

Karakterisasi Batubara Musi Banyu Asin dan Tabalong Hasil *Coal Drying Process* dengan Metode *Thermogravimetric Analyzer* dan *Differential Scanning Calorimetry* di BLU tekMIRA

Abdul Ghofur Subrata*

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*abdulghofursubrata@gmail.com

Abstract. Coal is a fossil fuel which utilization is very dominant to produce energy. The provinces of South Kalimantan and South Sumatra are the largest coal contributors in Indonesia. Coal value upgrading needs more attention so that coal provides maximum benefits. One of the methods used to improve the quality of coal is drying method that using a fairly high pressure and temperature. The characteristics of coal combustion results from drying can be determined by using a Thermogravimetric Analyzer (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC). From the results of this test, it can be seen the initial temperature of combustion (Tig), maximum temperature (Tmax) related to reactivity, char combustion temperature (Tbo) and maximum combustion speed (Rmax). On this research, using 2 coal samples from Tabalong, South Kalimantan and 4 samples from Musi Banyu Asin, South Sumatra with initial calorific values for 5,390 and 4,835 cal/g which were tested by analysis of proximate, caloric value, and TGA/DSC. The pressure applied is 1 and 50 bar and the temperature is 200 °C and 300 °C. Based on the TGA/DSC analysis, coal which given a higher pressure and temperature when drying, the combustion system is better with a higher Tig value, higher Tmax, lower Tbo, but Rmax based on air content. Tabalong coal the largest calorie increase from 5390 cal/g to 8065 cal/g was achieved at an initial pressure of 50 bar and temperature of 300 °C. In these conditions the Tig value is 393 °C, Tmax 443 °C, Rmax 0.11 mg/min, and Tbo 496.80 °C. At the same temperature, with a pressure of 1 bar, the increase in calories is 438 cal/g from the original 5,390 cal/g to 5,828 cal/g, the Tig value is 382.90 °C, Tmax 436.90 °C, Tbo 516.10 °C. Coal from Musi Banyu Asin, South Sumatra largest calories increase is from 4,835 cal/g to 6,741 cal/g at initial pressure of 50 bar and temperature of 300 °C. In these conditions the Tig value is 373.90 °C, the Tmax value is 373.90 °C, Rmax is 0.21 mg/min, and Tbo is 441.20 °C. At the same temperature with a pressure of 1 bar, the increase in calories is 1205 cal/g from 4835 cal/g to 6,040 cal/g, with a Tig value of 358.40 °C, Tmax 397.90 °C, Tbo 482.10 °C, and Rmax 0,17 mg/minute. With a temperature of 200 °C and a pressure of 50 bar, the increase in calories is 1157 cal/g from 4835 cal/g to 5992 cal/g, Tig Value 346.90 °C, Tmax 410.90 °C, Tbo 555 °C, and Rmax 0.09 mg/minute. With same temperature and pressure of 1 bar, the increase in calorific value is 551 cal/g from 4835 cal/g to 5386 cal/g, the Tig value is 336.60 °C, Tmax 396.60 °C, Tbo 483.10 °C, Rmax 0,10 mg/minute. The difference in the character of Tabalong coal and Musi Banyu Asin coal is

that Tabalong coal has a higher calorific value even though Tabalong coal has a much higher air content than Musi Banyu Asin, but Tabalong coal must be given greater pressure so that the increase is significant. Temperature and pressure when drying affect the decrease in air content, increase in caloric value and the combustion characteristics.

Keywords: type of coal, coal drying, calorific value, TGA/DSC, combustion characteristics.

Abstrak. Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang pemanfaatannya sangat dominan untuk menghasilkan energi. Provinsi Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan adalah daerah penyumbang batubara terbesar di Indonesia. Peningkatan nilai batubara perlu lebih diperhatikan agar batubara memberikan manfaat yang maksimal. Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas batubara adalah dengan metode pengeringan (*coal drying*) menggunakan tekanan dan suhu yang cukup tinggi. Sifat atau karakteristik pembakaran batubara hasil pengeringan dapat diketahui dengan *Thermogravimetri Analyzer* (TGA) dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Dari hasil pengujian ini dapat diketahui suhu awal terjadinya pembakaran (Tig), suhu maksimum (Tmax) yang berhubungan dengan reaktivitas, suhu pembakaran *char* (Tbo) dan kecepatan pembakaran maksimum (Rmax). Dalam penelitian ini sampel batubara berasal dari Tabalong, Kalimantan Selatan sebanyak 2 buah dan Musi Banyu Asin, Sumatera Selatan sebanyak 4 buah dengan nilai kalori awal 5.390 dan 4.835 kal/g yang diuji dengan analisis proksimat, nilai kalori, dan TGA/DSC. Tekanan yang diberikan sebesar 1 dan 50 bar dan suhu 200 °C dan 300 °C. Berdasarkan analisis TGA/DSC, batubara yang diberi tekanan dan suhu lebih tinggi saat pengeringan mempunyai karakteristik pembakaran yang lebih baik dengan nilai Tig yang semakin tinggi, Tmax yang lebih rendah, Tbo yang lebih rendah, tetapi Rmax lebih dipengaruhi oleh kadar air. Batubara Tabalong kenaikan kalori terbesar dari 5390 kal/g menjadi 8065 kal/g dicapai pada kondisi tekanan awal 50 bar dan suhu 300 °C. Pada kondisi tersebut Nilai Tig sebesar 393 °C, Tmax 443 °C, Rmax 0,11 mg/min, dan Tbo 496,80 °C. Pada suhu yang sama, dengan tekanan sebesar 1 bar, kenaikan kalori sebesar 438 kal/g dari semula 5.390 kal/g menjadi 5.828 kal/g, nilai Tig sebesar 382,90 °C, Tmax 436,90 °C, Tbo 516,10 °C. Batubara Musi Banyu Asin, Sumatera Selatan kenaikan kalori terbesar yaitu dari 4.835 kal menjadi 6.741 kal pada tekanan awal 50 bar dan suhu 300 °C. Pada kondisi tersebut Nilai Tig sebesar 373,90 °C, Nilai Tmax 373,90 °C, Rmax 0,21 mg/min, dan Tbo 441,20 °C. Pada suhu yang sama dengan tekanan 1 bar, kenaikan kalori sebesar 1205 kal/g dari 4835 kal/g menjadi 6.040 kal/g, dengan nilai Tig 358,40 °C, Tmax 397,90 °C, Tbo 482,10 °C, dan Rmax 0,17 mg/min. Dengan suhu 200 °C dan tekanan 50 bar, kenaikan kalori sebesar 1157 kal/g dari 4835 kal/g menjadi 5992 kal/g, Nilai Tig 346,90 °C, Tmax 410,90 °C, Tbo 555 °C, dan Rmax 0,09 mg/min. Dengan suhu yang sama dan tekanan 1 bar, kenaikan nilai kalori sebesar 551 kal/g dari 4835 kal/g menjadi 5386 kal/g, nilai Tig 336,60 °C, Tmax 396,60 °C, Tbo 483,10 °C, Rmax 0,10 mg/min. Perbedaan karakter batubara Tabalong dan Musi Banyu Asin adalah batubara Tabalong nilai kalorinya lebih besar meski batubara Tabalong mempunyai kadar air yang jauh lebih besar daripada Musi Banyu Asin, tetapi batubara Tabalong harus diberikan tekanan yang lebih besar agar signifikan kenaikannya. Suhu dan tekanan saat pengeringan berpengaruh terhadap penurunan kadar air, kenaikan nilai kalori dan sifat pembakaran.

Kata Kunci: jenis batubara, pengeringan, nilai kalori, TGA/DSC, karakteristik pembakaran.

1. Pendahuluan

Batubara merupakan salah satu sumber energi di Indonesia. Berdasarkan letak geografis Indonesia yang merupakan negara kepulauan, sumber daya batubara di Indonesia terdapat di beberapa pulau besar di Indonesia, secara dominan berada di Pulau Kalimantan dan Sumatera. Perbedaan wilayah keterdapat batubara di Indonesia menyebabkan setiap batubara mempunyai karakter yang berbeda, seperti perbedaan nilai kalori, komposisi kimia, sifat pembakaran, dan lain-lain. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh faktor geologi, waktu pembentukan, pengendapan, tekanan, dan lain-lain. Perbedaan karakteristik tersebut menarik untuk diteliti lebih lanjut agar dapat dioptimalkan dan ditingkatkan nilai tambahnya.

Sumatera Selatan adalah provinsi dengan potensi batubara terbesar di Indonesia dengan lokasi batubara yang tersebar di beberapa kabupaten. Batubara kalori rendah di Provinsi Sumatera Selatan terdapat di Kabupaten Musi Banyu Asin, ada sekitar 5773 juta ton batubara di Kabupaten Musi Banyu Asin. Sedangkan Provinsi Kalimantan Selatan adalah salah satu penghasil batubara terbesar di Indonesia. Menempati urutan keempat dari peringkat nasional setelah Sumatera Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Barat. Sektor batubara ini memberikan kontribusi terbesar kedua dalam menopang perekonomian Kalimantan Selatan. Potensi SDA batubara Kalimantan Selatan salah satunya terdapat di Kabupaten Tabalong. Kalimantan Selatan merupakan penyumbang batubara terbesar, yaitu mencapai sepertiga dari kebutuhan batubara secara keseluruhan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 77 Tahun 2014, pengolahan batubara untuk peningkatan nilai tambah meliputi peningkatan mutu (upgrading), pembuatan briket (briquetting), pengeringan (drying), pembuatan kokas (cokes making), pencairan (liquefaction), gasifikasi (gasification), dan coal slurry/coal water mixture. Dengan adanya peraturan tentang Peningkatan Nilai Tambah (PNT), untuk dapat meningkatkan kadar batubara yang memiliki kualitas rendah, salah satunya dapat dilakukan dengan proses pengeringan yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalori pada batubara. Sifat atau karakteristik pembakaran batubara hasil pengeringan dapat diketahui dengan metode Thermogravimetri Analyzer (TGA) dan Differential Scanning Calorimetry (DSC). Dari hasil pengujian ini dapat diketahui suhu awal terjadinya pembakaran (Tig), suhu maksimum (Tmax) yang berhubungan dengan reaktivitas, suhu pembakaran char (Tbo) dan kecepatan pembakaran maksimum (Rmax). Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: "Apa pengaruh proses pengeringan dari beberapa sampel batubara yang diujikan terhadap kenaikan nilai kalori? Bagaimana karakteristik batubara setelah proses pengeringan berdasarkan analisis TGA/DSC? Apa saja sifat batubara yang dapat ditingkatkan setelah proses pengeringan dari batubara Tabalong dan Musi Banyu Asin? Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.

1. Untuk Mengetahui pengaruh suhu dan tekanan terhadap nilai proksimat dan kenaikan nilai kalori.
2. Untuk Mengetahui karakteristik pembakaran batubara setelah proses pengeringan yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan dengan menggunakan analisis thermogravimetri dan *differential scanning calorimetry*.
3. Untuk Mengetahui pengaruh batubara Tabalong dan Musi Banyu Asin terhadap karakteristik sifat pembakaran.

2. Landasan Teori

Batubara adalah berupa sedimen organik bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang telah mengalami pembusukan secara biokimia, kimia dan fisika dalam kondisi bebas oksigen yang berlangsung pada tekanan serta temperatur tertentu pada kurun

waktu yang sangat lama. Kualitas batubara dapat diuji oleh beberapa parameter di antaranya; analisis proksimat, analisis nilai kalori, dan analisis termogravimetri dan differential scanning calorimetry. Analisis proksimat dilakukan untuk mengkuantifikasi kadar air (moisture), kandungan abu (ash), zat terbang (volatile matter), dan karbon tertambat (fixed carbon). Analisis nilai kalori untuk menentukan besarnya panas yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara. Analisis termogravimetri adalah jenis pengujian yang dilakukan pada sampel untuk menentukan perubahan berat susut dalam kaitannya dengan perubahan suhu, analisis Differential Scanning Calorimetry adalah suatu teknik analisa termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu.

Penaikan peringkat batubara merupakan proses peningkatan kualitas batubara peringkat rendah untuk menghasilkan batubara dengan kualitas menyerupai batubara peringkat tinggi. Pengeringan adalah salah satu metode dalam penaikan peringkat batubara dengan memanfaatkan tekanan dan suhu yang tinggi.

Hukum Hilt menyatakan bahwa kenaikan suhu dan tekanan karena pertambahan kedalaman dapat menyebabkan peningkatan peringkat batubara yang ditandai dengan pengurangan kandungan air dalam batubara (Thomas, 2002). Semakin dalamnya lapisan batubara maka nilai kalori, fixed carbon, akan meningkat dan sebaliknya volatile matter, kadar air, dan kadar abu akan berkurang, ini disebabkan karena semakin dalam lapisan batubara maka akan menerima tekanan (overburden pressure), dan panas yang tinggi (Teichmueller, 1975).

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Sampel atau bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batubara dengan kalori awal sebelum proses pengeringan adalah sebesar 5.390 kal/g dan 4.835 kal/g yang berjumlah enam buah sampel. Berikut pada tabel 1 diterangkan hasil analisis proksimat sebelum dan setelah pengeringan.

Tabel 1. Hasil Analisis Proksimat Seluruh Sampel

Kondisi		Moisture (%)	VM (%)	Abu (%)	FC (%)	Kalori (kal/g/g)
Suhu (°C)	Tekanan (bar)					
200	1	3,12	47,03	4,14	45,71	5386
200	50	0,92	46,30	4,00	48,78	5992
300	1	0,51	46,42	4,14	48,93	6040
300	50	0,13	28,47	0,55	70,85	6741
Sampel Awal 4835 kal/g		10,68	54,94	4,24	30,13	4835
300	1	17,64	34,47	5,60	42,29	5828
300	50	8,43	26,88	4,71	59,98	8065
Sampel Awal 5390 kal/g		22,02	54,69	7,40	15,89	5390

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2020.

Selanjutnya, pada tabel 2 di bawah ini memuat hasil pengujian berdasarkan analisis TGA/DSC.

Tabel 2. Hasil Analisis TGA/DSC

No	Tekanan Bar	Suhu (°C)	Tig (°C)	T max (°C)	R max mg/min	Tbo (°C)	Kalori (Kal/g)	Daerah Asal
1	50	300	393,10	443,00	0,25	496,80	8.065	Kalsel
2	1	300	382,90	436,90	0,21	516,10	5.828	Kalsel
3	50	300	373,90	403,90	0,21	441,20	6.741	Sumsel
4	1	300	358,40	397,90	0,33	482,10	6.040	Sumsel
5	1	200	336,60	396,60	0,20	483,10	5.386	Sumsel
6	50	200	346,90	410,90	0,13	555,00	5.992	Sumsel

Sumber: Data Penelitian yang Sudah Diolah, 2020.

Keterangan:

Tig = Suhu Pembakaran Awal (°C).

Tmax = Suhu ketika grafik DSC (μ v) mencapai nilai tertinggi (°C).

Rmax = Kecepatan Pembakaran (mg/min).

Tbo = Suhu pembakaran *char / char burnout* (°C).

Kalori = Nilai Kalori (Kal/g).

Pengaruh Suhu dan Tekanan Proses Terhadap Proksimat dan Nilai Kalori

Suhu dan tekanan mempunyai pengaruh yang besar dalam proses *upgrading* batubara. Tekanan yang diberikan saat proses pengeringan memengaruhi hasil analisis proksimat (*Moisture*, kadar abu, *Volatile Matter*, dan *Fixed Carbon*), nilai kalori dan TGA/DSC (Tmax, Tig, Tbo, Rmax, Ash). Kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi saat pemanasan dapat mengubah sifat fisika dan kimia dari batubara tersebut. Hal ini disebabkan oleh :

1. Lepasnya gas CO₂ sehingga terjadi penurunan kadar oksigen dan meningkatkan kadar karbon hingga ratio C/O bertambah kecil.
2. Kation-kation Na⁺ dan Ca⁺⁺ akan terekstraksi sehingga akan mengurangi sifat fouling dan slagging batubara tersebut.
3. Terbentuknya tar yang kemudian menutupi pori-pori batubara yang terbuka menyebabkan terjadinya penurunan *equilibrium moisture* hingga nilai kalor meningkat dan penurunan kadar air bersifat permanent (Datin F. Umar, 2016).

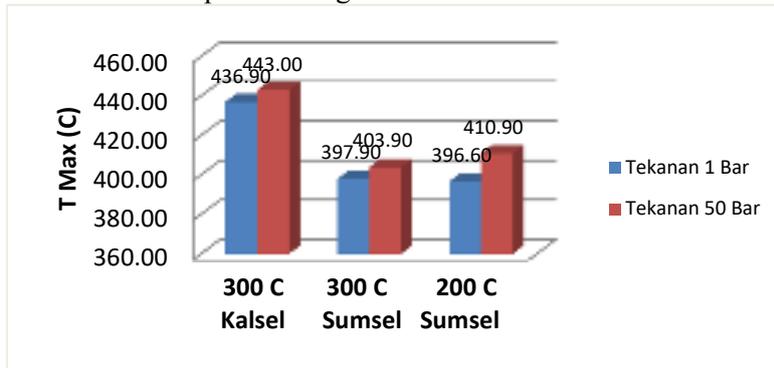
Pengaruh Suhu dan Tekanan Terhadap Karakteristik Pembakaran

Hasil yang didapat dari pengujian TGA/DSC adalah Nilai Tmax, Tig, Tbo, Rmax dan Abu. Tmax adalah suhu di mana tingkat maksimum terjadi, Tig adalah titik suhu saat pembakaran dimulai dan melepaskan zat terbang, Tbo adalah suhu minimum setelah titik Tmax, Rmax adalah kecepatan pembakaran, dan abu adalah sisa pembakaran sempurna dari pembakaran.

Tmax adalah suhu di mana tingkat maksimum terjadi. Nilai Tmax menunjukkan suhu di mana puncak pembakaran tertinggi dicapai oleh suatu sampel. Nilai Tmax tertinggi ini dimiliki oleh batubara dengan sampel nomor 1 yang berasal dari Kalimantan Selatan, yaitu sebesar 443,00 °C. Sampel ini diberi tekanan sebesar 50 bar dan diberi panas dengan suhu 300 °C, yang mempunyai nilai kalori tertinggi di antara sampel lainnya yaitu sebesar 8.065 kal/g. Tetapi suhu awal pembakaran (Tig) ini juga yang tertinggi yaitu pada titik 393,00 °C, dengan nilai Tbo sebesar 496,80 °C. Dari gambar 1, menunjukkan bahwa nilai Tmax pada sampel yang diberi tekanan 50 bar nilainya lebih tinggi. Namun, Perbedaan nilai Tmax yang mencolok pada sampel Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan dapat dimungkinkan bahwa faktor bawaan dari sampel lebih berpengaruh daripada tekanan, meski pun pemberian tekanan juga dapat memberikan perbedaan. Nilai Tmax menunjukkan reaktivitas terhadap oksidasi rendah, semakin rendah nilai Tmax, akan semakin rendah reaktivitas dari batubara tersebut.

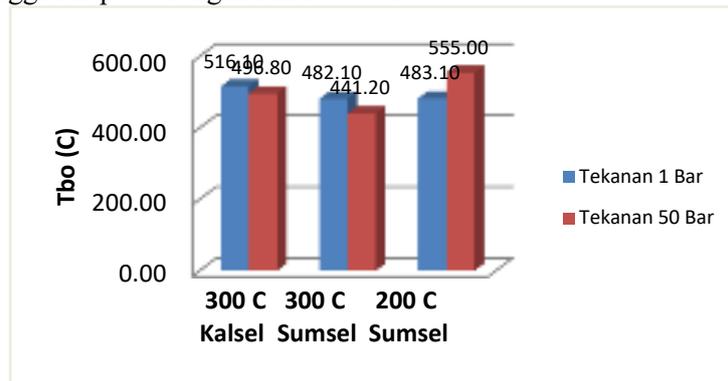
Berbeda dengan suhu yang diberikan, dari gambar 1 dapat dilihat bahwa suhu yang lebih rendah yaitu Sumsel 200 °C, nilai Tmax-nya lebih tinggi daripada dengan suhu yang lebih tinggi yaitu Sumsel 300 °C. Ini dapat membuktikan bahwa tekanan lebih memengaruhi titik maksimum pembakaran (nilai Tmax) daripada suhu. Artinya, semakin rendah suhu dan semakin besar

tekanan yang diberikan saat pengeringan juga dapat memengaruhi nilai Tmax, yang artinya dapat meningkatkan nilai reaktivitas batubara. Meski pun, perbedaannya tidak signifikan, pemberian tekanan dan suhu dapat memengaruhi nilai reaktivitas dari batubara.



Gambar 1. Pengaruh Suhu Terhadap Nilai Tmax

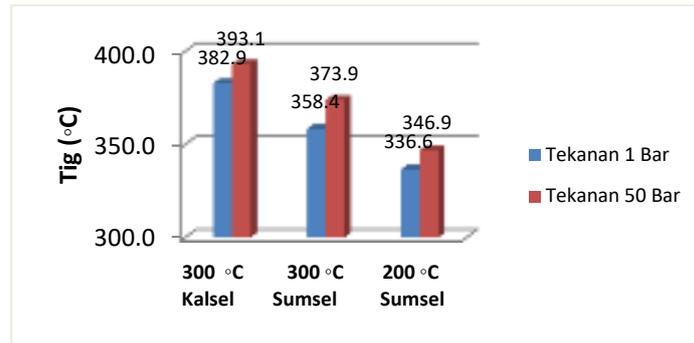
Suhu pembakaran *char* (TBO) kependekan dari *temperature burnout* didefinisikan sebagai suhu minimum setelah titik Tmax. Untuk Nilai Tbo atau suhu pembakaran hingga berat konstan tidak berubah dimiliki oleh sampel nomor 6 dengan nilai sebesar 555 °C (gambar 2) yang dipanaskan pada suhu 200 °C. Sampel ini memiliki nilai kalori sebesar 5.992 kal/g. Berbeda dengan Tmax, nilai Tbo ini tidak dipengaruhi oleh suhu. Sampel dengan suhu 200 °C nilainya lebih tinggi daripada dengan suhu 300 °C.



Gambar 2. Pengaruh Suhu Terhadap Nilai Tbo

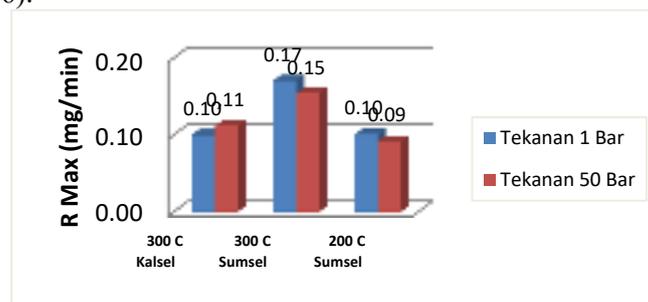
Suhu pembakaran awal (Tig) menunjukkan nilai suhu saat batubara mulai terbakar dan melepaskan zat terbang. Semakin tinggi nilai Tig, semakin sulit akan terjadinya swabakar. Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai Tig paling tinggi dimiliki oleh sampel nomor 1 dengan nilai Tig sebesar 393,10 °C dan batubara ini mempunyai nilai kalori tertinggi yaitu sebesar 8.065 kal/g. Semakin tinggi nilai kalori, maka nilai Tig akan semakin tinggi. Tetapi, pada sampel nomor 2, meski pun nilai kalori sampel 2 lebih rendah daripada sampel nomor 3 sampai nomor 6, nilai Tig-nya masih lebih tinggi jika dibandingkan sampel 3 sampai 6. Ini disebabkan oleh karakter batubara tersebut berasal dari kelas sudah cukup tinggi, yaitu sebesar 5.828 kal/g setelah pengeringan dan 5.390 kal/g sebelum pengeringan.

Dari gambar 3 bawah ini, dapat diartikan bahwa suhu yang diberikan selama proses pengeringan memengaruhi nilai Tig. Semakin tinggi suhu akan semakin besar nilai Tig. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu dan tekanan saat proses pengeringan dan nilai kalori, maka akan semakin tinggi nilai Tig. Semakin besar nilai Tig, akan semakin sulit terjadinya swabakar. Tetapi faktor dari mana batubara berasal juga dapat menentukan (Saleh dan Nugroho, 2013).



Gambar 3. Pengaruh Suhu Terhadap Nilai Tbo

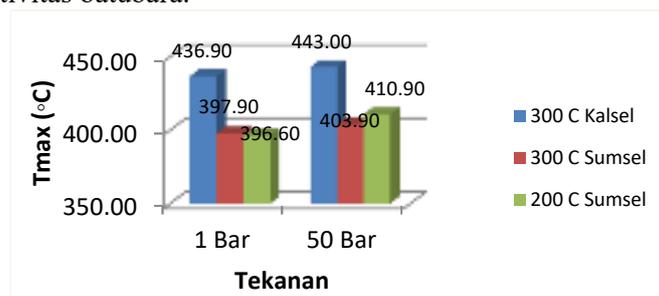
Kecepatan pembakaran ditunjukkan dengan nilai Rmax dalam satuan mg/menit. Dari tabel 2, nilai Rmax tertinggi dimiliki oleh sampel nomor 4 yang kecepatan pembakarannya mencapai 0,17 mg/menit yang nilai kalorinya sebesar 6.040 kal/g dan bukan yang tertinggi. Dari keseluruhan sampel, nilai Rmax ada di kisaran angka 0,10-an mg/menit. Dilihat dari gambar 4 di bawah ini, suhu tidak serta merta memengaruhi nilai Rmax. Berbeda dengan Tig dan Tmax yang dapat dipengaruhi oleh suhu. Nilai Rmax ini lebih dipengaruhi oleh kadar air yang berada di dalam batubara. Semakin rendah kadar air, akan menyebabkan batubara lebih mudah untuk dibakar (Umar, 2016).



Gambar 4. Pengaruh Suhu Terhadap Nilai Rmax

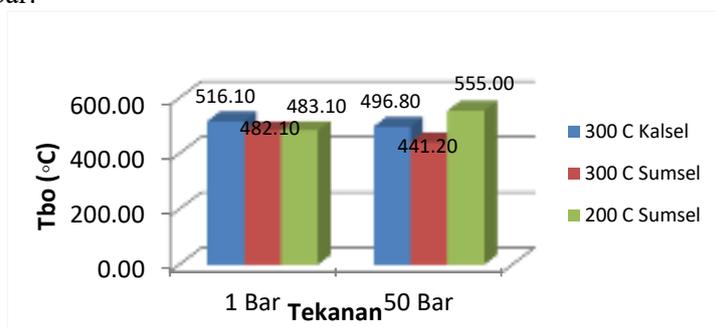
Pengaruh Tekanan Terhadap Nilai Tmax

Gambar 5 menunjukkan bahwa ada peningkatan nilai Tmax pada tekanan 50 bar dibandingkan tekanan 1 bar. Nilai Tmax tertinggi sebesar 443 °C. Berdasarkan tabel 2, nilai kalori ini juga tertinggi daripada yang lain, sebesar 8.065 Kal/g. Suhu awal pembakaran (Tig) ini juga yang tertinggi yaitu pada titik 393,00 °C, dengan nilai Tbo sebesar 496,80 °C. Namun, Perbedaan nilai Tmax yang mencolok pada sampel Kalimantan Selatan dan Sumatera Selatan dapat dimungkinkan bahwa faktor bawaan dari sampel lebih berpengaruh daripada tekanan, meski pun pemberian tekanan juga dapat memberikan perbedaan. Nilai Tmax menunjukkan reaktivitas terhadap oksidasi rendah, semakin rendah nilai Tmax, akan semakin rendah reaktivitas dari batubara tersebut. Dalam hal ini, tekanan memberikan pengaruh terhadap nilai Tmax dan meningkatkan reaktivitas batubara.



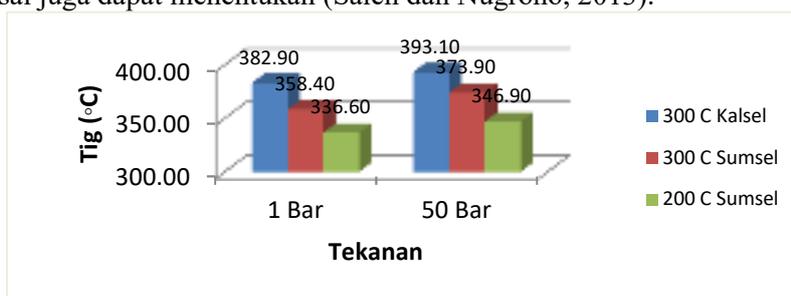
Gambar 5. Pengaruh Tekanan Terhadap Nilai Tmax

Berdasarkan gambar 6 di bawah, tidak ada perbedaan yang signifikan antara tekanan 1 bar dan 50 bar. Berbeda dengan T_{max} , nilai T_{bo} ini tidak dipengaruhi oleh tekanan atau pun suhu. Sampel dengan tekanan 50 bar ada yang nilainya lebih rendah, dan ada yang lebih tinggi dibandingkan 1 bar.



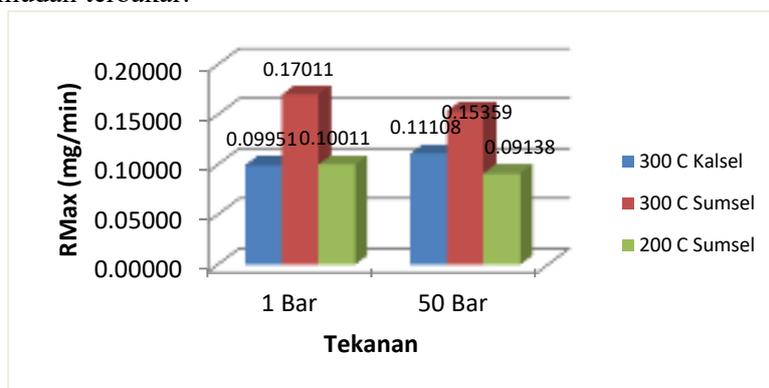
Gambar 6. Pengaruh Tekanan Terhadap Nilai T_{bo}

Berdasarkan gambar 7 di bawah ini, nilai T_{ig} pada tekanan 50 bar lebih besar daripada 1 bar. Semakin besar tekanan yang diberikan, nilai T_{ig} semakin besar. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan saat proses pengeringan dan nilai kalori, maka akan semakin tinggi nilai T_{ig} . Semakin besar nilai T_{ig} , akan semakin sulit terjadinya swabakar. Tetapi faktor dari mana batubara berasal juga dapat menentukan (Saleh dan Nugroho, 2013).



Gambar 7. Pengaruh Tekanan Terhadap Nilai T_{ig}

Dilihat dari gambar 8, nilai tekanan tidak memengaruhi nilai R_{max} . Tekanan 1 bar ada nilainya yang lebih besar dan begitu juga 50 bar, ada yang nilainya lebih besar. Hal ini disebabkan R_{max} dipengaruhi oleh kandungan air dalam sampel itu sendiri. Berbeda dengan T_{ig} , T_{bo} , dan T_{max} yang dapat dipengaruhi oleh tekanan dan suhu. Semakin tinggi kadar air, akan semakin mudah terbakar.

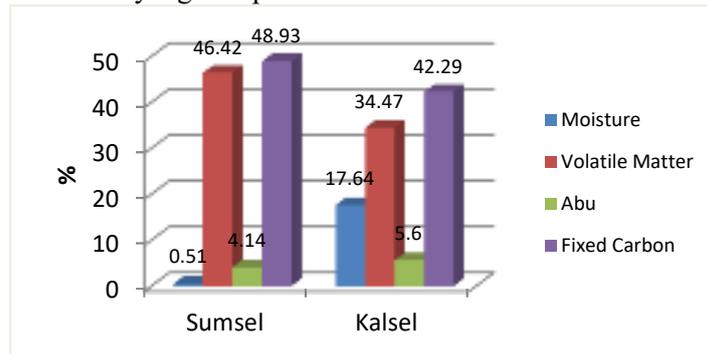


Gambar 8. Pengaruh Tekanan Terhadap Nilai R_{max}

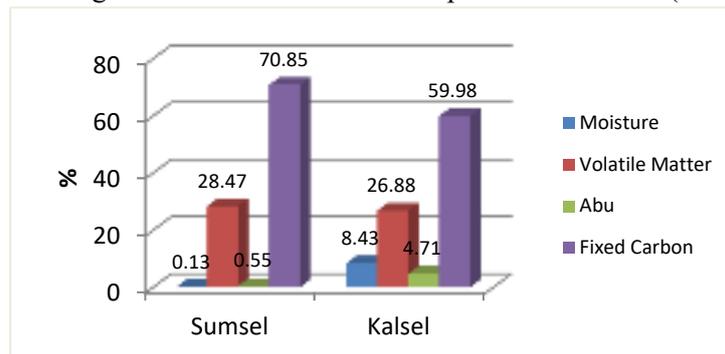
Pengaruh Jenis Batubara

Hal yang dapat memengaruhi nilai proksimat tidak hanya dipengaruhi oleh suhu dan tekanan,

bisa juga disebabkan oleh jenis batubara itu sendiri. Dari gambar 9 dan 10 di bawah ini memuat tentang hasil proksimat pada tekanan dan suhu yang sama di masing-masing grafik, namun asal sampel berbeda. Dapat dilihat bahwa setiap sampel mempunyai perbedaan nilai. Pada gambar 9, nilai VM dan FC sampel dari Sumatera Selatan lebih tinggi daripada Kalimantan Selatan. Nilai Abu dan *Moisture*, Kalimantan Selatan lebih tinggi daripada Selatan. Pada gambar 10, meski nilainya menjadi berbeda karena dipengaruhi oleh naiknya tekanan. Tetapi ada konsistensi, bahwa Nilai VM dan FC masih lebih besar dimiliki oleh sampel dari Sumatera Selatan, meski perbedaannya menjadi lebih tipis. Nilai Abu dan *Moisture* lebih besar dimiliki oleh sampel dari Kalimantan Selatan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh dari jenis batubara tetap kuat dalam nilai proksimat. Karakter itu dipengaruhi oleh faktor geologi dan pembentukannya itu sendiri yang kompleks dan unik.



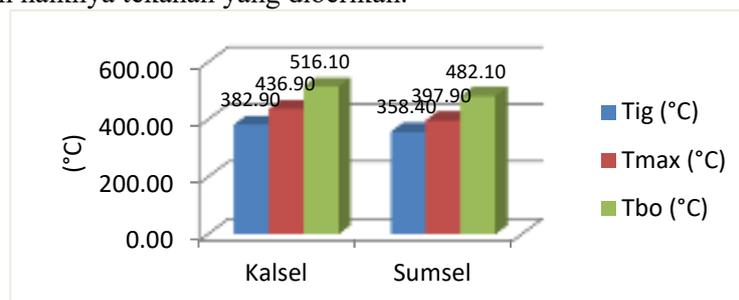
Gambar 9. Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Hasil Proksimat (1 Bar, 300 °C)



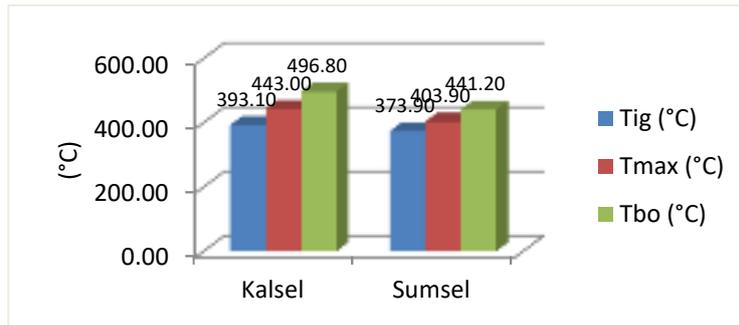
Gambar 10. Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Hasil Proksimat (50 Bar, 300 °C)

Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Nilai Tig, Tmax dan Tbo

Berdasarkan perbandingan antara gambar 11 dan 12. Karakteristik pembakaran pada grafik di bawah ini yang memuat nilai Tig, Tmax, dan Tbo masih menunjukkan konsistensi dari kedua sampel. Artinya, dalam kedua grafik tersebut, meski diberikan proses yang berbeda, nilai Tig, Tmax dan Tbo lebih besar dimiliki oleh sampel Kalimantan Selatan daripada Sumatera Selatan. Pada gambar 11, ada peningkatan nilai Tig dan Tmax, dan ada penurunan nilai Tbo. Hal ini dipengaruhi oleh naiknya tekanan yang diberikan.

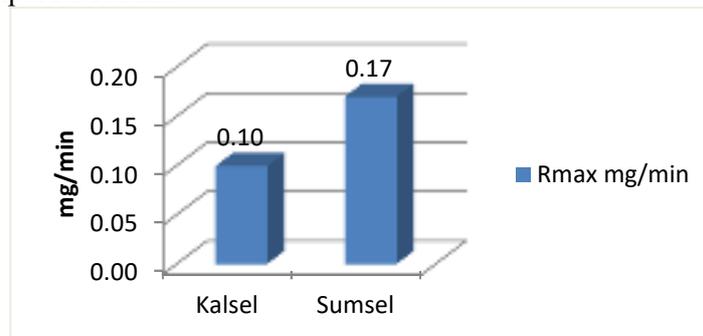


Gambar 11. Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Nilai Tig, Tmax, Tbo (1 Bar, 300 °C)

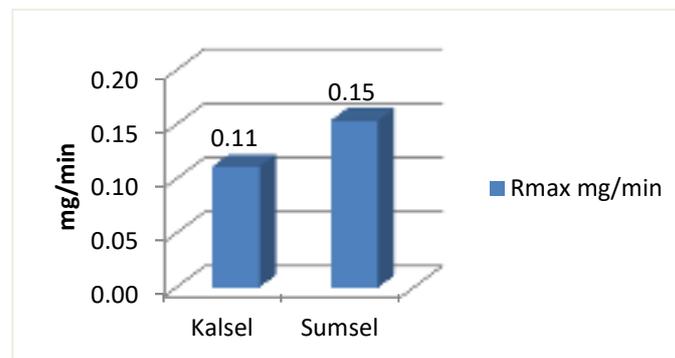


Gambar 12. Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Nilai Tig, Tmax, Tbo (50 Bar, 300 °C)

Berbeda dengan grafik sebelumnya. Pada grafik di bawah ini yang memuat nilai Rmax pada proses yang sama, menunjukkan inkonsistensi. Sebagai contoh, pada gambar 13, nilai Rmax sampel dari Kalimantan Selatan lebih kecil daripada Sumatera Selatan. Tetapi, pada gambar 14, nilai Rmax dari Kalimantan Selatan menjadi lebih besar daripada Sumatera Selatan. Rmax adalah kecepatan pembakaran dari batubara itu sendiri. Hal ini lebih dipengaruhi oleh kadar air dari sampel itu sendiri.



Gambar 13. Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Nilai Rmax (1 Bar, 300 °C)



Gambar 14. Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Nilai Rmax (50 Bar, 300 °C)

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Suhu dan tekanan awal proses sangat berpengaruh terhadap penurunan dan kenaikan nilai kalori. Semakin tinggi suhu proses, semakin tinggi penurunan kadar air dan makin tinggi pula peningkatan nilai kalor. Begitu pula dengan tekanan awal, semakin tinggi tekanan awal, semakin rendah kadar air dan makin tinggi nilai kalor. Tekanan dapat mempengaruhi kenaikan nilai kalori karena dapat menurunkan kadar air. Kenaikan kalori terbesar dicapai oleh sampel nomor 1 dari Tabalong dengan kenaikan kalori sebesar 2675

kal/g dari semula 5390 menjadi 8065 kal/g dengan tekanan awal sebesar 50 bar dan suhu proses 300 °C. Kenaikan nilai kalori terkecil yaitu pada sampel nomor 2 dari Tabalong juga dengan kenaikan hanya 438 kal/g dari 5390 kal/g menjadi 5828 kal/g. Faktor tekanan lebih berpengaruh terhadap kenaikan nilai kalori daripada suhu, meski suhu juga mempunyai pengaruh karena tekanan dapat menurunkan kadar air.

2. Begitu juga dengan nilai proksimat, tekanan dan suhu dapat memperkecil nilai moisture, volatile matter, dan kadar abu. Tetapi tekanan lebih berpengaruh dibanding suhu. Tekanan dan suhu juga dapat meningkatkan nilai fixed carbon. Kenaikan nilai fixed carbon terbesar dicapai oleh sampel nomor 1 dengan kenaikan sebesar 44,9 % dari semula 15,89 % menjadi 59,98 % pada tekanan 50 bar dan suhu 300 °C, meski nilai FC terbesar dimiliki oleh sampel nomor 3 dengan nilai 70,85 % pada tekanan 50 bar dan suhu 300 °C. Tekanan yang besar lebih berpengaruh terhadap fixed carbon.
3. Berdasarkan analisis TGA/DSC, batubara yang diberi tekanan dan suhu lebih tinggi saat pengeringan mempunyai karakteristik pembakaran yang lebih baik dengan nilai Tig yang semakin tinggi, Tmax yang lebih rendah, Tbo yang lebih rendah, tetapi Rmax atau kecepatan pembakaran lebih dipengaruhi oleh kadar air. Nilai Tig terbesar dimiliki oleh sampel nomor 1 dengan nilai sebesar 393,10 °C setelah sampel diberi tekanan 50 bar dan suhu 300 °C, nilai terkecil dimiliki oleh sampel nomor 5 setelah diberi tekanan 1 bar dan suhu 200 °C. Nilai Tmax juga dimiliki oleh sampel nomor 1 dengan nilai sebesar 443 °C dan nilai terkecil dimiliki oleh sampel nomor 5. Nilai Tbo terbesar dimiliki oleh sampel nomor 6 dengan nilai 555 °C dan terendah dimiliki oleh sampel nomor 3 dengan nilai sebesar 441,20 °C
4. Perbedaan karakter yang dimiliki batubara Tabalong dan Musi Banyu Asin adalah jika batubara Tabalong nilai kalorinya lebih besar sebelum pengeringan dengan nilai 5390 kal/g dan batubara Musi Banyu Asin sebesar 4835 kal/g, meski batubara Tabalong mempunyai kadar air yang lebih besar daripada Musi Banyu Asin. Batubara Tabalong mesti diberi tekanan yang besar agar kenaikan kalorinya signifikan, dengan tekanan yang kecil hanya sedikit kenaikannya. Fixed Carbon batubara Tabalong lebih rendah sebelum pengeringan, tetapi kenaikannya lebih signifikan setelah pengeringan. Batubara Musi Banyu Asin, Fixed Carbon lebih besar sebelum pengeringan. Sifat pembakaran batubara Tabalong dan Musi Banyu Asin sebagai berikut :
5. Batubara Tabalong, dengan kenaikan kalori terbesar dari 5390 kal/g menjadi 8065 kal/g dicapai pada kondisi tekanan awal 50 bar dan suhu 300 °C. Pada kondisi tersebut Nilai Tig sebesar 393 °C, Tmax 443 °C, Rmax 0,11 mg/min, dan Tbo 496,80 °C. Pada suhu yang sama, dengan tekanan sebesar 1 bar, kenaikan kalori sebesar 438 kal/g dari semula 5.390 kal/g menjadi 5.828 kal/g, nilai Tig sebesar 382,90 °C, Tmax 436,90 °C, Tbo 516,10 °C.
6. Batubara Musi Banyu Asin, kenaikan kalori terbesar yaitu dari 4.835 kal/g menjadi 6.741 kal/g pada tekanan 50 bar dan suhu 300 °C. Pada kondisi tersebut Nilai Tig sebesar 373,90 °C, Tmax 373,90 °C, Rmax 0,21 mg/min, dan Tbo 441,20 °C. Pada suhu yang sama dengan tekanan 1 bar, kenaikan kalori sebesar 1205 kal/g dari 4835 kal/g menjadi 6.040 kal/g, dengan nilai Tig 358,40 °C, Tmax 397,90 °C, Tbo 482,10 °C, dan Rmax 0,17 mg/min. Dengan suhu 200 °C dan tekanan 50 bar, kenaikan kalori sebesar 1157 kal/g dari 4835 kal/g menjadi 5992 kal/g, Nilai Tig 346,90 °C, Tmax 410,90 °C, Tbo 555 °C, dan Rmax 0,09 mg/min. Dengan suhu yang sama dan tekanan 1 bar, kenaikan sebesar 551 kal/g dari 4835 kal/g menjadi 5386 kal/g, Tig 336,60 °C, Tmax 396,60 °C, Tbo 483,10 °C, Rmax 0,10 mg/min.

5. Saran

1. Perlu ditingkatkan lagi nilai suhu dan tekanan, terutama tekanan awal dalam proses pengeringan atau *upgrading* agar sifat pembakaran semakin baik dan nilai kalori batubara semakin besar..
2. Untuk hasil yang lebih akurat, perlu dilakukan kalibrasi secara berkala pada alat TGA/DSC.

Daftar Pustaka

- [1] Ardian, Aldin. 2015. “*Analisis Proksimat Batubara*”. <http://blog.upnyk.ac.id>
Diakses pada 2 Desember 2019.
- [2] Arinaldo, Deon., Adiatma, Julius Christian. 2019. “*Dinamika Batubara Indonesia: Menuju Transisi Energi yang Adil*”. Institute for Essential Services Reform (IESR), Jakarta.
- [3] Fröberg, Linda, 2010. “*Thermal Analysis TGA / DTA*”, Process Chemistry Centre, ABO Akademi University, Turku, Finlandia.
- [4] Geomagz. 2012. “*Gas Metana Batubara, Energi Alternatif Non-Komersial*”. <http://geomagz.geologi.esdm.go.id> diakses pada 2 Desember 2019.
- [5] Marlinda, Rully *et al.* 2018. “*Peningkatan Efisiensi Pembakaran Batubara Dengan Menggunakan Bahan Kimia Aditif (Amonia + Kalium + Resin) di Puslitbang Tekmira Bandung*”. Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [6] PerkinElmerInc. 2015. “*A Beginners Guide Thermogravimetric Analysis*”. Perkin Elmer Inc, Massachusetts, Amerika Serikat.
- [7] Prahesthi, Iudhi Oki., Zamani, Fitro. 2017. “*Penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) Analisis Kimia Proksimat Batubara*”. Sub Bidang Laboratorium Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- [8] Putra, Eggy Maulana. 2017. “*Optimasi Kinerja Co-Firing Batubara Dengan Biomasa Dalam Industri Pengguna Batubara*”. Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [9] Rahmansyah, Angga. 2017. “*Upgrading Batubara Peringkat Rendah Yang Berasal Dari Sorong Dan Jambi Dengan Teknologi Cupo (Coal Upgrading Palm Oil) Di Puslitbang tekMIRA*, Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [10] Suryana, Asep., Fatimah. 2012. “*Alokasi Pemanfaatan Sumber Daya Batubara Kalori Rendah di Sumatera*”. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- [11] Umar, Datin Fatia. 2016. “*Sifat Pembakaran Batubara Hasil Upgrading Dengan Teknologi Hot Water Drying*”. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung.
- [12] Widyatmoko, Yunanto F, *et al.* 2017. “*Kajian Ekonomi dan Keuangan Regional Provinsi Kalimantan Selatan*”. Kantor Perwakilan Bank Indonesia Provinsi Kalimantan Selatan, Banjarmasin.