penilaian terhadap seberapa besar dampak yang mungkin terjadi. *Skoring* ini menjadi alat evaluasi yang penting untuk memahami potensi risiko dan merancang strategi mitigasi yang sesuai dengan kondisi demografis di setiap desa.

Analisis skoring jumlah penduduk dilakukan untuk mengidentifikasi jumlah penduduk di setiap desa di Kecamatan Turi, Pakem, dan Cangkringan. Hal ini bertujuan untuk memberikan skor dan mengevaluasi seberapa besar risiko dampak yang mungkin terjadi akibat erupsi gunung Merapi. Skoring ini merupakan langkah penting dalam menilai tingkat risiko bencana di wilayah tersebut, karena desa dengan jumlah penduduk yang lebih tinggi cenderung memiliki potensi dampak yang lebih besar. Dengan demikian, hasil skoring jumlah penduduk menjadi dasar untuk pengembangan strategi mitigasi yang tepat dan efektif dalam menghadapi potensi risiko erupsi Gunung Merapi di tiga kecamatan tersebut.

Untuk menganalisis seberapa besar risiko setiap desa yang terkena dampak erupsi Merapi setelah melakukan skoring pada tiga variabel yang telah diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah menggunakan skor maksimal dan skor minimal untuk mengklasifikasikan tingkat dampak erupsi Merapi. Pengklasifikasian dampak erupsi Merapi dapat dilakukan dengan membandingkan skor yang diperoleh dari skoring variabel-variabel tersebut.

Tabel 5. Tingkat risiko dampak erupsi

Dampak erupsi	Skor
Rendah	0-20
Sedang	21-30
Tinggi	31-45

Sumber: Indeks Rawan bencana Indonesia, 2010 dan Analisis Penyusun, 2013.

Tingkat risiko erupsi dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu tinggi, sedang, dan rendah, dengan rentang skor tertentu untuk setiap kategori. Kawasan dengan tingkat risiko erupsi tinggi memiliki skor antara 31-45, yang mencirikan daerah yang mengalami kerusakan paling parah karena dekat dengan puncak Merapi dan memiliki kelerengan yang curam. Tingkat risiko erupsi sedang, dengan skor 21-30, mencakup daerah yang tidak terlalu dekat dengan puncak Merapi, memiliki kelerengan yang agak curam, serta jumlah rumah dan penduduk yang cukup signifikan. Sementara itu, tingkat risiko erupsi rendah, dengan skor 0-20, melibatkan daerah yang jauh dari puncak Merapi, memiliki kelerengan yang tidak curam, dan memiliki jumlah penduduk dan rumah yang cukup banyak. Dengan melakukan skoring dampak erupsi Merapi pada setiap desa, dapat diidentifikasi desa-desa dengan risiko tertentu mulai dari tinggi, sedang, hingga rendah. Informasi lebih rinci dapat ditemukan dalam tabel hasil skoring dampak erupsi Merapi pada Tabel 6.

Tabel 6. Tingkat risiko erupsi Merapi

Desa	Kecamatan	Jumlah
Argomulyo	Cangkringan	25
Bangunkerto	Turi	25
Cnadibinngun	Pakem	30
Donokerto	Turi	25
Girikerto	Turi	35
Glagaharjo	Cangkringan	35
Hargobinangun	Pakem	40
Harjobinangun	Pakem	25
Kepuharjo	Cangkringan	35
Pakembinangun	Pakem	30
Purwobinangun	Pakem	35
Umbulharjo	Cangkringan	35
Wonokerto	Turi	40
Wukisari	Cangkringan	30

Sumber: Indeks Rawan bencana Indonesia, 2010 dan Analisis Penyusun, 2013.

Dari analisis di atas didapatkan desa-desa di Kecamatan, Turi, Pakem, dan Cangkringan memiliki dampak erupsi Merapi yang dikategorikan menjadi daerah atau desa yang terkena dampak parah, sedang atau tidak parah. Dari tabel di atas dapat dilihat jika desa yang masuk pada dampak erupsi tinggi dengan skor 31-45 yaitu desa Girikerto, Glagaharjo, Hargobinangun, Kepuharjo, Purwobinangun, Umbulharjo dan desa Wonokerto. Sedangkan desa yang masuk pada dampak erupsi sedang dengan skor antara 21-30 yaitu desa Argumulyo, Bangunkerto, Donokerto, dan Harjobinangun. Sedangkan untuk dampak erupsi rendah dengan skor 0-20, tidak ada desa yang masuk pada kategori ini. Sehingga dapat disimpulkan semua desa di di tiga kecamatan tersebut memiliki resiko sedang dan tinggi untuk terkena erupsi Merapi.

Identifikasi Jalur Evakuasi Yang Aman Bagi Penduduk Yang Tinggal Di Daerah Rawan Bencana Merapi

Analisis jalur evakuasi dilakukan untuk menetapkan rute evakuasi yang dapat digunakan oleh korban bencana erupsi Merapi untuk mencapai tempat yang lebih aman. Analisis ini melibatkan teknik *overlay* antara aliran erupsi Merapi dan jaringan jalan di kecamatan tersebut. Dari *overlay* ini, dihasilkan rute-rute atau jalur-jalur yang dapat dijadikan jalur evakuasi yang aman dan menjauh dari potensi erupsi Merapi.

Beberapa variabel yang digunakan dalam analisis ini termasuk kelerengan tanah di kecamatan Kemalang dengan kemiringan antara 5-15%, kondisi jalan yang sudah diaspal dan dapat dilalui oleh berbagai jenis kendaraan, serta arah aliran lahar dingin dan awan panas yang mencakup kawasan yang terkena dampak aliran lahar dingin dan awan panas. Selain variabel tersebut, penentuan titik awal evakuasi yang dianggap sebagai titik rawan terkena erupsi Merapi dan titik akhir evakuasi sebagai titik aman dari erupsi Merapi juga menjadi bagian penting dari analisis ini. Proses ini dapat dilakukan dengan membuat kriteria seberapa luas atau jauh erupsi Merapi yang mungkin akan terjadi. Berdasarkan kriteria ini, titik-titik jalur evakuasi yang aman dapat ditentukan.

Metode ini diadaptasi dari analisis penanggulangan mitigasi bencana tsunami di Aceh, dengan mempertimbangkan ketinggian suatu tempat sebagai kriteria mitigasi. Dengan pendekatan tersebut, analisis jalur evakuasi di Kecamatan Kemalang dapat secara efektif menentukan rute yang aman untuk penduduk yang mungkin terkena dampak erupsi Merapi. Berikut adalah tabel kriteria titik evakuasi erupsi Merapi:

Tabel 5. Tingkat risiko dampak erupsi

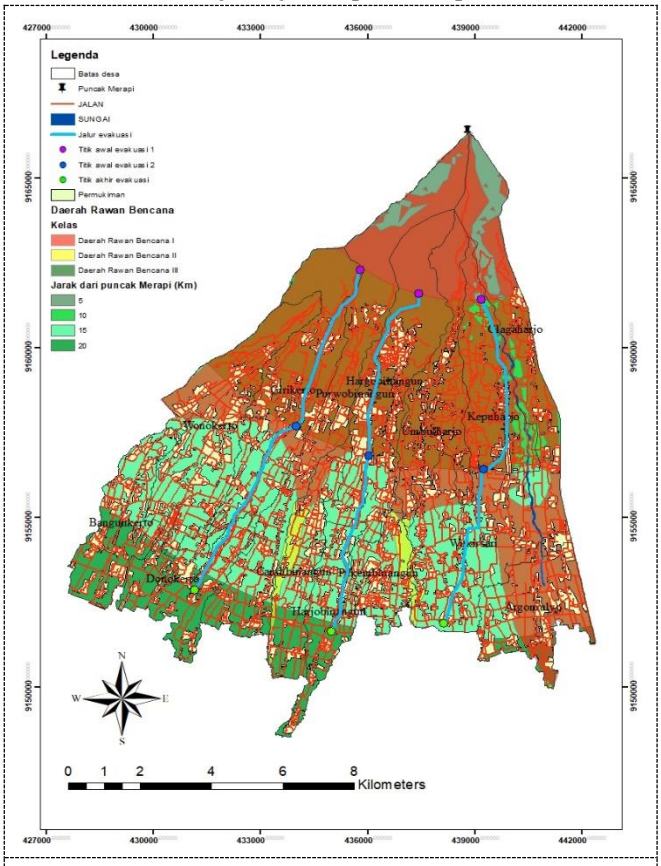
Radius erupsi	Titik evakuasi			
	Kurang aman	Cukup aman	Aman	Sangat aman
<5 km	5-10 km	10-15 km	15-20 km	>20 km
<10 km	10-15 km	15-20 km	20-25 km	>25 km

Sumber: Kementerian Negara lingkungan Hidup 2007 dan Analisis Penyusun, 2013

Tabel di atas merupakan penentuan titik-titik evakuasi yang aman bagi penduduk di Kecamatan Turi,

Pakem, dan Cangkringan, Kabupaten Sleman. Dalam keterangan tabel tersebut, jika radius erupsi Merapi berada di bawah 5 km, titik-titik evakuasi dikategorikan dalam empat kategori, dengan kondisi mulai dari tidak aman hingga sangat aman, tergantung pada jarak dari puncak Merapi. Misalnya, jika titik evakuasi berada di antara 5-10 km dari puncak Merapi, kondisi tersebut masih dianggap kurang aman. Sebaliknya, jika radius erupsi Merapi berada di atas 10 km, kategori evakuasi tetap dibagi menjadi empat, tetapi dengan rentang jarak yang berbeda.

Jalur evakuasi sendiri dibedakan menjadi dua, dengan asumsi adanya erupsi Merapi dengan radius 5 km dan 10 km. Proses penentuan jalur evakuasi melibatkan analisis jalur terpendek antara titik awal dan akhir evakuasi. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan jalur evakuasi yang optimal untuk mengamankan penduduk di tiga kecamatan tersebut dalam skenario terjadinya erupsi Merapi.



Gambar 7. Peta jalur evakuasi bencana erupsi gunung merapi

Jalur evakuasi dari erupsi gunung Merapi, menghubungkan dua titik yaitu titik awal evakuasi dan titik akhir evakuasi. Kedua titik tersebut dapat dilalui oleh penduduk korban dari bencana erupsi gunung Merapi pada tiga kecamatan di kabupaten Sleman. Untuk kecamatan Turi, jalur evakuasi erupsi gunung Merapi melalui Desa Girikerto dan Donokerto. Untuk penduduk yang berada di kecamatan Pakem, dapat melalui jalur evakuasi yang berada di desa Hargobinangun, Purwobinangun, Pakembinangun, dan Harjobinangun. Penduduk desa yang berada di Kecamatan Cangkringan dapat melalui jalur evakuasi dengan titik awal evakuasi dan titik akhir evakuasi untuk penduduk yang berada di desa Glagaharjo, Kepuharjo dan Wukisari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis dari dampak erupsi gunung Merapi dan dilakukannya penentuan jalur evakuasi yang aman untuk penduduk yang berada di kabupaten Sleman tepatnya di Kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan, dapat ditarik kesimpulan dari hasi penelitian yaitu, dari hasil analisis wilayah yang dilakukan di Kabupaten Sleman tepatnya di Kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan hampir sebagian besar lahan di tiga kecamatan tersebut dimanfaatkan untuk pertanian, permukiman warga, tegalan, dan permukiman. Ketiga kecamatan yang berada di kabupaten Sleman tersebut berada di Kawasan hingga puncak gunung Merapi, yang membuat Kawasan permukiman dari kecamatan-kecamatan tersebut beresiko terkenanya dampak dari erupsi gunung Merapi. Dari hasil analisis wilayah dari tiga kecamatan Turi, Pakem dan Cangkirngan dibagi dalam 3 daerah rawan bencana gunung Merapi yaitu daerah rawan bencana III yang meliputi beberapa desa antara lain Glagaharjo, Hargobinangun, Girikerto, Purwobinangun, Kepuharjo, Umbulharjo dan Argomulyo. Untuk daerah rawan bencana II meliputi desa Candibinangun dan Pakembinangun. Sedangkan untuk desa yang termasuk pada daerah rawan bencana III yaitu hanya sebagian kecil dari selatan desa Candibinangun. Dari hasil analisis kawasan permukiman penduduk yang berada di tiga kecamatan Turi, Pakem dan Cangkringan yang merupakan Kawasan permukiman warga yang wilayahnya berada di dearah rawan bencana Merapi yang dampaknya terjadi pada desa-desa disetiap kecamatan. Karena itu, desa yang berada di tiga kecamatan tersebut seluruh permukimannya beresiko terkena dampak erupsi Merapi. Dari hasil analisis desa di kabupaten Sleman tepatnya dikecamatan Turi, Pakem dan cangkringan yang masuk di kategori tinggi, sedang dan rendah terkena dampak erupsi. Untuk desa yang masuk pada dampak erupsi tinggi dengan skor 31-45 yaitu desa Girikerto, Glagaharjo, Hargobinangun, Kepuharjo, Purwobinangun, Umbulharjo dan desa Wonokerto. Desa dengan erupsi sedang skor antara 21-30 yaitu desa Argumulyo, Bangunkerto, Donokerto, dan Harjobinangun. Sedangkan untuk dampak erupsi rendah

dengan skor 0-20, tidak ada desa yang masuk pada kategori ini. Dari analisis jalur evakuasi di kecamatan Turi, Pakem dan cangkringan yaitu dengan menggunakan jalur local dan jalan lain yang berada di tiga kecamatan tersebut. Jalur evakuasi yang dilalui berada dekat dengan permukiman warga yang mengakibatkan jalur tersebut berpengaruh dalam evakuasi penduduk setempat yang berada di daerah rawan bencana ketempat yang aman dan jauh dari daerah yang rawan bencana tersebut.

Ucapan terima kasih

Pada kesempatan ini, para penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penulisan paper ini. Khususnya kepada Bapak Sandri Erfani, S.Si., M.Eng. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan serta turut membantu dalam penyusunan prosiding ini..

Daftar Pustaka

Badan Geologi. *G. Merapi, Jawa Tengah*. Bandung: PVMBG, 2019.

BNPB, 2010. Kawasan Rawan bencana Erupsi, 2010. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Yogyakarta, 18 November 2010.

Kardono, dkk., (2015). Paradigma Geomaritim: *Strategi Mewujudkan Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia dalam Perspektif Geografi*. Jakarta: Badan Informasi Geospasial.

Katili, J.A. (1980). *Geotectonics of Indonesia: a Modern View*. Jakarta: Direktorat Jendral Pertambangan.

Macdonald, G.A., 1972, *Volcanoes*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 510.

Nakada, S., dkk., 2019. Eruption Scenarios of Active Volcanoes in Indonesia. *Journal of Disaster Research*, 14(1), 40-50. doi:10.20965/jdr.2019.p0040.

Newhall, dkk., 2000. 10,000 Years of Explosive Eruptions of Merapi Volcano, Central Java: Archaeological and Modern Implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100(1-4), 9-50. DOI:10.1016/S0377-0273(00)00132-3.

Nirmalawati. 2011. Pembentukan Konsep Diri pada Siswa Pendidikan Dasar dalam Memahami Mitigasi Bencana. *Jurnal SMARTek, Vol. 9 No. 1. Pebruari 2011: 61 – 69.* Universitas Tadulako : Palu

Nurjanah, dkk. 2011. *Manajemen Bencana*. Bandung: Alfabeta

Pangestu, Alex. 2010. *Mungkinkah kejadian Merapi dan Mentawai berhubungan?*. http://nationalgeographic.co.id. Diakses tanggal 31 Oktober 2010.

Pratomo, I. (2006). Klasifikasi Gunung Api Aktif Indonesia, Studi Kasus dari Beberapa Letusan Gunung Api dalam Sejarah. *Jurnal Geologi Indonesia 1* (4): 209-227.

Selles, dkk., 2012. Characterisation of the Volcano-sedimentary Deposits of an Active Strato-volcano: The Merapi Case Example (Central Java, Indonesia). Proceedings, 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Geo-Disaster Mitigation in ASEAN.

Verstappen, H. Th. (2013). *Garis Besar Geomorfologi Indonesia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Widanty & Pamungkas, J. (2023). Pengembangan Media Flashcard Mitigasi Bencana Alam Gunung Meletus. *Jurnal Obsesi*, 7.

Widodo, B. 2010. Kajian Kerusakan Bangunan Akibat Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010 di Kabupaten Sleman. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

.

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id

Identifikasi Zona Sesar di Bagian Selatan Sumatra Menggunakan Data Satelit Global Gravitasi

F Murdapa, E Sumanjaya*, A Sari

Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jalan Soemantri Brojonegoro No 1, Bandar Lampung, Lampung, 35135, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 15/06/2023
Direvisi 20/12/2023

Kata kunci:
Sesar Sumatra
SBA
CBA

ABSTRAK

Identifikasi zona patahan (sesar) merupakan suatu hal yang esensial dalam memahami proses tektonik dan bahaya seismik di daerah sesar aktif. Untuk mengidentifikasi zona sesar khususnya di bagian Selatan Sumatra maka data satelit gravitasi global diterapkan. Hasil interpretasi anomaly bouger sederhana (SBA) dan lengkap (CBA) menunjukkan bahwa daerah dengan anomaly tinggi ditandai dengan nilai anomaly berkisar antara 150 hingga 290 mGal yang terletak dibagian barat Selatan Sumatra dimana melewati jalur sesar Liwa, Semangko Barat dan Semangko Timur. Sedangkan daerah dengan anomaly sedang berkisar antara 60 hingga 140 mGal berada pada bagian timur Selatan Sumatra sekaligus berdekatan dengan jalur sesar Teluk Lampung, Turun Way Sekampung dan Way Seputih. Sementara itu untuk anomaly rendah berada di bagian utara Selatan sumatara. Berdasarkan hasil ini mengindikasikan bahwa nilai anomaly tinggi terkonfirmasi dengan jalur sesar yang tersebar di wilayah sekitar Selatan Sumatra.
.

1. Pendahuluan

Identifikasi zona patahan (sesar) merupakan suatu hal yang esensial dalam memahami proses tektonik dan bahaya seismik di daerah aktif. Akibat proses tersebut maka memicu terjadinya deformasi kerak bumi. Deformasi kerak bumi itu sendiri memiliki banyak faktor yang mempengaruhinya seperti efek viskosistas (Sumanjaya, dkk. 2015), ketebalan kerak, dan source mechanism (Sumanjaya, dkk.2016). Di bagian selatan Sumatera, Indonesia, telah diketahui tatanan tektonik yang kompleks. Hal ini ditandai dengan adanya subduksi lempeng Samudera Hindia di bawah lempeng Eurasia. Akibat dari proses suduksi ini menghasilkan beberapa patahan yang membentang sepanjang Pulau Sumatra. Adapun patahan yang terkenal khususnya dibagian selatan yaitu segmen komering dan segmen semangko. Patahan ini merupakan patahan aktif yang dibuktikan dengan adanya catatan gempa bumi signifikan di masa lalu. Walaupun magnitudenya tidak sebesar dibandingkan dengan zona subduksi namun gempa ini bersifat merusak karena berpusat di darat dan cenderung dangkal.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknik penginderaan jauh, seperti satelit gravitasi global, telah digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi zona patahan di berbagai belahan dunia.Data gravitasi satelit, yang memberikan informasi tentang variasi medan gravitasi bumi, semakin banyak digunakan dalam studi geologi karena kemampuannya mendeteksi variasi halus di kerak bumi. Dalam konteks identifikasi patahan, data gravitasi dapat digunakan untuk memetakan struktur bawah permukaan dan mengidentifikasi lokasi zona patahan berdasarkan anomali gravitasi yang ditimbulkannya.

*penulis korespondensi
Email: erlan.sumanjaya@eng.unila.ac.id

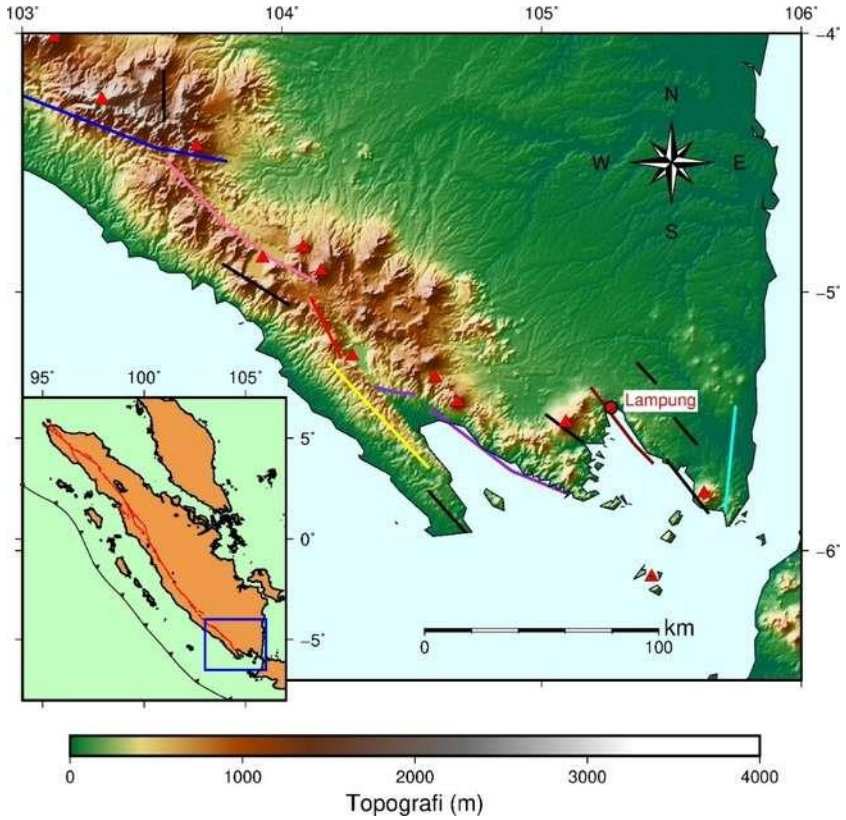
Beberapa penelitian telah menerapkan data gravitasi global satelit untuk mengidentifikasi zona patahan di berbagai wilayah Indonesia, termasuk Sumatera. Misalnya, sebuah studi oleh Liu et al. (2020) menggunakan data gravitasi satelit untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi sesar aktif di wilayah Sumatera. Demikian pula dengan penelitian Fauzi et al. (2019) menggunakan data gravitasi untuk menginvestigasi struktur Zona Sesar Sumatera. Selain itu, Adityawarman dan Hananto (2021) menggunakan data gravitasi satelit untuk mengidentifikasi zona sesar yang sebelumnya tidak diketahui di bagian selatan Sumatera. Sedangkan Yanis et al. (2019) menerangkan efisiensi dari pemanfaatan data anomaly gravitasi untuk mengidentifikasi zona sesar utama di wilayah utara Sumatera.

Secara keseluruhan, penggunaan data gravitasi satelit menunjukkan potensi yang besar dalam mengidentifikasi zona patahan di Sumatera Bagian Selatan dan daerah lainnya. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk menggunakan data satelit gravitasi global untuk mengidentifikasi zona patahan di bagian selatan Sumatera. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga tentang zona patahan (sesar) di wilayah Sumatera bagian Selatan dan potensi bahaya seismik di wilayah tersebut. Lalu kemudian dapat diterjemahkan menjadi sebuah informasi dalam melakukan upaya mitigasi dan pengelolaan bencana di masa depan.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data gaya berat yang berasal dari data observasi satelit altimetri. Data ini berupa data Free Air Anomaly (FAA) yang diperoleh dari TOPEX. Anomali gravitasi udara bebas berubah secara drastis di daerah dengan undulasi medan yang besar. Data dari satelit altimetri memiliki resolusi 1,85 km/px, dengan akurasi latitude dan longitude untuk data percepatan anomali gravitasi sebesar 0,1 mGal pada satu menit per grid dengan akurasi ketinggian satu meter.



Gambar 1. Lokasi Penelitian berada di wilayah Provinsi Lampung yang melingkupi data-data patahan (https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-patahan-aktif-indonesia). Garis Merah Segmen Liwa, Garis Hitam Patahan, Garis Ungu Segmen Semangko Timur, Garis Biru Segmen Manna, Garis Pink Segmen Komering, Garis Kuning Semangko Barat, Garis Cyan Turun Way Sekampung dan Way Seputih, Garis Dark Red Turun Teluk Lampung.

2.2. Tahap Pengolahan Data

Pada penelitian ini manggunakan data satelit TOPEX, dan dilakukan pemrosesan data melalui beberapa tahapan. Pertaman, koreksi Bouger dihitung untuk memperoleh *Simple Bouger Anomaly* (SBA).

Untuk mendapatkan nilai koreksi Bouger maka perlu untuk menentukan nilai desitasnya melalui Pers. 1

$$g_{bs} = 2\pi\rho Gh \quad (1)$$

Dimana $\boldsymbol{G}$ merupakan konstanta gravitasi lalu Pers.1 dapat menjadi Pers.2

$$g_{bs} = 0{,}04193\rho h \quad (2)$$

dimana $\boldsymbol{g_{bs}}$ merupakan koreksi Bouger (mGal), ρ ialah densitas batuan ($\frac{kg}{m^3}$), dan h merupakan tinggi dari titik pengukuran (m). Nilai koreksi Bouger yang didapatkan selanjutnya digunakan untuk memperoleh $\boldsymbol{S_{ba}}$ dengan Pers. 3 dibawah ini

$$S_{ba} = \text{FAA} - g_{bs} \quad (3)$$

dimana **FAA** merupakan Free Air Anomaly, $\boldsymbol{g_{bs}}$ merupakan koreksi Bouger (mGal). Pengaruh topografi juga dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi di suatu tempat sehingga menyebabkan peningkatan atau penurunan nilai gravitasi. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan koreksi melalui Persamaan *Hamer Charat* dibawah ini

$$TC = \frac{2\pi\rho G}{n}\left[R_l - R_D + \sqrt{{R_D}^2 - z^2} - \sqrt{{R_l}^2 - z^2}\right] mGal \quad (4)$$

$$TC = (-0{,}3086 \times h) mGal$$

Untuk mendapatkan nilai anomali bouguer yang lengkap, dihitung dengan menggunakan Pers. 5

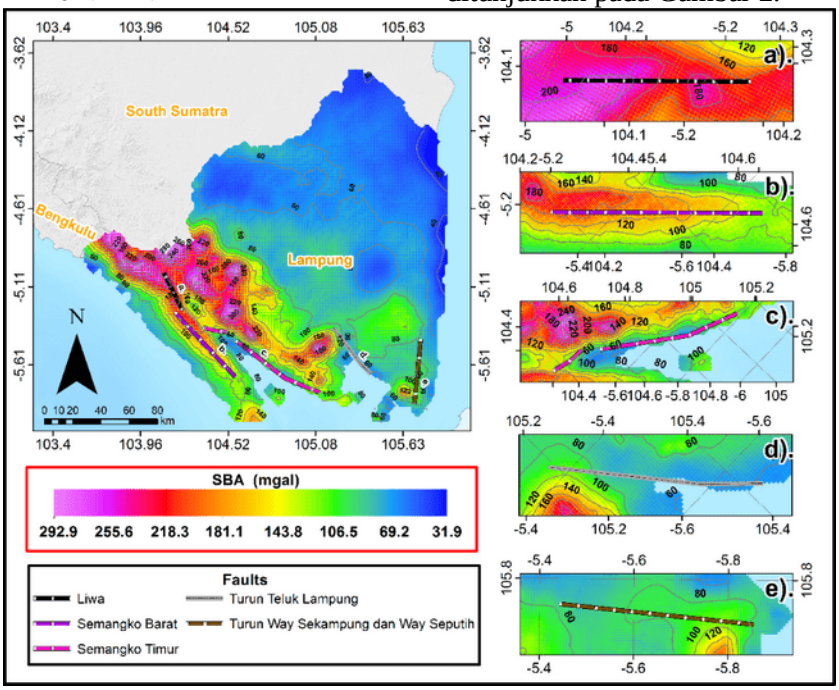
$$CBA = \text{FAA} - g_{bs} + TC \quad (5)$$

Dimana **TC** merupakan koreksi terrain, **CBA** merupakan koreksi Bouger anomaly lengkap, **FAA** merupakan *Free Air Anomaly*, $\boldsymbol{g_{bs}}$ merupakan koreksi Bouger (mGal). Kemudian, kami menggunakan perangkat lunak *Oasis Montaj* untuk menganalisis lebih lanjut properti gravitasi di area tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Simple Bouger Anomaly (SBA)

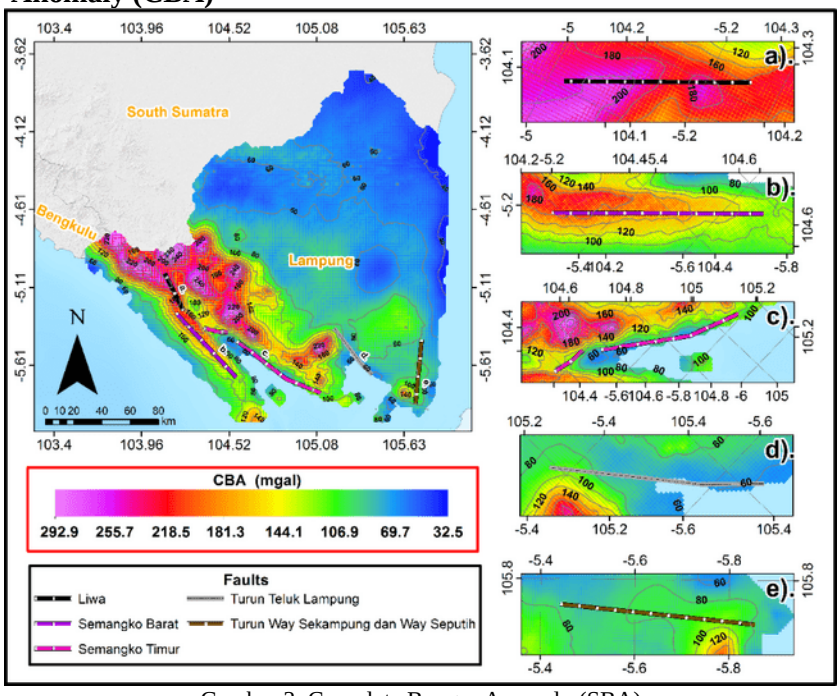
Peta anomali Bouguer sederhana untuk kawasan Selatan Sumatra yang melingkupi lima sesar ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simple Bouger Anomaly (SBA)

Berdasarkan Gambar 2, daerah dengan nilai anomali gravitasi tinggi ditunjukkan dengan interval dari 181,9 hingga 292,9 mgal. Sebagai perbandingan, daerah dengan nilai anomali gravitasi rendah memiliki interval 31,9 hingga 180 mgal. Pada Gambar 2a menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesa Liwa dengan interval 120 hingga 290 mgal. Pada Gambar 2b menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Semangko Barat dengan interval 80 hingga 220 mgal. Pada Gambar 2c menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Semangko Timur dengan interval 80 hingga 250 mgal. Pada Gambar 2d menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Turun Teluk Lampung dengan interval 50 hingga160 mgal. Pada Gambar 2e menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Turun Way Sekampung dan Way Seputih dengan interval 70 hingga 120 mgal.

3.2 Complete Bouger Anomaly (CBA)

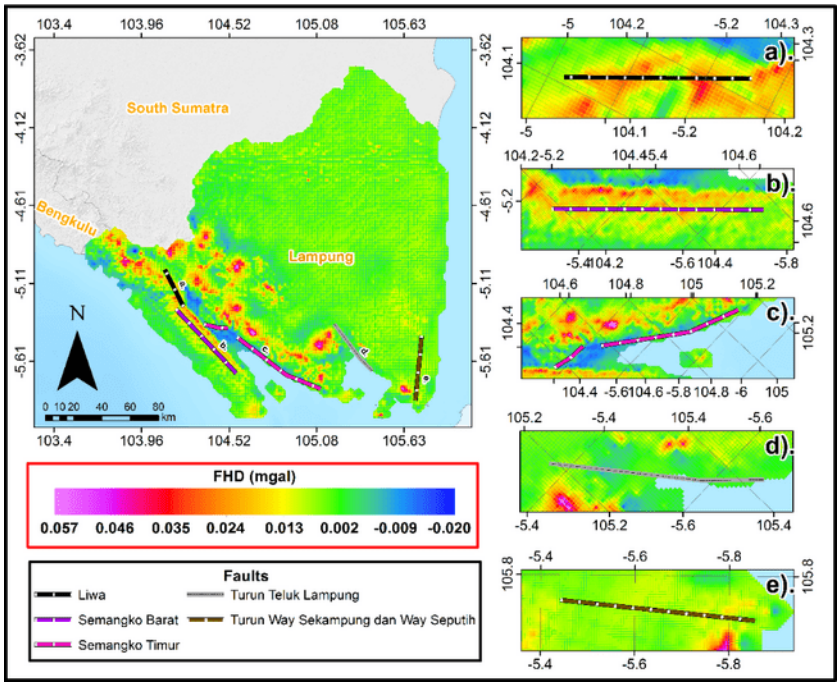


Gambar 3. Complete Bouger Anomaly (SBA)

Berdasarkan Gambar 3, daerah dengan nilai anomali gravitasi tinggi ditunjukkan dengan interval dari 181,9 hingga 292,9 mgal. Sebagai perbandingan, daerah dengan nilai anomali gravitasi rendah memiliki interval 31,9 hingga 180 mgal. Pada Gambar 3a menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesa Liwa dengan interval 120 hingga 290 mgal. Pada Gambar 3b menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Semangko Barat dengan interval 80 hingga 220 mgal. Pada Gambar 3c menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Semangko Timur dengan interval 80 hingga 250 mgal. Pada Gambar 3d menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Turun Teluk Lampung dengan interval 50 hingga 160 mgal. Pada Gambar 3e menunjukkan anomaly Bouger yang melintasi jalur sesar Turun Way Sekampung dan Way Seputih dengan interval 70 hingga 120 mgal

3.3 First Horizontal Decomposition (FHD) Residual

Peta FHD untuk kawasan Selatan Sumatra yang melingkupi lima sesar ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. First Horizonal Decomposition (FHD)

Pada Gambar 4 menunjukkan nilai FHD yang melintasi jalur sesa Liwa (4a), sesar Semangko Barat (4b), jalur sesar Semangko Timur (4c), jalur sesar Turun Teluk Lampung (4d), dan jalur sesar Turun Way Sekampung dan Way Seputih (4e). distribusi warna pada nilai FHD menunjukkan bahwa warna biru merupakan anomali FHD minimum sedangkan warna ungu menunjukkan nilai FHD maksimal dimana dengan rentang -0,020 hingga 0,057 mgal.

3.4 Pembahasan

Hasil dari SBA dan CBA ditunjukkan dengan skala satuan mGal, dimana 1 mGal setara dengan $10^{-5}\,{}^{m}/_{s^2}$. Nilai tersebut mewakili respon gravitasi terhadap kerapatan batuan, dimana dalam hal ini 1,74gr/cc. varisai kerapatan batuan dipengaruh oleh material penyusun lapisan bumi yang heterogeny. Tinggi rendahanya nilai SBA juga dipengaruhi oleh posisi massa, kerapatan, dan volume massa. Pada daerah yang dilalui sesar atau yang mendekati jalur sesar, nilai SBA maupun CBA cenderung tinggi. Hal ini akibat terjadinya kenaikan suhu permukaan yang diakibatkan oleh rekahan atau aktivitas tektonik lainnya. Ini ditandai dengan tingginya nilai SBA dan CBA di jalur sesar Liwa, sesar Semangko Barat dan Semangko Timur. Sedangkan anomaly sedang terjadi pada bagian timur Selatan Sumatra tepatnya yang berdekatan dengan jalur sesar Turun Teluk Lampung dan Way Sekampung dan Way Seputih. Anomali sedang yang terjadi di sekitar kawasan ini merupakan efek dari batuan vulkanik yang telah mengalami proses sedimentasi. Breksi vulkanik dianggap sebagai batuan reservoir di daerah tersebut, menjadi batuan penutup yaitu anah liat tufaan yang menahan panas fluida.

Kemudian, total anomaly residual dan regional adalah anomaly bouger. Kedua anomaly ini berinteraksi dan menyebabkan anomaly tumpang tindih. Oleh karena itu, anomaly ini harus dipisahkan satu sama yang lain. Sehingga diperlukan metode pemisahan anomaly regional dengan anomaly residual yang cukup baik untuk mendapatkan anomaly residual yang akurat untuk pemodelan geologi di bawah permukaan bumi. Anomaly bouger lengkapt dikurangkan dengan anomaly regional untuk mendaptkan anomaly residual. Dari Gambar 4, nilai anomaly residual berkisar antara -0,02 hingga 0,057 mGal. peta anomaly residual menunjukkan sebaran struktur yang lebih spesifik di daerah dangkal. Namun anomaly tersebut juga dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti posisi tubh batuan, densitas, dan ukuran yang menghasilkan anomaly tersebut.

4. Kesimpulan

Interpretasi anomaly bouger sederhana (SBA) dan lengkap (CBA) menunjukkan bahwa daerah dengan anomaly tinggi ditandai dengan nilai anomaly berkisar antara 150 hingga 290 mGal yang terletak dibagian barat Selatan Sumatra dimana melewati jalur sesar Liwa, Semangko Barat dan Semangko Timur. Sedangkan daerah dengan anomaly sedang berkisar antara 60 hingga 140 mGal berada pada bagian timur Selatan Sumatra sekaligus berdekatan dengan jalur sesar Teluk Lampung, Turun Way Sekampung dan Way Seputih. Sementara itu untuk anomaly rendah berada di bagian utara Selatan sumatara. Berdasarkan hasil ini mengindikasikan bahwa nilai anomaly tinggi terkonfirmasi dengan jalur sesar yang tersebar di wilayah sekitar Selatan Sumatra.

Ucapan terima kasih

Dengan ini kami Ucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung dan juga kepada pihak yang telah memberi hibah bantuan melalui DIPA FT tahun Anggaran 2023 sehingga kegiatan ini dapat dilaksanakan.

Daftar Pustaka

Aditiawarman, U., & Hananto, N. (2021). Spatial variations in crustal thickness and fault segmentation in the Sumatra subduction zone revealed by gravity inversion. Journal of Asian Earth Sciences, 214, 104784. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104784

Coblentz, D. D., Woldai, T., Kidane, T., & Abdelsalam, M. G. (2019). Subsurface fault systems of the East African Rift System from GRACE satellite gravity data. Tectonophysics, 753, 14-27.

Fauzi, A., Abidin, H. Z., & Kusuma, M. A. (2019). Detection of active fault zones in southern Sumatra using gravity data. Journal of Physics: Conference Series, 1231, 012032. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1231/1/012032

Li, X., Li, Z., Li, J., Li, T., & Wang, Y. (2020). Identification of the active fault zone in southern Sumatra using gravity data. Journal of Applied Geophysics, 177, 104089. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104089

Liu, J., Shen, Z., Zhang, P., Liu, J., & Sun, H. (2019). Active faults revealed by satellite gravity data in the North China Plain. Journal of Geodynamics, 126, 39-47.

Puspito, N. T., Adytia, D., Widiyantoro, S., & Cummins, P. R. (2021). Crustal structure of Southern Sumatra from GRACE gravity data: Implications for the tectonic setting and fault system. Journal of Asian Earth Sciences, 211, 104742.

Ristiyani, A. T., Susilo, B., Rosyidie, A., Kusnadi, Y., & Kusuma, M. A. (2020). Integrated approach of satellite gravity, seismic, and geological data for identifying active faults in southern Sumatra, Indonesia. Journal of Geodynamics, 137, 101660.

Sumanjaya, E., Samdara, R., Lubis. A.M. 2016. Pengaruh Sumber Gempa Bumi Terhadap Deformasi (Studi Kasus: Gempa Bumi Bengkulu 12 September 2007 Mw 8, 5). Jurnal Gradien Vol 12 (2), 1197-1202

Sumanjaya, E., Samdara, R., Lubis. A.M. 2015. Pengaruh Viskositas Terhadap Deformasi (Studi Kasus: Gempa Bumi Bengkulu 12 September 2007 Mw 8, 5). Jurnal Gradien Vol 12 (2), 1197-1202

Yanis, M., Abudullah, F., Zaini, N., Ismail, N. (2021). The northernmost part of the Great Sumatran Fault map and images derived from gravity anomaly. Acta Geophysica. 69: 795-807. https://doi.org/10.1007/s11600-021-00567-9.