

p-ISSN: 2549-0516

e-ISSN: 2549-7014

JIE

JURNAL ILMU DAN INOVASI FISIKA

Volume 05, Nomor 02, 2021



JlIF Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika

Volume 05 No. 02 Agustus 2021

Penanggung Jawab

Kepala Departemen Fisika FMIPA Unpad

Ketua Editor:

Dr. Sahrul Hidayat (Fisika, UNPAD)

Editor Pelaksana :

Dr. Dadan Hamdani (Fisika, UNMUL)

Dr. Otong Nurhilal (Fisika, UNPAD)

Dr. Darmawan Hidayat (T. Elektro, UNPAD)

Dr. Risa Suryana (fisika, UNS)

Peer Reviewer:

Prof. Dr. Risdiana (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. Camellia Panatarani (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. I Made Joni (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. Ayi Bahtiar (Fisika, UNPAD)

Dr. Fitrilawati (Fisika, UNPAD)

Dr. Esmar Budi (Fisika, UNJ)

Dr. Nowo Riveli (Fisika, UNPAD)

Dr. Rahmat Hidayat (Fisika, ITB)

Dr. Annisa Aprilia (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. Yudi Rosandi (Geofisika, UNPAD)

Dr. Asep Harja, (Geofisika, UNPAD)

Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika (JIIF) merupakan jurnal ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian yang mencakup kajian teoretik, simulasi dan modeling, eksperimen, rekayasa dan eksplorasi dalam bidang Fisika dan Aplikasinya. Jurnal ini terbit secara berkala sebanyak dua kali dalam setahun (Februari dan Agustus). Redaksi menerima naskah ilmiah hasil penelitian, pikiran dan pandangan, review, komunikasi singkat dalam bidang Fisika dan Aplikasinya. Petunjuk penulisan artikel tersedia di dalam setiap terbitan dan secara online. Artikel yang masuk akan melalui proses seleksi mitra bebestari dan disetujui oleh dewan editor.

Penerbit: Departemen Fisika FMIPA Unpad

Terbit pertama kali: 2017

Terbit dua kali setahun (Februari, Agustus)

Alamat Editor:

Sekretariat Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika (JIIF)

Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Jatinangor Sumedang 45363

Telpon: 022 779 6014, Fax: 022 779 2435

Alamat email jurnal: jiif@phys.unpad.ac.id

Website: <http://jurnal.unpad.ac.id/jiif>

JlIF Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika

Volume 05 No. 02 Agustus 2021

Daftar Isi

	Hal
Microzonation of Cisarua District Using Horizontal Vertical Spectral Ratio <i>Elrangga Ibrahim Fattah</i>	88 – 94
Karakterisasi Reservoir Karbonat Berdasarkan Analisis Inversi Seismik Impedansi Akustik dan Atribut Seismik di Lapangan “CLM” Cekungan Jawa Barat Utara <i>Abdul Hakim Prima Yuniarto</i>	95 – 104
Kinerja Metode Elektroflotasi pada Pengolahan Air Limbah Pewarna Tekstil Dispersi <i>Haryono</i>	105 – 115
Karakterisasi Sifat Fisis dan Mikrostruktur Papan Gypsum dengan Variasi Komposisi Lateks <i>Ety Jumiati</i>	116 – 120
Synoptic and Mesoscale Analysis of Extreme Rainfall Event in Cilacap Meteorological Station, Indonesia on December 7, 2018 <i>Suwignyo Prasetyo</i>	121 – 131
Pemetaan Tingkat Kerawanan Banjir Di Kota Jambi Menggunakan Metode Scoring Dan Overlay Berbasis Sistem Informasi Geografis <i>Lusiani Pryastuti</i>	132 – 141
Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat dan Angin Kencang di Probolinggo Berdasarkan Citra Satelit dan Citra Radar <i>Nur Habib Muzaki</i>	142 – 156
Analisis Proksimat Karbon Kulit Kemiri (Aleurites moluccana) dengan Variasi Suhu Karbonisasi <i>Sarifah Mudaim</i>	157 – 163
Kajian Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Peningkatan Derajat Kristalinitas Karbon dari Limbah Kulit Kemiri <i>Nana Suryana</i>	164 – 169
Physical and Thermal Properties of Briquettes from Empty Fruit Bunches and Palm Kernel Shell by Mixing Tapioca Flour and Molasses <i>Tintan Rostina</i>	170 – 176

MICROZONATION OF CISARUA DISTRICT USING HORIZONTAL VERTICAL SPECTRAL RATIO

ERLANGGA IBRAHIM FATTAH^{1*}, RIZKI WULANDARI¹, GABRIO HIKMA JANUARTA¹,
ADRIN TOHARI², TEDY YUDISTIRA³

¹*Teknik Geofisika, JTMB, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365*

²*Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Kompleks LIPI, Gedung 70 Jl. Cisitua Sangkuriang Bandung 40135*

³*Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No 10 Bandung*

*email : erlangga.fattah@tg.itera.ac.id

Abstract. The Bandung region is part of the framework of the Indonesian tectonic system, namely the tectonic plate meeting zone, where the Indo Australia plate is infiltrated under the Eurasian plate in a convergent manner. The subduction process produces an effect in the form of an active fault geological structure in the Bandung area. One of these active faults is the Lembang Fault, which has a length of ± 29 kilometers and a shear acceleration of 3 to 5.5 millimeters per year. The microtremor measurement method is a passive geophysical method that utilizes natural subsurface vibrations so that it can provide dominant frequency data and amplification factors for soil layers. Based on the results of seismic susceptibility research using microtremor measurements using the HVSR method in the Lembang Fault zone in Cisarua Sub-District, it can be seen that the distribution of the dominant frequency values tends to be influenced by lithology and topography. In the research area, it is known to have a dominant frequency value that varies due to the different types of lithological units. In general, the dominant frequency ranges from 1-3 Hz because it is dominated by tuff sand and tuff pumice, and areas composed of volcanic breccias have a dominant frequency value between 3-6 Hz. Meanwhile, the amplification factor value will be influenced by rock deformation and weathering. The area that has a very high amplification factor value is in the southeast of the study area with an A0 value greater than 5. This indicates that the area is composed of a layer of thick and not dense tuff sand.

Keywords: HVSR, Microtremor, Lembang Fault

Abstrak. Wilayah Bandung merupakan bagian dari kerangka sistem tektonik Indonesia yaitu zona pertemuan lempeng tektonik, dimana lempeng Indo Australia menyusup ke bawah lempeng Eurasia secara konvergen. Proses subduksi menghasilkan efek berupa struktur geologi sesar aktif di wilayah Bandung. Salah satu sesar aktif tersebut adalah Sesar Lembang yang memiliki panjang ± 29 kilometer dan percepatan geser 3 hingga 5,5 milimeter per tahun. Metode pengukuran mikrotremor merupakan metode geofisika pasif yang memanfaatkan getaran alam bawah permukaan sehingga dapat memberikan data frekuensi dominan dan faktor amplifikasi lapisan tanah. Berdasarkan hasil penelitian suseptibilitas seismik menggunakan pengukuran mikrotremor menggunakan metode HVSR pada zona Sesar Lembang Kecamatan Cisarua dapat diketahui bahwa sebaran nilai frekuensi dominan cenderung dipengaruhi oleh litologi dan topografi. Di daerah penelitian diketahui memiliki nilai frekuensi dominan yang bervariasi karena perbedaan jenis satuan litologi. Secara umum frekuensi dominan berkisar antara 1-3 Hz karena didominasi oleh pasir tuf dan batu apung tuf, serta daerah yang tersusun dari breksi vulkanik memiliki nilai frekuensi dominan antara 3-6 Hz. Sedangkan nilai faktor

amplifikasi akan dipengaruhi oleh deformasi batuan dan pelapukan. Daerah yang memiliki nilai faktor amplifikasi sangat tinggi berada di sebelah tenggara daerah penelitian dengan nilai A_0 lebih besar dari 5. Hal ini menunjukkan bahwa daerah tersebut tersusun atas lapisan pasir tuf yang tebal dan tidak rapat..

Kata Kunci: HVSR, Microtremor, Patahan Lembang

1. Introduction

The Bandung region is part of the framework of the Indonesian tectonic system, namely the tectonic plate meeting zone, where the Indo Australia plate is infiltrated under the Eurasian plate in a convergent manner. The subduction process produces an effect in the form of an active fault geological structure in the Bandung area. One of these active faults is the Lembang Fault, which has a length of ± 29 kilometers and a shear acceleration of 3 to 5.5 millimeters per year. This fault is a type of normal fault with its northern part further down to a depth of 450 meters, especially in the eastern part of the fault [1]. Considering the movement of the fault that can cause an earthquake with a scale of 6.5 to 7.0 Mw and the calculation of the Lembang Fault is entering an energy release cycle [2]. Therefore, in the change of disaster risk, a seismic microzonation study is needed in the research area to determine the soil dynamics in the Lembang Fault area.

The microtremor measurement method is a passive geophysical method that utilizes natural subsurface vibrations so that it can provide dominant frequency data and amplification factors for soil layers based on the strong impedance difference between the soil layer and bedrock [2]. This method uses Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) calculations which can be used to estimate the value of the dominant frequency and amplification factor from microtremor measurement data (Nakamura). Based on the analysis of microtremor data, it is possible to map the dominant frequency values, amplification factors and compile a seismic microzonation map based on the seismic vulnerability index in the study area.

conditions.

2. Methods

In this study, there were 8 microtremor measurement points located in Cisarua Sub-District, West Bandung Regency, West Java Province. Instruments used for microtremor measurements use 3 components of McSEIS–MT NEO from the Indonesian Institute of Sciences (LIPI). The result of microtremor measurements with three-component sensors, namely North-South (NS) components, East-West components (EW) as horizontal axes, and Up-Down components (UD) as vertical axes. Figure 1 shows the geological map of the research area, the map shows the lithology of the research area. In general the research area is a sedimentation area with a supply of sediment derived from Mount Tangkuban Perahu [3].

GEOPSY software was used to process microtremor signal, the data process is separating between microtremor and recorded noise. In addition of that, to improve improving of the quality of data used e the result of noise correction is done the selection of data that is considered noise manually based on the measurement diary of activity around the measurement point.

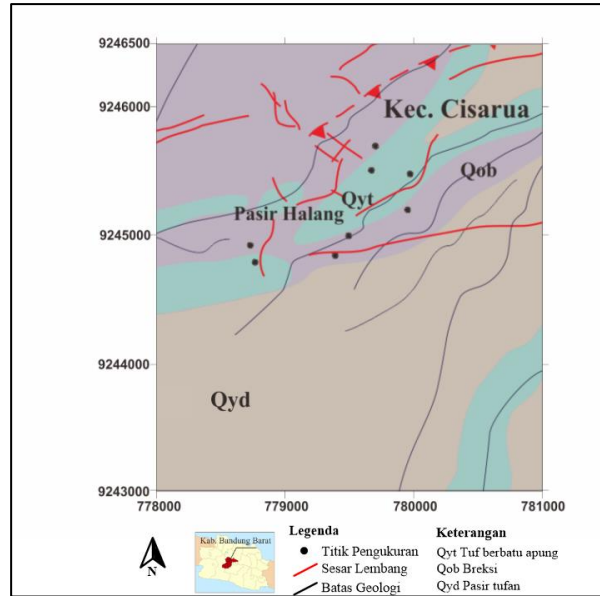


Figure 1. Geological map of the research area. The red line indicates Sesar Lembang, and the black dot is the measurement point of the microtremor

Furthermore, data transformation will be performed to convert data in time function into frequency function with Fast Fourier Transform (FFT) algorithm. Then each fourier spectrum of horizontal components is numbered with squared average roots and divided by a vertical spectrum mathematically written as follows.

$$HVSr = \frac{\sqrt{S_{NS}^2(f) + S_{EW}^2(f)}}{S_{UD}(f)}$$

where HVSr is a horizontal to vertical spectral ratio, S_{NS} is a horizontal component spectrum with a North-South direction, S_{EW} is a horizontal component spectrum with an East-West direction, and S_{UD} is a vertical component spectrum with an Up-Down direction. The HVSr method is used to estimate the dominant frequency value (f_0) and amplification factor value (A_0) of the peak of the H/V curve [5]. The seismic vulnerability index (K_g) is a parameter related to the level of vulnerability of an area during an earthquake [6], which is mathematically stated as follows:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0}$$

3. Results and Discussion

In this study, the value of the dominant frequency (f_0) ranged from 1 Hz to 6 Hz as shown in Figure 2. In general, the relatively small dominant frequency (f_0) is at the foot of the mountain and the high dominant frequency value is on the slope. Hill that is experiencing erosion. The dominant frequency has a close relationship with bedrock, if the dominant frequency is low it will be associated with a deep bedrock

depth. In the lithological unit of tuff sand (Qyd) and tuff pumice (Qyt) have a low dominant frequency value (1-3 Hz).

Characteristics of the H/V Spectral Ratio

In this study, an analysis of the H/V curve was carried out which aims to check the reliability criteria of the curve which refers to the SESAME European Research Project standard [7]. In Figure 2 there are several H/V curves that have met the reliability criteria and can be categorized into clear peak and unclear peak curves. The peak projection of the H/V curve on the X axis is the value of the dominant frequency (f_0), while the peak point of the curve on the Y axis is the value of the amplification factor (A_0).

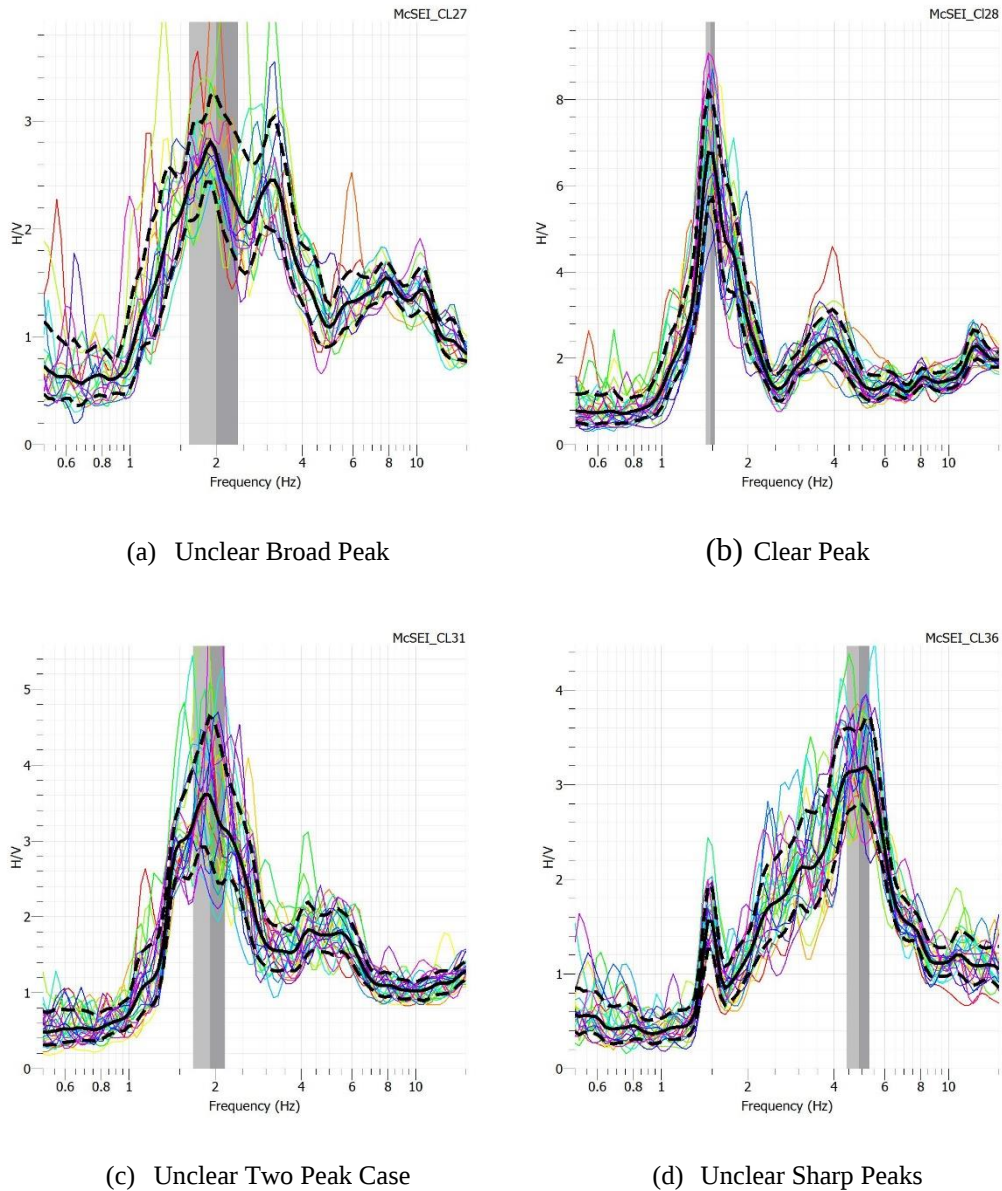


Figure 2. Characteristics of the H/V curve based on SESAME criteria

Dominant Frequency Value (f_0)

In this study, the value of the dominant frequency (f_0) ranged from 1 Hz to 6 Hz as shown in Figure 3. In general, the relatively small dominant frequency (f_0) is at the foot of the mountain and the high dominant frequency value is on the slope. Hill that is experiencing erosion. The dominant frequency has a close relationship with bedrock, if the dominant frequency is low it will be associated with a deep bedrock depth. In the lithological unit of tuff sand (Qyd) and tuff pumice (Qyt) have a low dominant frequency value (1-3 Hz). Meanwhile, areas that have a relatively high dominant frequency of 3–6 Hz are associated with the breccia lithology unit (Qob). This indicates that the breccia layer is thinner than the tuff layer.

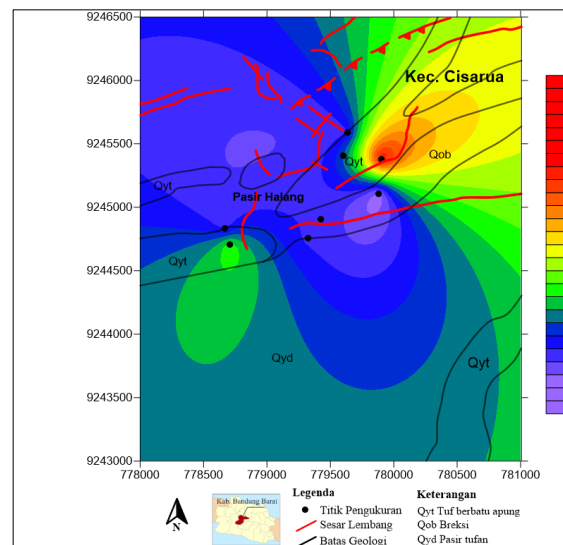


Figure 3. Map of the distribution of the dominant frequency (f_0) of soil layers around the Lembang Fault zone. The red line shows the lithological unit limit, the red line shows the Lembang Fault, and the black point is the microtremor measurement point

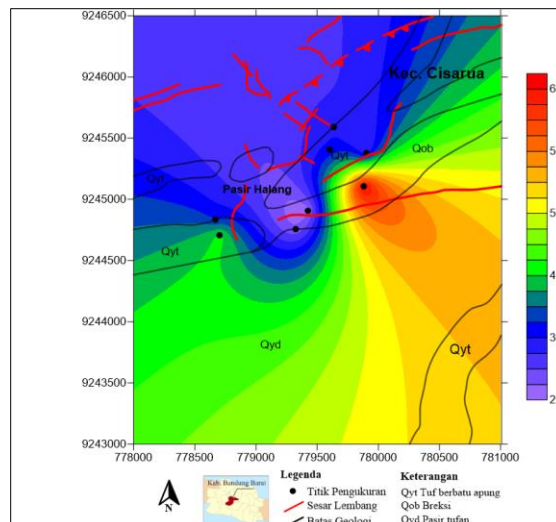


Figure 4. Map of the distribution of the amplification factor (A_0) of soil layers around the Lembang Fault zone. The red line shows the lithological unit limit, the red line shows the Lembang Fault, and the black point is the microtremor measurement point

Amplification Factor Value (f_0)

The value of the soil layer amplification factor in the Lembang Fault zone in Cisarua Sub-District is shown in Figure 4. The amplification factor value obtained from the determination of the amplitude peak of the HVSR spectrum. The amplification factor value explains the impedance contrast between the soil layers of the bedrock layer [3]. Areas that have a high amplification factor value will experience waves and severe damage to buildings during an earthquake.

Seismic Vulnerability Index Value (K_g)

In this study, the seismic susceptibility index values ranged from 1 to 30 shown in Figure 5. Areas with high to very high seismic vulnerability ranging from 20-30. This area is dominated by areas composed of tuff layers and has quite thick sedimented. These areas have a high potential for earthquake hazard, which can lead to damage to buildings that are prone to shocks. Meanwhile, areas of moderate seismic vulnerabilities with a K_g value of 10 to 20 are located in areas composed of tuff sand and areas that have low seismic vulnerability are scattered in high-relief hilly areas in the Northwest of the study area. Based on the analysis of the seismic susceptibility index, it shows that lithological factors and topographic conditions will control seismic vulnerability. The seismic susceptibility will decrease in the hilly topography

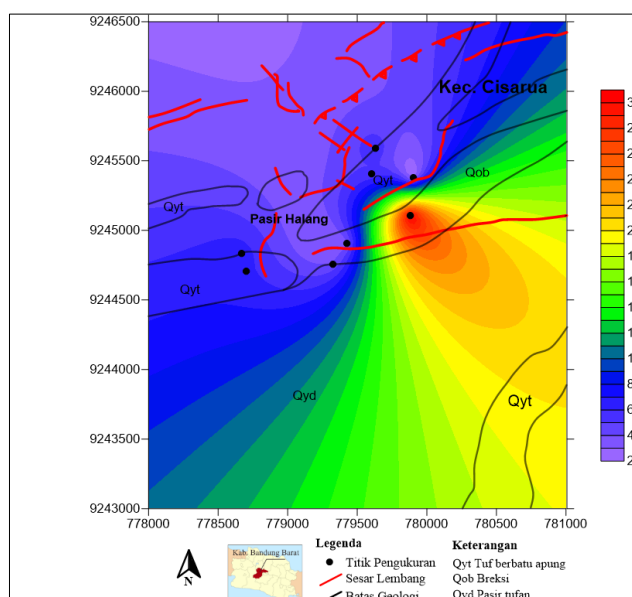


Figure 5. Map of the distribution of the amplification factor (A_0) of soil layers around the Lembang Fault zone. The red line shows the lithological unit limit, the red line shows the Lembang Fault, and the black point is the microtremor measurement point

4. Conclusions

Based on the results of seismic susceptibility research using microtremor measurements using the HVSR method in the Lembang Fault zone in Cisarua Sub-District, it can be seen that the distribution of the dominant frequency values tends to be influenced by lithology and topography. In the research area, it is known to

have a dominant frequency value that varies due to the different types of lithological units. In general, the dominant frequency ranges from 1-3 Hz because it is dominated by tuff sand and tuff pumice, and areas composed of volcanic breccias have a dominant frequency value between 3-6 Hz. Meanwhile, the amplification factor value will be influenced by rock deformation and weathering. The area that has a very high amplification factor value is in the southeast of the study area with an A_0 value greater than 5. This indicates that the area is composed of a layer of thick and not dense tuff sand. Based on the value of seismic vulnerability (K_g), the research area has a high to very high seismic vulnerability value in the South-Southeast. These areas have a high potential for earthquake hazard, which can lead to damage to buildings that are prone to shocks.

References

1. B. Brahmantyo, 2011. Sesar Lembang, hearthquake di jantung Cekungan Bandung. *Geo Magz*, 1(1), 17–25.
2. M.R. Daryono, D.H. Natawidjaja, B. Sapiie, P. Cummins, 2019. *Earthquake geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia*. *Tectonophysics*, 751, 180-191.
3. A. Ansal, 2004. Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 354 pp.
4. R.W. Van Bemmelen, 1949. The Geology of Indonesia. Government Printing Office, The Hague, Netherlands (732 p).
5. Y. Nakamura, 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 25-30.
6. Y. Nakamura, 2000. Clear identification of fundamental ideal of Nakamura's technique and its application. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland.
7. SESAME, 2004. Guidelines for The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations. Europe: SESAME European research project

KARAKTERISASI RESERVOIR KARBONAT BERDASARKAN ANALISIS INVERSI SEISMIC IMPEDANSI AKUSTIK DAN ATRIBUT SEISMIC DI LAPANGAN “CLM” CEKUNGAN JAWA BARAT UTARA

ABDUL HAKIM PRIMA YUNIARTO*

*Program Studi Fisika, Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Pekalongan
Jl. Karangdowo No.9 Kec.Kedungwuni, Kab. Pekalongan 51173*

**email : a.hakim.py@gmail.com*

Abstrak. Penelitian dengan data 2D seismik dan sumur yang digunakan untuk analisis inversi seismik impedansi akustik (IA) dan analisis atribut seismik telah dilakukan di Lapangan “CLM” Cekungan Jawa Barat Utara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh pola persebaran impedansi akustik pada reservoir karbonat dan menentukan zona prospek hidrokarbon pada daerah penelitian. Pola distribusi impedansi akustik diperoleh dengan proses inversi IA dilakukan pada 15 lintasan seismik 2D *post-stack* dan 2 sumur. Sedangkan identifikasi zona prospek hidrokarbon dilakukan dengan mengintegrasikan 3 peta yaitu peta *slice* impedansi akustik, peta *slice* atribut RMS *amplitude* dan peta *slice* atribut *envelope*. Berdasarkan hasil dari inversi seismik impedansi akustik diperoleh zona target reservoir pada Formasi Cibulakan Atas yaitu karbonat memiliki nilai AI tinggi dengan rentang sebesar 42.500-52.500 (ft/s)(g/cc). *Sandstone* memiliki nilai AI sedang dengan rentang sebesar 34.000-42.500 (ft/s)(g/cc) dan *shale* memiliki nilai AI rendah dengan rentang sebesar 21.000-34.000 (ft/s)(g/cc) yang berpotensi menjadi batuan tudung (*seal*). Sedangkan berdasarkan hasil dari analisis atribut seismik diperoleh zona prospek hidrokarbon berada pada sebelah timur laut dan barat laut dari lokasi sumur ITSNU-2 di lapangan “CLM” daerah penelitian.

Kata kunci: atribut seismik; cekungan jawa barat utara; impedansi akustik; inversi seismik; karakterisasi reservoir

Abstract. Research with 2D seismic data and wells used for acoustic impedance (AI) seismic inversion analysis and seismic attribute analysis has been carried out in the "CLM" Field of the North West Java Basin. The purpose of this study is to obtain the distribution pattern of acoustic impedance in the carbonate reservoir and to determine the hydrocarbon prospect zone in the study area. The acoustic impedance distribution pattern is obtained by the AI inversion process carried out on 15 2D post-stack seismic lines and 2 wells. Meanwhile, the identification of hydrocarbon prospect zones is carried out by integrating 3 maps, namely acoustic impedance slice maps, RMS amplitude attribute slice maps and envelope attribute slice maps. Based on the results of the acoustic impedance seismic inversion, it was found that the target reservoir zone in the Upper Cibulakan Formation was carbonate that had high AI values with a range of 42500-52500 (ft/s)(g/cc). Sandstone has a moderate AI value with a range of 34000-42500 (ft/s)(g/cc) and shale has a low AI value with a range of 21000-34000 (ft/s)(g/cc) which has the potential to become a seal rock. Meanwhile, based on the results of the analysis of seismic attributes, the hydrocarbon prospect zone is located in the northeast and northwest of the ITSNU-2 well location in the "CLM" field in the research area.

Keywords: acoustic impedance; northwest java basin; reservoir characterization; seismic attribute; seismic inversion

1. Pendahuluan

Salah satu daerah yang menghasilkan hidrokarbon di Indonesia yaitu Cekungan Jawa Barat Utara. Pada Cekungan Jawa Barat Utara terindikasi adanya cadangan hidrokarbon yang cukup banyak, terutama pada wilayah lapangan “CLM” [1]. Lapangan “CLM” masih perlu dilakukan pengembangan yaitu dengan evaluasi stratigrafi dan struktur geologinya. salah satunya yaitu mengkarakterisasi reservoir yang terdapat di formasi Cibulakan Atas. Formasi Cibulakan Atas merupakan termasuk dalam lingkungan pengendapan untuk reservoir karbonat terumbu yang sangat baik [2]. Eksplorasi hidrokarbon semakin kesini semakin kompleks, maka untuk mengembangkan lapangan minyak bumi diperlukan suatu metode yang lebih efektif dan akurat, salah satunya adalah metode inversi seismik.

Inversi seismik adalah metode seismik yang bertujuan untuk menggambarkan kondisi geologi di bawah permukaan dengan masukan berupa data seismik yang kemudian dikontrol oleh data sumur [3]. Salah satu metode inversi seismik adalah inversi impedansi akustik (IA) yang merupakan parameter yang menggambarkan porositas dan litologi batuan [4]. Oleh karena itu IA digunakan untuk mengetahui karakteristik dari suatu reservoir hidrokarbon.

Pada penelitian ini selain menggunakan parameter nilai impedansi akustik (IA) juga menggunakan parameter atribut seismik, sehingga dapat mengkarakterisasi reservoir dengan lebih akurat. Atribut seismik dapat memberikan tampilan yang berbeda dari data seismik biasa namun dengan skala yang sama, sehingga dapat memberikan informasi tambahan dari data seismik biasa [5].

Penelitian menggunakan integrasi metode inversi seismik dan atribut seismik telah berhasil mengkarakterisasi reservoir karbonat di Cekungan Jawa Timur Utara oleh [6]. Interpretasi persebaran karbonat di Formasi Cibulakan Atas dengan menggunakan integrasi antara metode inversi seismik dengan atribut seismik telah berhasil dilakukan oleh [7]. Metode inversi seismik juga dilakukan oleh [8] untuk mengkarakterisasi reservoir di Cekungan Sumatera Utara. Kemudian [9] juga telah berhasil mengidentifikasi reservoir di perairan Nias menggunakan inversi impedansi akustik.

Berdasarkan uraian di atas maka diperlukan karakterisasi reservoir di lapangan “CLM” dengan memanfaatkan atribut seismik dan metode inversi seismik impedansi akustik. *Acoustic Impedance* (AI) atau impedansi akustik adalah sifat batuan yang diturunkan dari perkalian antara kecepatan gelombang seismik (V_p) dan densitas batuan (ρ) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$AI = V_p \rho \quad (1)$$

Dengan:

AI = acoustic impedance (ft/s)(g/cc)

V_p = kecepatan gelombang P (ft/s)

ρ = densitas (g/cc)

Impedansi akustik (IA) dapat diibaratkan dengan *acoustic hardness*. Batugamping dan granit yang keras dan sulit untuk dimampatkan mempunyai nilai impedansi akustik yang tinggi, sedangkan batuan lempung yang lunak dan mudah untuk dimampatkan mempunyai nilai impedansi akustik yang rendah [4]. Berdasarkan penampang IA dapat menggambarkan kondisi geologi yang berada di bawah permukaan dengan lebih detail jika dibandingkan dengan penampang seismik biasa.

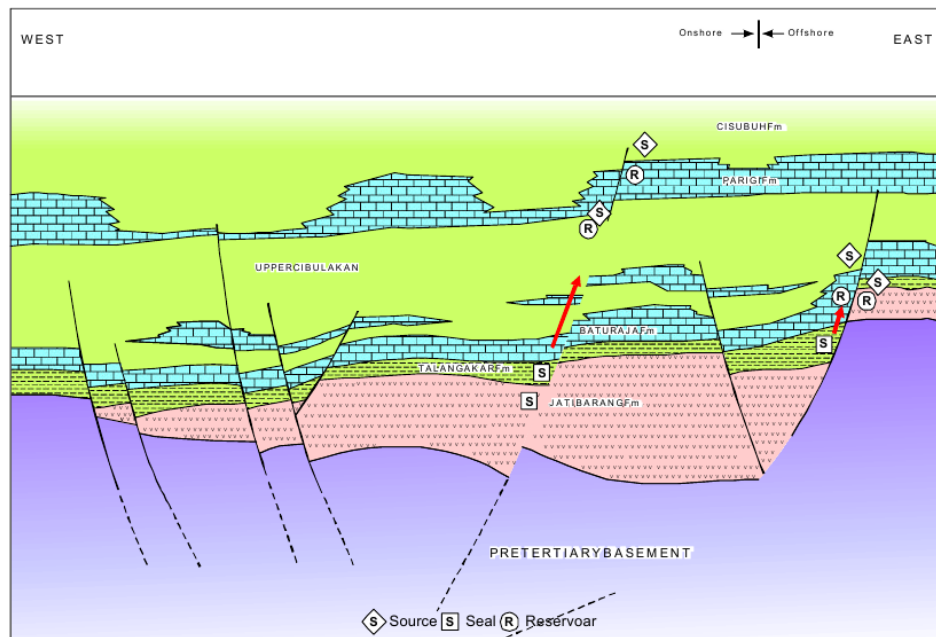
Impedansi akustik bisa memberikan gambaran batas lapisan dan juga sebagai indikator porositas, litologi dan keberadaan cadangan hidrokarbon, sehingga dapat digunakan untuk deskripsi karakteristik reservoir [9].

Atribut seismik merupakan tampilan yang menggambarkan data seismik secara deskriptif dan kuantitatif dengan skala yang sama dari data seismik awal. Atribut seismik dapat didefinisikan sebagai pengukuran dinamika, kinematika dan analisis statistik yang diturunkan secara spesifik dari data seismik [5].

Penerapan seismik atribut yaitu dengan menurunkan gelombang seismik konvensional dengan manipulasi matematis menjadi fungsi tertentu, sehingga diperoleh informasi yang berguna dalam proses interpretasi bawah permukaan. Informasi yang paling penting dari atribut seismik yaitu amplitudo, waktu, atenuasi dan frekuensi [5]. Semua penampang dan bentuk dari atribut-atribut tersebut saling berhubungan satu dengan yang lainnya, yang jadi pembeda adalah pada analisis data informasi dasar yang mempengaruhi gelombang seismik dan hasil yang ditampilkan.

Umur sedimentasi di Cekungan Jawa Barat Utara yaitu dalam kisaran *Eosen Tengah* hingga zaman *Quarter*. Endapan yang tertua berumur Eosen Tengah, yaitu Formasi Jatibarang yang mengendap diatas batuan dasar secara tidak selaras, sedangkan endapan yang termuda berumur *Pleistosen* yaitu Formasi Cisubuh. Susunan urutan stratigrafi dari yang termuda hingga yang tertua yaitu Formasi Cisubuh, Formasi Parigi, Formasi Cibulakan Atas, Formasi Cibulakan Bawah (Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja), Formasi Jatibarang dan Formasi Cisubuh [10].

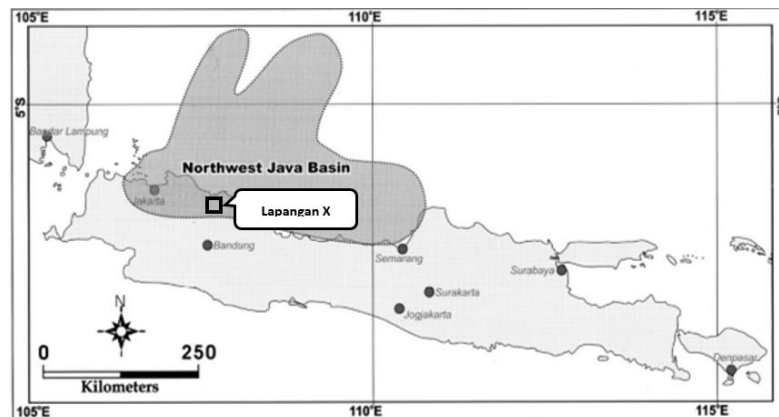
Petroleum system pada Cekungan Jawa Barat Utara terdiri atas batuan induk (*source rock*), batuan penyimpan (*reservoir*), tipe jebakan (*trap*), jalur migrasi (*proper timing of migration*) dan lapisan tudung (*seal*), seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



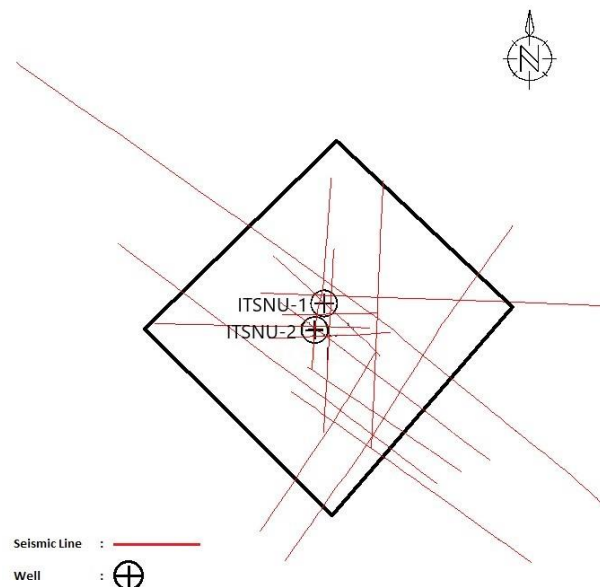
Gambar 1. Petroleum System Cekungan Jawa Barat Utara [10]

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Lapangan “CLM” pada wilayah Cekungan Jawa Barat Utara, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Penelitian ini menggunakan data sumur dan data seismik. Data seismik yang digunakan merupakan data seismik 2D *Post Stack Time Migration*, dengan jumlah sebanyak 15 lintasan yang diperoleh dari Pertamina Daerah Operasi Hulu (DOH) Jawa Bagian Barat. Sedangkan data sumur yang digunakan terdapat 2 data sumur yaitu sumur ITSNU-1 dan ITSNU-2. Data sumur terdiri atas *log density*, *log sonic*, *log gamma-ray*, *log caliper*, *log induction*, *log neutron porosity*, *log self potensial (SP)* dan *checkshot*. Data sumur digunakan dalam sebagian besar tahapan pengolahan seperti *well-seismic tie*, pembuatan *initial model* dan analisis inversi. Gambar 3 menunjukkan *base map* dari data seismik dan data sumur dalam penelitian ini.



Gambar 2. Cekungan Jawa Barat Utara [11]



Gambar 3. Base map area penelitian

Pengolahan data dimulai dengan analisis zona target menggunakan data *log* dan *marker* pada data sumur. Pada analisis zona target juga dilakukan korelasi struktur

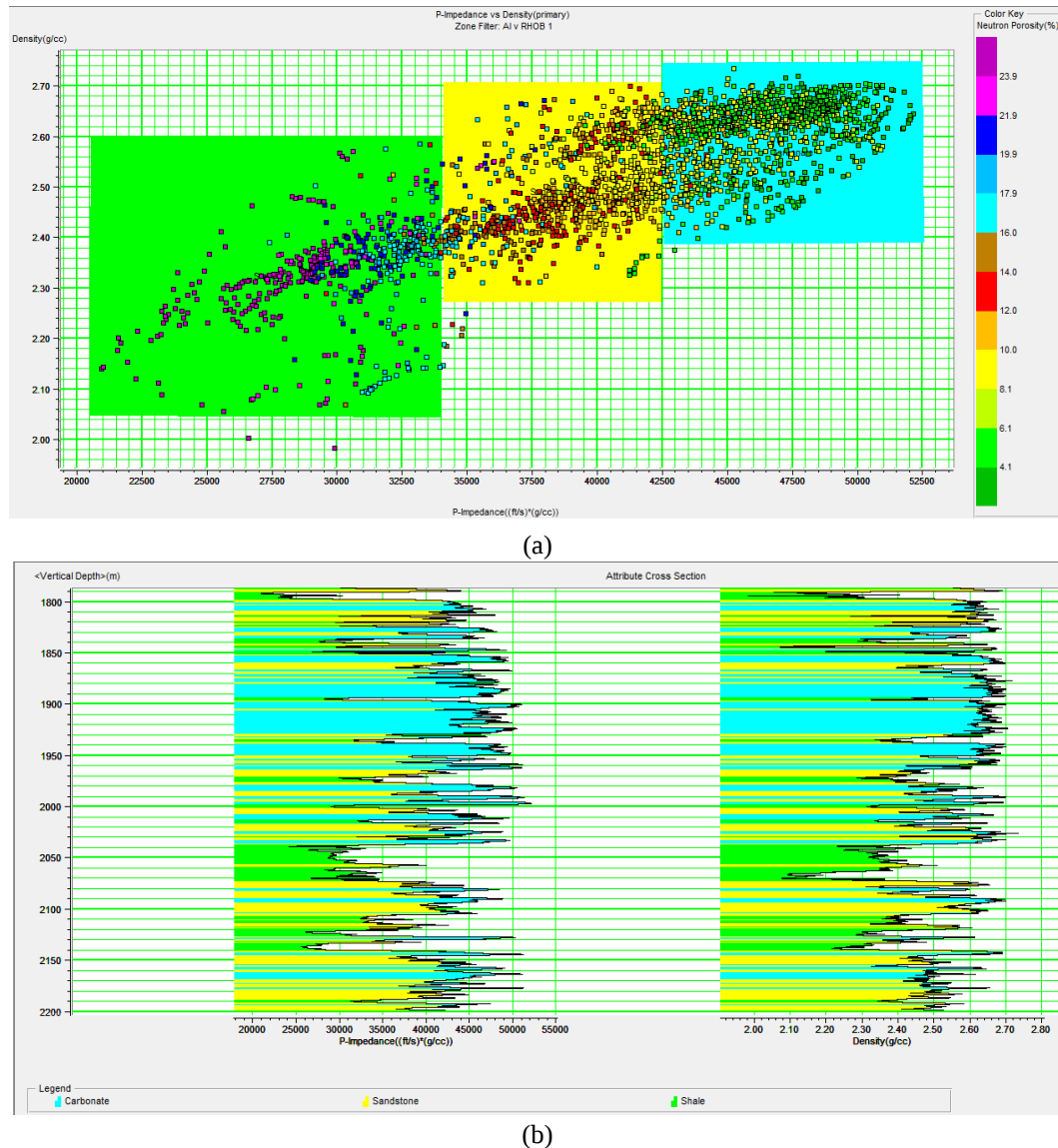
dan stratigrafi dengan menggunakan data kedua sumur yaitu ITSNU-1 dan ITSNU-2. Selanjutnya dilakukan analisis *crossplot* menggunakan parameter *P-Impedance*, *density* dan *neutron porosity* untuk memisahkan zona target berdasarkan parameter yang digunakan dan menjadi acuan kelayakan untuk dilakukan inversi.

Kemudian melakukan *well seismic tie* pada kedua sumur tersebut untuk menyamakan data sumur yang berdomain kedalaman dengan data seismik yang berdomain waktu atau membawa resolusi seismik yang kecil secara vertikal ke resolusi data sumur yang tinggi secara vertikal menggunakan seismogram sintetik dan *checkshot*. Proses *well seismic tie* menghasilkan berupa nilai amplitudo seismik (*checkshot* terkoreksi) dengan kedalaman dan waktu yang sudah terintegrasi. Kemudian melakukan *picking fault* dan hasil *picking fault* digunakan sebagai acuan *picking horizon*. Hasil *picking horizon* tersebut digunakan untuk membuat peta *time structure*. Kemudian hasil amplitudo seismik tersebut digunakan untuk membuat atribut *RMS amplitude* dan atribut *envelope*. Pada proses selanjutnya hasil atribut seismik tersebut digunakan untuk interpretasi berupa peta *slice map*.

Tahapan selanjutnya yaitu inversi impedansi akustik (IA). Hasil dari inversi IA didapatkan volume inversi IA yang digunakan untuk membuat *slice* IA. Kemudian memasuki tahap interpretasi dengan korelasi peta *slice* IA, *slice* atribut *RMS amplitude*, *slice* atribut *envelope* serta didukung informasi dari data geologi daerah penelitian untuk mendapatkan karakteristik dari reservoir dan zona prospek hidrokarbon pada lapangan penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada data sumur dilakukan analisis zona target untuk melihat respon *log* pada Formasi Cibulakan Atas. Setelah itu dibuat *crossplot* *log P-impedance versus log density* dengan *color key neutron porosity* seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan informasi dari *well report* bahwa reservoir karbonat yang menjadi target mempunyai porositas 8-14%. Sehingga dari informasi tersebut dapat ditentukan *cut-off* dari nilai impedansi akustik pada target. Berdasarkan hasil *crossplot* dibagi menjadi 3 zona, yaitu *carbonate*, *sandstone* dan *shale*. Zona *carbonate* mengandung nilai impedansi tinggi dengan *range* 42.500-52.500 (ft/s)(gr/cc), *sandstone* mengandung nilai impedansi sedang dengan *range* 34.000-42.500 (ft/s)(gr/cc), dan zona *shale* mengandung nilai impedansi rendah dengan *range* 21.000-34.000 (ft/s)(gr/cc). Lapisan karbonat mempunyai nilai impedansi lebih besar daripada lapisan yang lainnya (warna biru), karena lapisan karbonat bersifat lebih kompak daripada lapisan yang lain. Lapisan karbonat ini juga mempunyai nilai *porosity* yang rendah, hal ini sesuai dengan informasi dari *well report*. Sehingga lapisan karbonat tersebut berpotensi sebagai reservoir pada Formasi Cibulakan Atas. Lapisan *shale* mempunyai nilai impedansi akustik yang relatif rendah (warna hijau). Lapisan *shale* ini diinterpretasikan sebagai lapisan tudung (*cap rock*) dari Formasi Cibulakan Atas. Sedangkan lapisan *sandstone* mempunyai nilai impedansi yang relatif sedang (warna kuning). Tetapi lapisan *sandstone* ini tidak berpotensi sebagai reservoir pada Formasi Cibulakan Atas.

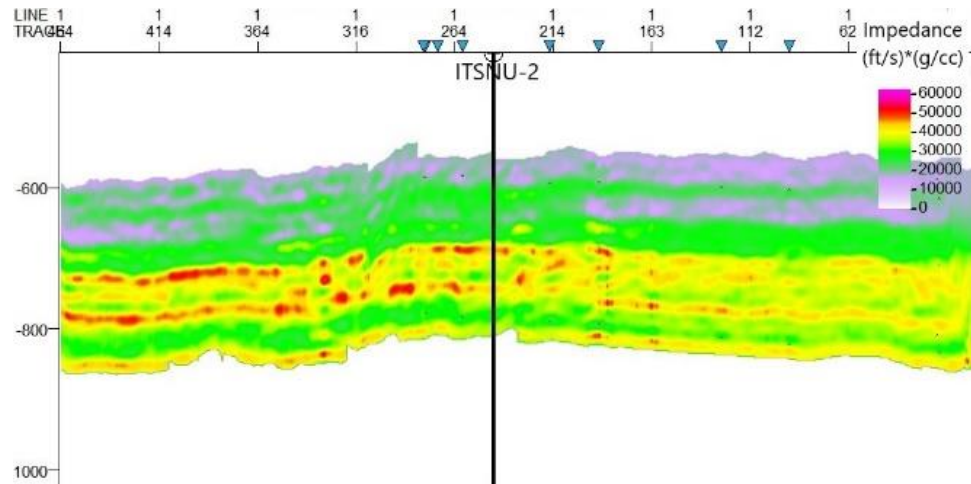


Gambar 4. Analisis crossplot p-impedance vs density (a) beserta cross-section AI dan density pada sumur ITSNU-1 (b)

Berdasarkan penampang hasil inversi pada Formasi Cibulakan Atas yang ditunjukkan Gambar 5, lapisan *sandstone* (warna kuning) berada pada bagian bawah formasi dengan sisipan-sisipan batuan karbonat (warna merah) yang tidak merata pada seluruh formasi. Kemudian pada bagian atas formasi tersusun oleh *shale* atau batu serpih (warna hijau). Jadi pada Formasi Cibulakan Atas ini berpotensi sebagai reservoir yang baik karena terdapat batuan karbonat sebagai batuan reservoir dan lapisan *shale* sebagai batuan penudung (*seal*) di bagian atas formasi.

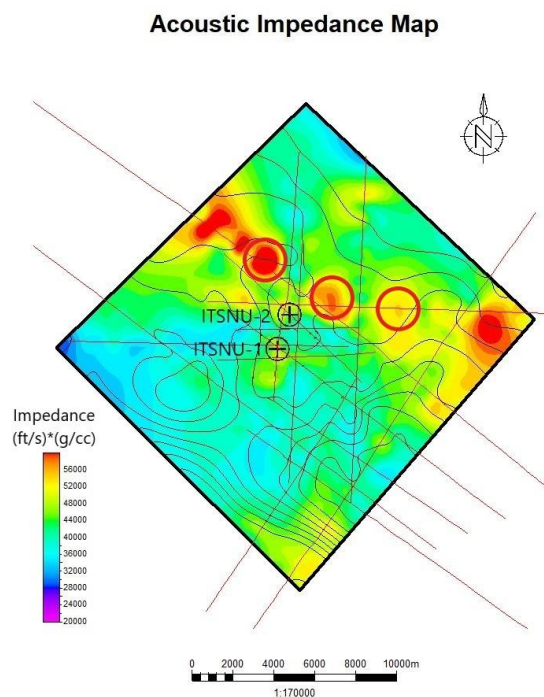
Pada analisis penentuan zona prospek menggunakan integrasi dari 3 peta yaitu *slice* IA, *slice* atribut *root mean square (RMS)* amplitudo dan *slice* atribut *envelope*. Penentuan kedalaman *slicing* pada zona target menggunakan *marker* pada lapisan *horizon Z-16*. Masing-masing *slice* berasal dari hasil inversi AI, atribut *RMS* amplitudo dan atribut *envelope*. Kemudian hasil *slicing* pada masing-masing peta

dilakukan *overlay* terhadap *time structure maps* pada horizon Z-16 agar diperoleh hasil yang lebih akurat.



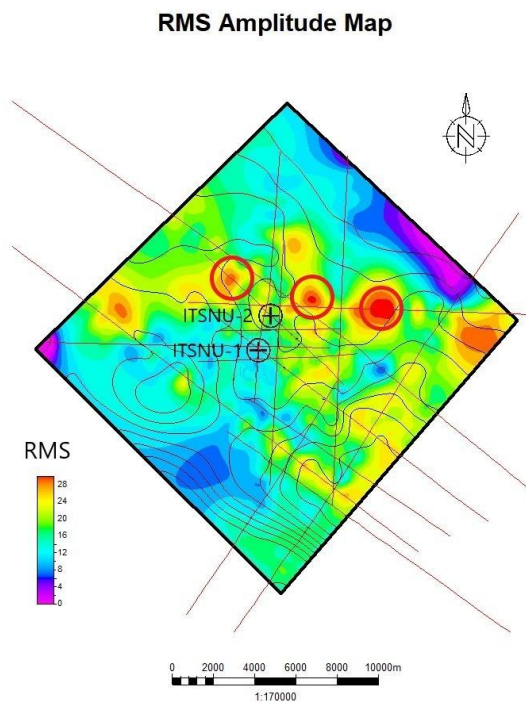
Gambar 5. Hasil inversi IA lintasan FISIKA-15

Menurut [6] keberadaan reservoir karbonat ditandai dengan nilai IA yang tinggi. Hasil *slicing* IA pada horizon Z-16 menunjukkan persebaran nilai *P-Impedance* (IA) karbonat berkisar antara 42.500–52.500 (ft/s)(g/cc) yang ditunjukkan dengan gradasi warna kuning–merah. Sedangkan lingkaran berwarna merah diinterpretasikan sebagai zona prospek hidrokarbon. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Slice Acoustic Impedance dengan overlay kontur time structure horizon Z-16

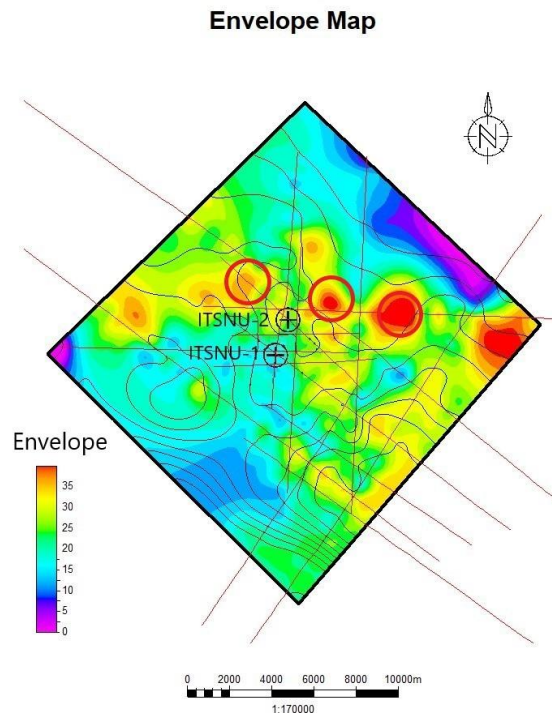
Amplitudo RMS dapat menggambarkan penyebaran lapisan reservoir. Keberadaan reservoir ditandai dengan nilai *RMS* amplitudo yang tinggi [6]. Hal tersebut disebabkan karena terdapat kontras antara zona reservoir dengan litologi disekitarnya [12]. Hasil *slicing* atribut *RMS* amplitudo pada *horizon Z-16* menunjukkan persebaran reservoir karbonat pada lapangan penelitian dengan kontras nilai *RMS* amplitudo tinggi antara 25-30 yang ditunjukkan dengan gradasi warna kuning-merah. Sedangkan lingkaran berwarna merah diinterpretasikan sebagai zona prospek hidrokarbon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Slice atribut *RMS* amplitudo dioverlay kontur time structure pada *horizon Z-16*

Atribut *envelope* dapat menggambarkan perbedaan litologi [12]. Atribut ini sensitif terhadap perubahan amplitudo secara lateral yang berasosiasi dengan perubahan karakteristik lapisan yang terakumulasi hidrokarbon. Menurut [7] keberadaan reservoir karbonat ditandai dengan nilai *high envelope*, karena adanya batas litologi yang signifikan. Hasil *slicing envelope* pada *horizon Z-16* menunjukkan persebaran reservoir karbonat pada lapangan penelitian dengan kontras nilai *envelope* tinggi antara 30-40 yang ditunjukkan dengan gradasi warna kuning-merah. Sedangkan lingkaran berwarna merah diinterpretasikan sebagai zona prospek hidrokarbon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan hasil *slicing* dari impedansi akustik, atribut *RMS* amplitudo dan atribut *envelope* pada *horizon Z-16* maka diperoleh 3 zona prospek yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah. Zona prospek tersebut berada pada sebelah timur laut dan barat laut dari lokasi sumur ITSNU-2 di lapangan “CLM” Cekungan Jawa Barat Utara.



Gambar 8. Slice atribut envelope dengan overlay kontur time structure pada horizon Z-16

4. Kesimpulan

Zona target reservoir pada Formasi Cibulakan Atas yaitu karbonat memiliki nilai IA tinggi dengan *range* sebesar 42.500–52.500 (ft/s)(g/cc). *Sandstone* memiliki nilai IA sedang dengan *range* 34.000–42.500 (ft/s)(g/cc) dan *shale* memiliki nilai IA rendah dengan *range* 21.000–34.000 (ft/s)(g/cc) berpotensi menjadi batuan tudung (*seal*). Sedangkan untuk zona prospek tersebut berada pada sebelah timur laut dan barat laut dari lokasi sumur ITSNU-2 di lapangan “CLM” daerah penelitian.

Daftar Pustaka

1. C. Reminton och U. Pranyoto, "A Hydrocarbon Generation Analysis in Northwest Java Basin using Lopatin's Method," i *Proceeding IPA 14th Annual Convension*, Jakarta, 1985.
2. C. Reminton och H. Nasir, "Potensial Hidrokarbon Pada Batuan Karbonat Miosen Jawa Barat Utara," i *PIT IAGI XV*, Yogyakarta, 1986.
3. B. Russell, *Introduction To Seismic Inversion Methods*, Third Edition, Volume 2, Domenico: Editor Course Notes Series, 1991.
4. S. Sukmono, *Seismik Inversi untuk Karakterisasi Reservoir*, Bandung: Penerbit ITB, 2000.
5. S. Chopra och K. Marfurt, *Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization*, Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2007.
6. R. Alifudin, W. Lestari, F. Syaifuddin och M. Haidar, "Karakterisasi Reservoir Karbonat dengan Aplikasi Seismik Atribut dan Inversi Seismik Impedansi Akustik," *Jurnal Geosaintek*, vol. 02, nr 02, 2016.

7. D. Pramudito, T. Meidiana, A. Alfianto och D. Nurhadi, "How to Build New Interpretation Concept using Dynamic Data: A case Study in Carbonate of Upper Cibulakan, North West Java Basin, Indonesia," i *IOP Conf. Ser. : Earth Environ*, 2017.
8. M. S. Rosid, A. F. Thanniza och A. A. Andri, "Karakterisasi Reservoir Batuan Serpih Menggunakan Simultaneous Inversion di Lapangan TAF, Formasi Baong Bawah, Cekungan Sumatra Utara," *Jurnal Fisika Unnes*, vol. 9, nr 2, pp. 69-79, 2019.
9. M. Erryansah, T. Nainggolan och H. Manik, "Acoustic Impedance Model-Based Inversion to Identify Target Reservoir: a Case Study Nias Waters," i *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020.
10. D. Arpandi och S. Patmosukismo, "The Cibulakan Formation as One of The Most Prospective Stratigraphic Units in The Northwestjava Basinal Area," i *Proceeding IPA 4th Annual Convention*, Jakarta, 1975.
11. Indonesian Basin Summaries, North West Java Basin, Jakarta: PT. Patra Nusa Data, 2006.
12. N. Alridha och S. Muhsin, "3-D Seismic Attributes Analysis in Balad Oil Field, Center of Iraq," *Arab J Geosci*, vol. 8, pp. 2785-2798, 2015.

KINERJA METODE ELEKTROFLOTASI PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH PEWARNA TEKSTIL DISPERSI

HARYONO *, E. EVY ERNAWATI, ATIEK ROSTIKA NOVIYANTI

*Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*

**email : haryono@unpad.ac.id*

Abstrak. Pembuangan air limbah tekstil di atas batas maksimal baku mutu ke lingkungan akan menimbulkan banyak dampak negatif terhadap ekosistem di lingkungan. Industri tekstil memanfaatkan sekitar 2/3 total produk pewarna. Sekitar 10-15% dari penggunaa zat warna tersebut terbuang sebagai air limbah. Zat warna dispersi merupakan salah satu jenis pewarna sintetik yang relatif luas dimanfaat di industri tekstil. Zat warna dispersi bersifat tidak larut dalam air dan memiliki ketahanan kimia relatif tinggi. Salah satu metode yang sesuai diterapkan untuk mengolah air limbah pewarna tekstil dispersi adalah elektroflotasi. Elektroflotasi bekerja dengan prinsip dasar sebagai sel elektrolisis. Kinerja elektroflotasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah beda potensial listrik dan lama waktu elektroflotasi. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh beda potensial listrik dan lama proses terhadap kinerja metode elektroflotasi pada pengolahan air limbah pewarna tekstil dispersi. Pada penelitian ini, kinerja elektroflotasi diukur berdasarkan kemampuan metode tersebut dalam menurunkan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan tingkat warna dari air limbah tekstil yang diolah. Selain itu dihitung juga kebutuhan energi listrik spesifik dan nilai penurunan konsentrasi zat warna per satuan energi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum elektroflotasi dicapai pada penggunaan beda potensial listrik sebesar 12 V dan waktu elektroflotasi selama 60 menit. Pada kondisi tersebut, nilai COD dan tingkat warna dari air limbah tekstil dapat diturunkan dengan efisiensi pemisahan berturut-turut sebesar 88,9% dan 93,3%, dengan kebutuhan energi listrik spesifik sebesar 200 kWh/m³. Sedangkan nilai penurunan konsentrasi zat warna per kWh energi listrik berdasarkan COD dan tingkat warna masing-masing adalah 16293,3 ppm/kWh dan 23333,3 Pt-Co/kWh.

Kata kunci: air limbah tekstil, elektroflotasi, efisiensi pemisahan, zat warna dispersi

Abstract. Disposal of textile wastewater above the maximum quality standard into the environment will cause many negative impacts on the ecosystem in the environment. The textile industry utilizes about 2/3 of the total dye products. About 10-15% of the use of these dyes is wasted as waste water. Dispersion dyes are a type of synthetic dye that is relatively widely used in the textile industry. Disperse dyes are insoluble in water and have relatively high chemical resistance. One of the suitable methods applied to treat textile dye dispersion wastewater is electroflotation. Electroflotation works on the basic principle of an electrolytic cell. The performance of electroflotation is influenced by several factors, including the difference in electric potential and the length of time for electroflotation. The purpose of this study was to study the effect of electric potential difference and processing time on the performance of the electroflotation method in textile dye dispersion wastewater treatment. In this study, the electroflotation performance was measured based on the ability of the method to reduce the COD (*Chemical Oxygen Demand*) value and the color level of the treated textile wastewater. In addition, the specific electrical energy requirements and the value of the decrease in dye concentration per unit of electrical energy are also calculated. The results showed

that the optimum conditions for electroflotation were achieved by using an electric potential difference of 12 V and an electroflotation time of 60 minutes. Under these conditions, the COD value and color level of textile wastewater can be reduced with separation efficiency of 88.9% and 93.3%, respectively, with a specific electrical energy requirement of 200 kWh/m³. Meanwhile, the decreasing value of dye concentration per kWh of electrical energy based on COD value and color level were 16293.3 ppm/kWh and 23333.3 Pt-Co/kWh, respectively.

Keywords: textile wastewater, electroflotation, degree of removal, dispersion dyestuff

1. Pendahuluan

Industri tekstil akan selalu menjadi salah satu sektor industri strategis. Hal tersebut sebagai implikasi dari sandang sebagai komponen kebutuhan dasar manusia diproduksi dari berbagai tipe kain yang dihasilkan dari industri tekstil. Oleh karena itu kapasitas produksi tekstil akan terus meningkat seiring dengan peningkatan permintaan dari masyarakat. Namun demikian, pada proses produksi tekstil masih terdapat permasalahan mendasar terkait dengan buruknya kualitas buangan air limbah. Kondisi kualitas air limbah tekstil tersebut salah satunya merupakan kontribusi signifikan dari penggunaan zat warna pada tahap pewarnaan (*dyeing*) sebagai bagian dari tahap proses produksi tekstil [1].

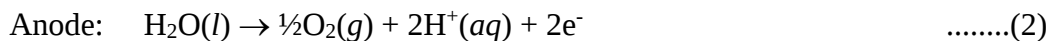
Air limbah pewarna telah dipertimbangkan sebagai salah satu sumber polusi utama bagi lingkungan. Buangan limbah pewarna tekstil dalam konsentrasi tinggi ke badan air akan mengakibatkan penurunan kapasitas reoksigenasi dan terhalangnya sinar matahari di lingkungan perairan, sehingga mengganggu aktivitas biologi kehidupan akuatik dan juga proses fotosintesis dari tumbuhan air atau ganggang. Efek pencemaran pewarna tekstil terhadap lingkungan akuatik juga dapat disebabkan oleh efek toksik karena waktu tinggalnya yang lama di lingkungan (terakumulasi dalam sedimen terutama pada ikan atau bentuk kehidupan akuatik lainnya), pendekomposisi menjadi senyawa karsinogenik atau mutagenik, dan biodegradabilitas aerobik yang rendah [2, 3].

Industri tekstil terhitung merupakan sektor ekonomi yang menyerap 2/3 pasar zat warna. Selama proses pewarnaan di industri tekstil, sekitar 10-15% dari zat warna yang digunakan terbuang sebagai air limbah [4]. Oleh karena itu, peningkatan produksi tekstil akan menyebabkan peningkatan secara proporsional laju buangan air limbah pewarna. Karakteristik air limbah tekstil dilaporkan dalam berbagai jenis parameter fisika dan kimia. Dua jenis parameter dari karakteristik air limbah tekstil yang biasanya diukur adalah tingkat warna dan COD (*chemical oxygen demand*) [2]. Kedua parameter tersebut dapat mewakili secara langsung keberadaan zat warna di dalam air limbah tekstil. Berdasarkan laporan beberapa penelitian, air limbah tekstil memiliki karakteristik dengan tingkat warna pada rentang 240–2.500 Pt-Co dan nilai COD sebesar 150–30.000 mg/L. Khusus untuk air limbah dari tahap pewarnaan tekstil, nilai COD air limbahnya berada pada rentang 258–7561 mg/L [1]. Berdasarkan nilai COD dan tingkat warna, air limbah dari industri tekstil tersebut memiliki nilai relatif jauh di atas batas maksimum baku mutu air limbah industri tekstil menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 16 Tahun 2019, yaitu nilai COD maksimum 150 mg/L dan tingkat warna maksimum 200 Pt-Co [5].

Industri tekstil umumnya memanfaatkan zat warna sintetik. Terdapat sekitar 10 jenis zat warna sintetik tekstil, salah satunya adalah zat warna dispersi [6]. Zat warna tekstil dispersi terkelompok ke dalam zat warna tak larut dalam air dan

diaplikasikan sebagai bubuk halus yang terdispersi di dalam bak proses pewarnaan [7]. Zat warna dispersi stabil selama pewarnaan pada suhu tinggi, berdifusi ke dalam serat tekstil dan kemudian melekat pada serat tersebut. Pewarna dispersi banyak digunakan pada pewarnaan sebagian besar serat yang diproduksi, terutama poliester dan poliamida [6].

Penanganan terhadap air limbah pewarna tekstil, khususnya untuk memperbaiki karakteristik tingkat warna dan nilai COD, dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah dengan metode elektroflotasi [8]. Elektroflotasi menggunakan gelembung gas yang dihasilkan dari elektrolisis air untuk memisahkan partikel tersuspensi. Proses ini terdiri dari tangki pengolahan dengan suatu katode dan anode dimana gelembung-gelembung kecil gas hidrogen dan oksigen dihasilkan dengan penerapan arus listrik [9]. Gelembung gas tersebut terbentuk dari reaksi elektrolisis terhadap air menurut Persamaan (1) yang merupakan reaksi reduksi dan Persamaan (2) sebagai reaksi oksidasi [10].



Elektroflotasi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan flotasi konvensional, yaitu: gelembung gas yang dihasilkan lebih kecil (sekitar 1-30 μm), ukuran gelembung gas dapat dikendalikan, dan probabilitas tumbukan antara gelembung dengan partikel polutan lebih besar [11]. Pada elektroflotasi, densitas gelembung yang lebih besar meningkatkan kemungkinan tumbukan partikel-gelembung, agregasi, dan pemisahan. Selanjutnya, gelembung halus memiliki rasio permukaan terhadap volume yang lebih besar, sehingga terjadi peningkatan interaksi permukaan keseluruhan antara gelembung dan partikel. Sistem elektroflotasi biasanya tidak menyertakan bagian yang bergerak secara mekanis, sehingga pemasangan, perkuatan, dan perawatan menjadi lebih sederhana dan nyaman [12]. Kinerja elektroflotasi dalam pengolahan air limbah dipengaruhi oleh parameter-parameter operasi berupa kuat arus listrik, lama waktu elektroflotasi, jenis elektode, pH, ukuran gelembung, dan ukuran partikel polutan [13, 14].

Pengolahan air limbah dengan elektroflotasi pernah dilakukan oleh beberapa peneliti, namun dilakukan terhadap jenis limbah dan karakteristik pengoperasian yang berbeda. Penerapan elektroflotasi pada pengolahan air limbah tekstil dengan karakteristik berbeda juga akan berdampak terhadap perbedaan keoptimuman parameter operasi dari elektroflotasi. Priya et al. telah melakukan elektroflotasi pada pengolahan air limbah dari industri penyamakan kulit di Tamil Nadu, India dengan menggunakan anode dan katode berturut-turut dari material *mild steel* dan *stainless steel*. Parameter operasi berupa lama waktu elektroflotasi, densitas arus, pH air limbah, dan kadar koagulan telah dipelajari pada penelitian tersebut [13]. Belkacem et al. telah melakukan elektroflotasi pada pengolahan air limbah tekstil di Aljazair dengan aluminium sebagai elektode [15]. Elektroflotasi juga pernah dipelajari sebagai metode pengolahan air limbah tekstil di Guangxi, China, dengan menggunakan *stainless steel* sebagai katode dan grafit sebagai anode [14].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh parameter operasi berupa lama waktu elektroflotasi dan beda potensial listrik terhadap pengurangan tingkat warna dan nilai COD air limbah pada pengolahan air limbah pewarna tekstil dispersi secara elektroflotasi. Pada penelitian ini digunakan *stainless steel* sebagai material anode dan aluminium sebagai material katode.

2. Metode Penelitian

2.1. Pengoleksian air limbah pewarna tekstil

Pada penelitian ini, air limbah pewarna dispersi tekstil diambil dari sebuah industri tekstil di daerah Soreang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Air limbah tekstil diambil dari kolam penampung akhir. Air limbah tekstil pada kolam penampung akhir tersebut merupakan hasil pencampuran air limbah dari empat unit proses produksi tekstil.

Air limbah pewarna tekstil diambil sebanyak kebutuhan untuk melakukan semua tempuhan variasi pada penelitian ini. Sampel air limbah dimasukkan ke dalam derigen dan ditutup atau disegel serta disimpan di tempat kering pada suhu untuk mencegah terjadinya perubahan karakteristik selama penyimpanan.

2.2. Analisis kimia sampel

Analisis kimia sampel dilakukan terhadap air limbah tekstil sebelum dan setelah elektroflotasi. Pengambilan sampel dilakukan Parameter analisis kimia sampel air limbah tersebut mencakup tingkat warna dan nilai COD. Hasil analisis tingkat warna dan COD dari kedua kelompok sampel air limbah tekstil tersebut (sebelum dan setelah pengolahan) digunakan untuk menghitung efisiensi pemisahan zat warna tekstil dispersi dalam air limbah berdasarkan Persamaan (3).

$$Efisiensi Pemisahan = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\% \quad \dots(3)$$

Dengan: C_0 dan C = konsentrasi dari parameter limbah sebelum dan setelah elektroflotasi.

Pada kondisi optimum elektroflotasi yang didasarkan pada efisiensi pemisahan zat warna tertinggi dilakukan perhitungan kebutuhan energi listrik spesifik (E). Kebutuhan energi listrik spesifik dihitung dengan Persamaan (4) berikut [16]:

$$E = \frac{V I \Delta t}{1000 V_{Limbah}} \quad \dots(4)$$

dengan V = beda potensial listrik antar elektrode (volt), I = kuat arus listrik (ampere), Δt = lama elektroflotasi (jam atau $h = \text{hour}$), V_{Limbah} = volume limbah yang diolah (m^3), dan 1000 = faktor konversi antara W (watt) dan kW (kilowatt). Selanjutnya dapat juga dihitung kemampuan elektroflotasi dalam menurunkan konsentrasi zat warna pada tiap satuan kebutuhan energi listrik menurut Persamaan (5) berikut:

$$\text{Penurunan konsentrasi zat warna per satuan energi listrik} = \frac{(C_0 - C)}{V I \Delta t / 1000} \quad \dots(5)$$

Nilai COD dan tingkat warna dari air limbah sebagai dua parameter kualitas air limbah, baik sebelum dan setelah elektroflotasi, dianalisis menurut prosedur sebagai berikut:

2.2.1. Analisis nilai COD air limbah [8]

Sebanyak 10 mL sampel air limbah tekstil dimasukkan ke dalam bejana refluks 250 mL, kemudian ditambahkan larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,25 N sebanyak 10 mL sebagai oksidator. Selanjutnya ditambahkan 10 mL larutan H_2SO_4 9 M dan 25 mL akuades.

Campuran direfluks selama 2 jam. Hasil refluks kemudian didinginkan sampai suhu ruang.

Sebanyak 10 mL larutan hasil refluks dititrasi dengan larutan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,25 N menggunakan indikator feroin sampai terjadi perubahan warna dari biru kehijauan menjadi coklat kemerahan. Perlakuan yang sama diulangi terhadap blanko (akuades). Setelah dicapai titik ekuivalen, nilai COD sampel dihitung dengan Persamaan (6).

$$\text{COD} = \frac{(V_b - V_s) \times N_{\text{FAS}} \times 8000}{V_{\text{sampel}}} \quad \dots(6)$$

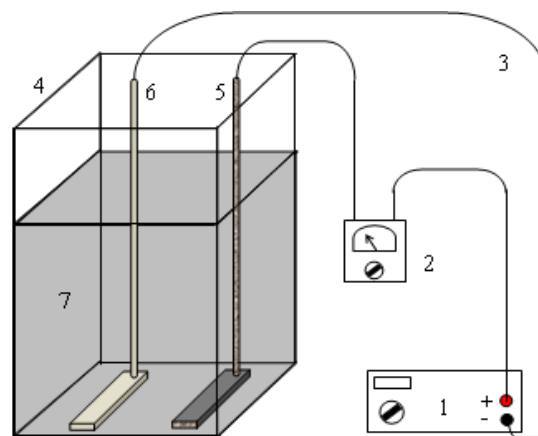
Dengan: V_b = volume larutan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ titrasi blanko, V_s = volume larutan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ titrasi sampel, N_{FAS} = normalitas larutan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

2.2.2. Analisis tingkat warna air limbah [8, 17]

Tingkat warna sampel air limbah ditentukan dengan Nanocolor Filterfotometer (Nanocolor 25). Penentuan tingkat warna sampel didasarkan pada metode perbandingan warna antara warna sampel dengan warna standar. Warna standar disiapkan dengan mencampurkan dengan komposisi divariasikan antara larutan potasium khloroplatinat (K_2PtCl_6) 1 mg/L dengan serbuk kobalt khlorida (CoCl_2). Oleh karena itu hasil pengukuran tingkat warna dari suatu sampel cairan diberi satuan Pt-Co.

2.3. Elektroflotasi air limbah

Air limbah pewarna tekstil dispersi sebanyak 300 mL dimasukkan ke dalam bak elektroflotasi *batch*. Pada bak elektroflotasi terangkai katode aluminium dan anode *stainless steel* yang dihubungkan dengan sumber energi listrik arus searah (catu daya DC) melalui kawat konduktor. Rangkaian sel elektroflotasi secara skematik ditampilkan pada Gambar 1.



Keterangan:

- | | | |
|--------------------|----------|---------------|
| 1. Catu daya DC | 4. Bak | 6. Katode |
| 2. Voltmeter | 5. Anode | 7. Air limbah |
| 3. Kawat konduktor | | |

Gambar 1. Skematik Diagram Sel Elektroflotasi

Pada tahap elektroflotasi terhadap air limbah pewarna tekstil dispersi ini dipelajari pengaruh beda potensial listrik dan lama waktu elektroflotasi pada arus listrik 5 A terhadap efisiensi pemisahan zat warna berdasarkan nilai COD dan tingkat warna dari air limbah. Beda potensial listrik dipelajari pada variasi 6 dan 12 V. Sedangkan lama waktu elektroflotasi divariasikan selama 30, 40, 50, dan 60 menit.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Nilai COD dan tingkat warna air limbah pewarna tekstil dispersi sebelum pengolahan

Air limbah tekstil sebelum diolah, secara penampilan visual cenderung terlihat berwarna hitam pekat (Gambar 2). Sedangkan hasil analisis kimia untuk parameter nilai COD, tingkat warna, dan pH terhadap air limbah tekstil tersebut diperoleh hasil secara berturut-turut sebesar 1100 mg/L, 1500 Pt-Co, dan 8,8.

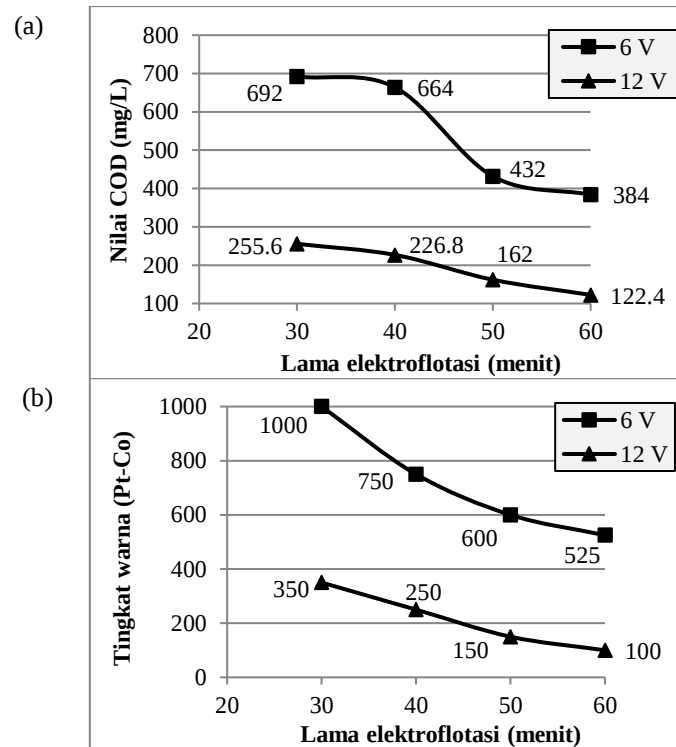


Gambar 2. Penampilan Visual Air Limbah Pewarna Tekstil Dispersi Sebelum Pengolahan

Berdasarkan parameter nilai COD dan tingkat warna, air limbah tekstil tersebut memiliki nilai COD dan tingkat warna jauh di atas batas maksimum baku mutu air limbah buangan industri tekstil menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 16 Tahun 2019, yaitu maksimum berturut-turut sebesar 150 mg/L dan 200 Pt-Co. Parameter nilai COD didefinisikan sebagai jumlah oksigen ekuivalen yang dikonsumsi dalam reaksi oksidasi terhadap senyawa-senyawa organik oleh oksidan kuat, seperti potasium dikromat, menjadi karbon dioksida, air, dan ion amonium [8]. Oleh karena itu nilai COD mewakili konsentrasi senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam air atau perairan. Keberadaan senyawa-senyawa organik di dalam air atau perairan cenderung berkontribusi terhadap penurunan kualitas air dan perairan, terutama air untuk konsumsi manusia. Sedangkan parameter tingkat warna, dalam penerapannya pada polutan zat pewarna tekstil, merepresentasikan keberadaan senyawa-senyawa zat pewarna yang terdispersi secara visual di dalam air limbah.

3.2. Pengaruh lama waktu elektroflotasi dan beda potensial beda potensial listrik terhadap nilai COD dan tingkat warna air limbah

Hubungan antara pengaruh lama waktu elektroflotasi dan variasi beda potensial listrik pada proses elektroflotasi air limbah pewarna tekstil dispersi terhadap nilai COD dan tingkat warna air dari air limbah hasil olahan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Lama Elektroflotasi pada Beda Potensial Listrik 6 dan 12 V terhadap: (a) Nilai COD dan (b) Tingkat Warna dari Air Limbah Hasil Olahan (Nilai COD Awal = 1.100 mg/L, Tingkat Warna Awal = 1.500 Pt-Co)

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, nampak bahwa semakin lama waktu elektroflotasi, nilai COD dan warna air hasil olahan semakin turun secara konsisten pada semua variasi beda potensial listrik yang digunakan untuk mengelektrolisis air menjadi gas O_2 dan H_2 . Penurunan nilai COD dan tingkat warna tersebut menunjukkan bahwa proses elektroflotasi telah berhasil diterapkan untuk memisahkan senyawa-senyawa organik dari bahan pewarna sampai pada tingkat tertentu sesuai dengan rentang parameter operasi yang dilakukan.

Penurunan nilai COD dan tingkat warna secara konsisten seiring dengan semakin lama dan tingginya beda potensial listrik pada elektroflotasi, secara teoritis disebabkan oleh semakin banyaknya pembentukan molekul gas O_2 dan H_2 dari reaksi elektrolisis terhadap air sesuai reaksi reduksi-oksidasi seperti yang ditampilkan pada Persamaan (1) dan (2). Nilai kuantitatif dari lama waktu elektrolisis dan beda potensial listrik (diwakili oleh kuat arus listrik) berbanding lurus terhadap jumlah elektron yang diserahterimakan pada reaksi reduksi-oksidasi [18]. Sedangkan berdasarkan Persamaan (1) dan (2), jumlah elektron tersebut sebanding dengan jumlah spesi kimia gas O_2 dan H_2 sebagai agen pengapung polutan dalam air limbah yang diolah. Oleh karena itu, pada kuat arus listrik tertentu, yang nilainya sebanding dengan beda potensial listrik, maka jumlah (massa atau mol) gas O_2 dan H_2 yang dihasilkan akan semakin meningkat seiring dengan semakin lamanya reaksi reduksi-oksidasi pada elektroflotasi. Demikian pula jika ditinjau pada lama reaksi reduksi-oksidasi tertentu. Gas O_2 dan H_2 yang dihasilkan akan semakin banyak dengan ditingkatkannya kuat arus listrik. Sedangkan kuat arus

listrik, dengan hambatan diasumsikan konstan, nilainya berbanding lurus secara linier terhadap beda potensial listrik, sesuai dengan pernyataan Hukum Ohm.

Penurunan nilai COD dan tingkat warna tertinggi dari hasil elektroflotasi terhadap air limbah pewarna tekstil dispersi pada penelitian ini dicapai pada saat elektroflotasi dilakukan pada beda potensial listrik sebesar 12 V. Elektroflotasi pada beda potensial listrik tersebut mampu menurunkan nilai COD air limbah tekstil dari 1100 menjadi 255,6 mg/L, dan tingkat warna dari 1500 menjadi 350 Pt-Co ketika elektroflotasi dilakukan selama 30 menit. Sedangkan pada beda potensial listrik 6 V dalam waktu elektroflotasi yang sama, nilai COD dan tingkat warna secara berturut-turut hanya turun menjadi 692 mg/L dan 1.000 Pt-Co. Nilai COD semakin kecil, menunjukkan konsentrasi senyawa organik dalam air limbah sampel semakin sedikit. Sedangkan nilai Pt-Co dari suatu air sampel semakin kecil, berarti warna air sampel semakin jernih. Pada penelitian ini, penurunan nilai COD dan tingkat warna terbesar dicapai di beda potensial listrik sebesar 12 V pada lama elektroflotasi 60 menit, dengan nilai COD dan tingkat warna air limbah hasil olahan masing-masing sebesar 122,4 mg/L dan 100 Pt-Co.

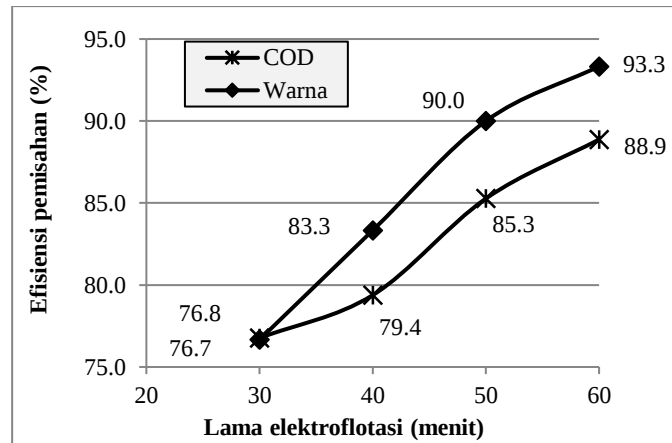
Oleh karena itu, berdasarkan syarat baku mutu air limbah industri tekstil menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 16 Tahun 2019, parameter operasi elektroflotasi terbaik dicapai pada beda potensial listrik 12 V dan lama waktu elektroflotasi 60 menit dengan nilai COD dari air limbah hasil olahan sebesar 122,4 mg/L dan tingkat warna 100 Pt-Co. Nilai kedua parameter karakteristik air limbah tersebut telah memenuhi ketentuan baku mutu air limbah tekstil buangan. Perbandingan penampilan visual antara air limbah tekstil sebelum dan setelah elektroflotasi ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Penampilan Visual Air Limbah Tekstil: (a) Sebelum Pengolahan, (b) Setelah Pengolahan dengan Elektroflotasi

3.3. Efisiensi pemisahan zat warna dispersi pada pengolahan air limbah tekstil dengan elektroflotasi

Kinerja metode-metode pembuangan, termasuk elektroflotasi, umumnya dinyatakan sebagai efisiensi pemisahan terhadap polutan dari air yang diolah. Jenis polutan di dalam air limbah industri tekstil pada penelitian ini berupa molekul-molekul dari bahan pewarna sintetik terdispersi yang diwakili dengan parameter COD dan tingkat warna. Hubungan antara lama elektroflotasi dengan efisiensi pemisahan, didasarkan pada nilai COD dan tingkat warna, pada beda potensial listrik 12 V ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Waktu Lama Elektroflotasi terhadap Efisiensi Pemisahan Zat Warna Tekstil Dispersi Berdasarkan Nilai COD dan Tingkat Warna dan COD pada Beda Potensial Listrik 12 V

Gambar 5 menunjukkan bahwa dengan semakin lamanya waktu elektroflotasi, polutan zat warna tekstil terdispersi di dalam air limbah yang berhasil dipisahkan juga semakin banyak. Pada parameter operasi elektroflotasi terbaik, yaitu pada beda potensial listrik 12 V dan lama waktu elektroflotasi 60 jam, metode elektroflotasi mampu memisahkan zat warna dispersi dari air limbah tekstil dengan efisiensi pemisahan sebesar 88,9% (berdasarkan nilai COD) dan 93,3% (berdasarkan tingkat warna). Efisiensi pemisahan COD tersebut lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan efisiensi pemisahan COD yang sebesar 66% pada penerapan elektroflotasi untuk mengolah air limbah dari industri penyamakan kulit [13]. Sedangkan penerapan elektroflotasi dengan elektrode dari aluminium terhadap air limbah tekstil oleh Belkacem et al. berhasil memisahkan senyawa organik dengan efisiensi pemisahan COD sebesar 90,3% [15]. Metode pengolahan dan air limbah sejenis, namun digunakan material katode dari *stainless steel* dan anode grafit, telah mampu mencapai efisiensi pemisahan COD sebesar 85% [14].

Sesuai Gambar 5, pada elektroflotasi selama 30 menit, efisiensi pemisahan zat warna sebagai COD dan tingkat warna relatif sama. Namun mulai pada lama elektroflotasi 40 menit sampai 60 menit, terdapat perbedaan efisiensi pemisahan zat warna yang relatif signifikan antara kedua parameter tersebut. Efisiensi pemisahan polutan berdasarkan tingkat warna bernilai lebih tinggi daripada berdasarkan COD. Perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh berbedanya jenis polutan yang diwakili masing-masing parameter mutu air tersebut. Parameter tingkat warna mewakili lebih banyak jenis polutan yang terdapat di dalam air limbah, sedangkan parameter nilai COD hanya sebatas mewakili polutan jenis senyawa organik. Sesuai hasil penelitian, polutan-polutan penyebab warna yang secara akumulasi direpresentasikan oleh parameter tingkat warna dapat dipisahkan secara signifikan ketika elektroflotasi dilakukan selama 50 dan 60 menit.

Pada elektroflotasi selama 60 menit dengan beda tegangan listrik 12 V memberikan efisiensi pemisahan zat warna tertinggi. Pada kondisi elektroflotasi tersebut, berdasarkan Persamaan (4), nilai kebutuhan energi listrik spesifik adalah sebesar 200 kWh/m^3 (pada efisiensi pemisahan zat warna sebesar 88,9% berdasarkan nilai COD dan 99,3% berdasarkan tingkat warna). Sedangkan berdasarkan Persamaan

(5), nilai penurunan konsentrasi zat warna pada setiap kWh energi listrik yang diaplikasikan adalah 16293,3 mg L⁻¹/kWh atau 16293,3 ppm/kWh (berdasarkan penurunan nilai COD) dan 23333,3 Pt-Co/kWh (berdasarkan penurunan tingkat warna). Sebagai perbandingan, da Mota et al. membutuhkan energi listrik spesifik sebesar 14 kWh/m³ untuk mencapai efisiensi pemisahan logam berat sebesar 97% pada proses pengolahan air limbah dengan elektroflotasi [16]. Perbedaan kebutuhan energi listrik spesifik tersebut sebagai akibat perbedaan jenis polutan yang diolah. Secara umum logam berat di dalam air limbah berupa ion, sehingga lebih ringan dibandingkan dengan partikel zat warna terdispersi. Hal tersebut menyebabkan kebutuhan energi listrik spesifik pada pemisahan logam berat akan lebih rendah daripada pada pemisahan zat warna terdispersi.

4. Kesimpulan

Air limbah pewarna tekstil dispersi telah berhasil diolah dengan metode elektroflotasi pada parameter operasi yang dipelajari, yaitu lama waktu elektroflotasi dan beda potensial listrik. Reaksi reduksi-oksidasi pada metode elektroflotasi tersebut berlangsung pada elektrode dari material aluminium sebagai katode dan stainless steel sebagai anode.

Parameter operasi elektroflotasi terbaik pada pengolahan air limbah pewarna tekstil disperse di penelitian ini dicapai pada pemakaian beda potensial listrik 12 V dan waktu reaksi reduksi-oksidasi selama 60 menit. Pada parameter operasi terbaik tersebut, nilai COD air limbah tekstil dapat diturunkan dari 1100 mg/L menjadi 122,4 mg/L, atau dengan efisiensi pemisahan zat warna berdasarkan nilai COD sebesar 88,9%. Selain itu, karakteristik air limbah tekstil lainnya yaitu tingkat warna, berhasil diturunkan dari 1500 Pt-Co menjadi 100 Pt-Co, atau dengan efisiensi pemisahan mencapai 93,3%. Kebutuhan energi listrik spesifik sebesar 200 kWh/m³, dengan penurunan konsentrasi zat warna berdasarkan nilai COD dan tingkat warna per kWh energi listrik yang diaplikasikan berturut-turut sebesar 16293,3 ppm/kWh dan 23333,3 Pt-Co/kWh.

Kualitas air limbah tekstil dari penerapan metode elektroflotasi pada parameter operasi terbaik tersebut, berdasarkan parameter nilai COD dan tingkat warna, telah memenuhi syarat baku mutu air limbah buangan industri tekstil menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 16 Tahun 2019, yaitu nilai COD dan tingkat warna maksimum berturut-turut sebesar 150 mg/L dan 200 Pt-Co. Oleh karena itu metode elektroflotasi secara teknis sangat sesuai diterapkan sebagai metode pengolahan air limbah pewarna tekstil dispersi.

Daftar Pustaka

1. D. A. Yaseen, M. Scholz, Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical view, *International J. of Environmental Science and Technology*, Vol. 16 (2019), p. 1193–1226.
2. G. Samchetshabam, T. G. Choudhury, A. Hussam, Impact of textile dyes waste on aquatic environments and its treatment, *Environment & Ecology*, Vol. 35-3C (2017), p. 2349–2353.

3. B. Lellis, C. Z. Favaro-Polonio, J. A. Pamphile, J. C. Polonio, Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms, *Biotechnology Research and Innovation*, Vol. 3 (2019), p. 275–290.
4. R. Kant, Textile dyeing industry an environmental hazard, *Natural Science*, Vol. 4 No. 1 (2012), p. 22–26.
5. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 16 Tahun 2019 tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah (Lampiran II tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Usaha Tekstil), http://jdih.menlhk.co.id/uploads/files/P_16_2019_BAKU_MUTU_AIR_LIMBAH_menlhk_07162019080451.pdf. 14 Maret 2021.
6. M. Berradi, R. Hsissou, M. Khudhair, M. Assouag, O. Cherkaoui, A. El Bachiri, A. El Harfi, Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs, *Heliyon*, Vol 5 (2019), p. 1–11.
7. J. N. Chakraborty, *Fundamentals and Practices in Colouration of Textiles* (2nd Edition), WPI Publishing (2014), p. 187–199.
8. C. N. Sawyer, P. L. McCarty, G. F. Parkin, *Chemistry for Environmental Engineering and Science* (5th edition), McGraw-Hill Companies Inc. (2003), p. 76–85, 523–524, 625–629.
9. A. N. Andrade, R. V. Blasques, P. C. M. Villis, D. F. Silva, W. C. Gomes, Efficiency of electroflocculation in the treatment of water contaminated by organic waste, *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Vol. 15 No. 2 (2020), p. 1–10.
10. X. Yanqing, J. Q. Shang, F. W. Yono, G. Gary, D. P. Coleman, M. Sioshansi, S. Sullivan, Electrokinetic flotation of process water from paint booths, *Water Quality Research J. of Canada*, Vol. 44 No. 2 (2009), p. 189–200.
11. S. K. A. Sarkar, *Electroflotation: Its application to water treatment and mineral processing*, Thesis in Chemical Engineering Department (2012), University of Newcastle.
12. S. R. Mohtashami, *Electroflotation for treatment of paint wastewater: experiments, kinetics and hydrodynamics*, PhD Thesis in Civil and Environmental Engineering (2018), The University of Western Ontario.
13. P. G. Priya, V. Ramamurthi, A. Prabhu, Degradation studies of tannery effluents using electroflotation technique, *J. of Chemical Engineering & Process Technology*, Vol. 2 Issue 1 (2011), p. 1–4.
14. C. T. Wang, W. L. Chou, Y. M. Kuo, Removal of COD from textile wastewater by electroflotation, *J. of Hazardous Materials*, Vol. 164 (2013), p. 81–86.
15. M. Belkacem, M. Khodir, A. Sekki, Treatment characteristics of textile wastewater and removal of heavy metal using the electroflotation technique, *Desalination*, Vol. 228 (2007), p. 245–254.
16. I. O. da Mota, J. A. de Castro, R. de Goes Casqueira, A. G. de Oliveira Junior, Study of electroflotation method for treatment of wastewater from washing soil contaminated of heavy metals, *J. Mater Res Technol.*, Vol. 4 No. 2 (2015), p. 109–113.
17. H. Effendi, *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan* (Cetakan ke-5), Penerbit Kanisius (2003), Yogyakarta.
18. R. Chang, *Chemistry* (10th Edition), McGraw-Hill Companies Inc. (2010)

KARAKTERISASI SIFAT FISIS DAN MIKROSTRUKTUR PAPAN GIPSUM DENGAN VARIASI KOMPOSISI LATEKS

ETY JUMIATI *, ABDUL HALIM DAULAY, NUR'AINI FADILLAH

¹Jurusan Fisika, FST, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan
Jl. Lapangan Golf No.120, Kp. Tengah, Kec. Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang,
Sumatera Utara

*email : etyjumiati87@gmail.com

Abstrak. Papan gipsium merupakan salah satu produk lanjutan dari material gipsium dengan campuran serat/fiber atau bahan lainnya. Papan Gipsium memiliki kelemahan pada sifat fisisnya yang mudah menyerap air. Maka dari itu, perlu adanya inovasi dalam pembuatan papan gipsium yang akan menghasilkan mutu yang lebih baik lagi. Pembuatan papan gipsium dapat memanfaatkan bahan limbah seperti tempurung kelapa dan sekam padi serta lateks sebagai perekatnya. Pencampuran bahan papan gipsium meliputi: gipsium, tempurung kelapa, dan sekam padi yang digunakan yaitu 70%, 15%, 15% dengan variasi lateks 10%, 12%, 14%, 16%, 18% dengan FAS 0,5 serta pengeringan selama 28 hari. Dengan parameter uji sifat fisis meliputi: kerapatan dan pengembangan tebal, dan pengujian mikrostruktur untuk mengetahui morfologi sampel papan gipsium. Analisis sifat fisis papan gipsium diperoleh hasil yang optimal yaitu pada sampel A dengan variasi komposisi lateks 10% didapatkan nilai kerapatan sebesar 1,35 g/cm³, dan pengembangan tebal sebesar 5,03% yang memenuhi Standar SNI 01-4449-2006. Sedangkan mikrostruktur menghasilkan gambar morfologi yang menunjukkan sebaran yang tidak homogen, terbentuk aglomerasi partikel, dan zat pengotor.

Kata kunci: lateks, papan gipsium, sekam padi, sifat fisis dan tempurung kelapa

Abstract. Gypsum board is one of the advanced products of gypsum material with a mixture of fiber/fiber or other materials. Gypsum board has a weakness in its physical properties that easily absorb water. Therefore, there is a need for innovation in the manufacture of gypsum boards that will produce even better quality. The manufacture of gypsum board can utilize waste materials such as coconut shells and rice husks and latex as adhesives. The mixture of gypsum board materials including: gypsum, coconut shell, and rice husk used was 70%, 15%, 15% with latex variation 10%, 12%, 14%, 16%, 18% with FAS 0.5 and drying for 28 days. The parameters of the physical properties test include: density and thickness expansion, as well as microstructural testing to determine the morphology of the gypsum board sample. Analysis of the physical properties of gypsum board obtained optimal results, namely in sample A with a variation of 10% latex composition, the density value was 1.35 g/cm³, and the thickness expansion was 5.03% which met the SNI Standard 01-4449-2006. While the microstructure produces morphological images that show inhomogeneous distribution, particle agglomeration forms, and impurities.

Keywords: latex, gypsum board, rice husk, physical properties and coconut shell

1. Pendahuluan

Gypsum merupakan salah satu mineral non logam yang berbentuk kristalin, serabut dan masif yang terbentuk akibat penguapan air laut. Gypsum sangat mudah didapatkan di alam, biasanya banyak terkandung dalam batuan-batuan sedimen dan batuan lunak. Gypsum memiliki komposisi Kalsium Oksida (CaO) yang paling

tinggi yaitu 32,57%, dan diikuti kalsium 23,28%, air 20,93%, sulfur 18,62%, dan hidrogen 3,34 (A. Rusdianto).

Menurut M. Yoyok Suhandoko, tempurung kelapa memiliki kandungan lignin sebesar 29,4%. Sedangkan sekam padi dan tempurung kelapa dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada pembuatan papan gypsum dikarenakan memiliki serat dan silika yang cukup tinggi. Sekam Padi merupakan limbah yang dihasilkan oleh tempat penggilingan padi. Sekam padi adalah kulit terluar dari tanaman padi. Biasanya sekam padi hanya digunakan untuk bahan makan ternak. Sekam padi memiliki kandungan serat yang paling tinggi sebesar 35,68%, dan kandungan lainnya seperti: oksigen 33,64%, karbohidrat 33,71, abu 17,71%, silica 16,98%, dan kadar air 9,02%. Untuk menaikkan mutu dan kualitas dari papan gypsum dapat digunakan bahan perekat lateks. Lateks merupakan suatu larutan koloid yang memiliki dua komponen susunan bahan lateks. Dua komponen tersebut yaitu serum dan bahan-bahan bukan karet seperti kandungan air, enzim, garam, dan protein (Gurning).

Papan gypsum adalah produk jadi yang terbuat dari serat/fiber dan campuran lainnya lainnya (Ridho Pratama). Berikut dapat dilihat pada Tabel 1. Standar Kualitas Papan Gypsum sesuai dengan SNI 01-4449-2006.

Tabel 1. Standar Kualitas Papan Gypsum Sesuai SNI 01-4449-2006

No	Sifat Fisis dan Mekanik	Standar Mutu	
		PSKS	PSKT
1	Densitas	0,04 - 0,84 g/cm ³	>0,84 g/cm ³
2	Pengembangan Tebal	<10%	-

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimental dengan penambahan dan penggabungan bahan limbah tempurung kelapa dan sekam padi dan memvariasikan perekat yaitu lateks untuk melihat perubahan fisis dan mikrostruktur produk papan gypsum yang dihasilkan. Adapun alat-alat yang digunakan yaitu: beaker glass, spatula, timbangan digital, alat press manual, alat cetakan papan gypsum, jangka sorong, dan UTM (*Universal Testing Machine*). Sedangkan bahan yang digunakan yaitu: serbuk sekam padi, serbuk tempurung kelapa, lateks, dan air.

Pembuatan papan gypsum memiliki beberapa proses, diantaranya: proses pencampuran bahan, proses pencetakan dan pengepressan, dan proses pengeringan, serta proses pengujian. Proses pertama tepung gypsum dicampurkan dengan bahan pengisi berupa serbuk limbah sekam padi dan tempurung kelapa dengan komposisi bahan 70%, 15%, 15% dengan faktor air semen 0,5. Setelah itu, memvariasikan perekat lateks dengan variasi komposisi 10%, 14%, dan 18%. Proses kedua papan gypsum dicetak dengan menggunakan cetakan (5x5x10,7) cm³ dan (10x10x0,7) cm³ lalu papan gypsum dipress menggunakan alat press manual. Proses ketiga papan gypsum yang telah dicetak kemudian dikeringkan selama 28 hari dengan berada pada suhu ruangan.

Proses selanjutnya dilakukan pengujian papan gipsum dengan parameter uji diantaranya: kerapatan, pengembangan tebal, dan SEM (Scanning Electron Microscopy). Pengujian papan gipsum menggunakan 3 kali pengulangan. Pengukuran kerapatan dan pengembangan tebal dilakukan sesuai acuan SNI 01-4449-2006 dengan cara merendamkan sampel papan gipsum kedalam wadah yang berisi air. Perhitungan kerapatan dan pengembangan tebal menggunakan persamaan berikut;

$$K = \frac{B}{I} \quad (1)$$

dengan K adalah kerapatan benda (g/cm^3), B adalah massa benda (g), I adalah isi (cm^3).

$$PT = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100\% \quad (2)$$

dengan PT adalah pengembangan tebal (%), T_1 adalah tebal sebelum perendaman (cm), dan T_2 adalah tebal sesudah perendaman (cm).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis pengukuran kerapatan sampel papan gipsum tercantum Tabel 2. Pengukuran kerapatan bertujuan untuk melihat seberapa rapat papan gipsum yang dihasilkan. Semakin rapat atau bagus nilai kerapatan yang dihasilkan maka papan gipsum memiliki mutu yang baik. Namun, semakin rendah nilai kerapatan yang dihasilkan maka mutu papan gipsum tidak baik. Dapat dilihat pada grafik 1 di atas, hasil kerapatan mengalami penurunan yang signifikan. Dimana penurunan ini disebabkan oleh variasi perekat lateks yang semakin besar. Dari hasil analisis yang di dapat semakin besar variasi lateks yang diberikan maka hasil kerapatan semakin rendah. Menurut Djoko Purwanto 2016, penurunan nilai kerapatan dapat disebabkan oleh rongga atau pori yang bertugas mengikat ikatan antar molekul.

Tabel 2. Hasil Kerapatan Sampel Papan Gipsum

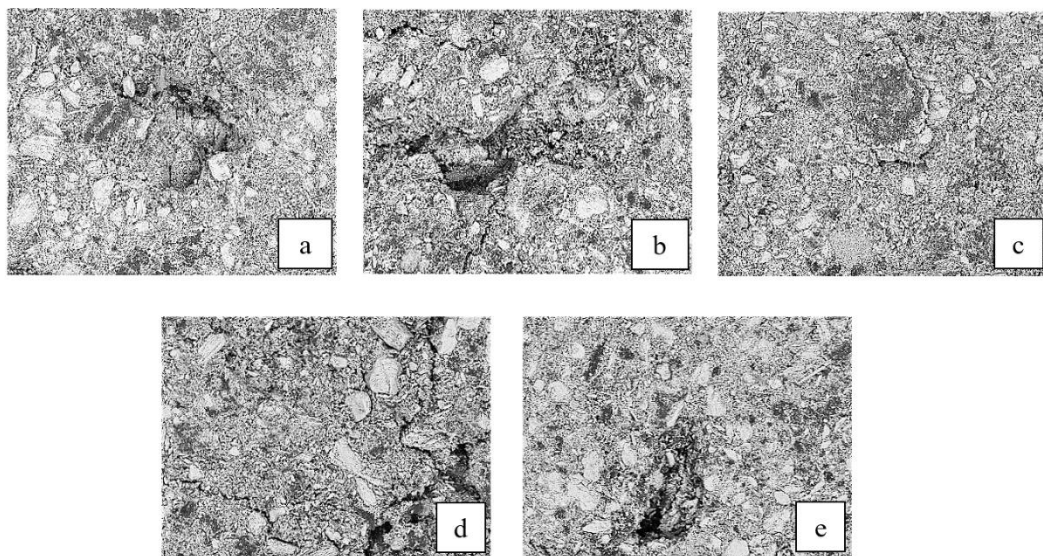
No	Sampel	Hasil Pengukuran	Standar Mutu SNI
1.	A	1,35 g/cm^3	0,40 - 0,84 g/cm^3
2.	B	1,25 g/cm^3	
3.	C	1,21 g/cm^3	
4.	D	1,16 g/cm^3	
5.	E	1,11 g/cm^3	

Hasil analisis pengukuran kerapatan Sampel papan gipsum tercantum Tabel 3. Pengukuran pengembangan tebal bertujuan untuk melihat seberapa baik papan gipsum dalam menyerap air setelah perendaman. Dapat dilihat pada grafik 2 di atas, hasil pengembangan tebal mengalami kenaikan yang signifikan. Dimana kenaikan nilai pengembangan tebal yang terjadi memaparkan bahwa semakin besar variasi komposisi lateks yang diberikan maka nilai pengembangan tebal yang dihasilkan yaitu lebih tinggi dalam artian lebih mudah menyerap air. Pada umumnya, semakin tinggi nilai pengembangan tebal maka akan semakin tinggi juga sifat daya serap airnya, dan sebaliknya semakin rendah nilai pengembangan tebal maka sifat daya serap airnya semakin rendah (Sijabat).

Tabel 3. Hasil pengembangan tebal sampel papan gypsum

No	Sampel	Hasil Pengukuran	Standar Mutu SNI
1.	A	5,03%	<10%
2.	B	6,85%	
3.	C	7,50%	
4.	D	8,99%	
5.	E	9,81%	

Hasil mikrostruktur papan gypsum diperoleh dengan menggunakan alat SEM (Scanning Electron Microscopy) dengan menggunakan perbesaran 250x pada setiap sampelnya. Hasil foto mikrostruktur dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa morfologi permukaan papan gypsum tidak homogen karena masih terdapat zat-zat pengotor dan adanya gumpalan atau aglomerasi. Dari gambar 1 dapat diketahui bahwa semakin bertambah variasi lateks maka gumpalan pada morfologi foto SEM akan semakin banyak sehingga mengakibatkan ketidakmerataan partikel. Permukaan papan gypsum yang sebarannya tidak homogen dapat disebabkan oleh proses pengadukkan dan proses pengepressan yang dilakukan secara manual.



Gambar 1. Hasil Foto Mikrostruktur Papan Gypsum Perbesaran 250x (a) Sampel A, (b) Sampel B, (c) Sampel C, (d) Sampel D, (e) Sampel E

4. Kesimpulan

Papan gypsum dengan variasi komposisi lateks menghasilkan nilai kerapatan dan pengembangan tebal yang memenuhi acuan SNI 01-4449-2006. Dimana nilai optimal didapatkan oleh sampel A dengan nilai kerapatan sebesar $1,35 \text{ g/cm}^3$, dan pengembangan tebal sebesar 5,03%. Sifat fisis papan gypsum sejalan dengan hasil mikrostruktur foto SEM yang dihasilkan. Semakin bertambahnya variasi komposisi

lateks maka semakin rendah pendistribusian partikel oleh papan gipsium yang dikibatkan terjadinya gumpalan-gumpalan yang disebabkan oleh perekat lateks sehingga menurunkan sifat fisis dari papan gipsium.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih saya sampaikan kepada Laboratorium Fisika Dasar UIN SU yang telah mengizinkan saya untuk melakukan penelitian dan seluruh pihak yang ikut berkontribusi dalam penelitian ini

Daftar Pustaka

1. A. Rusdianto, Pemanfaatan Serbuk Tempurung Kelapa sebagai Campuran Gypsum Plafon dengan Bahan Pengikat Lateks Akrilik, Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan (2011), p. 5.
2. R. Gurning, Pembuatan Spesimen Sarung Tangan Berbahan Dasar Lateks Pekat 60% dengan Pengisi Montmorillonit yang Dimodifikasi dengan Ctab, Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan (2015), p. 5.
3. R. Pratama, dan M. Dirhamsyah, Nurhaida, Sifat Fisik Dan Mekanik Papan Gypsum Dari Limbah Kayu Akasia (*Acacia Mangium Willd*) Berdasarkan Kadar Gypsum Dan Ukuran Serbuk Kayu, JURNAL HUTAN LESTARI, Vol 7 No.1 (2019), p. 305-315.
4. Standar Nasional Indonesia. "Standar Nasional Indonesia 01-4449-2006 Papan Semen. ." n.d. 2006.
5. D. Purwanto, Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel dari Limbah Campuran Serutan Rotan dan Serbuk Kayu, Jurnal Riset Industri, Vol. 10 No. 3 10.3 (2016) S. Hidayat, M. O. Tjia, Karakteristik Model Baterai Sekunder Menggunakan Elektroda PANI-NMP, Kontribusi Fisika Indonesia, Vol. 13 No.3 (2002), p. 165-168.
6. F. I. Sijabat, J. Saragih, Halimatuddahlina, Pengaruh Ukuran Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Pengisi Komposit Poliester Tak Jenuh Terhadap Sifat Mekanik Dan Penyerapan Air, Teknik Kimia USU, Vol. 2 No. 3, Medan (2013), p. 31-37.

SYNOPTIC AND MESOSCALE ANALYSIS OF EXTREME RAINFALL EVENT IN CILACAP METEOROLOGICAL STATION, INDONESIA ON DECEMBER 7, 2018

SUWIGNYO PRASETYO *, WAHYU KURNIAWAN, INLIM RAVIJAI RUMAHORBO

*Departement of Meteorology, Indonesian State College of Meteorology
Climatology and Geophysics
Perhubungan I Street No. 5 Meteorology Cluster Area, Pondok Betung, Pondok Aren,
South Tangerang City, Banten, 15221, Telp. 021-73691621*

**email : prasetyosuwignyo8@gmail.com*

Abstrak. Curah hujan tertinggi selama lima tahun terakhir (2016-2020) tercatat sebesar 199,5 mm dalam dua puluh empat jam di Stasiun Meteorologi Cilacap. Penelitian ini mengkaji dinamika atmosfer dengan fokus pada skala sinoptik dan skala meso. Hal tersebut dilakukan karena curah hujan tinggi dengan durasi yang lama biasanya disebabkan oleh awan-awan yang tumbuh karena sirkulasi atmosfer skala yang lebih luas daripada hanya dipengaruhi oleh konveksi skala lokal. Seruakan massa udara dingin dari dataran tinggi Asia yang berpropagasi melintasi ekuator menjadi penyebab utama pada skala sinoptik. Selain itu, kecepatan angin yang cukup kuat dari arah selatan mendukung konvergensi dan memicu awan *deep convective* dengan meningkatkan adveksi udara hangat di Pulau Jawa bagian selatan, khususnya dalam hal ini daerah Cilacap. Analisis skala meso dilakukan menggunakan simulasi numerik untuk mengestimasi curah hujan secara spasial serta menggunakan citra satelit himawari-8. Simulasi numerik yang dilakukan menggunakan model *Weather Research and Forecasting* dengan penyesuaian skema parameterisasi tertentu belum mampu mengestimasi curah hujan dengan cukup baik dengan nilai yang *underestimate* dibandingkan dengan data observasi. Berdasarkan citra satelit himawari-8, terpantau dengan jelas bahwa awan yang terbentuk merupakan sistem awan konvektif skala meso dengan masa hidup lebih dari enam jam. Pertumbuhan awan tersebut cukup masif yang ditandai dengan nilai suhu puncak awan lebih rendah dari -80°C pada fase matang. Dengan demikian, curah hujan yang dihasilkan termasuk hujan ekstrem sehingga mengakibatkan banjir di sebagian wilayah Cilacap.

Kata kunci: hujan ekstrem, analisis sinoptik dan skala meso, Stasiun Meteorologi Cilacap

Abstract. The highest rainfall for the last five years (2016-2020) was recorded at 199.5 mm in twenty-four hours at the Cilacap Meteorological Station. This study examines the dynamics of the atmosphere with a focus on the synoptic scale and the mesoscale analysis. This is done because high rainfall with a long duration is usually caused by clouds that grow due to wider-scale atmospheric circulation rather than only being influenced by local-scale convection. The outbreaks of cold air masses from the Asian highlands that propagates across the equator is the main cause on the synoptic scale. In addition, a fairly strong wind speed from the south supports convergence and triggers deep convective clouds by increasing the advection of warm air in the southern part of Java Island, especially in this case the Cilacap area. Meso-scale analysis was carried out using numerical simulations to estimate rainfall spatially and using Himawari-8 satellite imagery. Numerical simulations carried out using the Weather Research and Forecasting model with adjustments to certain parameterization schemes have not been able to estimate rainfall well enough with underestimated values compared to the observation data. Based on Himawari-8 satellite imagery, it is clearly observed that the cloud formed is a mesoscale convective cloud system with a life span of more than six hours. The cloud growth is quite massive, which is indicated by the cloud top temperature value is lower

than -80°C in the mature phase. Thus, the resulting rainfall includes extreme rain, resulting in flooding in parts of Cilacap.

Keywords: extreme rainfall, synoptic and meso scale analysis, Cilacap Meteorological Station

1. Pendahuluan

Indonesia terletak di daerah tropis dimana kondisi cuaca dan iklim sangat dipengaruhi oleh sistem cuaca berbagai skala. Faktor pengendali cuaca dan iklim di Indonesia secara spasial terbagi menjadi beberapa skala. Pada skala atmosfer global, pengaruh dari kondisi perairan di Samudra Hindia dan Samudra Pasifik berdampak pada pembentukan cuaca di Indonesia. Daerah konvergensi dalam skala atmosfer global berasosiasi dengan aktivitas konvektif yang sangat tinggi. Hal tersebut berkaitan dengan terbentuknya sistem awan-awan konvektif penghasil hujan [1]. Variabilitas curah hujan antar tahunan di wilayah Indonesia dalam skala global dipengaruhi oleh ENSO (El Niño-Southern Oscillation) [2]–[7] dan IOD (Indian Ocean Dipole) [8]. Selain ENSO dan IOD, terdapat gangguan atmosfer skala global yang berpropagasi ke arah timur dengan periodisitas 30 – 60 hari yang dikenal sebagai MJO (Madden Julian Oscillation) [9].

Pada skala sinoptik, variasi curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh aktivitas monsun [7]. Monsun merupakan pola sirkulasi angin yang berbalik arah secara periodik [10]. Selama monsun dingin Asia berlangsung, sering terjadi serukan aliran udara dingin dari dataran tinggi Siberia yang disebut Cold Surge (CS). Aktivitas CS dapat menyebabkan peningkatan curah hujan di Laut Jawa, Kalimantan bagian barat dan wilayah Filipina bagian timur [11]. Selain itu, kondisi topografi Indonesia juga memainkan peran penting dalam pembentukan cuaca dimana efek kekasaran permukaan serta pemanasan matahari yang intens seringkali menimbulkan aliran turbulen di level rendah yang dapat membentuk awan-awan konvektif dalam skala yang lebih kecil.

Akhir-akhir ini, fenomena cuaca ekstrem menjadi perhatian serius terkait dengan isu perubahan iklim. Salah satu indikator terjadinya perubahan iklim adalah trend peningkatan suhu udara permukaan, yang mana ini telah terjadi di Pulau Jawa dalam 30 tahun terakhir (1990-2019) [12]. Selain itu, fenomena cuaca ekstrem seperti hujan ekstrem juga mengalami trend peningkatan untuk beberapa penelitian di sebagian wilayah Indonesia [13-14], terlebih lagi untuk wilayah pesisir [15]. Dalam hal ini, curah hujan tertinggi selama lima tahun terakhir (2016-2020) berdasarkan data laporan cuaca sinoptik terjadi pada tanggal 7 Desember 2018 di Stasiun Meteorologi Cilacap (SMC). Curah hujan tersebut tercatat dalam satu hari sebesar 199,5 mm. Nilai tersebut termasuk dalam kategori hujan ekstrem berdasarkan kategori yang dibuat oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

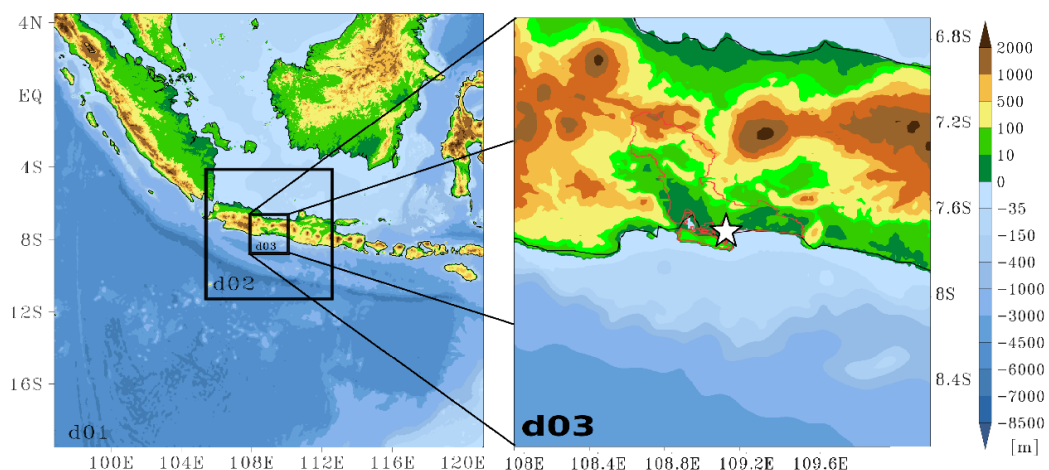
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana dinamika atmosfer skala sinoptik dan skala meso sehingga mendukung terjadinya hujan ekstrem di Cilacap. Fokus analisis dilakukan pada skala sinoptik dan skala meso karena hujan ekstrem dengan durasi yang lama seringkali disebabkan oleh awan-awan yang tumbuh karena sirkulasi atmosfer skala yang lebih luas daripada hanya dipengaruhi oleh konveksi skala lokal. Artikel ini tersusun dari Pendahuluan, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan, serta Kesimpulan.

2. Metode Penelitian

Data historis laporan berita sinoptik dari SMC diperoleh dari database BMKG dengan periode waktu lima tahun terakhir (2016-2020). Dari data tersebut kemudian difilter untuk menemukan akumulasi curah hujan tertinggi dalam satu hari. Dengan demikian, satu kasus diperoleh pada tanggal 7 desember 2018 dengan akumulasi curah hujan dalam satu hari sebesar 199,5 mm. Analisis dilakukan menjadi tiga tahapan yang akan dijelaskan pada paragraf berikut.

Pembahasan pertama kali dilakukan dengan melihat laporan berita dari laman *online*. Hal ini dilakukan untuk melihat dampak yang ditimbulkan dari hujan eksrem ini. Selanjutnya, analisis dilakukan berdasarkan peninjauan berbagai skala sirkulasi atmosfer. Peninjauan atmosfer skala global dilakukan untuk melihat pengaruh yang ditimbulkan oleh fenomena variabilitas iklim yang terjadi secara periodik. Analisis kemudian dilakukan secara mendalam pada skala sinoptik dan skala meso untuk melihat secara lebih detail penyebab terjadinya hujan ekstrem tersebut.

Data model reanalisis digunakan untuk menganalisis sirkulasi atmosfer pada skala sinoptik. Data tersebut diperoleh dari model reanalisis ERA5 dengan resolusi spasial $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ dan resolusi temporal tiap enam jam [16]. Beberapa parameter yang dianalisis antara lain suhu potensial, *relative humidity* (RH), dan angin lapisan 925 mb. Analisis pada skala meso dilakukan dengan menggunakan citra satelit himawari kanal inframerah [17]. Selain itu, simulasi numerik juga digunakan untuk mendapatkan estimasi curah hujan, *convective available potential energy*, dan komponen angin vertikal. Model set up dijelaskan pada paragraf berikut.



Gambar 1. Domain penelitian dengan tanda bintang pada gambar sebelah kanan merupakan pusat nesting model.

Simulasi numerik menggunakan data *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) *Final Analysis* (FNL) dengan resolusi spasial $1^\circ \times 1^\circ$ serta resolusi temporal 6 jam sebagai data input model [18]. Model yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan model *Weather Research and Forecasting-Advance Research* (WRF-ARW) versi 4.0 yang merupakan model simulasi untuk skala meso yang dikembangkan oleh *National Center for Atmospheric Research*

(NCAR). Penelitian ini menerapkan tiga kali nesting domain dengan masing-masing domain sebesar 27, 9, dan 3 km seperti yang tertera pada Gambar 1. Titik tengah pada koordinat $7^{\circ}38'54''$ LS dan $109^{\circ}02'78''$ BT yang merepresentasikan Stamet Cilacap. Skema parameterisasi yang digunakan disesuaikan berdasarkan penelitian Wicaksono & Kurniadi (2017) [19]. Penyesuaian dilakukan pada skema parameterisasi *cumulus*, *microphysics*, dan *planetary boundary layer* masing-masing yaitu skema Kain-Fritsch (KF), Morrison 2–Moment (M2M), dan Mellor–Yamada–Janjic (MYJ). Luaran data WRF kemudian dibandingkan dengan data observasi *Automatic Weather Station* (AWS) SMC dan data *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) untuk curah hujan secara spasial.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Dampak Hujan Ekstrem dan Faktor Skala Global

Kejadian hujan ekstrem yang seringkali terjadi di berbagai wilayah Indonesia dapat menimbulkan berbagai macam bencana. Curah hujan tinggi dengan durasi yang lama berpotensi menimbulkan genangan yang biasa disebut banjir. Hal ini sesuai dengan laporan [20] bahwa hujan sangat lebat dengan durasi yang lama pada tanggal 7 Desember mengakibatkan banjir di sejumlah titik di Kabupaten Cilacap (Gambar 2). Kejadian banjir ini terjadi akibat hujan sangat lebat dengan durasi yang lama selama beberapa hari, dimana pada tanggal 7 Desember banjir sudah mulai surut. Selain hujan sangat lebat dengan durasi yang lama, banjir di wilayah Cilacap seringkali dapat terjadi karena dipengaruhi oleh kondisi topografi wilayah.



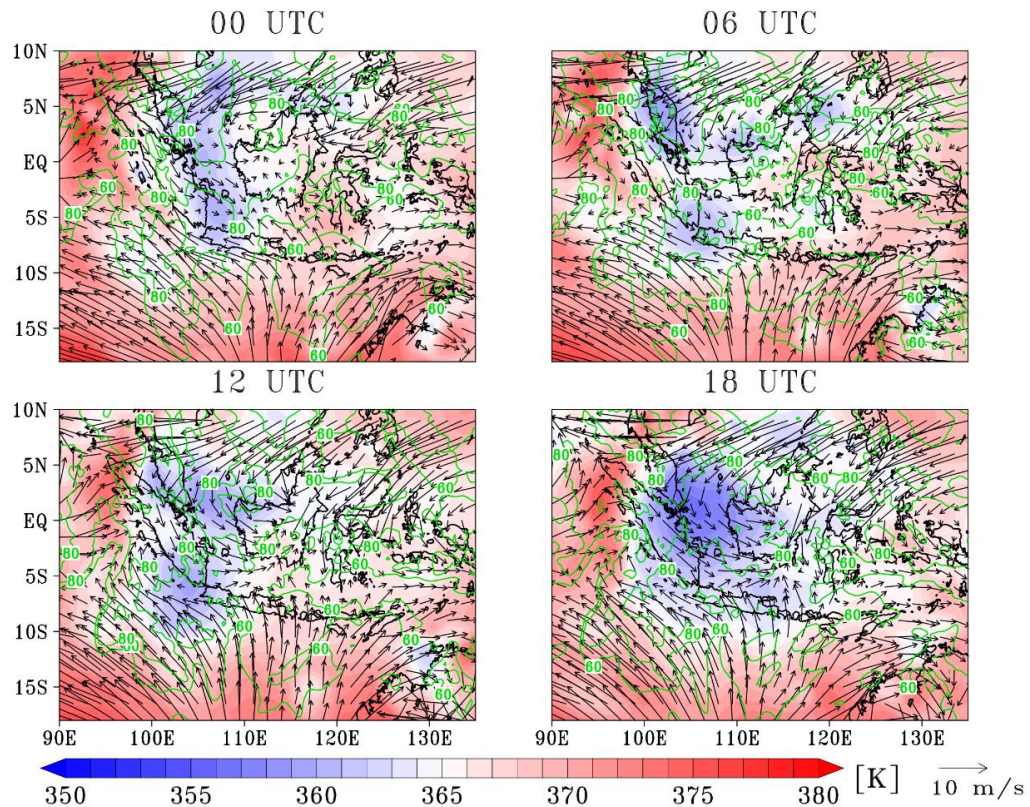
Gambar 2. Banjir yang terjadi di sebagian wilayah Cilacap pada 7 Desember 2018 [20].

Faktor atmosfer skala global dilakukan berdasarkan fenomena ENSO, IOD, dan MJO. Berdasarkan indeks Nino3.4 dan Dipole Mode Index (DMI) diperoleh dari NOAA (www.psl.noaa.gov/gcos_wgsp/) masing-masing bernilai +0.97 dan +0.38 pada bulan Desember yang menandakan bahwa sedang terjadi fenomena El Nino lemah dan IOD yang berada pada fase netral. Selain itu, data monitoring MJO yang diperoleh dari BoM (www.bom.gov.au/climate/mjo/) juga masih berada pada wilayah Samudera Hindia. Dengan demikian, ENSO, IOD, dan MJO tidak berpengaruh pada kejadian hujan ekstrem tanggal 7 Desember 2018.

3.2. Analisis Skala Sinoptik

Analisis skala sinoptik dilakukan dengan fokus bahasan pada profil angin lapisan 925 mb. Lapisan ini dipilih karena merepresentasikan kondisi atmosfer permukaan yang berhubungan langsung dengan dinamika cuaca dibawahnya namun telah

bebas dari gangguan topografi permukaan. Komposit peta sinoptik ditampilkan pada Gambar 3, dimana profil angin di *overlay* dengan suhu potensial permukaan (*shaded*) dan *relative humidity* (RH) lapisan 700 mb.



Gambar 3. Komposit peta sinoptik pada tanggal 7 Desember 2018, dimana *shaded* merupakan suhu potensial, vektor merupakan angin lapisan 925 mb, dan kontur berwarna hijau merupakan kelembapan relatif lapisan 700 mb

Kejadian hujan ekstrem yang terjadi pada bulan Desember bertepatan dengan sedang berlangsungnya musim dingin di Belahan Bumi Utara (Desember-Februari). Selama periode tersebut, sebagian wilayah Indonesia, khususnya bagian barat mengalami musim penghujan. Karakteristik skala sinoptik berdasarkan profil angin adalah bertiup dari arah timur utara (*north easterly*) di Laut China Selatan yang kemudian dibelokkan di wilayah ekuator menjadi arah baratan oleh karena topografi pulau Sumatra. Hal inilah yang menjadikan pada periode waktu ini sering disebut musim angin baratan, karena angin secara umum bertiup dari arah baratan.

Terdapat dua sistem angin yang setidaknya berpengaruh terhadap pembentukan awan penghasil hujan ekstrem yaitu yang berasal dari utara dan dari selatan. Kedua sistem angin ini kemudian bertemu tepat di sebelah utara Pulau Jawa. Aliran massa udara dari utara ini dapat memicu terbentuknya awan konvektif skala meso terutama apabila berinteraksi dengan sirkulasi angin lokal akibat topografi permukaan. Dalam kasus ini, aliran udara dari selatan yang juga cukup kuat intensitasnya menyebabkan daerah konvergensi massa udara yang selanjutnya berpotensi tinggi terbentuk awan-awan konvektif skala meso.

Intensitas kecepatan angin pada Laut Cina Selatan cukup tinggi dengan nilai lebih dari 10 m/s. Namun, propagasi aliran massa udara tersebut membutuhkan waktu untuk sampai ke wilayah Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan nilai kecepatan angin yang tidak terlalu kuat intensitasnya pada pukul 0000 UTC (semua waktu dalam UTC, untuk selanjutnya UTC tidak ditampilkan) (<5 m/s) di wilayah Selat Karimata hingga Laut Jawa. Pukul 0600, kecepatan angin mulai meningkat dengan nilai sekitar 5 m/s di wilayah Selat Karimata, meskipun belum terlalu signifikan di Laut Jawa. Intensitas kecepatan angin kemudian meningkat cukup signifikan pada pukul 1200 dan puncaknya pukul 1800 dengan nilai lebih dari 8 m/s di wilayah Laut Jawa.

Kecepatan angin yang juga cukup kuat dari arah selatan mendukung konvergensi dan memicu awan *deep convective* dengan meningkatkan adveksi udara hangat di Pulau Jawa bagian selatan. Terjadinya adveksi hangat ini ditunjukkan oleh suhu potensial yang lebih tinggi dari arah selatan daripada di wilayah Pulau Jawa. Kecepatan angin yang tinggi menunjukkan adanya sistem konvektif skala meso yang cukup besar karena kecepatan angin yang kuat meningkatkan adveksi hangat ke daerah *deep convective* [21]. Hal ini dibuktikan dengan pertumbuhan awan yang cukup masif di Pulau Jawa bagian selatan mulai pukul 0900 (Gambar 6.a) yang kemudian semakin masif pertumbuhannya pada pukul 1800 (Gambar 6.e) seiring dengan meningkatnya angin yang berasal dari selatan disertai dengan serukan massa udara dingin yang berasal dari utara (Gambar 3).

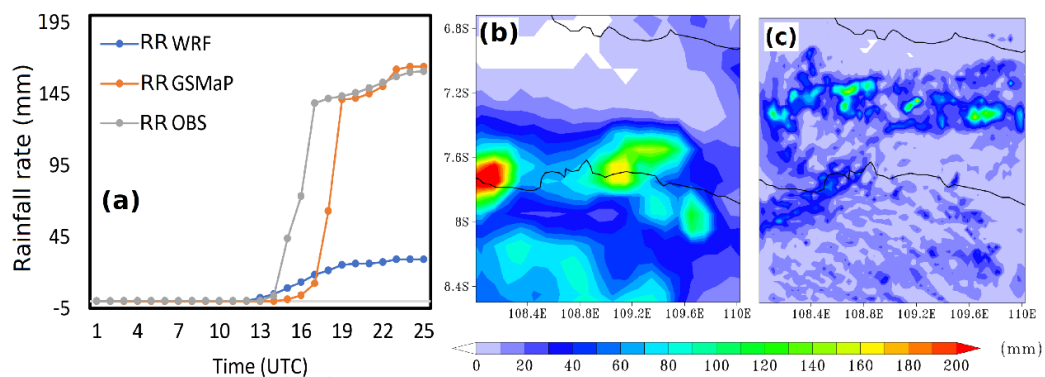
Aliran massa udara yang berasal dari utara bersifat dingin karena berasal dari dataran tinggi Asia yang juga sedang mengalami musim dingin. Namun, memiliki kandungan uap air yang cukup melimpah karena penjarannya melewati perairan luas yang merupakan sumber uap air yang dihasilkan dari penguapan air laut (dibuktikan dengan nilai RH lebih dari 80%). Hal ini semakin didukung dengan kondisi suhu muka laut yang hangat dengan anomali lebih dari 1°C (gambar tidak ditampilkan). Aliran massa udara ini apabila kuat intensitasnya dapat berpropagasi melewati ekuator yang kemudian disebut sebagai *cross equatorial northerly surge* (CENS) [11]. Wu, et al (2007) [22] menemukan bahwa fenomena *trans ekuatorial* ini menjadi penyebab utama terjadinya hujan ekstrem dengan durasi yang lama meskipun tanpa adanya pengaruh dari fenomena variabilitas iklim yang lain seperti ENSO, IOD, dan MJO.

3.3. Analisis Skala Meso

3.3.1. Model WRF

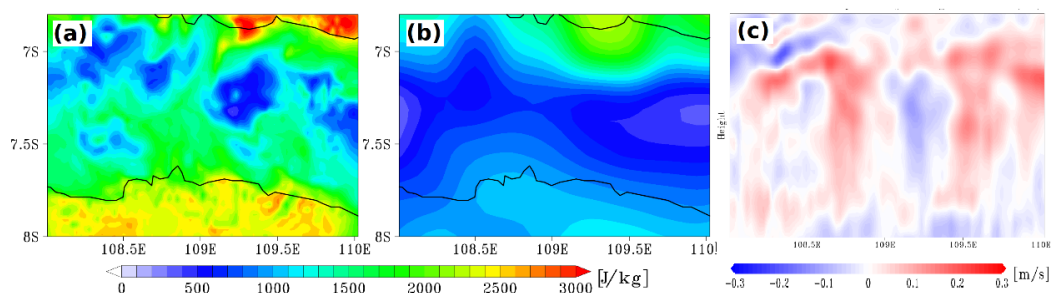
Luaran model WRF yang akan dianalisis adalah curah hujan dan *convective available potential energy* (CAPE). Curah hujan, baik secara temporal maupun spasial dianalisis terlebih dahulu untuk mengetahui performa model dalam mengestimasi curah hujan dalam satu hari. Perbandingan secara temporal di SMC ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4.a. Metode statistik sederhana menggunakan *root mean square error* dan *mean absolute error* masing-masing menghasilkan nilai 9.94 dan 48.6. Kedua nilai tersebut menandakan bahwa model WRF belum dapat mengestimasi curah hujan sesuai dengan nilai yang sebenarnya berdasarkan skema parameterisasi yang digunakan dalam penelitian ini. Hal ini dibuktikan dengan cukup jelas bahwa nilai curah hujan yang dihasilkan dari luaran WRF sangat *underestimate* dengan selisih secara akumulatif sebesar 48,3 mm.

Sementara itu, obsevasi satelit GSMaP cukup baik dalam mengestimasi curah hujan, baik secara temporal maupun pola spasial akumulatif dalam dua puluh empat jam.



Gambar 4. (a) Perbandingan curah hujan pada SMC untuk WRF, GSMaP, dan observasi. Perbandingan curah hujan spasial antara (b) satelit GSMaP dan (c) luaran model WRF

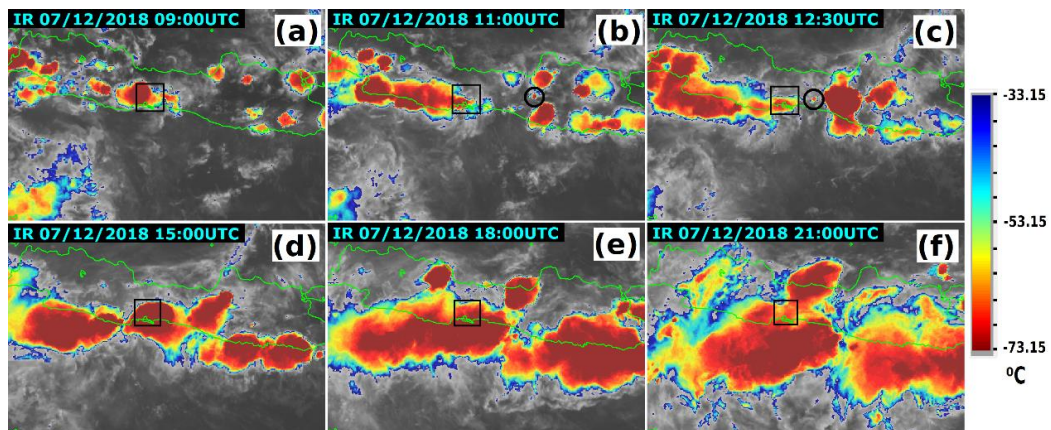
Nilai CAPE cukup penting untuk dianalisis karena digunakan sebagai bahan parameterisasi konvektif, dalam hal ini untuk skema KF. Nilai CAPE dibandingkan secara spasial pada pukul 1200 dengan model reanalisis ERA5 pada Gambar 5.a-b. terlihat dengan jelas bahwa terdapat perbedaan antara WRF dengan ERA5, dimana luaran model WRF lebih detail dalam membedakan nilai CAPE untuk wilayah-wilayah tertentu. Selain itu, terdapat perbedaan nilai secara keseluruhan, dimana WRF mengestimasi nilai CAPE lebih dari 1500 J/kg sedangkan ERA5 hanya sebesar 500 J/kg. Nilai CAPE yang dihitung berdasarkan observasi radiosonde di SMC tidak terlalu tinggi nilainya, yaitu hanya sebesar 435.6 J/kg. Nilai yang tidak terlalu tinggi ini kemungkinan disebabkan oleh adanya sistem awan Cb yang sangat masif tepat diatas titik pengamatan, sehingga radiosonde hanya mampu mengamati atmosfer sampai sekitar ketinggian 500 mb (gambar tidak ditampilkan). Sementara itu, gerakan udara ke atas dan kebawah dapat terlihat pada Gambar 5.c. Nilai positif (negatif) menandakan adanya pergerakan udara ke atas (ke bawah) yang berkaitan dengan pertumbuhan (peluruhan) awan.



Gambar 5. CAPE yang divisualisasikan dalam bentuk peta spasial untuk (a) model WRF dan (b) ERA5 serta (c) komponen angin vertikal (w) pada pukul 1200 UTC. Komponen angin vertikal ditampilkan dalam grafik hovmoller untuk rata-rata latitude 7.7S hingga 7S, dimana x axis menandakan bujur sedangkan y axis menandakan ketinggian

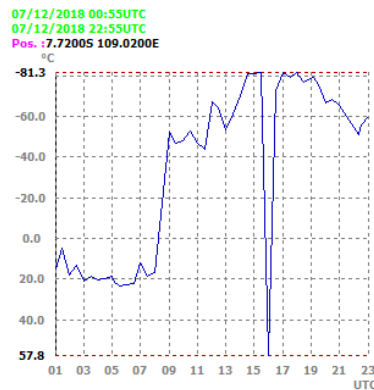
3.3.2. Citra Satelit Himawari-8

Citra satelit himawari-8 kanal infra merah ditampilkan pada Gambar 6 untuk waktu-waktu terpilih. Pertumbuhan awan konvektif pertama kali terjadi sekitar pukul 0630, dimana awan pertama kali tumbuh di dataran tinggi (gambar tidak ditampilkan). Tumbuhnya awan disekitar dataran tinggi ini sesuai dengan pola diurnal konvektif di Pulau Jawa, dimana prosesnya dipengaruhi oleh pemanasan lokal dan perbedaan topografi wilayah [22]. Pertumbuhan awan tersebut terus berlanjut hingga memasuki fase matang sekitar pukul 0900 (Gambar 6.a). Ini merupakan awan konvektif pertama yang muncul di wilayah Cilacap. Pukul 1100, awan tersebut mulai meluruh secara keseluruhan bersamaan dengan tumbuhnya awan konvektif baru dengan jarak yang cukup jauh dengan wilayah Cilacap (ditandai dengan lingkaran pada Gambar 6.b). Awan tersebut kemudian bergerak ke barat daya menuju wilayah Cilacap. Hal ini hampir sama dengan kasus hujan sangat lebat penyebab banjir yang terjadi pada 17 November 2020, meskipun ukuran awan konvektif yang tidak semasif pada kasus ini [23].



Gambar 6. Citra satelit himawari-8 kanal ir pada tanggal 7 desember 2018. Kotak berwarna hitam merupakan wilayah cilacap, sedangkan lingkaran hitam pada gambar b dan c menandakan pertumbuhan awal awan konvektif yang berbeda

Pukul 1230, terdapat pertumbuhan awan baru yang terindra oleh satelit (Gambar 6.c) bersamaan dengan fase matang untuk awan sebelumnya, keduanya berjarak cukup jauh. Pergerakan awan kedua yang menuju arah barat daya kemudian bergabung dengan awan yang ketiga. Kedua awan tersebut kemudian membentuk suatu sistem awan konvektif skala meso yang bertahan cukup lama. Pukul 1500, sistem awan tersebut telah berada tepat di wilayah Cilacap yang kemudian bertahan di wilayah tersebut hingga pukul 2100 yang mulai bergerak perlahan menuju perairan selatan Jawa, namun tetap berpengaruh di wilayah Cilacap. Sistem awan konvektif skala meso ini cukup masif yang ditunjukkan dengan nilai suhu puncak awannya lebih rendah dari -80°C (time series suhu puncak awan pada Gambar 7). Dengan demikian, masa hidup sistem awan konvektif yang bertahan hingga lebih dari enam jam ini jelas sangat potensial dalam menimbulkan hujan ekstrem dengan durasi yang lama.



Gambar 7. Time series suhu puncak awan di titik SMC. Perlu diperhatikan pada pukul 1600 UTC terdapat data hilang sehingga nilai suhu puncak awan tidak sesuai dengan yang semestinya

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji dinamika atmosfer penyebab hujan ekstrem yang terjadi pada 7 Desember 2018 di Stasiun Meteorologi Cilacap dengan fokus pembahasan pada analisis skala sinoptik dan skala meso. Hal ini dilakukan karena hujan ekstrem yang terjadi dalam waktu yang lama biasanya disebabkan oleh awan-awan yang tumbuh karena sirkulasi skala yang lebih luas daripada hanya dipengaruhi oleh konveksi skala lokal. Sirkulasi atmosfer skala sinoptik menunjukkan bahwa terdapat pertemuan dua massa udara yaitu dari utara dan dari selatan yang terjadi di pulau jawa. Keduanya memiliki intensitas yang cukup kuat. Hal yang patut digarisbawahi adalah aliran massa udara dari utara ini merupakan hasil dari seruakan dingin yang berasal dari dataran tinggi Asia yang berpropagasi hingga melewati ekuator. Selain itu, kecepatan angin yang cukup kuat dari arah selatan mendukung konvergensi dan memicu awan *deep convective* dengan meningkatkan adveksi udara hangat di Pulau Jawa bagian selatan, khususnya dalam hal ini daerah Cilacap. Analisis skala meso dilakukan menggunakan simulasi numerik untuk mengestimasi curah hujan secara spasial serta menggunakan citra satelit Himawari-8. Simulasi numerik yang dilakukan menggunakan model *Weather Research and Forecasting* dengan penyesuaian skema parameterisasi tertentu belum mampu mengestimasi curah hujan dengan cukup baik dengan nilai yang underestimate dibandingkan dengan data observasi. Berdasarkan citra satelit himawari-8, terpantau dengan jelas bahwa awan yang terbentuk merupakan sistem awan konvektif skala meso dengan masa hidup lebih dari enam jam. Pertumbuhan awan tersebut cukup masif yang ditandai dengan nilai suhu puncak awan lebih rendah dari -80°C pada fase matang. Dengan demikian, curah hujan yang dihasilkan termasuk hujan ekstrem sehingga mengakibatkan banjir di sebagian wilayah Cilacap.

Daftar Pustaka

1. C. S. Ramage, "Role of a Tropical 'Maritime Continent' in the Atmospheric Circulation," *Mon. Weather Rev.*, vol. 96, no. 6, pp. 365–370, 1968, doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1968\)096%3C0365:ROATMC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1968)096%3C0365:ROATMC%3E2.0.CO;2).

2. E. Mulyana, "Hubungan Antara ENSO dengan Variasi Curah Hujan di Indonesia," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 3, no. 1, pp. 1–4, 2002.
3. J. McBride, M. Haylock, and N. Nicholls, "Relationships between the Maritime Continent Heat Source and the El Niño–Southern Oscillation Phenomenon," *J. Clim.*, vol. 16, Sep. 2003, doi: 10.1175/1520-0442(2003)016<2905:RBTMCH>2.0.CO;2.
4. C.-P. Chang, Z. Wang, J. Ju, and T. Li, "On the Relationship between Western Maritime Continent Monsoon Rainfall and ENSO during Northern Winter," *J. Clim.*, vol. 17, pp. 665–672, Feb. 2004, doi: 10.1175/1520-0442(2004)017<0665:OTRBWM>2.0.CO;2.
5. Z. X. Xu, K. Takeuchi, and H. Ishidaira, "Correlation between El Niño–Southern Oscillation (ENSO) and precipitation in South-east Asia and the Pacific region," *Hydrol. Process.*, vol. 18, no. 1, pp. 107–123, Jan. 2004, doi: <https://doi.org/10.1002/hyp.1315>.
6. E. Aldrian, L. Dümenil Gates, and F. H. Widodo, "Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses: The role of ENSO," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 87, no. 1, pp. 41–59, 2007, doi: 10.1007/s00704-006-0218-8.
7. J. H. Qian, A. W. Robertson, and V. Moron, "Interactions among ENSO, the Monsoon, and Diurnal Cycle in Rainfall Variability over Java, Indonesia," *J. Atmos. Sci.*, vol. 67, no. 11, pp. 3509–3524, 2010, doi: 10.1175/2010JAS3348.1.
8. S. Hameed, B. N. Goswami, P. Vinayachandran, and T. Yamagata, "A dipole mode in the Tropical Indian Ocean," *Nature*, vol. 401, pp. 360–363, Oct. 1999, doi: 10.1038/43854.
9. R. Madden and P. Julian, "Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40–50 Day Period," *J. Atmos. Sci.*, vol. 29, no. 9, pp. 1109–1123, 1972.
10. A. Zakir, W. Sulistya, and M. Khotimah, *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*. Jakarta: BMKG, 2010.
11. M. Hattori, S. Mori, and J. Matsumoto, "The Cross-Equatorial Northerly Surge over the Maritime Continent and Its Relationship to Precipitation Patterns," *J. Meteorol. Soc. Japan. Ser. II*, vol. 89A, pp. 27–47, 2011, doi: 10.2151/jmsj.2011-A02.
12. S. Prasetyo, U. Hidayat, Y. D. Haryanto, and N. F. Riama, "Variasi dan Trend Suhu Udara Permukaan di Pulau Jawa," *J. Geogr. Media Media Inf. Pengemb. dan Profesi Kegeografian*, vol. 18, no. 1, pp. 60–68, 2021, doi: 10.15294/jg.v18i1.27622.
13. M. J. Manton et al., "Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961–1998," *Int. J. Climatol.*, vol. 21, no. 3, pp. 269–284, Mar. 2001, doi: <https://doi.org/10.1002/joc.610>.
14. S. Siswanto, G. J. van Oldenborgh, G. van der Schrier, R. Jilderda, and B. van den Hurk, "Temperature, extreme precipitation, and diurnal rainfall changes in the urbanized Jakarta city during the past 130 years," *Int. J. Climatol.*, vol. 36, no. 9, pp. 3207–3225, 2016, doi: 10.1002/joc.4548.
15. E. Aldrian, "Decreasing trends in annual rainfalls over Indonesia: A threat for the national water resource?," *J. Meteorol. dan Geofisika*, vol. 7, pp. 40–49, Apr. 2007.

16. H. Hersbach et al., "The ERA5 global reanalysis," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 146, no. 730, pp. 1999–2049, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
17. K. Bessho et al., "An introduction to Himawari-8/9 — Japan's new-generation geostationary meteorological satellites," *J. Meteorol. Soc. Japan*, vol. 94, no. 2, pp. 151–183, 2016, doi: 10.2151/jmsj.2016-009.
18. NCEP, "NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999." Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory, Boulder, CO, 2000, doi: 10.5065/D6M043C6.
19. S. U. Wicaksono and A. Kurniadi "Parameterizing the Scheme of Convective Microphysics and Planetary Boundary Layer Using WRF-ARW for a Very Heavy Rain Event in Cilacap Meteorological Station (A case study on October 8th, 2016)," Indonesian State College of Meteorology Climatology and Geophysics, 2017.
20. S. Febrianto and K. Muzaki, "Banjir di 13 Desa 4 Kecamatan di Cilacap Berangsur Surut," 2018. [Online]. Available: <https://www.tribunnews.com/regional/2018/12/07/banjir-di-13-desa-4-kecamatan-di-cilacap-berangsur-surut>.
21. D. E. Nuryanto, H. Pawitan, R. Hidayat, and E. Aldrian, "Characteristics of two mesoscale convective systems (MCSs) over the Greater Jakarta : case of heavy rainfall period 15 – 18 January 2013," *Geosci. Lett.*, pp. 1–15, 2019, doi: 10.1186/s40562-019-0131-5.
22. P. Wu et al., "The impact of trans-equatorial monsoon flow on the formation of repeated torrential rains over java Island," *Sci. Online Lett. Atmos.*, vol. 3, no. February, pp. 93–96, 2007, doi: 10.2151/sola.2007-024.
23. S. Prasetyo, M. I. S. Maulana, and A. Zakir, "Tinjauan Meteorologis Pada Fenomena Hujan Lebat Penyebab Banjir (Studi Kasus: Cilacap, 16-17 November 2020 Dan Kendal, 19 November 2020)," *J. Mater. dan Energi Indones.*, vol. 10, no. 9, pp. 37–48, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.unpad.ac.id/jmei/article/view/31575>.

PEMETAAN TINGKAT KERAWANANAN BANJIR MENGUNAKAN METODE SCORING DAN METODE OVERLAY BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI KOTA JAMBI

LUSI PRYASTUTI¹, RUSTAN^{1*}, NASRI MZ²

¹*Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi
Jl. Jambi-Ma.Bulian 36361, Muaro Jambi, Jambi*

*Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi
Jl. Jambi-Ma.Bulian 36361, Muaro Jambi, Jambi*

*email : rustan.rustan@unja.ac.id

Abstrak. Penelitian ini mengenai pemetaan kerawanan banjir di kota Jambi berbasis Sistem Informasi Geospasial (SIG). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerawanan banjir, persebaran lokasi banjir, dan luasan daerah rawan banjir di kota Jambi. Parameter yang digunakan antara lain parameter kemiringan lahan atau lereng, parameter ketinggian, parameter tutupan lahan, parameter jenis tanah, dan parameter curah hujan tahun 2019. Metode yang digunakan adalah metode penskoran (scoring) dan metode tumpang-tindih (overlay) dengan bantuan perangkat lunak ArcGis. Tingkat kerawanan banjir diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu kategori cukup rawan, kategori rawan, dan kategori sangat rawan. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagian besar Kota Jambi memiliki tingkat kerawanan banjir pada kategori rawan yaitu seluas 9254.82 ha (58%), sedangkan untuk wilayah yang didominasi cukup aman terhadap banjir adalah kecamatan Jambi Selatan yaitu seluas 2849.14 ha (18%). Hal ini menunjukkan lebih setengah dari luas wilayah kota Jambi adalah daerah yang rawan banjir sehingga sangat penting untuk melakukan tindakan mitigasi baik mitigasi struktural maupun mitigasi non struktural.

Kata kunci: Banjir, Metode Penskoran, Metode Tumpang Tindih, GIS, Pemetaan

Abstract. This research is about flood vulnerability mapping in Jambi City based on Geographic Information System (GIS). This study is aiming to find out the flood vulnerability level, spatial distribution of flood, and flood prone areas in Jambi City. We used five parameters that affect flood vulnerability, including land slope, land level, land use, soil type, and rainfall during 2019. The method used is the scoring and overlay method with the help of ArcGis software. Flood vulnerability level was divided into three categories, namely quite vulnerable, vulnerable, and very vulnerable. The results obtained in this study are that most of Jambi City has a level of flood vulnerability in the vulnerable category, which is an area of 9254.82 ha (58%), while for the area that is dominated quite safe from flooding, Jambi Selatan sub-district, is 2849.14 ha (18%). This shows that more than half of the Jambi city area is a flood-prone area so it is very important to carry out structural and non-structural mitigation actions.

Keywords: Flood, Scoring, Overlay, GIS, Mapping

1. Pendahuluan

Banjir merupakan peristiwa yang terjadi karena genangan di daratan sebagai akibat dari luapan air dari sungai yang debit airnya melebihi kapasitas perairannya [1]. Selain akibat dari limpahan sungai, genangan banjir juga dipengaruhi beberapa

faktor seperti kondisi topografi wilayah yang relatif rendah, terjadinya air laut pasang, berkurangnya kawasan resapan air karena alih fungsi lahan, penggundulan hutan, membuang sampah di sungai, dan mendirikan rumah di bantaran sungai [2]–[4]. Tumpukan sampah tersebut mengakibatkan aliran air tidak lancar dan terhambatnya proses aliran air, serta dapat menimbulkan pendangkalan sungai. Akibatnya pada saat terjadi hujan lebat air tidak dapat tertampung oleh drainase sehingga dapat menimbulkan banjir pada lokasi pemukiman penduduk. Banjir mengakibatkan rusaknya sarana dan prasarana fisik seperti rumah, tempat ibadah, sekolah, dan gangguan kesehatan [5].

Upaya untuk mengurangi risiko bencana banjir dapat dilakukan dengan melakukan pencegahan atau mitigasi bencana. Mitigasi dalam bencana banjir terbagi menjadi dua macam, yaitu mitigasi secara struktural dan secara non struktural. Dalam mitigasi struktural ada beberapa upaya yang dapat dilakukan seperti membangun tembok pertahanan dan tanggul, serta mengatur kecepatan aliran dan debit air. Mitigasi non struktural dapat dilakukan dengan cara memberikan pelatihan dan penyuluhan, evaluasi tempat rawan banjir, menganalisis data-data yang berkaitan dengan banjir, serta membuat *mapping* (membuat peta untuk daerah rawan banjir) [6]. Pemetaan ini dapat menggunakan bantuan Sistem Informasi Geografis dengan memanfaatkan perangkat lunak *ArcGis*, sehingga dapat menghasilkan peta daerah rawan banjir sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Sistem Informasi Geografis (SIG) memiliki kemampuan untuk menyimpan, mengelola dan menampilkan informasi dalam bentuk grafis dengan menggunakan peta [7]. Penelitian terkait pemetaan potensi bencana alam menggunakan SIG sudah banyak dilakukan antara lain pemetaan kerawanan longsor, pemetaan kerawanan gempa bumi, pemetaan kerawanan titik panas yang berpotensi menjadi kebakaran hutan, dan pemetaan kerawanan banjir [8]–[11]. Berdasarkan pada beberapa penelitian sebelumnya penulis tertarik melakukan penelitian mengenai pemetaan daerah rawan banjir di kota Jambi menggunakan metode *scoring* dan *overlay*. Metode *scoring* pada prinsipnya yaitu menghitung bobot dari setiap parameter yang digunakan diantaranya curah hujan, kepadatan sungai, jenis tanah, kemiringan lahan, penggunaan lahan, serta ketinggian atau elevasi. Setelah dilakukan pembobotan langkah selanjutnya adalah proses *overlay* dimana dalam metode ini akan menampilkan peta digital beserta atributnya dan menghasilkan peta gabungan dari setiap parameter yang telah dipilih yang nantinya akan di analisa menggunakan SIG.

2. Metode Penelitian

Objek penelitian ini adalah kota Jambi yang merupakan ibu kota Provinsi Jambi. Kota Jambi terdiri dari 8 kecamatan dan dilalui oleh sungai besar yaitu sungai Batanghari. Pemetaan kerawanan banjir kota Jambi berbasis Sistem Informasi Geografis, yang dibagi menjadi tiga tahap yaitu pembangunan basis data, analisis data, dan penyajian hasil analisis, yang diawali dengan pengumpulan data peta pendukung, studi pustaka serta pengolahan data sekunder yang berkaitan dengan kejadian banjir. Data yang dibutuhkan antara lain data shp kemiringan lahan, data shp ketinggian lahan, data shp tutupan lahan, data shp jenis tanah, dan data curah hujan. Peta pendukung yang dibutuhkan antara lain peta shp administrasi kota Jambi. Data-data tersebut merupakan data sekunder yang diakses di situs www.indonesia-geospasial.com dan data curah hujan diakses melalui situs BMKG di <http://dataonline.bmkg.go.id/home>.

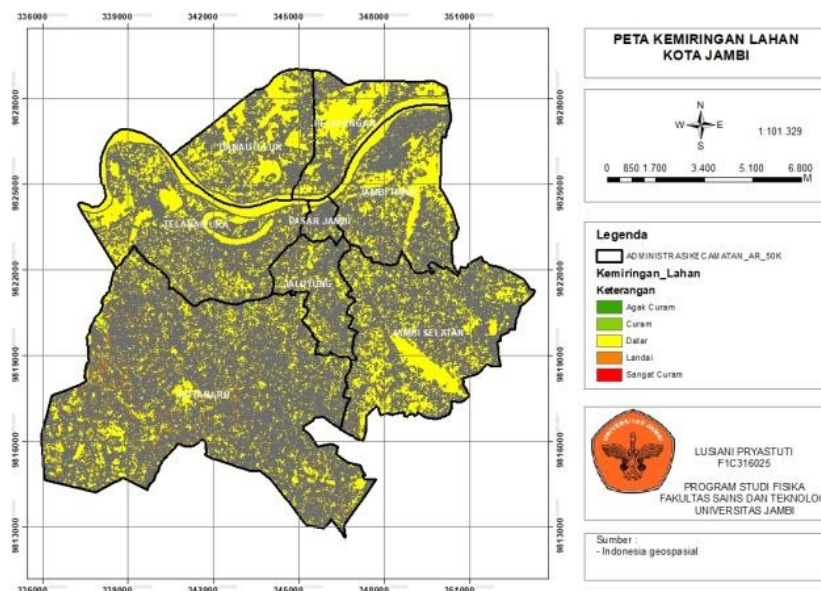
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kemiringan Lahan

Tabel 2. Luasan Kemiringan Lahan Kota Jambi

No	Kemiringan (%)	Keterangan	Luas (Ha)
1	0 – 8	Datar	10596.8
2	> 8 – 15	Landai	4815.5
3	> 15 – 25	Agak curam	1453.2
4	> 25 – 45	Curam	217.4
5	> 45	Sangat curam	6.06

Sumber : Hasil Digitasi Peta Kemiringan Lahan

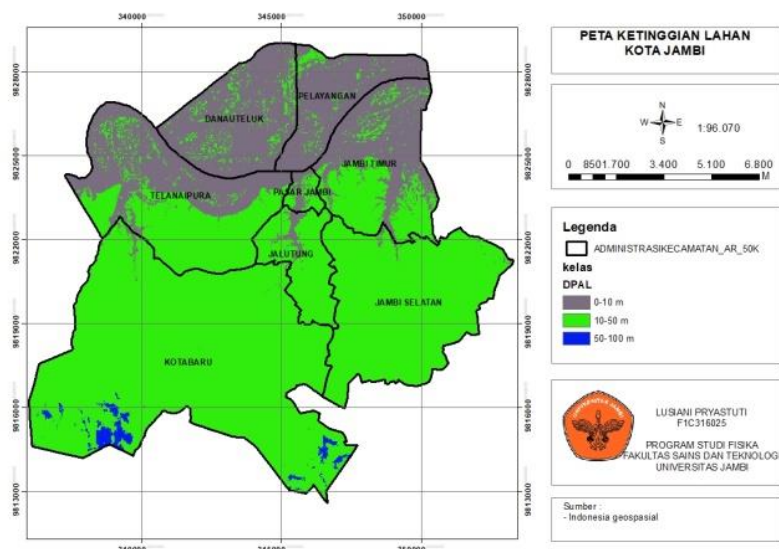


Gambar 2. Peta Kemiringan Lahan Kota Jambi

Berdasarkan pada gambar 2 menunjukkan bahwa Kota Jambi dengan kemiringan 0 – 8 % dengan kategori datar memiliki luasan yang paling besar yaitu sekitar 10596.8 ha dari luas dari luas total wilayah kota Jambi. Wilayah tersebut meliputi keseluruhan kecamatan yang ada di kota Jambi yaitu Kecamatan Danau Teluk, Kecamatan Pelayangan, Kecamatan Telanaipura, Kecamatan Kota Baru, Kecamatan Pasar Jambi, Kecamatan Jambi Timur, serta Kecamatan Jambi Selatan. Kategori dengan luasan paling kecil adalah kategori sangat curam dengan kemiringan >45% dengan luasan sekitar 6.06 ha terdapat pada Kecamatan Danau Teluk, Kecamatan Pelayangan, Kecamatan Pasar Jambi, dan Kecamatan Telanaipura.

3.2. Ketinggian Lahan

Ketinggian atau yang biasa disebut elevasi merupakan posisi vertikal suatu objek dari suatu titik tertentu, atau yang biasa digunakan adalah permukaan laut yang disingkat menjadi dpl, dengan satuan yang umum digunakan adalah mdpl (meter di atas permukaan laut). Pada penelitian ini, ketinggian atau elevasi kota Jambi terbagi menjadi tiga kategori yaitu 0 – 10 mdpl, 10 – 50 mdpl dan 50 – 100 mdpl.

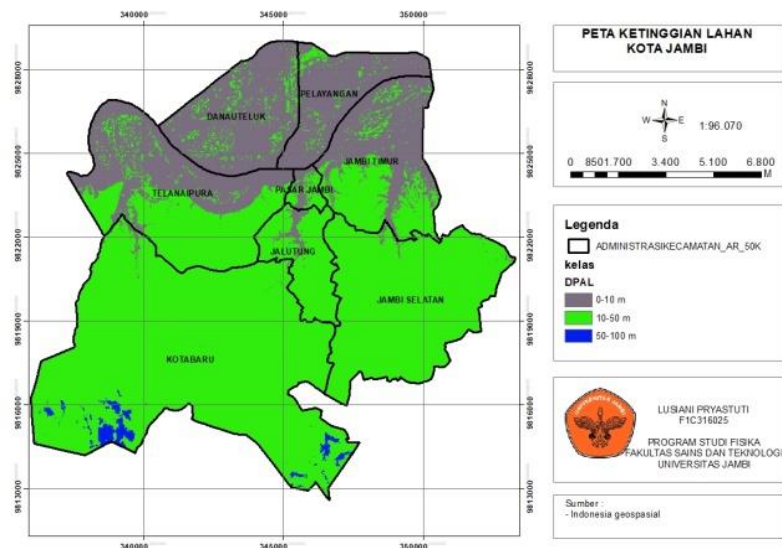


Gambar 3. Peta Ketinggian Kota Jambi

Berdasarkan gambar 3 dapat dikatakan bahwa elevasi kota Jambi didominasi pada ketinggian 10 – 50 mdpl. Ketinggian tersebut terdapat di Kecamatan Jelutung, Kecamatan Jambi Selatan, Kecamatan Telanaipura, sebagian besar dari Kecamatan Pasar Jambi, dan sebagian besar Kecamatan Jambi Timur. Kecamatan yang berada di daerah pinggiran sungai berada pada ketinggian 0 – 10 mdpl yaitu Kecamatan Danau Teluk dan Kecamatan Pelayangan. Kecamatan tersebut termasuk dalam kategori wilayah yang rawan banjir. Selain ketinggian lahan yang cukup rendah, namun juga Kecamatan tersebut sangat dekat aliran sungai yang menyebabkan mudah terendam air saat curah hujan melebihi kapasitasnya. Ketinggian lahan 50 – 100 mdpl hanya berada di Kecamatan Kota Baru.

3.3. Penggunaan Lahan

Berdasarkan gambar 4 dapat dikatakan bahwa sebagian besar wilayah kota Jambi lahannya digunakan sebagai pemukiman ataupun tempat kegiatan, khususnya pada Kecamatan Pasar Jambi, Kecamatan Telanaipura, Kecamatan Jambi Timur, Kecamatan Jambi Selatan dan Kecamatan Jelutung. Selain itu, untuk pemanfaatan lahan yang paling sedikit adalah lahan hutan rimba hanya berada di Kecamatan Jambi Timur, Kecamatan Kota Baru dan Kecamatan Jambi Selatan. Daerah yang berada di dekat sungai yaitu Kecamatan Pelayangan dan Kecamatan Danau Teluk sebagian besar lahannya digunakan untuk persawahan dan perkebunan.



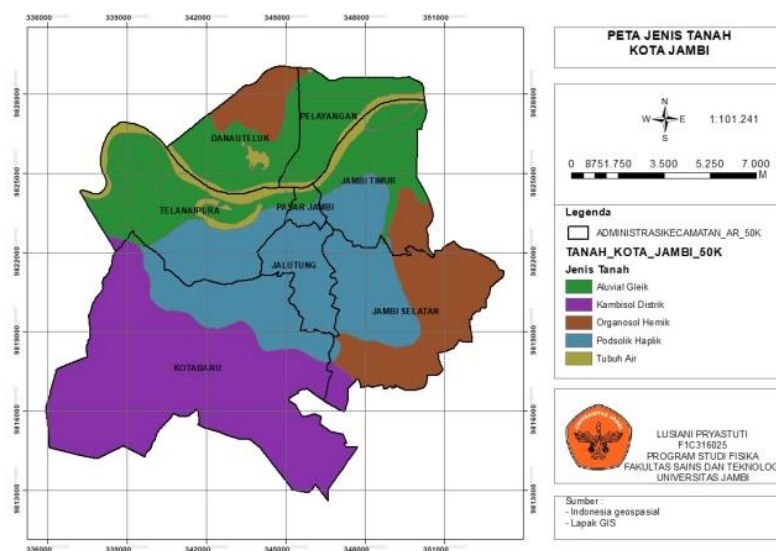
Gambar 4. Peta Penggunaan Lahan Kota Jambi

3.4. Jenis Tanah

Tabel 3. Jenis Tanah Kota Jambi dan Luasannya

No	Jenis tanah	Luas (ha)
1	Alluvial gleik	738.8
2	Kambisol distrik	4543.5
3	Organosol saprik	2486.5
4	Podsolik haplik	5248.3

Sumber : Hasil Digitasi Peta Jenis Tanah



Gambar 5. Peta Jenis Tanah Kota Jambi

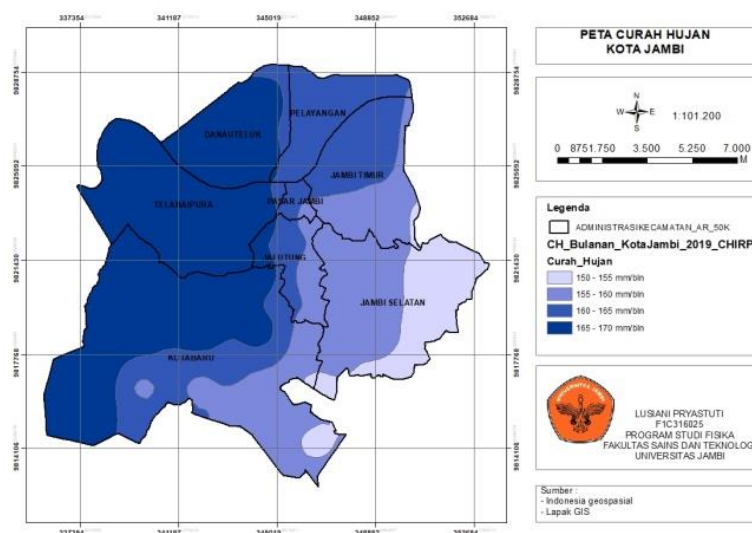
Berdasarkan Gambar 5 dapat dikatakan bahwa terdapat jenis tanah yang paling dominan di kota Jambi adalah jenis tanah podsolik haplik dengan luas area sekitar 5248.3 ha yang terdapat di beberapa Kecamatan diantaranya adalah Kecamatan Jelutung, Kecamatan Pasar, Kecamatan Jambi Timur, Kecamatan Jambi Selatan, Kecamatan Telanaipura, dan Kecamatan Kota Baru. Jenis tanah dengan luas area paling sedikit adalah jenis tanah alluvial gleik dengan luas 738.8 ha, berada di Kecamatan danau Teluk, Kecamatan Jambi Timur, dan Kecamatan Jambi Selatan.

3.5. Curah Hujan

Tabel 4. Curah Hujan Kota Jambi Tahun 2019

No	Curah Hujan	Luas (ha)
1	150 - 155 mm/bln	1496.02
2	155 - 160 mm/bln	4272.4
3	160 - 165 mm/bln	3943.97
4	165 - 170 mm/bln	7477.4

Sumber : Hasil Digitasi Peta Curah Hujan



Gambar 6. Peta Curah Hujan Kota Jambi Tahun 2019

Berdasarkan Gambar 6 dapat dikatakan bahwa sepanjang tahun 2019 curah hujan paling tinggi Kota Jambi terjadi di kecamatan Kota Baru, kecamatan Telanaipura, dan kecamatan Danau Teluk yaitu sekitar 165 - 170 mm/bln dengan luas area 7477.4 ha. Curah hujan paling rendah yaitu 150 - 155 mm/bln terjadi di sebagian kecil Kecamatan Kota Baru, sebagian Kecamatan Jambi Selatan.

3.6. Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kota Jambi

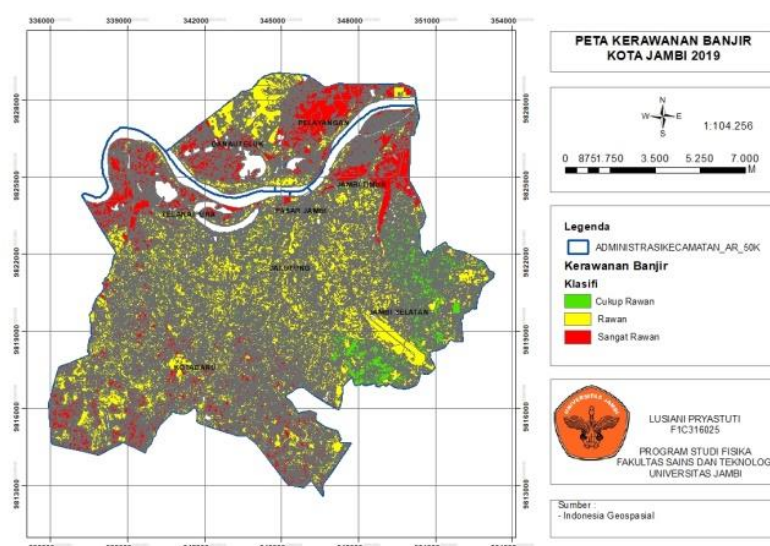
Tingkat kerawanan banjir di kota Jambi dikategorikan menjadi 3 jenis yaitu kategori rawan, kategori cukup rawan dan kategori sangat rawan. Masing-masing kategori tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

Daerah dengan kategori banjir sangat rawan merupakan daerah yang menjadi pusat rawan banjir yang paling sering terjadi. Kategori sangat rawan berada di Kecamatan Pelayangan, memiliki luas wilayah sekitar 15.29 km² serta sangat dekat dengan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Batanghari. Dari data yang diperoleh bahwa Kecamatan ini berada pada ketinggian 0 – 10 mdpl, dengan kemiringan lereng 15-25% atau kategori cukup curam, dengan jenis tanahnya merupakan jenis aluvial gleik, curah hujan untuk wilayah ini adalah sebesar 160 – 165 mm/bulan, serta lahannya didominasi oleh semak belukar.

Daerah banjir dengan kategori rawan merupakan daerah yang memiliki luas wilayah sekitar 77.78 km² adalah kecamatan Kota Baru. Daerah ini memiliki kemiringan lereng antara 15 – 25 % atau di kategorikan cukup curam, dengan ketinggian lahan berada antara 10 – 50 mdpl, untuk curah hujannya adalah kategori hujan menengah berkisar antara 165 – 170 mm/bulan, serta lahan wilayah tersebut umumnya digunakan sebagai pemukiman penduduk, tempat kegiatan serta semak belukar.

Daerah dengan kategori banjir cukup rawan di dominasi oleh kecamatan Jambi Selatan yang memiliki luas wilayah sekitar 34.07 km². Daerah ini berada pada kemiringan lereng 15 – 25 %, diperoleh data curah hujannya berkisar antara 150 – 160 mm/bulan dengan kategori hujan menengah, untuk jenis tanah umumnya jenis organosol hemik, dan penggunaan lahannya di dominasi oleh pemukiman penduduk serta tempat kegiatan lainnya.



Gambar 7. Peta Kerawanan Banjir di Kota Jambi

3.7. Persebaran Lokasi Rawan Banjir di Kota Jambi

Kota Jambi merupakan salah satu kabupaten/kota yang ada di Provinsi Jambi, dimana daerah ini dapat dikatakan sering mengalami bencana banjir, khususnya untuk wilayah yang dekat dengan Sungai Batanghari seperti Kecamatan Telanaipura, Kecamatan Danau Teluk, Kecamatan Pelayangan, serta Kecamatan Jambi Timur. Namun yang paling rawan adalah Kecamatan Pelayangan. Selain datarannya yang rendah juga padat penduduk, sehingga air mudah tergenang dalam jangka waktu yang cukup lama dan menyebabkan terjadinya banjir. Luasan wilayah banjir untuk kategori sangat rawan adalah sekitar 3909.46 ha, untuk kategori rawan sekitar 9254.82 ha, sedangkan kategori cukup rawan atau dapat dikatakan cukup aman terjadi bencana banjir adalah sekitar 2849.14 ha. Bencana banjir umumnya

dipengaruhi oleh kelerengan atau kemiringan lahan, ketinggian lahan, serta penggunaan lahan yaitu pemukiman penduduk dan tempat kegiatan lainnya. Berikut adalah tabel luasan untuk kategori banjir di Kota Jambi pada tahun 2019.

Tabel 5. Luasan Kategori Banjir di Kota Jambi

No	Kategori	Luas (ha)	(%)
1	Cukup Rawan	2849.14	18
2	Rawan	9254.82	58
3	Sangat Rawan	3909.46	24

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

- Tingkat kerawanan banjir di Kota Jambi di klasifikan menjadi tiga kategori, yaitu cukup rawan, rawan, dan sangat rawan. Setengah wilayah kota Jambi berada pada kategori rawan banjir dengan luas 9254.82 hektar (58%)
- Persebaran lokasi rawan banjir di kota Jambi khususnya untuk daerah sepanjang Sungai Batanghari termasuk kategori sangat rawan sedangkan untuk daerah yang cukup aman terhadap bencana banjir adalah Kecamatan Jambi Selatan

Daftar Pustaka

1. A. F. Astuti and H. Sudarsono, "Analisis Penanggulangan Banjir Sungai Kanci," *J. Konstr.*, vol. 7, no. 3, 2020.
2. A. Rosyidie, "Banjir: fakta dan dampaknya, serta pengaruh dari perubahan guna lahan," *J. Perenc. Wil. dan Kota*, vol. 24, no. 3, pp. 241–249, 2013.
3. R. Rizkiah, "Analisis Faktor-faktor penyebab banjir di kecamatan tikala kota manado," *SPASIAL*, vol. 1, no. 1, pp. 105–112, 2015.
4. S. P. Nugroho, "Analisis Curah Hujan Penyebab Banjir Besar di Jakarta pada Awal Februari 2007," *J. Air Indones.*, vol. 4, no. 1, 2008.
5. A. M. Ginting, "Dampak ekonomi dan kebijakan mitigasi risiko banjir di DKI Jakarta dan sekitarnya tahun 2020," *Info Singk.*, vol. 1, no. 1, 2020.
6. K. S. Pribadi and A. K. Yuliawati, "Pendidikan Siaga Bencana Gempa Bumi Sebagai Upaya Meningkatkan Keselamatan Siswa (Studi Kasus Pada SDN Cirateun dan SDN Padasuka 2 Kabupaten Bandung)," *KRISHNA_S_PRIBADI_-_ITB*. pdf, 2008.
7. E. Budiyanto, *Sistem Informasi Geografis Menggunakan ArcView GIS*. Penerbit Andi, 2002.
8. S. Renwarin, J. Lengkong, T. Sondakh, and J. Husain, "Pemetaan Wilayah Rawan Banjir Di Kota Manado Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis," in *COCOS*, 2014, vol. 5, no. 3.
9. R. Rahmad, S. Suib, and A. Nurman, "Aplikasi SIG untuk Pemetaan Tingkat Ancaman Longsor di Kecamatan Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara," *Maj. Geogr. Indones.*, vol. 32, no. 1, pp. 1–13, 2018.
10. A. Putra, A. Tri Ratnaningsih, and M. Ikhwan, "Pemetaan daerah rawan kebakaran hutan dan lahan dengan menggunakan sistem informasi geografis

- (Studi Kasus: Kecamatan Bukit Batu, Kab. Bengkalis),” *Wahana For. J. Kehutan.*, vol. 13, no. 1, pp. 55–63, 2018.
11. F. A. Santoso, A. R. Putri, and R. A. Putra, “Arcgis based satellite image investigation to determine the risk of the earthquake disaster in north tapanuli district,” *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 17, no. 1, 2021.
 12. N. Bahir, L. Yunus, and S. Sawaludin, “Pemetaan Risiko Kerentanan Wilayah Terhadap Banjir Di PesisirTeluk Kendari Provinsi Sulawesi Tenggara,” *JAGAT (Jurnal Geogr. Apl. dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 41–50

ANALISIS KONDISI ATMOSFER SAAT KEJADIAN HUJAN LEBAT DAN ANGIN KENCANG DI PROBOLINGGO BERDASARKAN CITRA SATELIT DAN CITRA RADAR

NUR HABIB MUZAKI *, ESTRI DINIYATI, RIZALDO RADITYA PRATAMA,
ADITYA MULYA

*Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG)
Jl. Perhubungan I No. 5 Komplek BMKG Pondok Betung Bintaro, Pondok Aren, Tangerang
Selatan, Banten Kode Pos 15221, Telp.(021) 73691621*

**email : nur.habib.muzaki@stmkg.ac.id*

Abstrak. Fenomena cuaca ekstrem hujan lebat dan angin kencang melanda empat kecamatan di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur pada tanggal 3 Januari 2020 pukul 17.00 WIB. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Jawa Timur, kejadian hujan lebat disertai angin kencang ini mengakibatkan sebanyak 204 rumah warga mengalami kerusakan. Penelitian ini menggunakan data penginderaan jauh berupa Radar C-Band dan Satelit Himawari-8 serta data reanalisis Copernicus ECMWF. Data diolah menjadi peta spasial dan grafik yang kemudian di analisis secara deskriptif. Hasil analisis data radar menunjukkan bahwa nilai reflektivitas maksimum mencapai 43 dBZ serta kecepatan angin yang mencapai 13.57 m/s dengan curah hujan sebesar 15.83 mm/jam pada pukul 10.00 WIB. Berdasarkan analisis Satelite Himawari-8 suhu puncak awan mencapai -73.1°C serta data labilitas atmosfer yang menunjukkan bahwa kondisi atmosfer labil dimana hal ini dapat mengindikasikan peluang terjadinya hujan lebat disertai angin kencang. Nilai vortisitas pada lapisan 1000 mb – 500 mb bernilai negatif dan nilai kelembapan berkisar antara 85% - 90% serta nilai anomali suhu permukaan laut yang positif dan adanya windshear mengakibatkan konvergensi massa udara yang dapat memicu adanya pertumbuhan awan konvektif sebagai penyebab kejadian hujan lebat serta angin kencang di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur.

Kata kunci: Hujan Lebat, Angin Kencang, Himawari-8, Radar C-Band

Abstract. The phenomenon of extreme weather, heavy rain and strong winds hit four sub-districts in Probolinggo Regency, East Java on January 3, 2020 at 17.00 WIB. Based on data from the East Java Regional Disaster Management Agency (BPBD), the incidence of heavy rain and strong winds resulted in damage to as many as 204 houses. This study uses remote sensing data in the form of C-Band Radar and Himawari-8 Satellite and Copernicus ECMWF reanalysis data. The data is processed into spatial maps and graphs which are then analyzed descriptively. The results of data analysis show that the reflectivity value reaches 43 dBZ and the wind speed reaches 13.57 m / s with a rainfall of 15.83 mm / hour at 10.00 WIB. Based on the analysis of the Himawari-8 Satellite, the peak temperature of the clouds reached -73.1°C and the atmospheric lability data showed that the atmosphere was unstable, which could indicate the possibility of heavy rain and strong winds. The value of vortices in the 1000 mb - 500 mb layer is negative and the humidity value ranges from 85% - 90% and a positive sea surface temperature anomaly value and the presence of windshields result in convergence of air masses which can support convective cloud growth as the cause of heavy rain events and strong winds in Probolinggo Regency, East Java.

Keywords: Heavy Rain, Strong Wind, Himawari-8, C-Band Radar

1. Pendahuluan

Negara Indonesia dilalui oleh garis ekuator sehingga merupakan negara yang memiliki surplus energi karena mendapat pancaran sinar matahari yang lebih banyak. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah pembentuk awan konvektif yang intensif dengan curah hujan yang cukup tinggi (Endarwin, 2012). Awan-awan konvektif yang terbentuk di wilayah Indonesia membawa hujan lebat, kilat dan guntur (Tjayono, 2008). Hal ini mengakibatkan wilayah Indonesia memiliki suatu pola cuaca yang dinamis serta dipengaruhi oleh skala meteorologi baik skala global, regional maupun lokal (Zakir dkk., 2010). Kejadian cuaca ekstrem terjadi ketika kondisi atmosfer pada suatu wilayah berada dalam kondisi yang labil yang dapat memicu pertumbuhan awan-awan konvektif seperti awan *cumulonimbus*. Salah satu kejadian cuaca ekstrem ini yaitu hujan lebat dan angin kencang yang memberikan dampak berupa kerusakan rumah, pohon tumbang dan banjir.

Kejadian hujan dan angin kencang telah sering melanda wilayah Indonesia dan pernah diteliti sebelumnya. Seperti penelitian analisis angin kencang di daerah Nabire yang menggunakan beberapa indikator dengan analisis cuaca secara global, regional dan lokal serta parameter cuaca lainnya yang dominan (Sampe, 2017). Kemudian dalam penelitian hujan lebat di Pulau Bangka disimpulkan bahwa terdapat gangguan cuaca berupa *windshear* serta *relative humidity* yang cukup tinggi diatas Pulau Bangka yang berpotensi besar untuk pembentukan awan yang besar dan luas. Intensitas curah hujan di suatu wilayah dapat di kategorikan hujan lebat jika intensitas yang terjadi sebesar 100 mm/hari atau 10 mm/jam hingga 20 mm/jam (Fadholi, 2015). Kecepatan angin dapat dikategorikan angin kencang jika memiliki kecepatan diatas 12.5 m/s atau 25 knot.

Semakin banyak dan berkembangnya alat penginderaan jauh, kejadian hujan lebat dan angin kencang dapat dianalisis dan dikaji menggunakan bantuan citra satelit dan citra radar. Hal ini disebabkan karena citra satelit dan citra radar sangat efektif dalam mengidentifikasi fenomena hujan lebat dan angin kencang. Citra satelit yang umumnya digunakan adalah citra satelit kanal *Infrared* (IR). Akan tetapi citra satelit dianggap belum cukup dalam mengalalisis mengenai struktur awan konvektif pada lapisan bawah, sehingga digunakan citra radar untuk mendapatkan analisis lebih detail. Dengan penggunaan dua alat penginderaan jauh ini untuk menganalisis kejadian hujan lebat dan angin kencang diharapkan dapat menganalisis dan mengkaji lebih detail terhadap kejadian cuaca ekstrem di Indonesia.

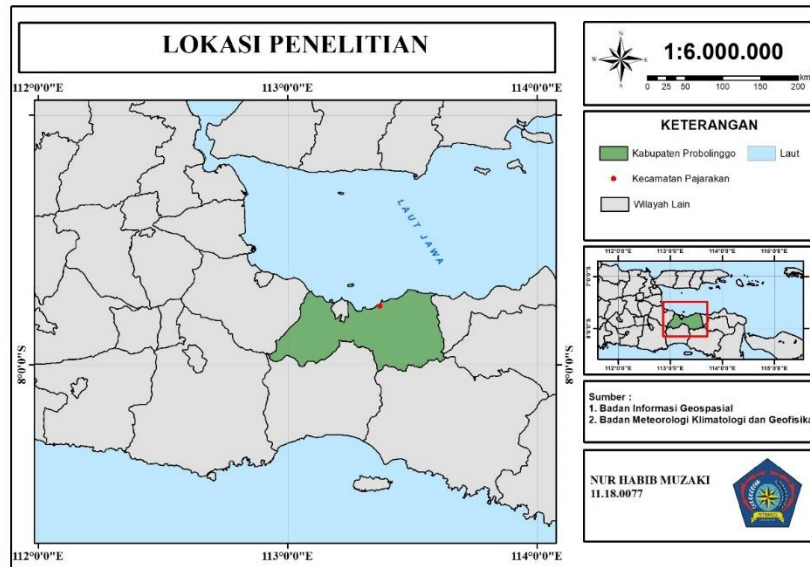
Hujan lebat dan angin kencang yang terjadi Desa Pajarakan, Probolinggo, Jawa Timur pada 3 Januari 2020 memiliki dampak yang besar yang menyebabkan kerusakan pada rumah warga. Kerusakan yang di alami oleh warga mulai dari kerusakan ringan, sedang dan berat. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Jawa Timur, kejadian hujan lebat disertai angin kencang ini mengakibatkan sebanyak 204 rumah warga mengalami kerusakan. Kejadian yang terjadi pada sore hari ini tidak hanya membuat kerusakan pada rumah warga melainkan menyebabkan banyak pohon tumbang yang mengganggu jalannya transportasi akibat pohon yang tumbang menghalangi jalan di Desa Pajarakan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kondisi atmosfer saat kejadian hujan lebat dan angin kencang di Desa Pajaraka, Probolinggo dengan memanfaatkan citra satelit dan citra radar *C-Band*.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Desa Pajarakan, Probolinggo Jawa Timur yang memiliki koordinat antara 112°00' – 114°0' Bujur Timur dan 6°50' – 8°50' Lintang Selatan dengan luas 56,67 km² seperti peta pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta wilayah Penelitian

2.2. Data dan Metode

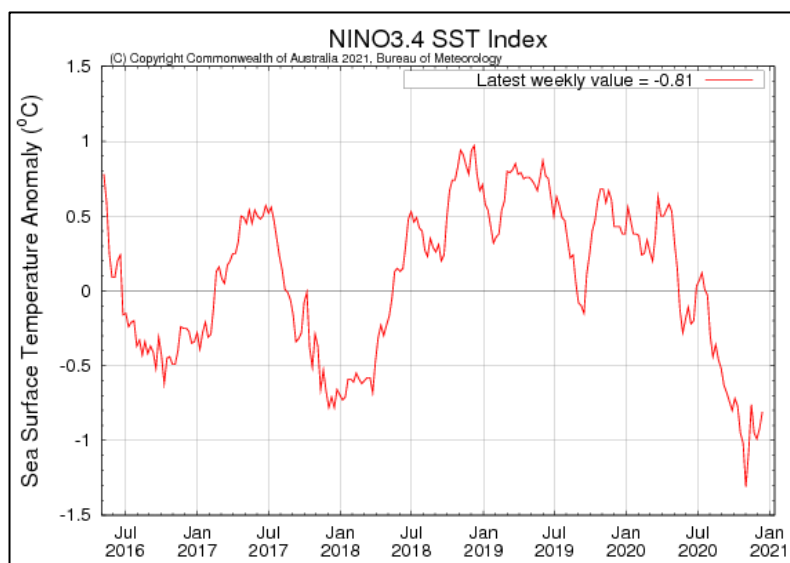
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pada tanggal 3 Januari 2020 dengan data peta dinamika udara skala global yang terdiri dari indeks Nino 3.4, *Madden Julian Oscillation* (MJO), indeks *Indian Ocean Dipole* (IOD) yang di unduh dari situs www.bom.gov.au/climate/mjo dan www.noaa.gov. Untuk data *Sea Surface Temperature* (SST), *Streamline*, *Relative Humidity* (RH) dan vortisitas berasal dari Copernicus *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) yang di unduh dari <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/> yang kemudian diolah menggunakan aplikasi GrADS. Untuk data *Showalter Stability Index* (SI), *Lifted Index* (LI), *K-Index* (KI), *Severe Weather Threat* (SWEAT) dan *Convective Available Potential Energy* (CAPE) diambil dari satelit Himawari-8 yang diolah pada aplikasi SATAID dengan *tools synop* yang kemudian data diolah kembali menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* menjadi grafik. Data suhu puncak awan, *time series* dan kontur didapatkan dari data Satelit Himawari-8 dengan kanal *Infrared Enhance* (IR) yang diperoleh dari <ftp://satelit.bmkg.go.id> yang diolah dengan aplikasi SATAID. Kemudian data suhu puncak awan kemudian diolah kembali menggunakan aplikasi GrADS. Raw data radar cuaca Jawa Timur terletak di Stasiun Meteorologi Kelas I Juanda Sidoarjo. Raw data yang digunakan berupa raw data reflektivitas (Z), Kecepatan radial (V) dan lebar spektral (W) yang kemudian diolah sehingga menghasilkan produk data CMAX dBZ yang di *overlay* dengan data SWI, data CAPPI Velocity dan data SRI. Metode yang digunakan adalah dengan membuat data dalam bentuk peta spasial dan grafik yang kemudian dianalisis secara deskriptif.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Skala Global

3.1.1. Indeks Nino 3.4

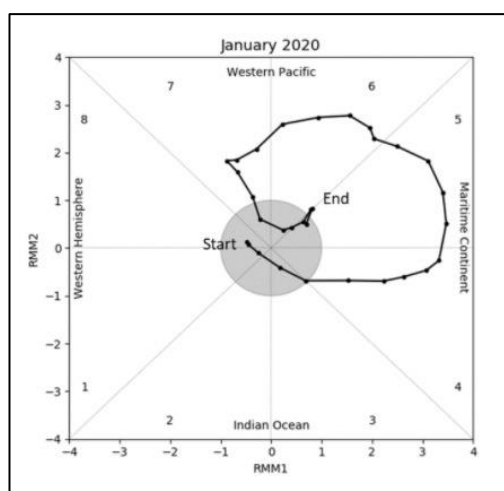
Berdasarkan Gambar 2, nilai indeks Nino 3.4 pada 3 Januari 2020 ditandai dengan lingkaran berwarna kuning yaitu sebesar 0.56. Hal tersebut menandakan bahwa pada bulan Januari 2020 aktivitas ENSO berada pada fase El Nino namun dalam keadaan lemah. Kondisi ini cenderung tidak mendukung kejadian hujan lebat dan angin kencang di Probolinggo, Jawa Timur pada tanggal 3 Januari 2020.



Gambar 2. Indeks Nino 3.4

3.1.2. MJO (Madden Julian Oscillation)

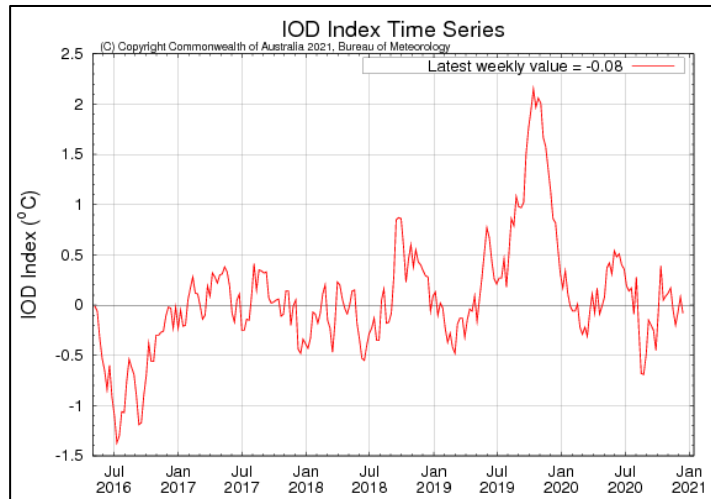
Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan bagaimana aktivitas pergerakan MJO 1–31 Januari 2020. Terlihat bahwa pada 3 Januari 2020, MJO terdapat di fase 1 dan terdapat di dalam lingkaran. Hal ini menunjukkan bahwa MJO tidak berpengaruh terhadap kejadian hujan lebat dan angin kencang di Probolinggo.



Gambar 3. Diagram Fase MJO 1 Januari – 31 Maret 2019

3.1.3. IOD (Indian Ocean Dipole)

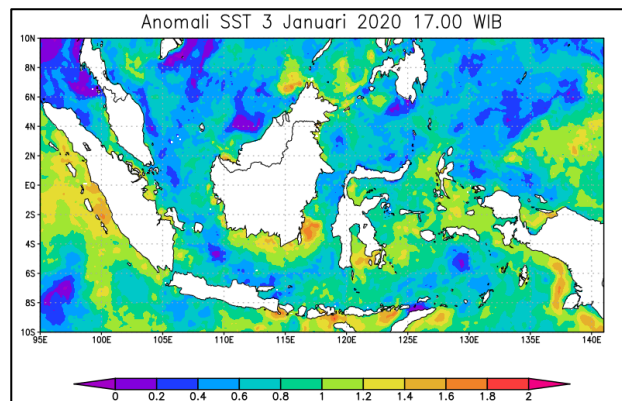
Berdasarkan Gambar 4, nilai indeks IOD pada 3 Januari 2020 ditandai dengan lingkaran berwarna biru yaitu sebesar 0.17. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas IOD sedang dalam fase positif sehingga tidak mendukung terjadinya kejadian hujan lebat dan angin kencang di Probolinggo.



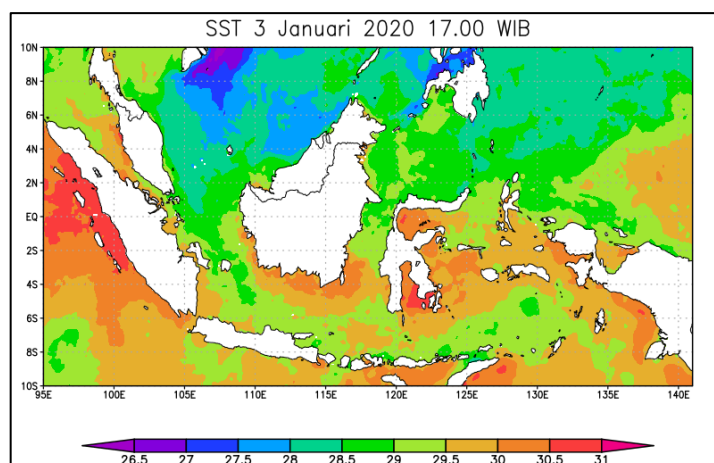
Gambar 4. Indeks IOD (India Ocean Dipole)

3.1.4. Analisis Sea Surface Temperature (SST)

Berdasarkan Gambar 5, nilai anomali SST di Indonesia sebesar 0°C hingga 2 °C. Untuk lingkaran berwarna merah menunjukkan nilai anomali SST di pesisir wilayah Probolinggo sebesar 1.6 °C hingga 1.8 °C. Berdasarkan Gambar 6, nilai SST di Indonesia secara umum sebesar 26.5 °C hingga 31 °C. Untuk lingkaran berwarna merah menunjukkan nilai SST di pesisir wilayah Probolinggo sebesar 29 °C hingga 30 °C. Nilai anomali SST yang positif dan SST yang tinggi menunjukkan bahwa kondisi di perairan Indonesia memiliki suhu yang lebih hangat dari kondisi normalnya. Hal ini menyebabkan peningkatan penguapan yang akan memicu terbentuknya awan-awan konvektif di wilayah Indonesia, khususnya wilayah Probolinggo.



Gambar 5. Anomali Sea Surface Temperature pada 3 Januari 2020

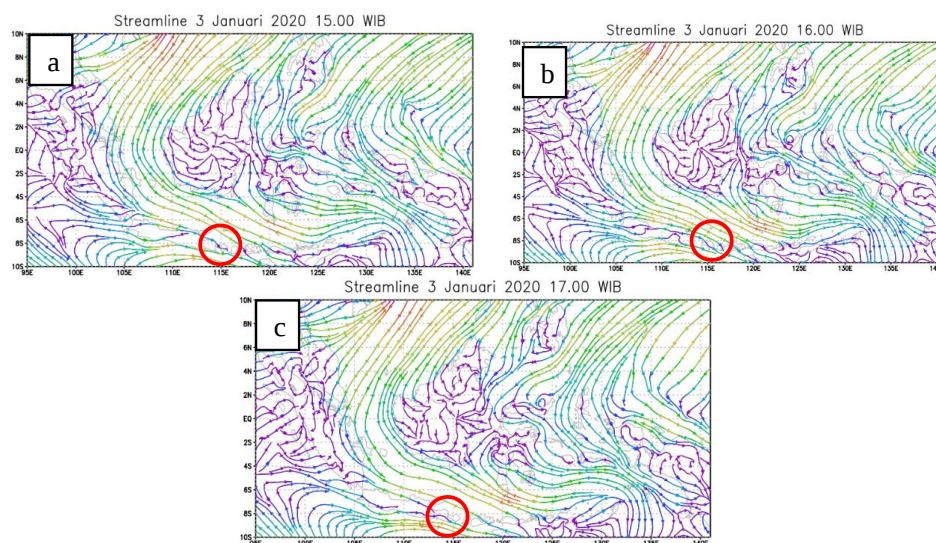


Gambar 6. Sea Surface Temperature pada 3 Januari 2020

3.2. Analisis Skala Regional

Streamline

Berdasarkan Gambar 7, massa udara di wilayah Indonesia dominan bergerak dari arah Barat Laut ke Timur Laut. Pada gambar (a) terlihat di wilayah Probolinggo terdapat pertemuan dua massa udara, sedangkan pada gambar (b) dan (c) terdapat *shearline* di wilayah Probolinggo serta pada gambar. Hal ini mengakibatkan adanya pola konvergensi di wilayah Probolinggo yang memicu terbentuknya awan-awan konvektif sebelum terjadi hujan lebat dan angin kencang pada jam 17.00 WIB.



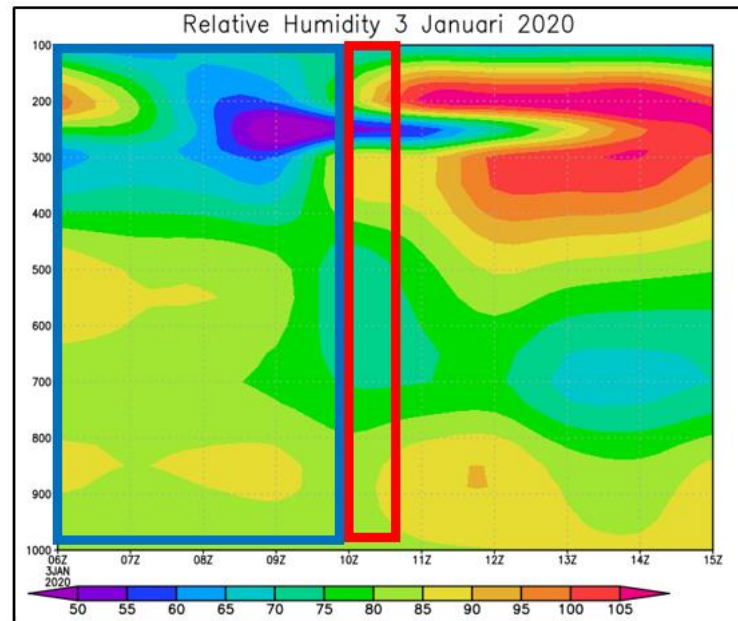
Gambar 7. Streamline Indonesia lapisan 1000 mb pada 3 Januari 2020 (a) jam 15.00 WIB (b) jam 16.00 WIB (c) jam 17.00 WIB

3.3. Analisis Skala Lokal

3.3.1. Relative Humidity (RH)

Nilai RH secara vertikal di Kecamatan Pajarak, Probolinggo pada tanggal 3 Januari 2020 pada lapisan 1000 mb hingga lapisan 100 mb ditunjukkan pada Gambar 8. Pada kotak berwarna biru, nilai RH pada jam 06.00 UTC hingga 09.00 UTC

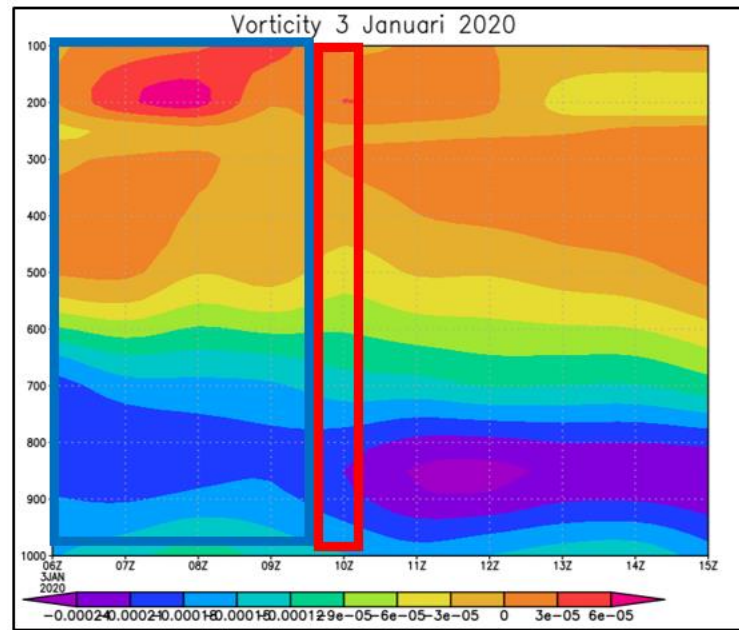
sebesar 85%-90% pada lapisan 1000 mb hingga 500 mb. Nilai RH yang tinggi pada lapisan 1000 mb hingga 500 mb yang tinggi ini menunjukkan bahwa kondisi atmosfer sebelum terjadinya hujan lebat dan angin kencang mengandung banyak uap air yang mendukung pertumbuhan awan-awan konvektif di Kecamatan Pajarakan. Untuk jam 10.0 UTC nilai RH ditunjukkan kotak berwarna merah sebesar 80%-85% dari lapisan 1000 mb hingga 800 mb. Sedangkan untuk lapisan 800 mb hingga 300 mb memiliki nilai Relative Humidity sebesar 75% - 80% serta untuk lapisan 300 mb hingga 200 mb memiliki nilai RH sebesar 55%-60% dan untuk lapisan 200 mb hingga 100 mb memiliki nilai RH sebesar 75%-80%.



Gambar 8. Relative Humidity

3.3.2. Vortisitas

Berdasarkan Gambar 9, nilai vortisitas pada kotak berwarna biru menunjukkan vortisitas sebelum kejadian hujan lebat dan angin kencang yaitu pada jam 06.00 UTC hingga 09.00 UTC. Terlihat pada lapisan 1000 mb hingga 500 mb nilai vortisitas sebesar -0.00021 sampai dengan -0.00003. Nilai yang negatif ini menunjukkan bahwa adanya kecenderungan massa udara yang membentuk sirkulasi siklonik. Akibatnya terjadi konvergensi di wilayah Pajarakan yang memicu terbentuknya awan-awan konvektif. Untuk kotak berwarna merah menunjukkan nilai vortisitas saat kejadian hujan lebat dan angin kencang pada jam 10.00 UTC, dimana dari lapisan 1000 mb hingga 700 mb sebesar -0.00021 hingga -0.00018 sedangkan untuk lapisan 700 mb hingga 500 mb sebesar -0.00018 sampai dengan 0. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat kejadian hujan lebat dan angin kencang terdapat konvergensi di wilayah Pajarakan.

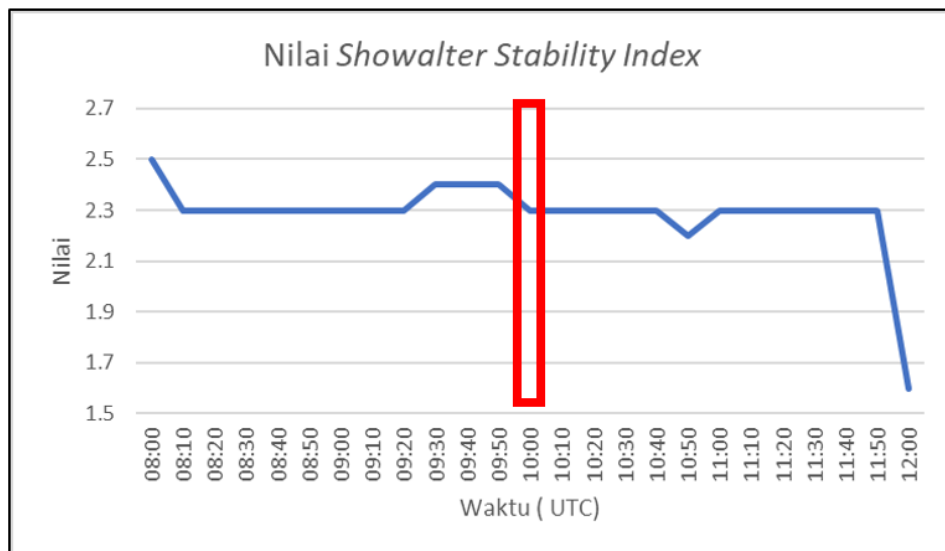


Gambar 9. Vortisitas lapisan 1000 mb – 100 mb

3.4. Analisis Stabilitas Atmosfer

3.4.1. Nilai Showalter Stability Index (SSI)

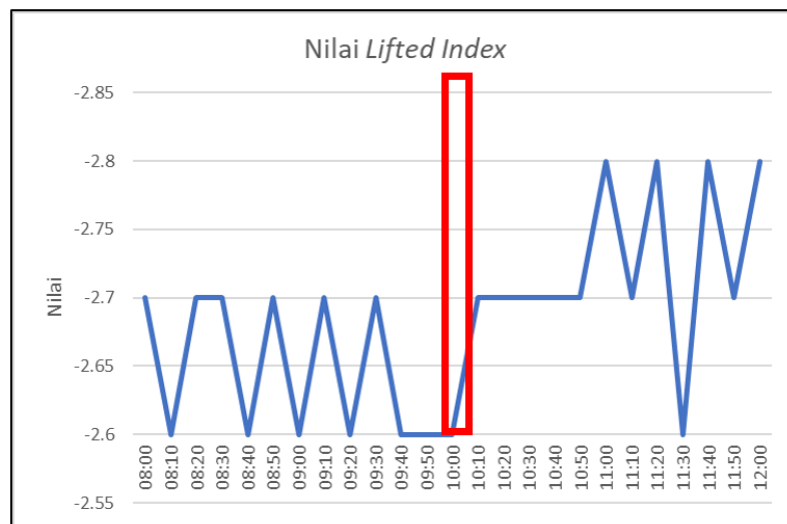
Berdasarkan Gambar 10, nilai *Showalter Stability Index* (SSI) pada jam 10.00 UTC yang ditunjukkan pada kotak berwarna merah sebesar 2.3°C . Sedangkan nilai SSI sebelum kejadian hujan lebat dan angin kencang pada jam 06.00 UTC hingga 09.50 UTC sebesar 2.3°C hingga 2.5°C . Nilai SSI yang berada pada rentang 1°C hingga 3°C berpotensi terjadinya hujan lebat. Sehingga dengan melihat nilai SSI pada jam 06.00 UTC hingga 10.00 UTC ini berpotensi terjadinya hujan lebat.



Gambar 10. Grafik nilai Showalter Stability Index (SSI)

3.4.2. Nilai Lifted Index (LI)

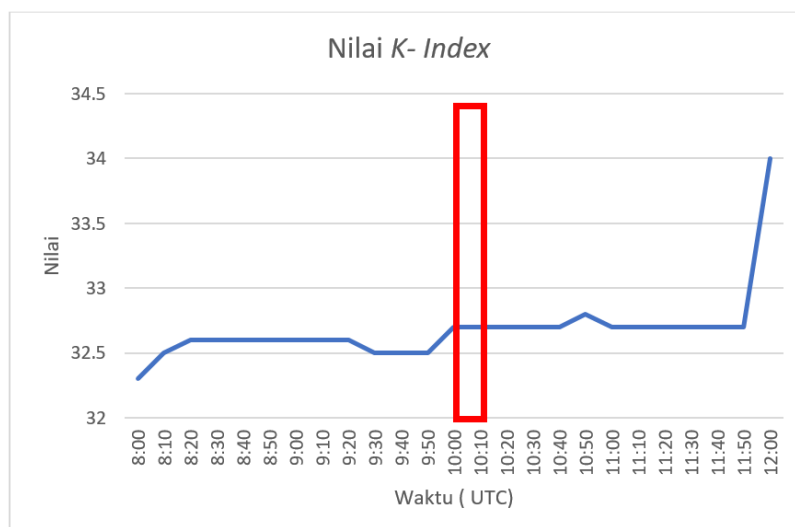
Berdasarkan Gambar 11, nilai *Lifted Index* pada jam 10.00 UTC ditunjukkan pada kotak berwarna merah sebesar -2.6°C . Untuk nilai *Lifted Index* sebelum kejadian hujan lebat dan angin kencang pada jam 06.00 UTC hingga 09.50 UTC sebesar -2.6°C hingga -2.7°C . Nilai *Lifted Index* yang negative ini menunjukkan bahwa kondisi atmosfer dalam keadaan labil, sehingga mendukung proses terbentuknya awan-awan konvektif.



Gambar 11. Grafik nilai Lifted Index (LI)

3.4.3. Nilai K-Index

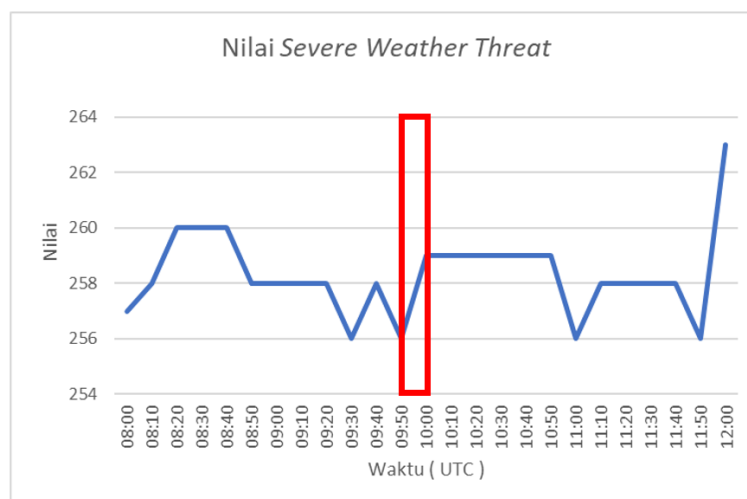
Berdasarkan Gambar 12, nilai *K-Index* (KI) pada jam 10.00 UTC ditunjukkan pada kotak berwarna merah sebesar 32.7°C . Untuk nilai KI sebelum kejadian hujan lebat dan angin kencang yaitu pada jam 06.00 UTC hingga 09.50 UTC sebesar 32.3°C hingga 32.5°C . Hal ini menunjukkan bahwa adanya konveksi yang kuat dan potensi terjadinya *Thunderstorms* sebesar 85%.



Gambar 12. Grafik nilai K-Index (KI)

3.4.4. Nilai Severe Weather Threat (SWEAT)

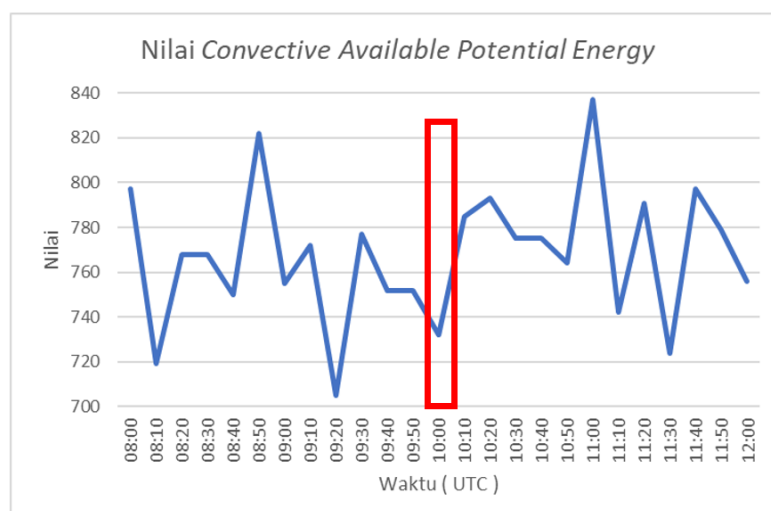
Berdasarkan Gambar 13, nilai *Severe Weather Threat* (SWEAT) pada jam 10.00 UTC ditunjukkan pada kotak berwarna merah sebesar 259. Untuk nilai SWEAT sebelum kejadian hujan lebat dan angin kencang pada jam 06.00 UTC hingga 09.50 UTC sebesar 257 sampai 260. Hal ini menunjukkan bahwa adanya potensi terjadinya cuaca buruk di wilayah Pajarakan.



Gambar 13. Grafik nilai Severe Weather Threat (SWEAT)

3.4.5. Nilai Convective Available Potential Energy (CAPE)

Berdasarkan Gambar 14, nilai *Convective Available Potential Energy* (CAPE) pada jam 10.00 UTC ditunjukkan pada kotak berwarna merah sebesar 732 J/kg. Untuk nilai CAPE sebelum kejadian hujan lebat dan angin kencang pada jam 06.00 UTC hingga 09.50 UTC sebesar 705 J/kg sampai dengan 822 J/kg. Hal ini menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan atmosfer dalam fase lemah.

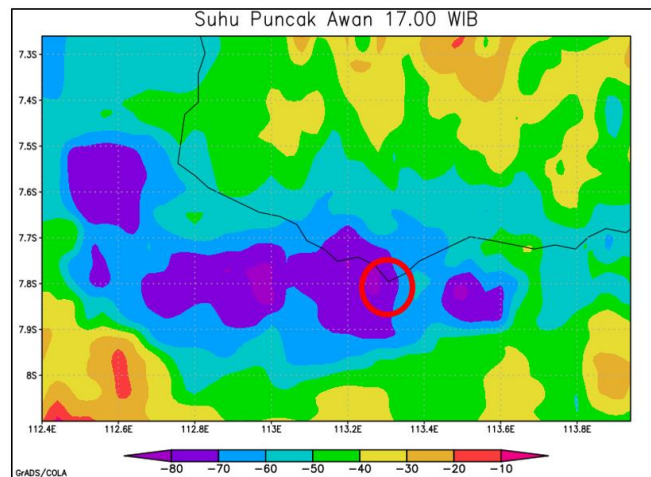


Gambar 14. Grafik nilai Convective Available Potential Energy (CAPE)

3.5. Analisis Citra Satelit

3.5.1. Analisis Suhu Puncak Awan

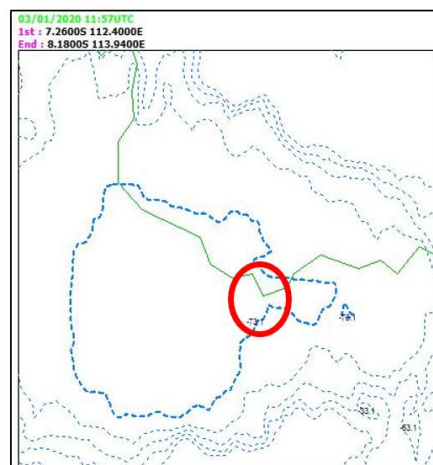
Berdasarkan Gambar 15, suhu puncak awan pada 3 Januari 2020 pukul 17.00 WIB di wilayah Pajarakan ditunjukkan oleh lingkaran yang berwarna merah. Suhu puncak awan saat terjadi hujan lebat dan angin kencang sebesar -70°C hingga -80°C . Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan penyebab terjadinya hujan lebat dan angin kencang di wilayah Pajarakan awan *cumulonimbus* suhu puncak awan yang lebih dari -70°C .



Gambar 15. Suhu puncak awan pukul 17.00 WIB

3.5.2. Analisis Kontur Suhu Puncak Awan

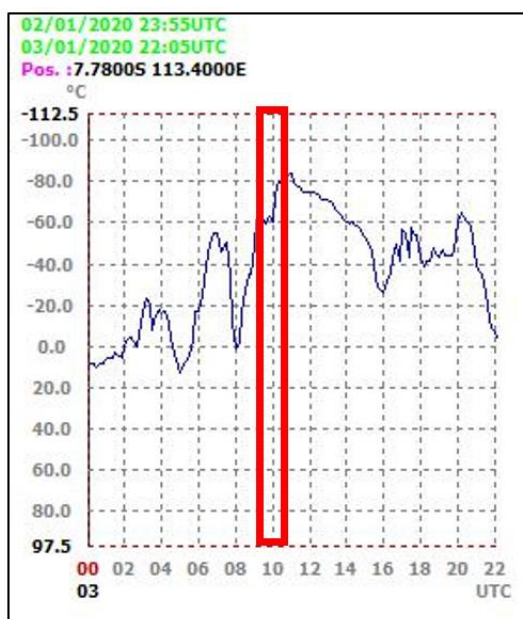
Berdasarkan Gambar 16, kontur suhu puncak awan di wilayah Pajarakan di tunjukkan pada lingkaran yang berwarna merah, terlihat bahwa awan dengan suhu puncak -73.1°C yang luas menyelimuti wilayah Pajarakan. Sedangkan suhu puncak awan disekitarnya memiliki suhu sebesar -33.1°C hingga 63.1°C . Suhu puncak awan yang mencapai lebih dari -70°C ini mengindikasikan bahwa penyebab terjadinya hujan lebat dan angin kencang di wilayah Pajarakan adalah awan *cumulonimbus*.



Gambar 16. Kontur suhu puncak awan pukul 17.00 WIB

3.5.3. Analisis Time Series

Berdasarkan Gambar 17, kotak berwarna merah menunjukkan suhu puncak awan pada 3 Januari 2020 pukul 10.00 UTC. Terlihat bahwa suhu puncak awan saat terjadinya hujan lebat dan angin kencang sebesar -73.1°C . Pada pukul 00.00 UTC hingga 09.50 UTC terlihat awan mengalami fase pertumbuhan dengan penurunan suhu dari 8°C hingga -73.1°C . Pada pukul 08.00 UTC hingga 09.50 UTC terjadi penurunan suhu yang sangat signifikan dari 0°C hingga mencapai -70°C . Awan mengalami fase matang pada pukul 10.00 UTC hingga 14.00 UTC, kemudian awan mengalami fase peluruhan dengan adanya kenaikan suhu yang sangat signifikan pada pukul 14.10 UTC hingga 22.00 UTC.

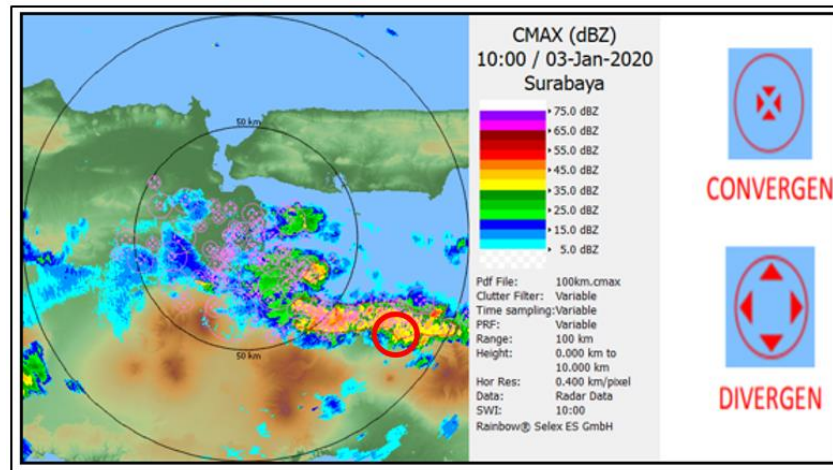


Gambar 17. Time Series suhu puncak awan

3.6. Analisis Citra Radar

3.6.1. Analisis Produk Reflektivitas CMAX Overlay SWI

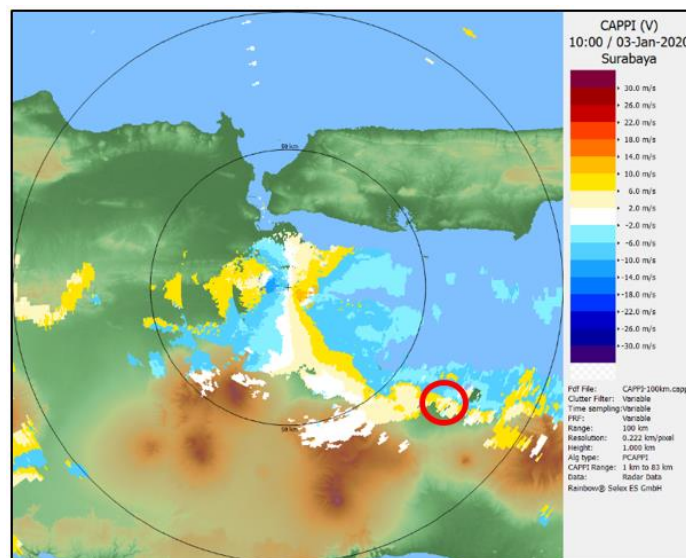
Berdasarkan Gambar 18, wilayah Pajajaran pada 3 Januari 2020 pukul 10.00 UTC ditunjukkan dengan lingkaran berwarna merah yang memiliki nilai reflektivitas sebesar 43 dBz menunjukkan adanya cluster gugusan awan konvektif yaitu awan cumulonimbus yang cukup kuat. Dengan melakukan overlay CMAX dengan SWI terlihat bahwa adanya storm yang ditandai dengan warna merah serta adanya konvergensi di wilayah Pajajaran.



Gambar 18. Produk Reflektivitas CMAX Overlay SWI

3.6.2. Analisis Produk CAPPI Velocity

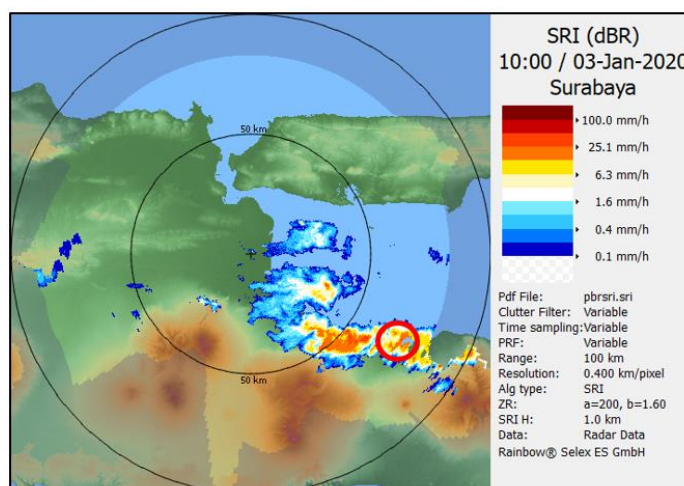
Berdasarkan Gambar 19, wilayah Pajarakan pada 3 Januari 2020 pukul 10.00 UTC ditunjukkan dengan lingkaran berwarna merah. Hasil Produk CAPPI *velocity* memberikan nilai *velocity* sebesar -13.57 m/s yang berarti mendekati radar dan termasuk dalam kategori angin kencang.



Gambar 19. Produk CAPPI Velocity

3.6.3. Analisis Produk CAPPI Velocity

Berdasarkan Gambar 20, wilayah Pajarakan pada 3 Januari 2020 pukul 10.00 UTC ditunjukkan dengan lingkaran berwarna merah. Hasil produk SRI memberikan jumlah intensitas curah hujan di permukaan. Terlihat bahwa wilayah Pajarakan memiliki curah hujan sebesar 15,83 mm/jam yang termasuk kategori hujan lebat.



Gambar 20. Produk SRI

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kondisi atmosfer pada Desa Pajarakan, Probolinggo, Jawa Timur terkait dengan kejadian hujan lebat dan angin kencang pada tanggal 3 Januari 2020 pukul 17.00 WIB, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan analisis cuaca dalam skala global anomali SST memiliki nilai yang diatas normal yaitu sebesar 1.6°C hingga 1.8°C yang menjadi faktor yang pendukung pertumbuhan awan-awan konvektif di wilayah Probolinggo
2. Berdasarkan analisis cuaca dalam skala regional dapat dilihat adanya shearline dan pertemuan dua massa udara di wilayah Probolinggo sehingga menyebabkan adanya konvergensi yang memicu pertumbuhan awan-awan konvektif di wilayah Probolinggo
3. Berdasarkan analisis secara lokal, nilai RH yang tinggi sebesar 85% hingga 90% menunjukkan banyaknya kandungan uap air di atmosfer. Nilai vortisitas yang negatif dari lapisan 1000 mb hingga 500 mb menunjukkan bahwa adanya gerakan siklonik di Desa Pajarakan, Probolinggo yang memicu pertumbuhan awan-awan konvektif. Labilitas atmosfer yang labil, sebelum dan saat terjadinya hujan lebat dan angin kencang mengindikasikan bahwa adanya potensi hujan lebat dan angin kencang di Desa Pajarakan. Dari hasil analisis citra satelit suhu puncak awan pada pukul 10.00 UTC sebesar -71.3°C yang mengindikasikan bahwa penyebab hujan lebat dan angin kencang adalah awan cumulonimbus. Dari hasil analisis citra radar, nilai reflektivitas sebesar 43 dBz dengan adanya storm dan pola konvergensi serta kecepatan angin yang mencapai 13.57 m/s dan intensitas curah hujan sebesar 15,83 mm/jam menunjukkan bahwa benar adanya kejadian hujan lebat dan angin kencang di Desa Pajarakan, Probolinggo, Jawa Timur

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) yang telah memberikan akses penyediaan sumber data. Terima kasih juga untuk Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) yang telah

membantu dalam memberikan sistem aplikasi pengolahan data. Serta ucapan terimakasih kepada Bapak Aditya Mulya, SST, M.Si selaku dosen mata kuliah praktek mata kuliah satelit cuaca yang telah memberikan arahan dan bimbingan sehingga jurnal ini dapat terselesaikan.

Daftar Pustaka

1. Endarwin. Analisa Objektif Terhadap Kejadian Cuaca Ekstrim di Indonesia Memanfaatkan Data Satelit Cuaca, Prosiding Workshop Cuaca Ekstrim, 2012, Vol. I No. 19. Hal. 1-3.
2. Tjasyono, B. H. K., Meteorologi Terapan, Penertbit ITB, Bandung, 2008.
3. A. Zakir, W. Sulistya, dan M. Khotimah, Perspektif Operasional Cuaca Tropis. Badan Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, 2010.
4. Sampe, Eusebio Andronikos. “Analisis Cuaca Terkait Kejadian Angin Kencang Di Kendari Tanggal 1 Maret 2017.” BMKG, 2017.
5. Fadholi, Akhmad. Kajian Meteorologi Terkait Hujan Lebat Di Pulau Bangka Tanggal 28-29 Desember 2013. Buletin Megasains GAW Bukit Kototabang, vol. 6, 2015, pp. 129–40.

ANALISIS PROKSIMAT KARBON KULIT KEMIRI (*ALEURITES MOLUCCANA*) DENGAN VARIASI SUHU KARBONISASI

SARIFAH MUDAIM^{1*}, SAHRUL HIDAYAT², RISDIANA²

¹Magister Program, Department Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Alam
Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21 Jatinangor, Sumedang,
Jawa Barat, Indonesia 45363

²Department Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Alam Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia 45363

*email : sarifahmudaim10@gmail.com

Abstrak. Kemiri (*Aleurites moluccana*) merupakan tanaman dengan berbagai macam manfaat. Saat ini kemiri sebagian besar digunakan sebagai rempah-rempah, kulit kemiri juga memiliki nilai kalor yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Kemiri memiliki kulit kemiri yang merupakan limbah organik. Kulit kemiri memiliki tekstur keras dan kandungan karbon yang tinggi. Sebagian besar kulit kemiri digunakan sebagai bahan bakar dan hanya sebagian kecil yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon. Kulit kemiri memiliki sifat fisik dan kimia yang baik sebagai bahan baku karbon. Karbon aktif merupakan salah satu fasa karbon yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Dalam makalah ini, kami melaporkan sintesis dan karakterisasi karbon dari kulit kemiri untuk mendapatkan karbon berkualitas tinggi dengan mengontrol suhu karbonisasi. Dalam produksi karbon, kami menggunakan variasi suhu karbonisasi sebesar 300, 400, 500, 600 dan 700 °C. Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon terikat. Analisis pengaruh suhu karbonisasi terhadap kualitas karbon dari kulit kemiri menghasilkan karbon tertinggi pada sampel dengan suhu 700 °C, menghasilkan karbon dengan kadar air 5,32%, kadar abu 9,40%, kadar zat terbang 12,76%, dan kadar karbon terikat 72,52%.

Kata kunci: kulit kemiri, karbonisasi, limbah organik, analisis proksimat

Abstract. Candlenut (*Aleurites moluccana*) is a plant with various benefits. Currently, candlenut is mostly used as a spice, candlenut shells also has a high calorific value so that it can be used as fuel. Candlenut has shells which is an organic waste. Candlenut shells have a hard texture and high carbon content. Most of the candlenut shell is used as fuel and only a small part is used as raw material for carbon production. Candlenut shell have good physical and chemical properties as carbon raw materials. Activated carbon is one of the carbon phases that can be used for various applications. In this paper, we report on the synthesis and characterization of carbon from candlenut shells to obtain high-quality carbon by controlling the carbonization temperature. In carbon production, we use variations in carbonization temperatures of 300, 400, 500, 600 and 700 °C. Proximate analysis was carried out to determine the moisture content, ash content, volatile matter content and bound carbon content. Analysis of the effect of carbonization temperature on the quality of carbon from candlenut shells resulted in the highest carbon in the sample with a temperature of 700 °C, producing carbon with 5.32% moisture content, 9.40% ash content, 12.76% volatile matter content, and fix carbon content 72,52%.

Keywords: candlenut shell, carbonization, organic waste, proximate analysis

1. Pendahuluan

Kemiri (*Aleurites moluccana*) merupakan tanaman dengan berbagai macam manfaat. Saat ini kemiri sebagian besar digunakan sebagai rempah-rempah, akan tetapi diketahui bahwa hampir semua bagian dari kemiri dapat dimanfaatkan. Kemiri sendiri merupakan pohon yang mudah untuk ditanam. Selain itu pohon kemiri sangat mudah tumbuh, tidak memerlukan persyaratan yang banyak, dan kulit kemiri juga memiliki nilai kalor yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar [1]. Namun demikian, dengan begitu banyaknya manfaat, kemiri juga menghasilkan limbah yaitu kulit kemiri. Kulit tersebut bisa menumpuk dalam jumlah besar jika dalam musim panen. Padahal, kulit kemiri tersebut memiliki kadar karbon yang sangat besar, dan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben atau pembuatan arang bakar [2]. Dengan memperhatikan faktor lingkungan tersebut, maka kulit kemiri dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon. Pemanfaatan limbah kulit kemiri ini dimaksudkan selain untuk menanggulangi penumpukan limbah kulit kemiri juga diharapkan dapat menghasilkan produk yang aman dan ramah lingkungan [3][4].

Karbon dapat didefinisikan sebagai amorf yang memiliki porositas dan luas permukaan yang tinggi [5], karena struktur berpori ini, karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti adsorben zat warna [6], adsorben logam berat dan gas [7], katalis, elektroda (baterai dan superkapasitor) [8]. Karbon dapat disintesis dari biomassa yang tersusun dari lignoselulose. Karbon dari bahan biomassa seperti tempurung kelapa, sekam padi, tongkol jagung, eceng gondok dan bambu menjadi salah satu bahan baku yang banyak diteliti akhir-akhir ini. Beberapa laporan yang dipublikasikan menunjukkan bahwa semua bahan biomassa memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai sumber karbon yang dapat digunakan pada berbagai aplikasi [9].

Kulit kemiri merupakan salah satu bahan biomassa yang dapat digunakan untuk pembuatan karbon. Bahan baku yang dapat digunakan untuk pengolahan karbon, persyaratannya adalah mengandung unsur karbon tinggi, baik organik maupun anorganik dan memiliki banyak pori-pori. Pada penelitian ini akan disintesis karbon dari kulit kemiri, dengan memperhatikan komponen kimianya seperti hemiselulosa 49,22 % dan lignin 54,46 %. Lignin merupakan senyawa dengan kandungan karbon tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan karbon yang menghasilkan kadar karbon terikat yang tinggi [4].

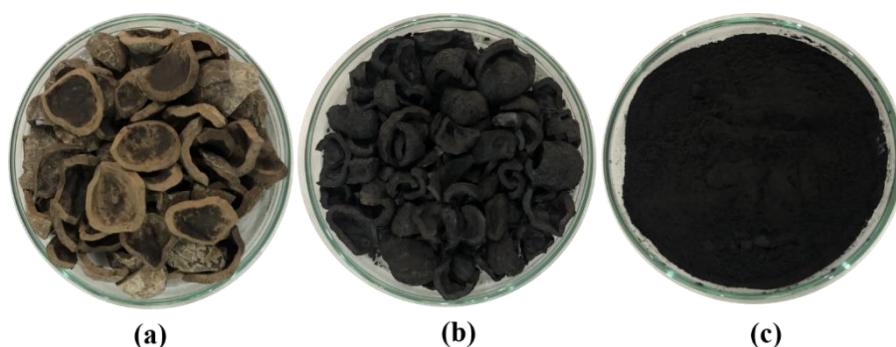
Berdasarkan penjelasan materi diatas maka dilakukan penelitian tentang sintesis karbon kulit kemiri dengan variasi suhu karbonisasi untuk mengetahui kandungan karbon. Kemudian dilakukan analisis proksimat untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan karbon terikat

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu kulit kemiri, *aquades*, sedangkan alat yang digunakan adalah oven, *furnace*, *ball milling* dan ayakan *mesh* 200. Produksi karbon dari kulit kemiri dilakukan melalui dua tahap yaitu persiapan kulit kemiri dan proses karbonisasi. Persiapan dimulai dengan memotong kulit kemiri menjadi potongan-potongan kecil berukuran 1-2 cm, kemudian dibersihkan dengan *aquades* untuk menghilangkan debu dan kotoran selanjutnya direndam dalam air panas. Kulit kemiri yang bersih dan berukuran kecil dijemur dibawah sinar matahari selama 6 jam, setelah itu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110 °C.

Kulit kemiri kemudian dikarbonisasi dalam *furnace* selama 1 jam dengan variasi suhu 300, 400, 500, 600 dan 700 °C, kemudian karbon tersebut dihaluskan dengan *ball milling*. Setelah penggilingan, semua sampel disaring dengan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan ukuran butir yang sama dan hasil akhir berupa serbuk karbon seperti terlihat pada Gambar 1.

Seluruh sampel dikarakterisasi menggunakan analisis proksimat untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan kadar karbon terikat. Kualitas karbon aktif tergantung pada jenis bahan baku dan teknologi pengolahan yang digunakan. Baku mutu karbon aktif telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995) [10]



Gambar 1. Foto (a) Kulit Kemiri, (b) Karbon Kulit Kemiri, dan (c) Karbon kemiri mesh 200

3. Hasil dan Pembahasan

Proses karbonisasi adalah proses meningkatkan kandungan karbon dari bahan dasar pada suhu dibawah 800 °C dalam tekanan atmosfer inert. Pada proses karbonisasi, sebagian besar unsur non karbon seperti oksigen, hidrogen, dan nitrogen akan hilang sebagai jenis gas yang diuapkan oleh proses karbonisasi terhadap bahan. Proses karbonisasi ini bertujuan untuk menguraikan senyawa-senyawa hidrokarbon seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin menjadi karbon murni dan menghasilkan butiran yang memiliki daya serap tinggi [11]. Untuk mengetahui pengaruh variasi suhu karbonisasi terhadap kualitas karbon maka dilakukan karakterisasi menggunakan analisis proksimat. Hasil karakterisasi untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan karbon terikat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil karakterisasi proksimat tentang karbon dari kulit kemiri

Karakteristik (%)	Suhu Karbonasi (°C)					SNI (06 - 3730 - 1995)
	300	400	500	600	700	
Kadar Air	5,20	6,90	6,10	6,16	5,32	4,5 – 15
Kadar Abu	10,23	6,06	5,28	8,64	9,40	≤ 10
Kadar Zat terbang	52,53	33,16	22,62	17,12	12,76	≤ 15
Karbon Terikat	32,04	53,88	66,00	68,08	72,52	≥ 65

Kadar air didefinisikan sebagai banyaknya air yang ada dalam suatu bahan, penentuan kadar air karbon bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis karbon kulit kemiri [12]. Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa kadar air yang diperoleh dari penelitian ini berkisar antara 5,2-6,9% dan hasil tersebut memenuhi standar (SNI

06-3730-1995) yaitu kadar air maksimum 15%. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar air relatif sama, dimana nilai kadar air pada sampel kulit kemiri karbonisasi 400 °C paling tinggi yaitu 6,90%. Penurunan kadar air ini berkaitan dengan suhu karbonisasi [13]. Dalam penelitian Gusti Gilang dkk menyatakan karbon kulit kemiri dengan variasi konsentrasi aktivator kimia menunjukkan nilai kadar air 2,30% dan 5,75%, dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi yang diberikan, maka semakin tinggi kadar air karbon kulit kemiri yang dihasilkan [12].

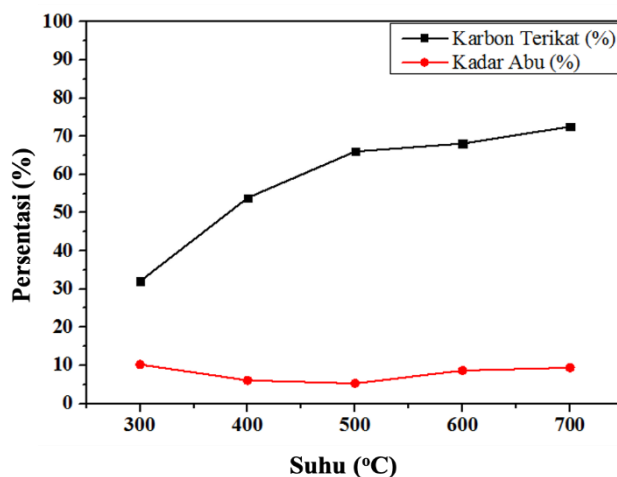
Kadar air yang tinggi akan mempengaruhi sifat higroskopis dari karbon kulit kemiri, jumlah air diudara, lamanya proses pendinginan, penggilingan, dan pengayakan. Semakin rendah kadar air menunjukkan semakin sedikit air yang tersisa dan menutupi pori-pori karbon. Semakin besar pori-pori maka semakin tinggi luas permukaan karbon [14].

Salah satu sifat kualitas karbon adalah rendahnya kadar abu, abu merupakan oksida logam dalam karbon yang terdiri dari mineral-mineral yang tidak dapat diuapkan dalam proses karbonisasi. Kadar abu diasumsikan sebagai sisa mineral yang tertinggal pada saat karbonisasi, karena bahan alam sebagai bahan dasar pembuatan karbon tidak hanya mengandung senyawa karbon, tetapi juga mengandung beberapa mineral, senyawa tersebut ada yang hilang pada saat karbonisasi, ada yang diperkirakan tertinggal dalam karbon [11]. Kadar abu sangat mempengaruhi kualitas karbon yang dihasilkan. Adanya abu yang berlebihan dapat menyebabkan tersumbatnya pori-pori pada karbon sehingga luas permukaan karbon berkurang [12].

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa kadar abu yang diperoleh dari penelitian ini berkisar antara 5,2-10% dan hasil tersebut memenuhi standar (SNI 06-3730-1995) yaitu kadar abu maksimum 10%. Kurva kadar abu dapat dilihat pada Gambar 2 dan data pada Tabel 1 menunjukkan adanya variasi kadar abu, peningkatan kadar abu terjadi dari suhu karbonisasi 500-700 °C dimana nilai kadar abu untuk sampel karbon dari kulit kemiri 300 °C lebih tinggi dari pada sampel lainnya, hal ini diprediksi karena pada suhu 300 °C belum terjadi karbonisasi secara sempurna, maka dari itu terjadi peningkatan kadar abu. Kadar abu karbon yang tinggi disebabkan oleh proses oksidasi dan adanya kontak dengan udara luar pada saat proses pembakaran lebih lanjut dimana karbon yang terbentuk sebagian berubah menjadi abu [15].

Harits Fadhilah dkk menyatakan nilai kadar abu karbon kulit kemiri dengan variasi penambahan KMnO_4 menghasilkan kadar abu pada rentang 7–8,5 % semakin banyak penambahan KMnO_4 semakin banyak kadar abu yang dihasilkan [16]. Besarnya kadar abu dapat mempengaruhi penyerapan karbon terhadap gas dan larutan, karena kandungan mineral dalam abu seperti kalsium, kalium, magnesium, dan natrium akan tersebar didalam kisi karbon, adanya abu yang berlebihan dapat menyumbat pori-pori sehingga luas permukaan karbon berkurang [17].

Penentuan kadar zat terbang bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang dapat menguap pada suhu 950 °C. Pada pemanasan di atas 900 °C nitrogen dan belerang akan menguap, dan komponen ini disebut *volatile matter* [14]. Kadar zat terbang yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 12,78% - 53,53%.



Gambar 2. Kurva kadar abu dan karbon terikat

Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi kadar zat terbang yang diperoleh semakin kecil. Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan zat terbang tertinggi dihasilkan oleh karbon pada suhu 300 °C sebesar 52,3%, sedangkan kandungan zat terbang terendah dihasilkan oleh karbon pada suhu 700 °C sebesar 12,76%, hal ini terjadi karena suhu karbonisasi yang tinggi akan menyebabkan kadar abu berupa oksida logam dalam karbon yang terdiri dari mineral tidak dapat menguap lebih tinggi, sedangkan mineral yang mudah menguap pada suhu lebih tinggi akan menyebabkan evaporasi unsur yang mudah menguap semakin tinggi pula, akibatnya kandungan zat terbang pada karbon berkurang [11].

Kadar zat terbang pada suhu karbonisasi 300-400 °C tidak memenuhi standar (SNI-06-3730-1995) yaitu maksimal 25%, sedangkan kadar zat terbang pada suhu karbonisasi 500-700 °C memenuhi standar (SNI-06-3730-1995). Tingginya kadar zat terbang menunjukkan bahwa masih terdapat senyawa non karbon yang menempel pada permukaan karbon terutama atom H dan O yang terikat kuat pada atom C pada permukaan karbon berupa CO₂, CO, CH₄, dan H₂ [14].

Kandungan karbon terikat adalah jumlah karbon murni yang terdapat dalam sampel. Penentuan kadar karbon bertujuan untuk mengetahui nilai atau jumlah karbon murni yang terkandung dalam karbon aktif [15]. Kurva kandungan karbon terikat dan kadar abu dapat dilihat pada Gambar 2. Karbon terikat yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 32,04% - 72,52%. Karbon terikat tertinggi dihasilkan oleh sampel pada suhu karbonisasi 700 °C sebesar 72,52% dan karbon terikat terendah yang dihasilkan oleh 300 °C adalah 32,04%. Gusti Gilang, dkk menyatakan karbon terikat pada karbonisasi kulit kemiri sebesar 23,30%. semakin tinggi konsentrasi NaOH maka semakin tinggi kadar karbon terikat yang terkandung didalam karbon aktif [12]. Selain itu Rina Novia dkk menyatakan bahwa karbon dari kulit kelapa sawit yang diaktivasi H₃PO₄ dengan suhu 750 °C memiliki karbon terikat pada kisaran 66–77%, konsentrasi H₃PO₄ mempengaruhi kadar karbon yang dihasilkan [18].

Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu karbonisasi berpengaruh terhadap kadar karbon terikat dari karbon kulit kemiri. Pada Gambar 2 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin tinggi kadar karbon terikat

yang terdapat pada kulit kemiri. Karbon terikat dalam penelitian ini rentang suhu karbonisasi 500-700 °C telah memenuhi kualitas persyaratan karbon terikat (SNI-06-3730- 1995). Sedangkan pada suhu karbonisasi 300-400 °C tidak memenuhi kualitas karbon terikat pada standar (SNI-06-3730- 1995) yaitu minimal 65%. Hal ini disebabkan kandungan abu dan kadar zat terbang yang tinggi sehingga karbon terikat yang dihasilkan kecil. Semakin tinggi kadar abu dan kadar zat terbang, semakin rendah karbon terikat dari kulit kemiri. Hal ini disebabkan proses karbonisasi yang tidak sempurna, karbonisasi yang sempurna dapat menghasilkan karbon terikat yang lebih tinggi [2].

4. Kesimpulan

Telah dilakukan sintesis karbon dari limbah kulit kemiri dengan beberapa variasi suhu karbonisasi dan telah dilakukan analisis proksimat untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon terikat. Hasil analisis proksimat dari karbon kulit kemiri diketahui bahwa nilai karbon terikat akan meningkat seiring dengan naiknya suhu karbonisasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbonisasi pada suhu 700 oC menghasilkan kualitas karbon terbaik dengan kadar air 5,32%, kadar abu 9,40%, kadar zat terbang 12,76%, dan kadar karbon terikat 72,52%. Nilai analisis proksimat tersebut telah memenuhi standar SNI untuk karbon aktif menurut (SNI-06-3730-1995).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristek-Dikti Indonesia atas dukungan finansial Pendanaan Hibah Penelitian Dasar Kontrak No: 1207/UN6.3.1/PT.00/2021

Daftar Pustaka

1. S. Nur and Halimah, "Pembuatan Dan Karakterisasi Serta Uji Adsorpsi Karbon Aktif Tempurung Kemiri (Aleurites Moluccana) Terhadap Metilen Biru," pp. 3345–3356, 2016.
2. J. Latupeirissa, M. F. J. D. P. Tanasale, and K. Dade, "Carbon Characterization from Candlenut Shells (Aleurites Moluccana (L) Willd) with XRD," Indones. J. Chem. Res., vol. 3, no. 2, pp. 324–328, 2016.
3. T. H. Jatmiko, "Pemanfaatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kemiri untuk Adsorpsi Limbah Merkuri-Hg (II)," Pros. Semin. Nas. Peran Teknol. di Era Glob., no. November 2013, pp. 121–125, 2013.
4. S. A. Aktif, T. Kemiri, and M. Lempang, "Sifat-Sifat Arang Tempurung Kemiri dan Aplikasinya Sebagai Komponene Media Tumbuh Pada Tanaman Melina (Gmelina arborea Roxb .)," 2009.
5. N. R. Villarante, R. A. E. Davila, and D. P. Sumalapao, "Removal of lead (α) by lumbang, aleurites moluccana activated carbon carboxymethylcellulose composite crosslinked with epichlorohydrin," Orient. J. Chem., vol. 34, no. 2, pp. 693–703, 2018, doi: 10.13005/ojc/340211.
6. K. M. Doke, M. Yusufi, R. D. Joseph, and E. M. Khan, "Comparative Adsorption of Crystal Violet and Congo Red onto ZnCl₂ Activated Carbon,"

- J. Dispers. Sci. Technol., vol. 37, no. 11, pp. 1671–1681, 2016, doi: 10.1080/01932691.2015.1124342.
7. S. S. A. Syed-Hassan and M. S. M. Zaini, “Optimization of the preparation of activated carbon from palm kernel shell for methane adsorption using Taguchi orthogonal array design,” *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 33, no. 8, pp. 2502–2512, 2016, doi: 10.1007/s11814-016-0072-z.
8. A. A. Arie, H. Kristianto, I. Suharto, M. Halim, and J. K. Lee, “Preparation of orange peel based activated carbons as cathodes in lithium ion capacitors,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 896, pp. 95–99, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.896.95.
9. D. C. S. Azevedo, J. C. S. Araújo, M. Bastos-Neto, A. E. B. Torres, E. F. Jaguaribe, and C. L. Cavalcante, “Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride,” *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 100, no. 1–3, pp. 361–364, 2007, doi: 10.1016/j.micromeso.2006.11.024.
10. Badan Pusat Statistik (BPS) Badan Pusat Statistik Nasional. 2014.
11. S. Maulina and M. Iriansyah, “Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 309, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012072.
12. G. G. R. Maulana, L. Agustina, and S. Susi, “Proses Aktivasi Arang Aktif Dari Kulit Kemiri (Aleurites Moluccana) Dengan Variasi Jenis Dan Konsentrasi Aktivator Kimia,” *Ziraa’ah Maj. Ilm. Pertan.*, vol. 42, no. 3, pp. 247–256, 2017, doi: 10.31602/zmip.v42i3.897.
13. L. G. Egea, R. Jiménez–Ramos, I. Hernández, and F. G. Brun, “Effect of In Situ short–term temperature increase on carbon metabolism and dissolved organic carbon (DOC) fluxes in a community dominated by the seagrass *Cymodocea nodosa*,” *PLoS One*, vol. 14, no. 1, pp. 1–20, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0210386.
14. Verayana, M. Paputungan, and H. Iyabu, “Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb),” *J. Entropi*, vol. 13, no. 1, pp. 67–75, 2018.
15. O. Nurhilal et al., “Synthesis of High Quality Porous Carbon from Water Hyacinth,” *Key Eng. Mater.*, no. 860, pp. 173 – 177, 2020, doi: 10.1039/c5ra25098f.
16. T. E. P. S. R. Harits Fadhilah Immaduddin, Shafwan Amrullah, Nurkholis, “Pengolahan Limbah Tempurung Kemiri Sebagai Adsorben Senyawa Etilen Dengan Penambahan Kalium Permanganat (KMnO₄),” vol. 3, no. 01, pp. 13–19, 2021.
17. M. Sánchez-Cantú, V. J. Janeiro-Coronel, J. A. Galicia-Aguilar, and J. D. Santamaría-Juárez, “Effect of the activation temperature over activated carbon production from castor cake and its evaluation as dye adsorbent,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 7, pp. 1521–1530, 2018, doi: 10.1007/s13762-017-1532-7.
18. R. Yanti Novia, E. Hambali, G. Pari, and A. Suryani, “Karakteristik Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Yang Dimpregnasi Logam Nikel Sebagai Katalis,” *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 38, no. 3, pp. 129–138, 2020, doi: 10.20886/jphh.2020.38.3.129-138.

KAJIAN PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP PENINGKATAN DERAJAT KRISTALINITAS KARBON DARI LIMBAH KULIT KEMIRI

NANA SURYANA^{1*}, OTONG NURHILAL², SAHRUL HIDAYAT²

¹*Magister Program, Department Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Alam
Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21 Jatinangor, Sumedang,
Jawa Barat, Indonesia 45363*

²*Department Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Alam Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat, Indonesia 45363*

*email : nana17001@mail.unpad.ac.id

Abstrak. Beberapa alotrop karbon memiliki kemampuan menginterkalasi ion, atom atau molekul sehingga berpotensi diterapkan pada beragam aplikasi teknologi. Grafit merupakan salah satu alotrop karbon dengan kemampuan interkalasi serta transport ion yang baik. Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif berbahan baku limbah kulit kemiri, dengan temperatur karbonisasi 700°C dan aktivator kimiawi berupa larutan KOH 30%. Setelah proses aktivasi, diberikan perlakuan sintering pada karbon aktif dengan temperatur masing-masing 950°C dan 1000°C, proses tersebut diharapkan dapat meningkatkan fase kristal karbon aktif mendekati fase grafit. Hasil pengujian menunjukkan struktur dominan amorf, dengan derajat kristalinitas 35,23% serta 35,44%, dan derajat grafitisasi arah vertikal berkisar di 36% serta 37% untuk arah horizontal. Perlakuan proses sintering dengan temperatur 1000°C memiliki derajat kristalinitas tertinggi yaitu 35,44%. Hal ini mengindikasikan bahwa proses sintering berpengaruh terhadap perubahan derajat kristalinitas karbon aktif.

Kata kunci: karbon aktif, kulit kemiri, sintering, kristalinitas

Abstract. Allotropes of carbon has advantages in the ability to intercalate ions, atoms or molecules that potentially to apply in various technological applications. Graphite one of allotrope carbon which has well intercalation and ion transport capabilities. In case, the synthesis of activated carbon made from candlenut shell was carried out with carbonization temperatures at 700°C and used a chemical activator in form of 30% KOH. After the activation process, given the sintering treatment for activating carbon with temperature of 950°C and 1000°C, respectively, which this process is expected to increase the crystalline phase of activated carbon close to the graphite phase. The result showed that domination of the structures were amorphous, with varying degrees of crystallinity ranging 35.23% and 35.44%, respectively, and the degrees of graphitization 36% and 37% for the vertical and horizontal directions, respectively. The treatment of the sintering process with a temperature of 1000°C has the highest degree of crystallinity, 35.44%. This indicates that the sintering process has an effect on the activated carbon.

Keywords: activated carbon, candlenut shell, sintering, crystallinity

1. Pendahuluan

Kulit kemiri merupakan salah satu limbah organik yang memiliki kadar karbon terikat cukup tinggi yakni sebesar 75,79 %, nilai tersebut lebih tinggi dari pada bahan organik lainnya, seperti kayu pinus (71,93 %), tempurung kelapa sawit (66,79 %) dan arang sekam (74,20 %) [1]. Kulit kemiri merupakan residu alami

yang memiliki banyak kegunaan di antaranya produk bernilai ekonomis tinggi seperti arang aktif, asap cair, fenol, briket arang dan tepung tempurung. Kulit kemiri merupakan bagian paling keras pada komponen buah kemiri. Jika ditinjau dari karakteristik bahannya dibandingkan dengan tempurung kelapa, tempurung kemiri memiliki beberapa perbedaan mencolok yaitu densitas yang tinggi, kadar air yang rendah serta kadar abu (*ash content*) yang lebih rendah [2]. Sebagaimana bahan biomassa lainnya, kulit kemiri juga memiliki ikatan karbon yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan karbon aktif.

Karbon aktif dibuat melalui dua proses yaitu karbonasi dan aktivasi. Kualitas karbon bergantung pada suhu karbonasi dan jenis aktivator yang digunakan. Selain itu, suhu sintering juga berpengaruh terhadap sifat karbon aktif terkait dengan sifat kristalnya. Sifat kristal karbon aktif sangat penting pada aplikasi sebagai elektroda, yaitu meningkatkan kemampuan karbon aktif untuk interkalasi dan transport ion. Bahan karbon yang memiliki kemampuan interkalasi dan transport ion yang baik adalah grafit. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri dengan suhu karbonasi dan aktivator tertentu serta diberikan perlakuan sintering. Sifat kristal karbon aktif dari tempurung kemiri di analisis dengan XRD untuk menentukan derajat kristalinitas dan derajat grafitisasinya..

2. Metode Penelitian

2.1. Pembuatan sampel arang aktif

Tempurung kemiri yang sudah kering dikarbonasi pada suhu 700 °C selama 1 jam, kemudian arang di haluskan pada mesh 200. Selanjutnya arang diaktivasi dengan KOH 30%. Arang aktif selanjutnya disintering pada dua variasi suhu yaitu 950 dan 1000 °C masing-masing selama 10 jam.

2.2. Analisis arang aktif dengan XRD

Parameter yang dihitung pada penelitian ini adalah derajat kristalinitas (X), jarak antar lapisan karbon aromatik (d_{002}), tinggi lapisan aromatik (L_c), lebar lapisan aromatik (L_a), dan derajat grafitisasi (Y) [3]. Derajat kristalinitas (X) dihitung dengan persamaan (1).

$$\text{Derajat Kristalinitas} = \frac{(\Delta_{\text{kristalin}})}{(\Delta_{\text{kristalin}} + \Delta_{\text{amorf}})} \quad (1)$$

dengan $\Delta_{\text{kristalin}}$ menyatakan fraksi luas kristalin dan Δ_{amorf} menyatakan fraksi luas amorf. Jarak antar lapisan karbon aromatik (d_{002}) ditentukan berdasarkan persamaan (2).

$$d_{002} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta_{002}} \quad (2)$$

Tinggi lapisan aromatik (L_c) ditentukan berdasarkan persamaan (3).

$$L_c = \frac{0,89 \cdot \lambda}{\beta \cos \theta_{002}} \quad (3)$$

Lebar lapisan aromatik (L_a) ditentukan berdasarkan persamaan (4).

$$L_a = \frac{1,9 \cdot \lambda}{\beta \cos \theta_{100}} \quad (4)$$

Derajat grafitisasi (Y) ditentukan berdasarkan persamaan (5).

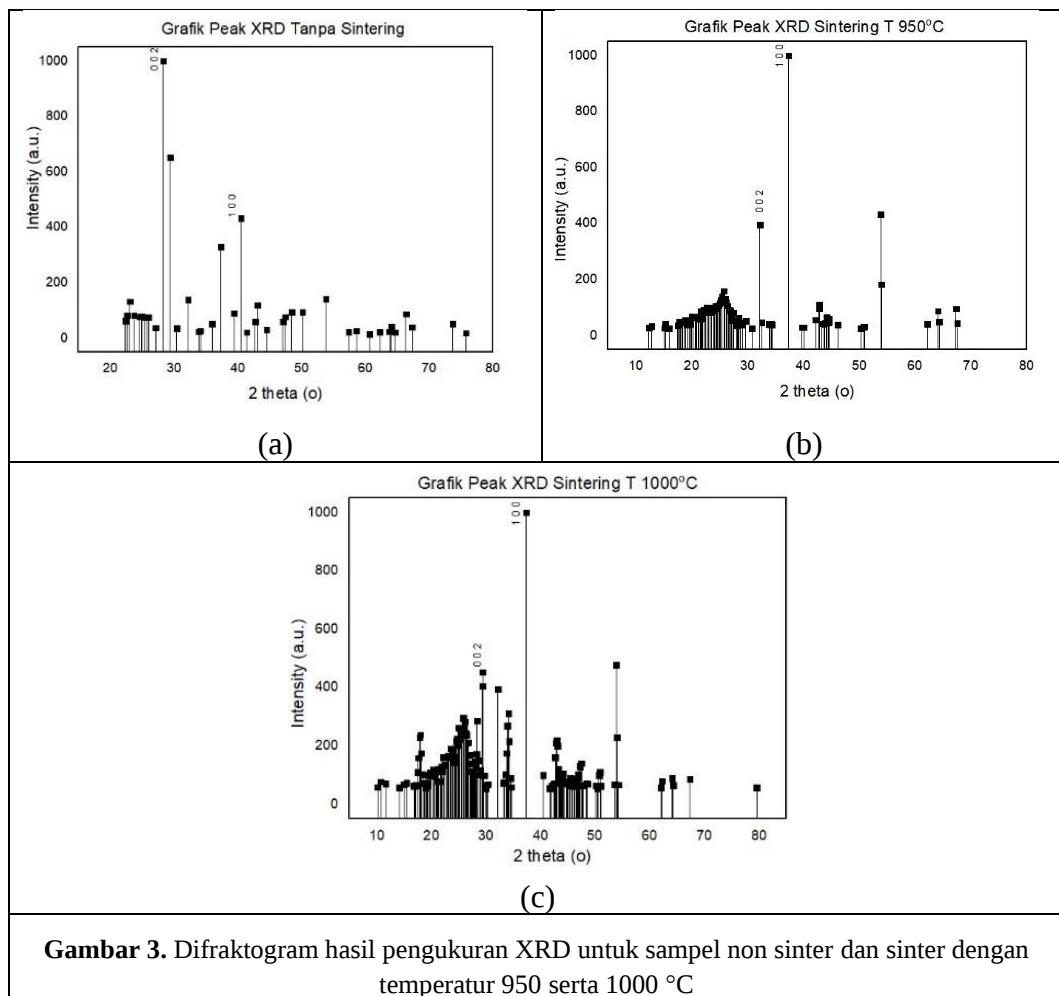
$$Y = \frac{3,440 - d_{002}}{3,440 - 3,354} \quad (5)$$

Di mana, λ menyatakan panjang gelombang radiasi (nm), β menyatakan lebar maksimum pada intensitas setengah tinggi (FWHM), dan θ menyatakan sudut difraksi (dalam radian).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Kualitatif

Dengan metode grafik difraktogram, diperoleh perbandingan analisis *peak* intensitas puncak untuk perlakuan sampel non sinter serta sinter dengan temperatur 950 dan 1000 °C.



Puncak-puncak grafik bersesuaian dengan posisi sudut 2θ khas grafik, di mana puncak-puncak tertinggi menunjukkan keberadaan fase kristalin dari karbon aktif yang disintesis dari kulit kemiri. Untuk rentang skala 2θ diperluas dari $(10-80)^\circ$ pada karbon aktif tanpa *sintering*, *peak-peak* difraktogram menunjukkan

kecenderungan menyebar dan puncak mayoritas berada jauh di bawah puncak kristalinitasnya. Sedangkan untuk *peak-peak* difraktogram pada perlakuan *sintering* baik 950 °C maupun 1000 °C menunjukkan puncak yang seragam dengan mendekati puncak kristalinitasnya.

3.2. Analisis Kuantitatif

Dalam pembahasan analisis kuantitatif diuraikan perhitungan dan perolehan derajat kristalinitas dan derajat grafitisasi melalui serangkaian perhitungan. Berdasarkan teori diketahui bahwa temperatur karbonisasi yang semakin naik maka derajat kristalinitasnya akan meningkat [3]. Analisis kekristalan dari pola grafik XRD dapat terlihat dari semakin tingginya intensitas dan semakin sempitnya lebar setengah puncak (FWHM). Hasil perhitungan derajat kristalinitas secara analitik, dari ketiga sampel karbon aktif ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Derajat Kristalinitas Karbon aktif kulit kemiri

Perlakuan	Derajat Kristalinitas (%)
Tanpa Sinter	32.58
Sinter pada T 950°C	35.23
Sinter pada T 1000°C	35.44

Pada Tabel 1, dapat dilihat untuk semua sampel memiliki derajat kristalinitas yang bervariasi dengan kecenderungan meningkat untuk setiap perlakuan, yakni berturut-turut 32,58 %, 35,23 %, dan 35,44%. Hasil penelitian sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Hsu dan Teng (2000) dalam pembuatan karbon aktif dengan aktivator KOH lebih dapat bereaksi dengan karbon sehingga bahan baku yang memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi lebih baik menggunakan aktivator KOH [4]. Hal tersebut menyebabkan derajat kristalinitas meningkat. Pengaruh perlakuan belum memenuhi standar DOC untuk aplikasi sebagai material aktif elektroda baterai, di mana hasil penelitian ini menunjukkan nilai DOC yang diperoleh masih rendah berada pada nilai sekitar 30 %.

Jika dibandingkan dengan derajat kristalinitas dari karbon aktif yang disintesis dari bahan biomassa lain seperti sabut kelapa derajat kristalinitas rata-ratanya adalah 27,79 % [5], derajat kristalinitas yang diperoleh dari penelitian ini lebih tinggi. Derajat kristalinitas dari karbon aktif kulit kemiri yang dihasilkan bervariasi, untuk perlakuan tanpa *sintering*, *sintering* pada temperatur 950 °C dan 1000 °C diperoleh berturut-turut 32,58 %, 35,23 %, dan 35,44%. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif kulit kemiri dapat berpotensi sebagai karbon aktif komersial untuk berbagai aplikasi. Tetapi untuk mencapai derajat kristalinitas grafit untuk aplikasi material aktif elektroda baterai masih perlu dilakukan *sintering* pada temperatur yang lebih tinggi, yaitu di atas temperatur 2500 °C untuk mencapai daerah *sintering* grafitisasi. Grafit merupakan karbon berstruktur kristal yang memiliki 2 puncak karbon pada pola difraksinya yaitu sudut 26° dan 43°. Hasil perhitungan derajat grafitisasi dari sampel yang diteliti diuraikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut ini.

Tabel 2. Hasil pengolahan data derajat grafitisasi karbon aktif kulit kemiri arah vertikal

Perlakuan T (°C)	Fasa 1					
	2 θ	θ	FWHM (β)	d ₀₀₂ (nm)	Lc (nm)	Y (%)
Non Sinter	25,79	12,89	0,1593	0,3455	0,8837	35,98
1000	26,6	13,3	0,1674	0,3351	0,8423	36,10
950	25,74	12,87	0,77	0,3461	0,1828	35,98

Tabel 3. Hasil pengolahan data derajat grafitisasi karbon aktif kulit kemiri arah horizontal

Perlakuan T (°C)	Fasa 2					
	2 θ	θ	FWHM (β)	d ₁₀₀ (nm)	La (nm)	Y (%)
Non Sinter	42,7	21,35	0,3192	0,2118	0,9854	37,54
1000	43,42	21,71	0,1004	0,2084	3,1407	37,58
950	42,84	21,42	0,1874	0,2111	1,6793	37,55

Secara umum, perlakuan *sintering* pada temperatur 950 dan 1000 °C diketahui tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap derajat grafitisasi. Hasil perhitungan menunjukkan nilai derajat grafitisasi berkisar 36% untuk arah vertikal dan sekitar 37% untuk arah horizontal. Nilai derajat grafitisasi umumnya berbanding lurus dengan nilai derajat kristalinitasnya, jika derajat kristalinitas rendah maka derajat grafitisasi juga akan rendah. Derajat grafitisasi menunjukkan seberapa banyak kandungan grafit di dalam sampel karbon aktif. Hasil yang diperoleh menunjukkan kandungan grafit pada sampel karbon aktif sekitar 36%, yang mengandung arti bahwa sampel yang diperoleh masih didominasi oleh karbon aktif amorf.

4. Kesimpulan

Karbon aktif kulit kemiri yang diaktivasi dengan larutan KOH, pada perlakuan non sinter serta sinter dengan temperatur 950°C dan 1000°C menghasilkan struktur dominan amorf, dengan derajat kristalinitas masing-masing sebesar 35,23% dan 35,44%. Hasil analisis derajat grafitisasi dihasilkan nilai derajat grafitisasi pada arah horizontal berkisar 36% dan pada arah vertikal 37%. Hasil analisis menunjukkan *sintering* pada temperatur sekitar 1000°C berpengaruh terhadap peningkatan derajat kristalinitas dan derajat grafitisasi walaupun belum signifikan. Nilai terbaik diperoleh pada perlakuan temperatur *sintering* 1000°C dengan derajat kristalinitas 35,44% dan derajat grafitisasi sekitar 36%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristek-Dikti Indonesia atas dukungan finansial Pendanaan Hibah Penelitian Dasar Kontrak No: 1207/UN6.3.1/PT.00/2021

Daftar Pustaka

1. M. Lempang, W. Syafii dan G. Pari. Struktur Dan Komponen Arang Serta Arang Aktif Tempurung Kemiri, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(3) (2011), pp. 278–294. Doi: 10.20886/jphh.2011.29.3.278-294.
2. T. Koji. Kemiri (*Aulerites Moluccana*) and Forest Resource Management in Eastern Indonesia, An Eco-Historical Perspective (2002), pp 5-23.
3. K. Kercher and D. C. Nagle, Microstructural Evolution during Charcoal Carbonization by X-Ray Diffraction Analysis, *Carbon*, vol. 41 (2003), pp. 15-27.
4. L. Hsu and H.Teng, Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal, *Fuel Processing Technology*, vol. 64 (2000), pp. 155-166.
5. N. Fauziah, Pembuatan Arang Aktif secara Langsung dari Kulit Acacia mangium Wild dengan Aktivasi Fisika dan Aplikasinya sebagai Adsorben, Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor (2009).

PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF BRIQUETTES FROM EMPTY FRUIT BUNCHES AND PALM KERNEL SHELL BY MIXING TAPIOCA FLOUR AND MOLASSES

TINTAN ROSTINA, SRI SURYANINGSIH*

*Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, West Java, Indonesia 45363*

**email : sri@phys.unpad.ac.id*

Abstract. West Java has the potential of palm oil wastes such as empty fruit bunches (EFB) and palm kernel shell (PKS) that can be used for fabrication of briquettes as raw materials. Briquette as a solid fuel and as a substitute for fossil fuel must have a good quality to be accepted in the market, such as having a good thermal and good physical properties. This research, reviewing the effect of particle size parameter and the effect of adding adhesive on briquette to heating value, thermal properties and physical properties. Briquettes were determined by using varying EFB and PKS biomass ratios of 50:50 and by adding 7% adhesive from tapioca flour or molasses of the total mass of the briquette. Particle size variations are set for 20 mesh and 40 mesh. The best heating value was found at 5,898 cal/g in the sample briquette by using 40 mesh particle and tapioca flour adhesive. The thermal properties test shown the combustion rate of 0.34 g/minutes and combustion length of 111 minutes found in 40 mesh briquette sample by using tapioca flour adhesive. The physical properties test shown the best density value of 0.215 g/cm³ and shattering resistance of 66,23% found in the 40 mesh briquette sample by using tapioca flour adhesive. The best durable value found in sample briquette with 20 mesh particle with tapioca flour adhesive which is 54.35%. The result was indicated that briquette with 40 mesh particle size and tapioca flour adhesive gives the best result of heating value, thermal properties and physical properties.

Keywords: briquette, palm oil, thermal properties, physical properties, tapioca, molasses

Abstrak. Briket merupakan salah satu alternatif bahan bakar biomassa sebagai pengganti energi fosil. Jawa Barat memiliki potensi sebagai penghasil limbah kelapa sawit seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan cangkang kelapa sawit (CKS) yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket. Briket sebagai bahan bakar padat dan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil harus mempunyai kualitas yang baik agar dapat diterima di pasar seperti memiliki sifat termal dan sifat fisik yang baik. Dalam penelitian ini mengkaji bagaimana efek ukuran partikel dan penambahan perekat terhadap nilai kalor briket, sifat termal dan sifat fisiknya. Briket yang dibuat dengan mencampur bahan biomassa TKKS dan CKS dengan perbandingan 50:50 dan menambahkan 7% bahan perekat dari total massa briket. Bahan perekat yang digunakan yaitu tepung tapioka dan molase. Ukuran partikel yang digunakan yaitu 20 mesh dan 40 mesh. Nilai kalor terbaik 5,898 kal/g pada sampel briket dengan 40 mesh dengan perekat tepung tapioka. Sifat termal didapatkan dengan laju pembakaran terbaik 0.34g/menit dan lama pembakaran 111 menit pada sampel briket dengan 40 mesh dengan perekat tepung tapioka. Sifat fisik didapatkan dengan densitas terbaik 0.215g/cm³ dan shattering resistance 66,23% terdapat pada sampel briket dengan 40 mesh dengan perekat tepung tapioka. Dan durabilitas terbaik terdapat pada sampel briket dengan 20 mesh dengan perekat tepung tapioka yaitu 54.35%. Hasil menunjukkan bahwa briket dengan 40 mesh dengan perekat tepung tapioka memberikan hasil terbaik terhadap nilai kalor, sifat termal dan sifat fisik briket.

Kata Kunci: briket, kelapa sawit, sifat termal, sifat fisik, tapioka, molase

1. Introduction

Renewable source of energy is the fastest growing source of world energy, with consumption increasing by 3% per year. This is due to its environmental friendliness as against the rising concern about the environmental impact of fossil fuel use and also strong government incentives for increasing renewable penetration in most countries around the world [1]. Briquette is one of the alternative biomass fuel as a substitute for fossil energy. West Java has the potential of palm oil wastes such as empty fruit bunches (EFB) and palm kernel shell (PKS) that can be used as the briquettes raw materials. In 2017, West Java had an oil palm plantation area of 17,420 ha which was able to produce 43,660 tons of CPO (Crude Palm Oil) [2]. In 1 ton processing of oil palm fresh fruit bunches, produced 23% CPO, 7% PKO, 23% EFB and 9% PKS, so that the total EFB and PKS produced by West Java reached 35 thousand tons/year and 13 thousand tons/year. At present, the largest use of both solid waste is used as boiler fuel with a percentage of 63% PKS and 10% EFB as an energy source in palm oil processing plants. Thus, there is still an excess of oil palm EFB and PKS waste which can be utilized as bio briquettes feedstock [3]. Based on the amount of availability of raw materials, EFB has more availability compared to PKS. However, when viewed from the calorific value as one of the fuel quality requirements, the EFB calorific value is lower than the PKS calorific value, which is 4,264.54 cal/g while PKS is 5,637.88 cal/g [4].

Bio briquette as a solid fuel must have a good quality to be accepted in the market, such as having a good thermal and physical properties. The study aims to produce mixed bio briquettes of EFB and PKS ratio 50:50 using adhesive tapioca flour and molasses as the binding agent and to identify the briquette properties, such as heating value, thermal properties and physical properties.

2. Methods

The materials used in this study is oil palm empty fruit bunches and oil palm shells. As for the adhesive using tapioca flour and molasses. This study uses an experimental method with descriptive data analysis. Research begins by carrying out the carbonation process on EFB and PKS. The carbonation process is carried out to remove materials that are not useful in the combustion process and increase the fixed carbon content. The carbonation process of EFB is regulated at 262°C for 4 hours, while the PKS is carried out at 380°C for 5 hours. Determination of temperature and carbonation time is influenced by differences in the lignocellulose composition of the two ingredients [5].

Carbonated charcoal from both materials was carried out uniformly using 20 mesh and 40 mesh sieve. The formulation of mixed EFB and PKS consists of 50:50 concentration treatments. The total mixture of raw materials for EFB and PKS for each bio briquettes is 50 grams. During the process of making briquettes, 7% of the adhesive material will be added which is equal to 3.5 grams, the compression pressure is 50 kg, and the drying temperature is 60 °C for 3 hours. After homogenization between the three materials, forming was carried out using a mold. The briquettes were formed in a hollow cylindrical mold with an inner diameter of 4 cm, a height of 10 cm and a rod with a 1 cm diameter placed in the center to create a hole in the middle of the briquette. The hole helps to increase porosity and oxygen supply, thereby improving briquette combustion. Composition of the treatment is shown in Table 1.

Table 1. Formulate treatment in the Briquetting process

Adhesive	Ratio			Compression Pressure (kg)	Drying Time and Temperature
	Particle Size (mesh)	EFB (%)	PKS (%)		
7% Molasses	20	50	50	50	T = 60°C t = 3 hr
	40	50	50	50	T = 60°C t = 3 hr
7% Tapioca Flour	20	50	50	50	T = 60°C t = 3 hr
	40	50	50	50	T = 60°C t = 3 hr

Measurement of calorific value is carried out using a bomb calorimeter using the C 2000 IKA adiabatic calorimeter instrument. The formula for upper heating value (HHV) and lower calorific value (LHV) are as follows:

$$\text{LHV} = \frac{m \times C_p \times \Delta T}{m \text{ briquettes}} \quad (1)$$

$$\text{HHV} = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \left(\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right) \quad (2)$$

2.1. Thermal Properties

The briquettes combustion rate was determined by recording the briquettes mass before combustion and after the briquettes were completely burnt, the rate at which fire consumes the briquette samples were calculated using equation [6].

$$\text{Combustion Rate} = \frac{\text{mass of briquette after burning}}{\text{total burning time}} \quad (3)$$

2.2. Physical Properties

a. Density

The density of briquettes was determined according to ASTM D2395-17 [7]. The density of briquette was calculated by dividing the mass of the briquette by its volume. The density was calculated by:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

b. Shattering Resistance

This property was determined according to ASTM D440-86. The procedure involved weighing and recording the initial mass of the briquette, followed by subjecting the sample to a gravitation fall from a constant 2 m height. The drop is repeated three times and each time the sample was passed through a sieve (2.36 mm), while the mass of the briquette retained on the sieve was recorded [8]. The shatter resistance of each briquette was calculated by the equation (5).

$$K = \frac{\text{weight of briquette after shattering}}{\text{weight of briquette before shattering}} \times 100\% \quad (5)$$

c. Durability

The durability test was determined according to ASAE S269.3, describes a tumbling device made of a rectangular container in aluminium or stainless steel with inner dimensions of (300x300x460) mm. The container rotates on an axis, which is centered perpendicular to the sides of the box. The rotation speed is fixed to 40 rpm [9]. The durability was calculated by the equation:

$$\% \text{ durability} = \frac{\text{weight of briquette after rotating}}{\text{weight of briquette before rotating}} \times 100\% \quad (6)$$

3. Results and Discussion

3.1. Biobriquette calorific value

Analysis of calorific value was carried out using the C 2000 IKA adiabatic calorimeter instrument. The results of the analysis of calorific values are shown in Table 2. Table 2 shows the average calorific value of each ratio of material mixtures between EFB and PKS. Based on the test results carried out the highest calorific value was produced from briquette with 40 mesh particle size and tapioca flour adhesive. The calorific value generated from this ratio reaches 5,898 cal/gr. While the lowest calorific value was generated from briquette with 20 mesh particle size and molasses adhesive with the resulting heating value of 5,498 cal/gr. The increase in calorific value may be due to the addition of tapioca flour which is contributes to the total heat value released. The calorific value from all briquettes has complied with Indonesian National Standard (SNI) No.1/6235/2000 which is only 5,000 cal/gr.

Table 2. Calorific value of bio briquette from mixture EFB and PKS

Adhesive	Ratio			Average Calorific Value (cal/gr)
	Particle Size (mesh)	EFB (%)	PKS (%)	
7% Molasses	20	50	50	5,498
	40	50	50	5,694
7% Tapioca Flour	20	50	50	5,758
	40	50	50	5,898

3.2. Biobriquette thermal properties

The results of the effect of particle size and the adhesive on the combustion rate are presented in Table 3. The optimum combustion rate was found 0.34 g/minutes in briquette with 40 mesh particle size and tapioca flour adhesive. The effect of adding adhesive to the combustion rate of briquettes was not significant, either using molasses or tapioca flour. From Table 3. the effect of particle size demonstrated direct relationship with the combustion rate of briquette. The study could be attributed to porosity exhibited between inter and intra-particles which enable easy infiltration of oxygen and out of combustion briquettes. Furthermore, the obtained value for finer particle size based on the combustion tests might possibly be

attributed to lower porosity and this hindered mass transfer. Consequently, its combustion rates might be reduced. In this study indicated that the combustion rate of the briquettes increased with increase in particle size.

Tabel 3. Combustion rate of bio briquette from mixture EFB and PKS

Adhesive	Ratio			Lenght of Combustion (minutes)	Combusti on Rate (gr/minute s)
	Particle Size (mesh)	EFB (%)	PKS (%)		
7% Molasses	20	50	50	98	0.36
	40	50	50	93	0.35
7% Tapioca Flour	20	50	50	112	0.35
	40	50	50	111	0.34

3.3. Biobriquette physical properties

It was observed from the Table 4. that the maximum density was found 0.2150 g/cm³ in briquette with 40 mesh particle size and tapioca flour adhesive. The low bulk density was found 0.1864 g/cm³ in in briquette with 40 mesh particle size and tapioca flour adhesive . These results suggest that the density of the briquettes produced increases with decreasing particle size. The smaller particle size is likely to have higher relaxed density than those with larger particle size. In briquetting, when a large proportion of the raw material is of smaller particles, the briquette produced will have a higher density [10]. The effect of adding adhesive on the density of briquettes was not significant, either using molasses or tapioca flour.

Tabel 4. Density of bio briquette from mixture EFB and PKS

Adhesive	Ratio			Density (g/cm ³)
	Particle Size (mesh)	EFB (%)	PKS (%)	
7%Molasses	20	50	50	0.1996
	40	50	50	0.2104
7%Tapioca Flour	20	50	50	0.1864
	40	50	50	0.2150

The Table 5. shows that the shattering resistance of mixed raw biomass was found to be in the range of 49.95 – 66.23 %. The lowest shattering resistance found 41.95 % in briquette with 40 mesh particle size and molasses adhesive. The maximum shattering resistance was found 66.23 % in briquette with 40 mesh particle size and tapioca flour adhesive. The shattering resistance of briquette fuels is increasing with increasing particle size of briquette. Also the shattering resistance of briquette fuels is increasing with adding tapioca flour. This implies

that briquettes produced with adding tapioca flour are more durable and resistant to handling stress.

Table 5. Shattering resistance of bio briquette from mixture EFB and PKS

Adhesive	Ratio			Shattering Resistance (%)
	Particle Size (mesh)	EFB (%)	PKS (%)	
7%Molasses	20	50	50	41.95
	40	50	50	47.21
7%Tapioca Flour	20	50	50	64.13
	40	50	50	66.23

Table 6 shows the durability found to be in the range of 52.40 – 56.28%. The maximum durability was found 56.28% in briquette with 20 mesh particle size and tapioca flour adhesive. The lowest durability, value found 52.40% in briquette with 40 mesh particle size and molasses adhesive. The briquettes produced from smaller particle size typically depict much higher strength as compared to larger particles [11]. The effect of adding adhesive on the density of briquettes was not significant, either using molasses or tapioca flour. In this study, the shattering resistance of briquette fuels is decreasing with decreasing particle size of briquette. The decrease in briquette may be due to the blending of biomass, a non-combustible substance and the starch used as the binder which does not contribute to the total durability released.

Table 6. Durability of bio briquette from mixture EFB and PKS

Adhesive	Ratio			Durability (%)
	Particle Size (mesh)	EFB (%)	PKS (%)	
7%Molasses	20	50	50	55.65
	40	50	50	52.40
7%Tapioca Flour	20	50	50	56.28
	40	50	50	54.35

4. Conclusions

The best heating value was 5.898 cal/g found in sample briquette with 40 mesh particle with tapioca flour adhesive. The thermal properties test with the give combustion rate was 0,34g/minutes and length of combustion was 111 minutes found in briquette with 20mesh particle with tapioca flour adhesive. Physical properties result, the best density value was 0,215g/cm³ and shattering resistance was 66,23% found in sample briquette with 20 mesh particle with tapioca flour adhesive. And the best durability value found in sample briquette with 20 mesh particle with tapioca flour adhesive which is 54,35%. The result was indicated that

briquette with 40 mesh particle size and tapioca flour adhesive gives the best result of heating value, thermal properties and physical properties.

Acknowledgement

The author would like to thank to Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences Universitas Padjadjaran for all the facilities provided in carrying out this research.

References

1. "U.S. Energy Information Administration (EIA) - U.S. Energy Information Administration (EIA)." [Online]. Available: <https://www.eia.gov/renewable/>. [Accessed: 17-Dec-2020].
2. D. D. Hendaryati, Y. Arianto, and S. Wahyudi, "STATISTIK PERKEBUNAN INDONESIA (Tree Crop Estate Statistics Of Indonesia 2017-2019) Kelapa Sawit (Palm Oil)," Dir. Gen. Estate Crop. Minist. Agric. Indones., pp. 1–81, 2019.
3. H. P. L. dan S. S. N. Zainal Abidin Nasution, "Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit Menjadi Carbon Black Skala Ikm Dan Studi Kelayakan," pp. 1–10, 2018.
4. O. U. Paul, I. H. John, I. Ndubuisi, A. Peter, and O. Godspower, "Calorific Value of Palm Oil Residues for Energy Utilisation," *Int. J. Eng. Innov. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 2277–5668, 2015.
5. S. Suryaningsih, "Pengaruh Ukuran Butir Briket Campuran Sekam Padi dengan Serbuk Kayu Jati terhadap Emisi Karbon Monoksida (CO) dan Laju Pembakaran," *J. Ilmu dan Inov. Fis.*, vol. 2, no. 1, pp. 15–21, 2018, doi: 10.24198/jiif.v2i1.15377.
6. T. Onuegbu, U. Ekpunobi, M. Ekeoma, I. Ogbu, and O. F.O., "Comparative studies of ignition time and water boiling test of coal and biomass briquettes blend," *Intern. J. Res. Rev. Appl. Sci.*, vol. 7, pp. 153–159, May 2011.
7. "ASTM D2395 - 17 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials." [Online]. Available: <https://www.astm.org/Standards/D2395.htm>. [Accessed: 17-Dec-2020].
8. C. Antwi-Boasiako and B. B. Acheampong, "Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities," *Biomass and Bioenergy*, vol. 85, pp. 144–152, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.biombioe.2015.12.006.
9. M. Temmerman, F. Rabier, P. D. Jensen, H. Hartmann, and T. Böhm, "Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes," *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, no. 11, pp. 964–972, Nov. 2006, doi: 10.1016/j.biombioe.2006.06.008.
10. P. Križan, "Research of factors influencing the quality of wood briquets," *Acta Montan. Slovaca*, vol. 12, Oct. 2007.
11. N. yub harun and M. T. Afzal, "Effect of Particle Size on Mechanical Properties of Pellets Made from Biomass Blends," *Procedia Eng.*, vol. 148, pp. 93–99, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.445.