

HUBUNGAN KARAKTERISTIK GUGUS FUNGSIONAL TERHADAP TINGKAT KEMATANGAN BATUBARA PADA FORMASI STEENKOOL DI DAERAH TISIHU, KABUPATEN TELUK BINTUNI, PAPUA BARAT

Gerald Khansa Muhammad¹, Ahmad Helman Hamdani¹, Agus Didit Haryanto¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

ABSTRAK

Batubara merupakan sumber energi yang banyak digunakan di seluruh dunia, meskipun banyak alternatif sumber energi lain seperti panas bumi yang akhir-akhir ini mulai banyak dikembangkan. Pematangan batubara berhubungan langsung dengan kualitas batubara, sehingga diperlukan analisis penentuan karakteristik dan tingkat kematangan batubara agar penggunaan batubara dapat dilakukan secara tepat. Terdapat potensi batubara di Provinsi Papua Barat yang menyisip pada Formasi Steenkool namun potensi tersebut belum ditangani secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik gugus fungsional batubara pada daerah penelitian dan menganalisis hubungan struktur molekul yang terbagi ke dalam beberapa gugus fungsional dengan tingkat kematangan yang terdapat pada daerah penelitian dengan menggunakan analisis *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Parameter struktur molekul yang tersebar di beberapa gugus fungsional pada batubara dikorelasikan dengan nilai indikator peringkat batubara yaitu nilai rasio H/C. Ketujuh sampel merupakan batubara tipe *High Volatile Bituminous A Coal* yang diklasifikasikan menurut ASTM D 388-05. Hasil analisis menunjukkan rentang nilai dari parameter FTIR terdapat 2 parameter yang menunjukkan kenaikan nilai tren seiring bertambahnya nilai H/C yang konsisten dengan penelitian terdahulu, yaitu parameter $f_a = 0,551 - 0,61$, $(R/C)_u = 0,24 - 0,29$. Parameter lainnya yang tidak konsisten yang seharusnya meningkat yaitu $DOC = 0,068 - 0,121$, $I = 0,139 - 0,235$, $'C' = 0,008 - 0,034$ dan terdapat 2 parameter yang seharusnya menunjukkan penurunan nilai tren seiring bertambahnya peringkat batubara, parameter tersebut yaitu $H_{al}/H = 0,81 - 0,878$, $A(CH_2)/A(CH_3) = 0,37 - 0,45$. Dari seluruh parameter FTIR yang diteliti, hanya 2 dari 7 parameter konsisten dengan hasil penelitian terdahulu dengan nilai korelasi yang kuat $R > 0,5$ dan pengaruh yang besar R^2 mendekati 1. Adanya ketidaksesuaian dari hasil perhitungan ini disebabkan oleh persebaran sampel yang seragam hanya pada satu kelas saja, sedangkan penelitian terdahulu memiliki sampel yang lebih variatif.

Kata Kunci: Batubara, Struktur Molekul, Formasi Steenkool, Gugus Fungsional, FTIR

ABSTRACT

Coal is an energy source that is widely used throughout the world, although many alternative energy sources such as geothermal have recently begun to be developed. Coal maturation is directly related to coal quality, so it is necessary to analyze the characteristics and maturity level of coal so that the use of coal can be carried out properly. There is coal potential in West Papua Province that inserts into the Steenkool Formation but this potential has not been handled optimally. This study aims to determine the characteristics of the functional groups of coal in the study area and analyze the relationship of the molecular structure which is divided into several functional groups with the level of increase found in the study area using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis. The

molecular structure parameters spread over several functional groups in coal are correlated with the coal rank indicator value, namely the value of the H/C ratio. The seven samples were High Volatile Bituminous A Coal classified according to ASTM D 388-05. The results of the analysis show that in the range of values of the FTIR parameter, there are 2 parameters that show an increase in the trend value along with the increase in the H/C value which is consistent with previous research, namely the parameter $f_a = 0.551 - 0.61$, $(R/C)_u = 0.24 - 0.29$. Other inconsistent parameters that should increase are $DOC = 0.068 - 0.121$, $I = 0.139 - 0.235$, $'C' = 0.008 - 0.034$ and there are 2 parameters that should show a decreasing trend value as coal rank increases, these parameters are $Ha/H = 0.81 - 0.878$, $A(CH_2)/A(CH_3) = 0.37 - 0.45$. Of all the FTIR parameters studied, only 2 of the 7 parameters are consistent with the results of previous studies with a strong correlation value of $R > 0.5$ and a large influence of R^2 close to 1. The discrepancy in the results of this calculation is caused by the uniform distribution of the sample in only one class, while previous studies have a more varied sample.

Keywords: Coal, Molecular Structure, Steenkool Formation, Functional Groups, FTIR

1. PENDAHULUAN

Batubara merupakan sumber energi yang banyak digunakan di seluruh dunia, meskipun banyak alternatif sumber energi lain seperti panas bumi yang akhir-akhir ini mulai banyak dikembangkan. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pada industri zaman sekarang masih dibutuhkan secara masal, dimana dapat dilihat dari total penggunaan batubara di Indonesia yang semakin naik dari tahun 2007 sebesar 61 juta ton hingga tahun 2021 sebesar 133 juta ton (*Indonesian Coal Mining Association (APBI) & Ministry of Energy and Mineral Resources*).

Analisis geokimia dan fisika sangat diperlukan karena kedua proses tersebut berpengaruh besar terhadap pematangan batubara, yaitu perubahan gambut menjadi batubara lignit, batubara bituminous, sampai pada batubara jenis antrasit. Pematangan batubara ini berhubungan langsung dengan kualitas batubara, sehingga diperlukan analisis penentuan karakteristik dan tingkat kematangan batubara agar penggunaan batubara dapat dilakukan secara tepat, salah satunya dengan menggunakan analisis FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*).

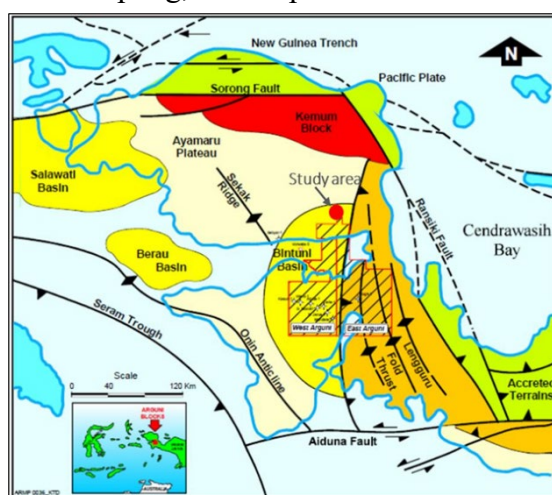
Analisis FTIR (*Fourier- Transform Infrared Spectroscopy*) merupakan salah satu analisis yang dapat digunakan menentukan karakteristik ikatan molekul yang terbagi ke dalam beberapa gugus fungsional antara senyawa kimia, kemudian karakteristik ikatan molekul yang terdapat pada batubara tersebut digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara gugus fungsi dengan tingkat kematangan batubara

Geologi Regional

Tempat penelitian terletak di Formasi Steenkool yang merupakan salah satu formasi yang terbentuk di Cekungan Bintuni. Di bagian barat Cekungan Bintuni dibatasi oleh Dataran Tinggi Onin-Kumawa, di bagian timur dibatasi oleh *Lengguru Fold-Thrust Belt* (LFTB), di bagian utara dibatasi oleh Dataran Tinggi Kemun, dan di bagian selatan dibatasi oleh Zona Patahan Tarera-Aiduna. Batas-batas tersebut membagi daerah kepala burung menjadi lima daerah sesuai dengan penelitian terdahulu (Pigram, dkk., 1982; Pieters, dkk., 1983,1990) (Gambar 1).

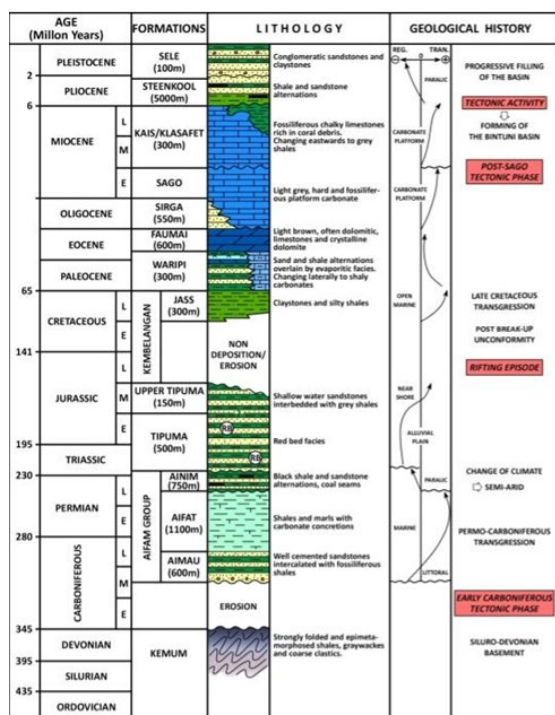
Stratigrafi

Daerah penelitian tersusun oleh batuan yang tergabung ke dalam Anggota Batupasir Formasi Steenkool (TQss) dan Anggota Batulumpur Formasi Steenkool (TQsm) yang dapat dilihat pada Gambar 2. Peneliti terdahulu (Setiadi, dkk., 2018) menyebutkan bahwa Formasi Steenkool yang terdapat pada daerah penelitian disusun oleh batupasir, batulanau, batulempung, dan serpih.



Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian berdasarkan laporan PT.GES 2018

2. TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. Stratigrafi bagian timur Kepala Burung, Papua menurut Chevalier dan Berdanave (1986)

3. METODE PENELITIAN

Analisis Proksimat dan Ultimat

Analisis proksimat dan ultimat dilakukan pada keenam sampel, kemudian dari hasil analisis tersebut dapat ditentukan parameter (fa), $((R/C)u)$, dan (Hal/H) .

Parameter *Apparent Aromaticity* (fa) merepresentasikan nilai rasio karbon aromatik dengan total karbon yang terdapat pada batubara dapat dikalkulasikan dengan rumus (Mielczarski et al., 1986):

$$fa = \frac{(100 - VM) \times 0,9667}{C}$$

dimana VM merupakan *Volatile Matter* yang didapatkan dari hasil analisis proximate, C merupakan total atom karbon yang didapatkan dari hasil analisis ultimat, sedangkan 0,9677 merupakan konstanta *Fitting Coefficient* (Krevelen, 1993).

Parameter $((R/C)u)$ merepresentasikan jumlah cincin aromatik

tiap monomer, dapat dihitung dengan rumus (Kastner et al., 1994) (Jiang et al., 2019):

$$1 - \frac{fa}{2} - \frac{(\frac{H}{C})}{2}$$

dimana fa merupakan nilai rasio karbon aromatik dengan total karbon yang terdapat pada batubara, H/C merupakan total atom hidrogen dibagi dengan total atom karbon yang didapatkan dari hasil analisis ultimat.

Parameter Hal/H merepresentasikan rasio hidrogen alifatik dengan total atom hidrogen, dapat dihitung dengan rumus (Orrego-Ruiz et al., 2011) (He et al., 2017) (Zhao et al., 2020) :

$$\frac{Hal}{H} = \frac{(1 - fa)}{(\frac{Cal}{Hal})/(\frac{H}{C})}$$

dimana fa merupakan nilai rasio karbon aromatik dengan total karbon yang terdapat pada batubara, Cal/Hal merupakan rasio karbon dengan hidrogen pada grup alifatik, biasanya berkisar di 0,55 pada batubara dan H/C merupakan total atom hidrogen dibagi dengan total atom karbon yang didapatkan dari hasil analisis ultimat.

Analisis FTIR

Analisis parameter FTIR dilakukan pada spektrum $400 \text{ cm}^{-1} - 4000 \text{ cm}^{-1}$, kemudian dilakukan analisis kembali dengan software Origin 2018 menggunakan metode *Gaussian Peak*, metode ini dilakukan pada spektrum FTIR untuk mencari lebar, tinggi, dan luas area dari parameter FTIR.

A. Parameter Struktur Aromatik

Apparent Aromaticity (fa) pada analisis FTIR dapat dihitung dengan rumus (Xueqiu, dkk., 2017) (Jiang, dkk., 2019):

$$\text{Hal/H} = \frac{\text{Hal}}{\text{Hal} + \text{Har}} = \frac{A_{3000} - 2800}{A_{3000} - 2800 + A_{900} - 700}$$

$$\text{Cal/C} = \frac{\text{Hal}}{\text{H}} \times \frac{\text{H}}{\text{C}} \bigg/ \frac{\text{Hal}}{\text{Cal}}$$

$$f_a = 1 - \frac{\text{Cal}}{\text{C}}$$

Hal/H merepresentasikan rasio hidrogen alifatik dengan total atom hidrogen, Cal/C merepresentasikan rasio karbon alifatik dengan total atom karbon, H/C merupakan total atom hidrogen dibagi dengan total atom karbon, dan Hal/Cal merupakan konstanta pada batubara dengan nilai 1,8.

Parameter I merupakan indeks tingkat aromatisitas batubara yang menunjukkan jumlah relatif dari gugus aromatis dan gugus alifatik, dapat dihitung dengan rumus (Xueqiu, dkk. 2017) :

$$I = \frac{A_{700} - 900}{A_{2800} - 3000}$$

A₇₀₀-A₉₀₀ merupakan luas area antara spektrum 700-900 cm⁻¹ dimana range spektrum tersebut mewakili gugus aromatik yang terdapat sedangkan A₂₈₀₀-A₃₀₀₀ merupakan spektrum yang mewakili gugus alifatik yang terdapat batubara.

Parameter *Degree of Condensation* (DOC) menunjukkan derajat kondensasi dari cincin aromatik, dapat dihitung dengan rumus (Xueqiu, dkk. 2017) (Shaoqing W, dkk. 2011):

$$\text{DOC} = \frac{A_{700} - 900}{A_{1600}}$$

Tabel 1. Gugus fungsional pada spektrum FTIR

Wavenumber	Functional Group Peak Assignment
558 - 588	C-X stretching (X = halogens) (Chloride)
697 - 820	C=C bending (aromatic out-of-plane bend m-subst.

	benzene)
1028 - 1041	C-O stretching or S=O stretching (Primary alcohol OR sulfones, sulfonyl chlorides, sulfates, sulfoamides)
1110	C-O stretching (Secondary alcohol)
1273 - 1283	C-O stretching or C-N stretching (Phenol OR amines)
1449 - 1452	C-H bending (Alkane CH ₃)
1615 - 1623.58	C=C stretching (Aromatic)
2350 - 2354	O=C=O stretching (Carbon dioxide)
2854 - 2856	C-H stretching (Alkane CH ₂ symmetrical stretch)
2926 - 2929.90	C-H stretching (Alkane CH ₂ asymmetrical stretch)
3396 - 3428	O-H stretching (H-bonded alcohols, phenols)

A₇₀₀-900 merupakan luas area antara spektrum 700-900 cm⁻¹ dimana range spektrum tersebut mewakili gugus aromatik yang terdapat sedangkan A₁₆₀₀ merupakan spektrum yang mewakili ikatan C=C.

B. Parameter Struktur Alifatik

Parameter struktur alifatik menunjukkan panjang dari cincin alifatik, dapat direpresentasikan dengan rasio dari luas area pada spektrum 2863 cm⁻¹ dengan 2930 cm⁻¹ dengan rumus (Jiang, dkk. 2017):

$$\frac{A(\text{CH}_2)}{A(\text{CH}_3)} = \frac{A_{2854} - 2887}{A_{2926} - 2937}$$

C. Struktur yang Mengandung Oksigen

Parameter ini menunjukkan perubahan rasio gugus C=O menuju C=C, dapat dihitung dengan rumus (Xueqiu, dkk. 2017) (J. Jiang et al. 2019) :

$$"C" = \frac{A1800 - 1650}{A1800 - 1650 + A1600}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Ultimat dan Proksimat

Tabel 2 dan Tabel 3 merupakan hasil analisis ultimat dan proksimat, terlihat

rentang nilai *Apparent Aromaticity* (*fa*) sebesar 0,64 – 0,66, perbandingan Hidrogen alifatik dengan total hidrogen (*Hal/H*) memiliki nilai 0,661 hingga 0,806, dan jumlah cincin aromatis dalam monomer (*R/C*)_u pada rentang 0,194 hingga 0,278.

Tabel 2. Perhitungan analisis proksimat

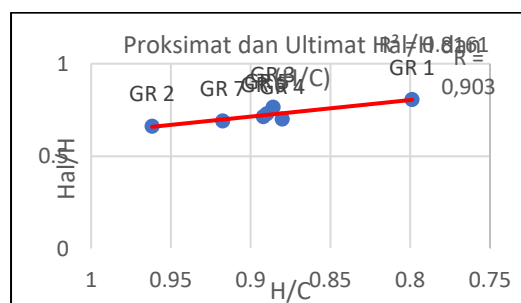
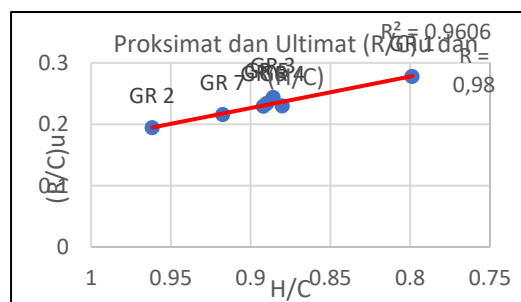
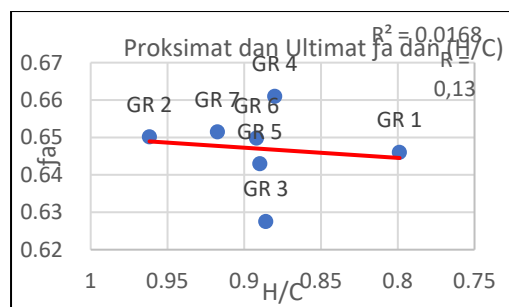
Sampel	Analisis Proksimat (adb)				
	M	A	VM	FC	Btu/lb
GR 1	2,7	1,7	44,9	50,7	14257,8
GR 2	2,7	3,9	43,2	50,2	14320,8
GR 3	2,4	1,2	45,8	50,6	14371,2
GR 4	2,8	3,2	43,7	50,3	14367,6
GR 5	2,1	2,7	44,5	50,7	14365,8
GR 6	2,9	1,9	44,5	50,7	14272,2
GR 7	3,2	2,4	44,1	50,3	14367,6

Tabel 3. Perhitungan analisis ultimat dan perhitungan struktur molekul

Sampel	Analisis Ultimat (daf)			Rasio Atom		<i>fa</i>	(R/C) _u	Hal/H
	C	H	O	H/C	O/C			
GR 1	82,543	5,534	11,414	0,799	0,106	0,646	0,278	0,806
GR 2	84,545	6,824	9,186	0,962	0,085	0,650	0,194	0,661
GR 3	83,583	6,215	8,887	0,886	0,081	0,628	0,243	0,764
GR 4	82,427	6,089	9,824	0,880	0,090	0,661	0,229	0,700
GR 5	83,535	6,238	9,342	0,890	0,086	0,643	0,234	0,730
GR 6	82,650	6,188	9,857	0,892	0,091	0,650	0,229	0,714
GR 7	83,033	6,393	9,775	0,917	0,090	0,651	0,216	0,691

Nilai (*R/C*)_u pada proksimat dan ultimat menunjukkan trend yang naik dengan korelasi yang kuat (*R*=0,98) dan pengaruh yang besar (*R*²=0,9606) terhadap peringkat batubara (Gambar 3.A) sedangkan nilai *fa* menunjukkan trend penurunan tidak sesuai dengan penelitian terdahulu (Jiang, dkk., 2019) dengan korelasi yang lemah (*R*=0,13) dan pengaruh yang kecil (*R*²=0,0168) terhadap peringkat batubara (Gambar 3.B).

Nilai Hal/H menunjukkan trend yang naik dengan korelasi yang kuat (*R*=0,903) dan pengaruh yang besar (*R*²=0,8161) terhadap peringkat batubara (Gambar 3.C).

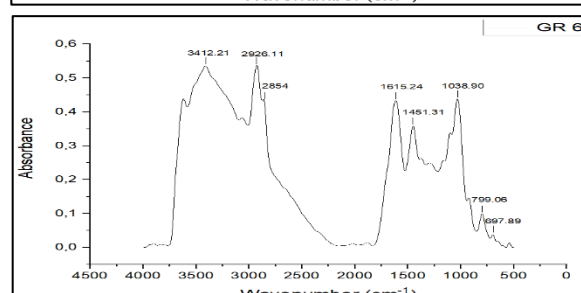
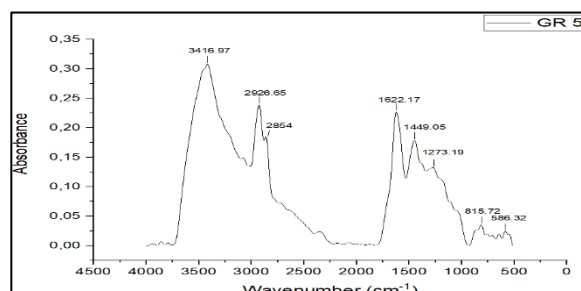
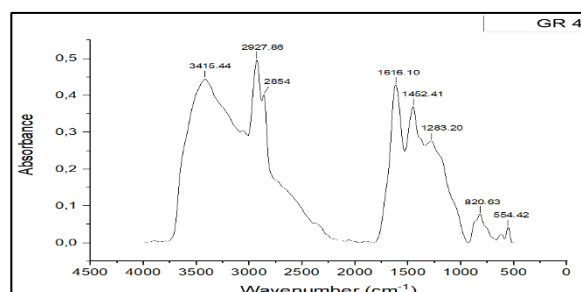
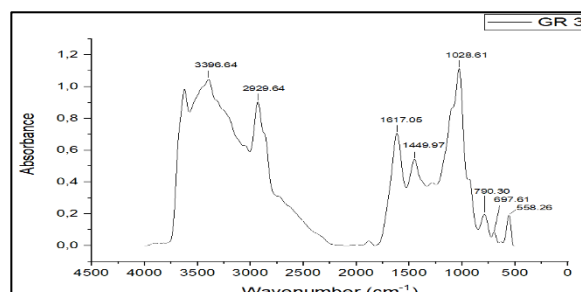
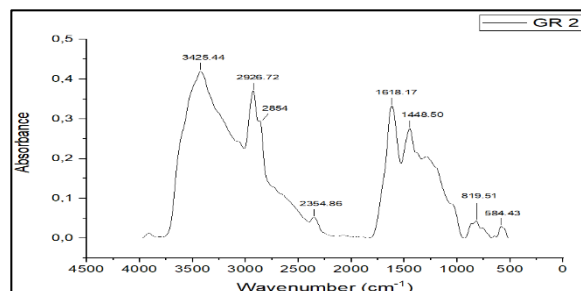
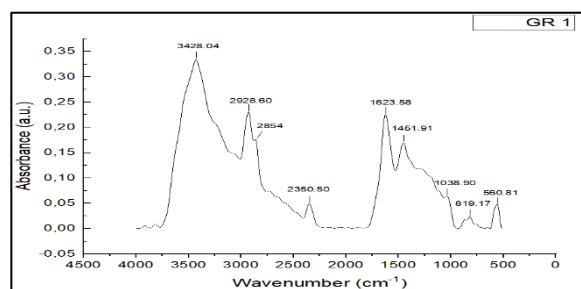


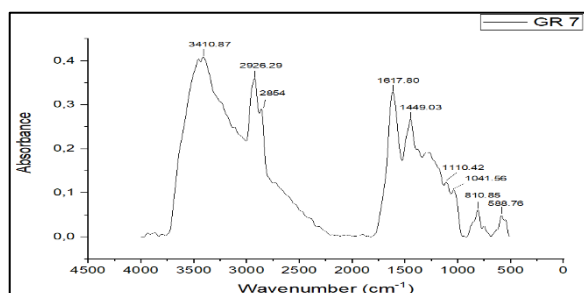
Gambar 3. Grafik korelasi antara f_a , $(R/C)u$, dan Hal/H terhadap R_o

Analisis FTIR

Spektrum FTIR pada ketujuh sampel telah ditandai dengan beberapa puncak yang menunjukkan gugus fungsionalnya, ketujuh spektrum FTIR menunjukkan karakteristik puncak pada posisi serupa namun memiliki intensitas yang berbeda (Gambar 4).

Dalam Tabel 1 dijelaskan gugus fungsi yang tersebar pada ketujuh spektrum FTIR, kemudian dilakukan analisis studio software *origin* menggunakan metode *gaussian peak* pada tiap sampel untuk menemukan luas area puncak (Tabel 4) yang digunakan untuk mencari nilai parameter struktural (Tabel 5) sehingga bisa dilakukan korelasi terhadap parameter kematangan batubara H/C (Gambar 6).





Gambar 4. Spektrum FTIR ketujuh sampel batubara

Pada gambar 6.A parameter **fa** pada rasio H/C mencerminkan bahwa tingkat aromatisasi batubara meningkat dengan meningkatnya kematangan batubara. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu (Jiang, dkk., 2019) dan (Yan, dkk., 2020) dengan korelasi linier yang kuat $R = 0,7961$ dan pengaruh sebesar $R^2 = 0,6336$ atau 63,4%.

Pada gambar 6.B parameter **Hal/H** semakin bertambah mencerminkan bahwa jumlah hidrogen alifatik akan bertambah seiring dengan semakin matangnya suatu batubara namun hal ini tidak sesuai dengan penelitian terdahulu (Jiang, dkk., 2019) sama seperti analisis proksimat dan ultimat dimana seharusnya menunjukkan penurunan nilai hidrogen alifatik pada sampel seiring bertambahnya derajat pembatubaraan. Grafik tersebut menunjukkan korelasi linier yang lemah dengan nilai $R = 0,45$ dan pengaruh sebesar $R^2 = 0,2026$ atau 20,3%.

Pada gambar 6.C parameter **(R/C)_u** mengalami peningkatan seiring dengan penurunan rasio H/C, hal ini menunjukkan bahwa jumlah cincin karbon aromatik bertambah seiring bertambahnya derajat kematangan batubara, hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu (Jiang, dkk., 2019) dan (Yan, dkk., 2020) dengan nilai korelasi yang kuat $R = 0,928$ dan pengaruh sebesar $R^2 = 0,861$ atau 86,1%.

Pada gambar 6.D parameter **I** merupakan nilai relatif dari kelimpahan

kelompok aromatis terhadap kelompok alifatik. Nilai dari **I** menunjukkan tren penurunan yang mencerminkan bahwa kelimpahan kelompok aromatis terus berkurang selaras dengan tingkat kematangan batubara. Hal ini tidak sesuai dengan hasil penelitian terdahulu (Xueqiu, dkk., 2017), dimana seharusnya kelimpahan dari gugus aromatik bertambah seiring bertambahnya derajat kematangan batubara. Parameter **I** memiliki korelasi linier yang lemah dengan nilai $R = 0,44$ dan pengaruh sebesar $R^2 = 0,1937$ atau 19,4%.

Pada gambar 6.E parameter **Degree of Condensation (DOC)** merupakan nilai dari kepadatan cincin aromatis. Nilai DOC menunjukkan tren penurunan yang mencerminkan menunjukkan berkurangnya derajat kondensasi cincin karbon aromatik seiring bertambahnya derajat kematangan batubara hal ini tidak sesuai dengan peneliti terdahulu (Xueqiu, dkk., 2017), dimana seharusnya semakin matang suatu batubara maka akan semakin padat cincin aromatis pada batubara tersebut. Parameter DOC memiliki korelasi linier yang lemah dengan nilai $R = 0,175$ dan pengaruh yang kecil dengan nilai $R^2 = 0,0307$ atau 3,1%.

Pada gambar 6.F parameter **A(CH₂)/A(CH₃)** mewakili panjang rantai alifatik dan tingkat evolusi. Perubahan nilainya dapat memetakan keseluruhan evolusi struktur alifatik. Nilai A(CH₂)/A(CH₃) mengalami kenaikan, hal ini menunjukkan bahwa terjadi pertambahan panjang rantai karbon alifatik seiring bertambahnya derajat kematangan batubara, hal ini tidak sesuai dengan hasil penelitian terdahulu (Jiang, dkk., 2019) dan (Yan, dkk., 2020), dimana seharusnya semakin tinggi derajat kematangan batubara, semakin pendek panjang rantai karbon alifatik. Parameter ini memiliki korelasi linier yang lemah dengan nilai $R =$

0,235 dan pengaruh sebesar $R^2 = 0,0553$ atau 5,5%.

Pada gambar 6.G parameter 'C' dapat digunakan untuk mengkarakterisasi batubara dan metamorfosisnya. Nilai 'C' mengalami penurunan, hal ini menunjukkan pertambahan rasio C=O seiring bertambahnya derajat kematangan batubara, hal ini tidak konsisten dengan

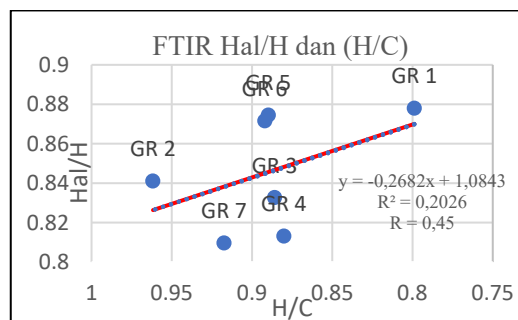
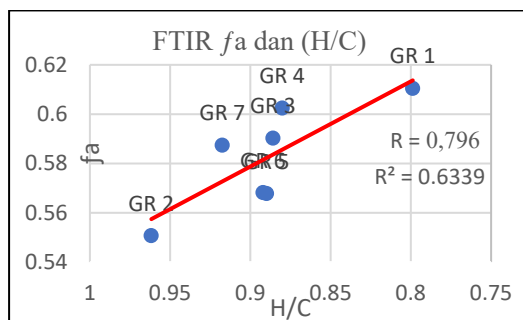
hasil penelitian terdahulu (Jiang, dkk., 2019) dan (Yan, dkk., 2020), dimana seharusnya menunjukkan tren yang naik seiring dengan penurunan rasio C=O karena telah karena telah menjadi C=C. Parameter ini memiliki korelasi linier yang lemah dengan nilai $R = 0,222$ dan pengaruh sebesar $R^2 = 0,0494$ atau 4,9%.

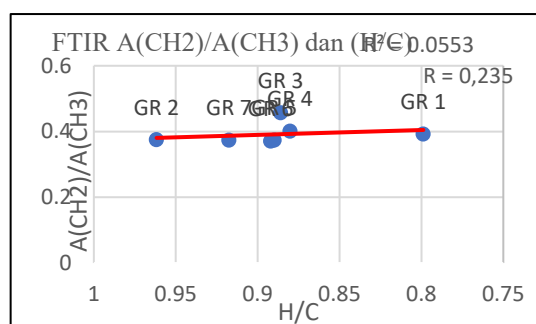
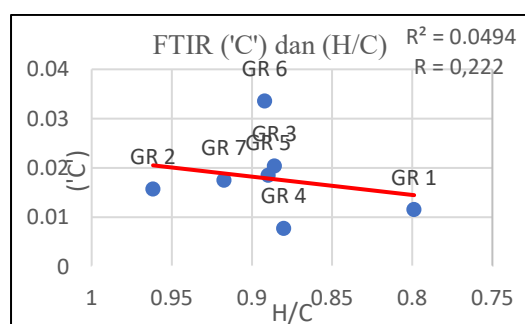
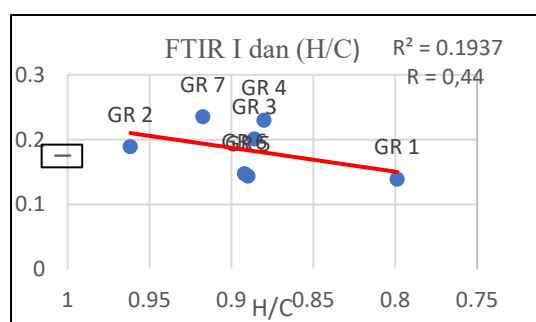
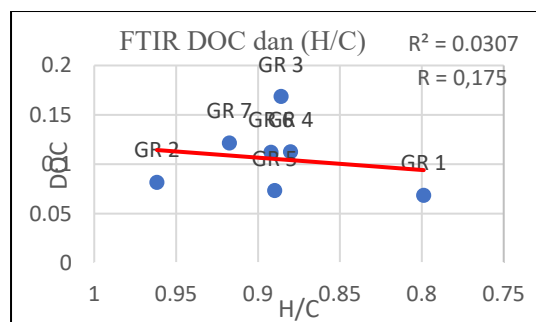
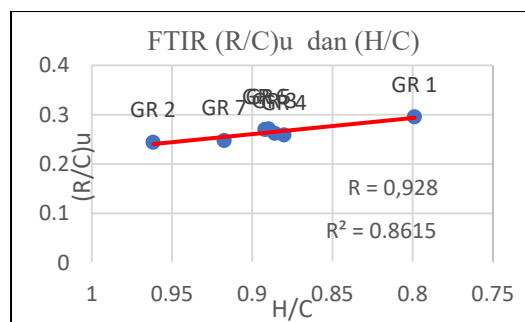
Tabel 4. Luas area tertentu pada ketujuh sampel FTIR

DATA LUAS AREA FTIR						
Sampel	Area					
	700-900	1600	1650-1800	2854-2887	2926-2937	2800-3000
GR 1	1,670	24,483	0,286	3,867	9,875	12,049
GR 2	3,580	43,888	0,701	5,813	15,521	18,941
GR 3	8,590	51,051	1,063	15,262	33,450	42,789
GR 4	6,095	54,200	0,422	8,435	21,068	26,522
GR 5	1,909	26,040	0,491	4,013	10,757	13,288
GR 6	3,634	32,466	1,127	7,564	20,422	24,658
GR 7	4,567	37,652	0,670	6,085	16,307	19,426

Tabel 5. Hasil perhitungan parameter struktur molekul analisis FTIR

Sampel	Ha/H	H/C	Ca/C	fa	(R/C) _u	A(CH ₂)/A(CH ₃)	('C')	I	DOC
GR 1	0,878	0,799	0,390	0,610	0,295	0,392	0,012	0,139	0,068
GR 2	0,841	0,962	0,449	0,551	0,244	0,375	0,016	0,189	0,082
GR 3	0,833	0,886	0,410	0,590	0,262	0,456	0,020	0,201	0,168
GR 4	0,813	0,880	0,398	0,602	0,259	0,400	0,008	0,230	0,112
GR 5	0,874	0,890	0,432	0,568	0,271	0,373	0,018	0,144	0,073
GR 6	0,872	0,892	0,432	0,568	0,270	0,370	0,034	0,147	0,112
GR 7	0,810	0,917	0,413	0,587	0,248	0,373	0,017	0,235	0,121





Gambar 6. Grafik korelasi antara parameter FTIR dengan H/C

5. KESIMPULAN

Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa pada ketujuh sampel memiliki gugus fungsional alifatik yaitu $-CH_2$ dan $-CH_3$, gugus fungsional aromatik yaitu $C=C$ dan cincin aromatik $-CH$, dan gugus fungsional yang mengandung oksigen yaitu $C-O$, $O=C=O$ dan $-OH$. Sampel batubara termasuk kedalam peringkat *High Volatile Bituminous A* berdasarkan hasil analisis proximat dan ultimat. Batubara dengan peringkat menengah mengandung $-OH$, $C-O$, dan $-CH$ yang melimpah dapat dilihat dari nilai absorbansi pada gugus fungsional alifatik dan gugus oksigen yang lebih besar dari gugus fungsional aromatik. Analisis FTIR menunjukkan ikatan kimia yang terbentuk relatif sama tetapi kekuatan dari ikatan tersebut berbeda-beda. Hal ini terbukti dengan intensitas pada panjang gelombang yang sama yang membentuk area puncak dengan luas berbeda.

Gugus fungsional diolah untuk menunjukkan rentang nilai beberapa parameter struktur molekul yang dibandingkan dengan nilai rasio H/C sebagai parameter peringkat batubara. Hasil analisis FTIR menunjukkan hanya 2 dari 7 parameter yang konsisten dengan penelitian terdahulu yaitu parameter f_a dan $(R/C)_u$ yang menunjukkan tren peningkatan kedua parameter tersebut memiliki korelasi yang kuat dengan nilai $R > 0,5$ dan pengaruh yang besar dengan nilai R^2 mendekati 1. Parameter lainnya yang tidak konsisten yang seharusnya meningkat yaitu DOC, I dan 'C' dan yang seharusnya menurun yaitu H_a/H dan $A(CH_2)/A(CH_3)$ tiap parameter tersebut memiliki korelasi yang lemah $R < 0,5$ dan

pengaruh yang kecil dengan nilai R^2 mendekati 0. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan ketujuh sampel memiliki peringkat batubara yang sama, setelah ditambahkan variasi peringkat batubara pada parameter struktur aromatik batubara yaitu f_a , DOC, I dan (R/C)_u parameter tersebut konsisten dengan penelitian terdahulu serta memiliki korelasi yang kuat dengan nilai $R > 0,5$ dan memiliki pengaruh yang besar dengan nilai R^2 mendekati 1.

DAFTAR PUSTAKA

- He, X., Liu, X., Nie, B., & Song, D. (2017). FTIR and Raman spectroscopy characterization of functional groups in various rank coals. *Fuel*, 206, 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.05.101>
- Jiang, J., Yang, W., Cheng, Y., Liu, Z., Zhang, Q., & Zhao, K. (2019). Molecular structure characterization of middle-high rank coal via XRD, Raman and FTIR spectroscopy: Implications for coalification. *Fuel*, 239(October 2018), 559–572. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.057>
- Kastner, J., Pichler, T., Kuzmany, H., Curran, S., Blau, W., Weldon, D. N., Delamesiere, M., Draper, S., & Zandbergen, H. (1994). Resonance Raman and infrared spectroscopy of carbon nanotubes. *Chemical Physics Letters*, 221(1– 2), 53–58. [https://doi.org/10.1016/0009-2614\(94\)87015-2](https://doi.org/10.1016/0009-2614(94)87015-2)
- Krevelen, D. W. Van. (1961). *Coal: Typology Chemistry Physics Constitution* (1st ed.). Elsevier.
- Mielczarski, J. A., Deñca, A., & Strojek, J. W. (1986). Application of Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy to the Characterization of Coal. *Applied Spectroscopy*, 40(7), 998–1004. <https://doi.org/10.1366/0003702864507909>
- Orrego-Ruiz, J. A., Cabanzo, R., & Mejía-Ospino, E. (2011). Study of Colombian coals using photoacoustic Fourier transform infrared spectroscopy. *International Journal of Coal Geology*, 85(3–4), 307–310. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.12.013>
- Pieters, P. E., C. J. Pigram, D. S. Trail, D. B. Dow, N. Ratman, dan R. Sukanto, 1983, The stratigraphy of western Irian Jaya, *Proceedings Indonesian Petroleum Association 12th Annual Convention*, Vol. I, h. 229-261.
- Setiadi, D. J., Alam, S., Muljana, B., Gani, R. M. G., & Firmansyah, Y. (2018). BATUBARA FORMASI STEENKOOL DI DAERAH RANSIKI, PAPUA.
- Shengquan, H. E., Longzhe, J. I. N., Yage, L. I., Yao, L. U., Yudan, L. I., & Xueqiu, H. E. (2017). Study on similar material to soft coal seam for gas outburst
- Yan, J., Lei, Z., Li, Z., Wang, Z., Ren, S., Kang, S., Wang, X., & Shui, H. (2020). Molecular structure characterization of low-medium rank coals via XRD, solid state ^{13}C NMR and FTIR spectroscopy. *Fuel*, 268(November 2019), 117038. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117038>

Zhao, L., Guanhua, N., Hui, W., Qian, S., Gang, W., Bingyou, J., & Chao, Z. (2020). Molecular structure characterization of lignite treated with ionic liquid via FTIR and XRD spectroscopy. *Fuel*, 1-10.