



**PEMILIHAN JENIS REAKTOR GASIFIKASI BATUBARA ACEH BARAT
DENGAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS**

**SELECTION OF WEST ACEH COAL GASIFICATION REACTOR USING
THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS METHOD**

KM. F. Balyani¹, E. Ibrahim², D. Bahrin³, M. Yusuf^{4*}

^{1,2,4} Program Studi Magister Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

³ Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya

e-mail: *maulanayusuf@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK

Teknologi gasifikasi saat ini semakin berkembang dengan berbagai tipe reaktor gasifikasi. Berbagai tipe reaktor tersebut juga memiliki jenis dan karakter material *feeding* yang cocok sebagai bahan baku yang akan menghasilkan gas sintesis. Selain itu, Indonesia juga memiliki berbagai tingkat kualitas batubara sehingga perlu dilakukan kajian penelitian terkait penentuan jenis reaktor gasifikasi yang sesuai dengan peringkat batubara. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dipilih untuk mengambil keputusan terkait pemilihan reaktor gasifikasi yang akan digunakan. Ada tiga jenis kelompok responden yang dipilih untuk menganalisis reaktor yang akan dipilih untuk Gasifikasi Batubara yaitu praktisi, pemerintah, dan akademisi. Hasil penelitian menunjukkan para responden lebih memilih reaktor *entrained flow* sebagai reaktor yang cocok untuk batubara di lokasi penelitian dengan kriteria %H₂ dan %CO dan karakteristik batubara menjadi kriteria utama dalam pemilihan reaktor gasifikasi.

Kata kunci: reaktor, gasifikasi batubara, *analytical hierarchy process*

ABSTRACT

Gasification technology is currently growing with various types of gasification reactors. The various types of reactors also have the type and character of the feeding material which is suitable as a raw material to produce synthesis gas. In addition, Indonesia also has various levels of coal quality, so it is necessary to carry out research studies related to determining the type of gasification reactor according to the rank of coal. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method was chosen to make decisions regarding the selection of the gasification reactor to be used. There are three types of respondent groups selected to analyze the reactors to be selected for Coal Gasification namely practitioners, government, and academics. The results showed that the respondents preferred the entrained flow reactor as a suitable reactor for coal at the research location with the criteria of % H₂ and % CO and the characteristics of the coal being the main criteria in selecting a gasification reactor.

Keywords : *gasifier, coal gasification, analytical hierarchy process*

PENDAHULUAN

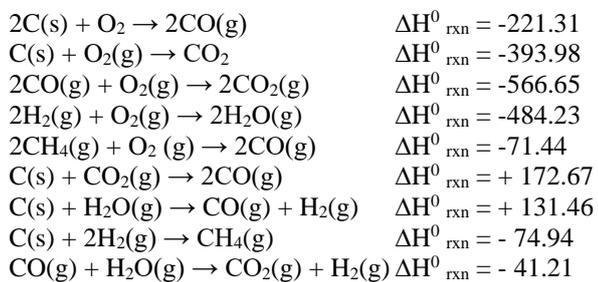
Sumber energi dunia sudah mengalami beberapa kali perubahan, dari penggunaan biomassa berubah menjadi energi fosil yang dipicu revolusi industri pada tahun 1900-an [1]. Penggunaan energi fosil yang semakin tinggi menyebabkan kenaikan emisi gas rumah kaca sehingga iklim menjadi tidak stabil serta meningkatnya suhu bumi dan permukaan air laut [2]. Kenaikan temperatur ini lebih kurang 1.5°C sampai 3°C [3].

Konsentrasi karbon dioksida telah meningkat pesat selama abad terakhir dibanding sebelum era industri [3]. IEA menyatakan emisi CO₂ global dari pembakaran energi dan proses industri meningkat mencapai tingkat tahunan tertinggi dengan kenaikan 6% dari tahun 2020 mendorong jumlah emisi menjadi 36,3 gigaton (Gt) dengan sumber emisi berasal dari batubara sebesar 42% sebesar 15.3 Gt sedangkan sisanya berasal dari gas alam dan minyak [4].

Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat menggantikan energi tak terbarukan. Energi baru merupakan upaya memproduksi energi dengan mengubah energi fosil menjadi energi yang lebih efisien. Sedangkan energi terbarukan merupakan upaya memproduksi energi dengan mengubah energi dari alam menjadi energi yang lebih efisien dan dapat diperoleh dengan cepat dan berkesinambungan [5].

Gasifikasi batubara umumnya merujuk pada reaksi batubara dengan udara atau oksigen dan uap untuk menghasilkan produk gas yang dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar atau sebagai bahan sintesis gas atau bahan bakar cair atau bahan kimia [6]. Pendapat lain menyebutkan bahwa segala proses yang merubah batubara untuk menghasilkan gas yang mudah terbakar disebut gasifikasi batubara [7].

Beberapa reaksi gasifikasi batubara (ΔH^0 kJ/gmole)[8]:



Penelitian terkait gasifikasi dan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) pernah dilakukan sebelumnya. Wang (2016) menyebutkan bahwa gasifikasi dapat terjadi optimal dengan kombinasi suhu dan tekanan [9]. Kheybari (2019) menggunakan AHP dalam penentuan produksi energi di antaranya gasifikasi dan biogas yang menentukan biogas sebagai opsi pertama [10].

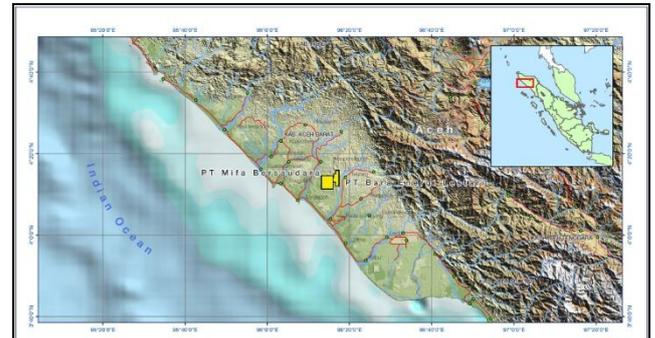
Teknologi gasifikasi saat ini semakin berkembang dengan berbagai tipe reaktor gasifikasi. Berbagai tipe reaktor tersebut memiliki jenis dan karakter material *feeding* yang cocok sebagai bahan baku untuk menghasilkan gas sintesis. Di sisi lain, Indonesia memiliki berbagai tingkat kualitas batubara yang dapat digunakan sebagai material *feeding*. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian penelitian terkait pemilihan jenis reaktor gasifikasi yang sesuai dengan peringkat batubara dengan menggunakan metode AHP sebagai keterbaruan dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada PT Mifa Bersaudara yang terletak pada Provinsi Aceh Kabupaten Aceh Barat yang terletak lebih kurang 20 km ke arah timur dari Kota Meulaboh. Luas konsesi Izin Usaha Pertambangan

Operasi Produksi PT Mifa Bersaudara adalah 3,134 Ha dengan tipikal batubara subbituminus (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian [11]

Analytical Hierarchy Process

AHP merupakan teknik pengambilan keputusan/optimalisasi *multivariate* yang digunakan dalam analisis kebijaksanaan. Prinsip kerja AHP adalah penyederhanaan suatu persoalan kompleks yang tidak terstruktur dan dinamik menjadi bagian-bagiannya, serta menata dalam suatu hierarki. Kemudian tingkat kepentingan setiap variabel diberi nilai dibandingkan dengan variabel lainnya. Dari berbagai pertimbangan tersebut kemudian dilakukan sintesis untuk menetapkan variabel yang memiliki prioritas tinggi dan berperan untuk mempengaruhi hasil pada sistem tersebut [12].

Metode *Analytical hierarchy process* menggunakan beberapa prinsip sebagai berikut [13]:

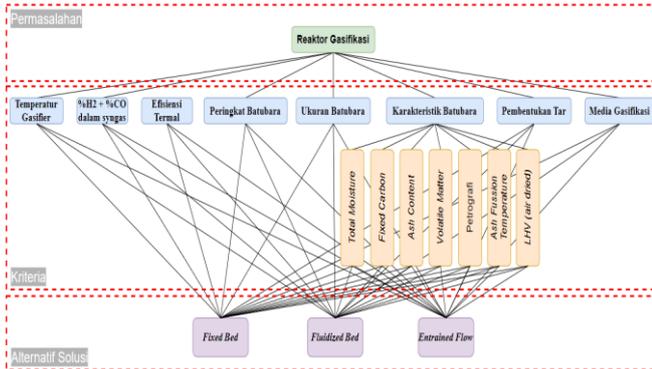
1. Dekomposisi (*Decomposition*) merupakan pemecahan persoalan yang utuh menjadi unsur-unsurnya sampai tidak mungkin dilakukan pemecahan lebih lanjut (hierarki), sehingga didapatkan beberapa tingkatan dari persoalan yang hendak dipecahkan. Bentuk struktur dekomposisi yakni:
 - a. Tingkat pertama: tujuan keputusan (*Goal*)
 - b. Tingkat kedua: kriteria – kriteria
 - c. Tingkat ketiga: alternatif – alternatif
2. Penilaian Perbandingan (*Comparative Judgement*). Prinsip ini berarti membuat penilaian mengenai kepentingan relatif dua elemen pada suatu tingkat tertentu. Skala preferensi yang digunakan yaitu skala 1 yang menunjukkan tingkat yang paling rendah (*equal importance*) sampai dengan skala 9 yang menunjukkan tingkatan yang paling tinggi (*extreme importance*).
3. Sintesis Prioritas (*Synthesis of Priority*) dilakukan dengan menggunakan *eigen vector method* untuk mendapatkan bobot relatif bagi unsur unsur pengambilan keputusan.

Langkah-langkah pekerjaan dalam metode AHP [11]:

1. Pembuatan hierarki

Persoalan yang akan diselesaikan, diuraikan menjadi unsur-unsurnya, yaitu kriteria dan alternatif,

kemudian disusun menjadi struktur hierarki (Gambar 2).



Gambar 2. Struktur *Analytical Hierachy Process*

2. Penilaian kriteria dan alternatif

Nilai dan definisi pendapat kualitatif dari skala perbandingan ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala tingkat kepentingan

Intensitas Kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	<i>Equal importance</i> (kedua elemen sama penting)	Dua aktifitas (elemen) memberikan kontribusi sama terhadap tujuan
3	<i>Moderate importance</i> (elemen yang satu sedikit lebih penting dari yang lain)	Pengalaman dan penilaian memberikan nilai tidak jauh berbeda antara satu aktivitas (elemen) terhadap aktivitas (elemen) lainnya
5	<i>Strong importance</i> (elemen yang satu lebih penting dari yang lain)	Pengalaman dan penilaian memberikan nilai kuat berbeda antara satu aktivitas (elemen) terhadap aktivitas lainnya
7	<i>Very Strong importance</i> (elemen yang satu sangat lebih penting dari yang lain)	Satu aktivitas (elemen) sangat lebih disukai dibanding aktivitas (elemen) lainnya
9	<i>Extreme importance</i> (elemen yang satu mutlak lebih penting dari yang lain)	Satu aktivitas (elemen) secara pasti menempati urutan tertinggi dalam tingkatan preferensi
2,4,6,8	Nilai kompromi atas nilai-nilai di atas (nilai tengah antara dua pertimbangan yang berdekatan)	Penilaian kompromi secara numeris dibutuhkan semenjak tidak ada kata yang tepat untuk menggambarkan tingkat preferensi
Kebalikan (1/2,1/3, ...dst)	Jika elemen i memiliki nilai dibandingkan dengan elemen j, maka elemen j mempunyai nilai kebalikan dengan elemen i	

3. Penentuan prioritas

Dalam proses AHP dengan item lebih dari satu, seringkali terjadi ketidaksepakatan dalam menentukan kepentingan alternatif antar item. Dengan demikian, perlu menggunakan nilai rata-rata geometrik untuk menggabungkan pendapat responden saat memplot nilai kepentingan dalam matriks. Rumus rata-rata geometrik (GM) adalah sebagai berikut:

$$GM = \sqrt[n]{a_1 a_2 a_3 \dots a_n} \tag{1}$$

a_1, a_2, a_n = Nilai perbandingan antara a_i, a_j, a_{ij}
 n = Banyaknya elemen/responden

4. Konsistensi

Consistency Index (CI) disajikan pada persamaan 2 dan 3, dan tabel *random consistency index* disajikan pada Tabel 2.

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \tag{2}$$

λ = Nilai maksimum eigen

n = Banyaknya elemen berdasarkan sumber kriteria

Tabel 2. *Random Consistency Index* (RI)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

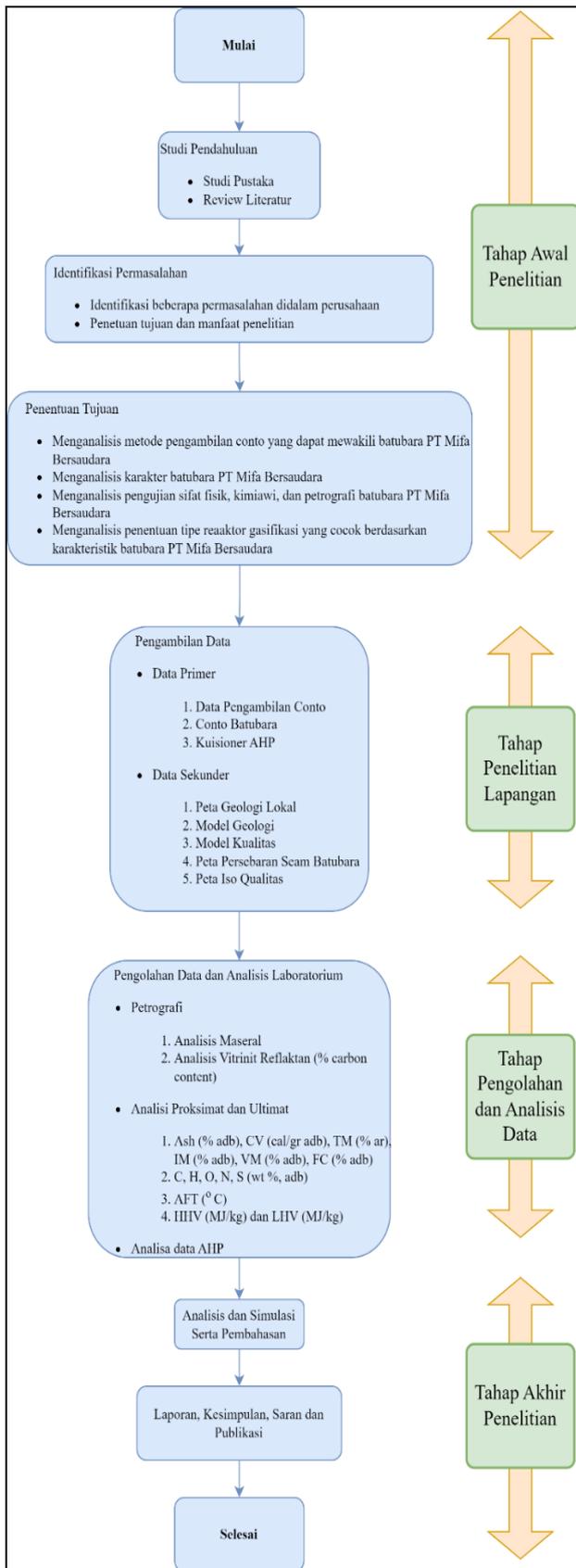
Perhitungan *Rasio Consistency*

$$CR = CI/RI \tag{3}$$

Jika Nilai CR lebih dari 10%, maka penilaian data perlu diperbaiki, dan jika kurang dari sama dengan 0.1 maka hasil perhitungan bisa dinyatakan benar [14].

Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang penulis lakukan yaitu penelitian campuran (kualitatif – kuantitatif). Penulis melakukan pemilihan reaktor gasifikasi berdasarkan variabel-variabel gasifikasi. Selain itu, juga akan dilakukan pengujian laboratorium terhadap karakteristik batubara terkait pengolahan atau pemanfaatan batubara yang diambil di lokasi kerja penulis dengan metode gasifikasi (Gambar 3).



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik batubara Aceh Barat

Karakteristik batubara lokasi penelitian disajikan lengkap pada Tabel 3 yang diperoleh dari analisis proksimat dan analisis ultimat.

Tabel 3. Karakteristik Batubara Aceh Barat

No	Parameter	Nilai
1	Analisa Proksimat	
	a. Total Moisture (ar)	44.76%
	b. Inherent Moisture (adb)	15.97%
	c. Ash Content (adb)	6.87%
	d. Volatile Matter (adb)	41.89%
	e. Fixed Carbon (adb)	35.32%
	f. Total Sulphur (adb)	0.21%
	g. HHV, Gross Calorific Value (adb,cal/gr)	5012
	h. LHV, Net Calorific Value (daf, cal/gr)	12.24
2	Analisa Ultimat (daf)	
	a. Carbon (C)	68.66%
	b. Hydrogen (H)	5.45%
	c. Nitrogen (N)	1.09%
	d. Sulphur (S)	0.27%
3	Titik Leleh Abu	
	Initial Defromation (°C)	1150 - 1200
	Spherical (°C)	1160 - 1210
	Hemisphere (°C)	1180 - 1220
	Flow (°C)	1200 - 1240
4	Petrografi	
	Maseral	Huminite
	Vitrinit Reflectance	0.25% - 0.29%

Hasil Penelitian AHP

Penelitian metode AHP dalam pemilihan reaktor gasifikasi batubara Aceh Barat dilakukan terhadap tiga kelompok responden yang terdiri dari:

1. Kelompok responden praktisi sebanyak 5 orang (K-1).
2. Kelompok responden pemerintah sebanyak 2 orang (K-2), dan
3. Kelompok responden akademisi sebanyak 3 orang (K-3).

Penilaian dilakukan untuk mendapatkan nilai bobot kriteria dan sub kriteria serta karakteristik batubara serta prioritas teknologi reaktor gasifikasi yang sesuai untuk batubara di daerah penelitian.

Subkriteria, Kriteria dan Alternatif

Penilaian bobot dilakukan oleh kelompok K-1, K-2 dan K-3 dengan cara membandingkan satu sub kriteria terhadap sub kriteria lainnya. Penilaian pembobotan alternatif dilakukan dengan cara membandingkan teknologi reaktor gasifikasi dengan yang lainnya terhadap masing-masing sub kriteria.

Sub kriteria pada penelitian ini hanya terdapat pada kriteria karakteristik batubara. Salah satu langkah setelah dilakukan penilaian terhadap sub-sub kriteria yang ada selanjutnya dilakukan penilaian terhadap rasio konsistensi jawaban atau penilaian dari masing-masing kelompok.

Nilai rasio konsistensi yang telah ditetapkan oleh metode ini yaitu maksimum 10% dan jika lebih nilai tersebut perlu dilakukan penilaian ulang dan jika di bawah 10% maka jawaban atau hasil penilaian dapat dikatakan benar.

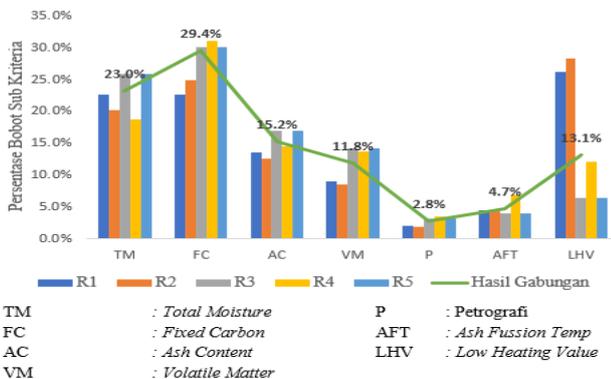
Pembobotan Subkriteria Karakteristik Batubara

Grafik hasil perhitungan konsistensi kelompok satu (K-1) disajikan pada Gambar 4.



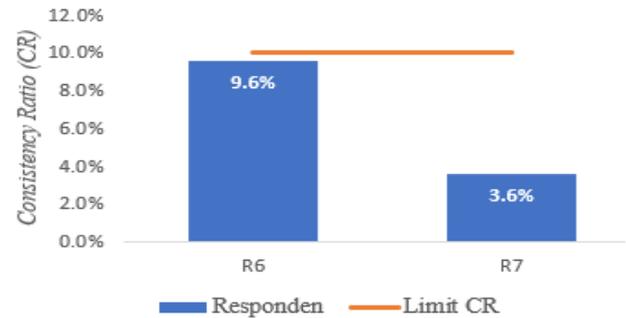
Gambar 4. Grafik Batang Rasio Konsistensi K-1 pada Penilaian Subkriteria Karakteristik Batubara

Data penilaian dari masing-masing responden digabung dengan cara mengalikan nilai elemen masing-masing matriks responden K-1 dengan menggunakan persamaan rata-rata geometrik. Hasil pembobotan sub kriteria karakteristik batubara masing-masing responden dan penilaian gabungan K-1 dapat dilihat pada Gambar 5.



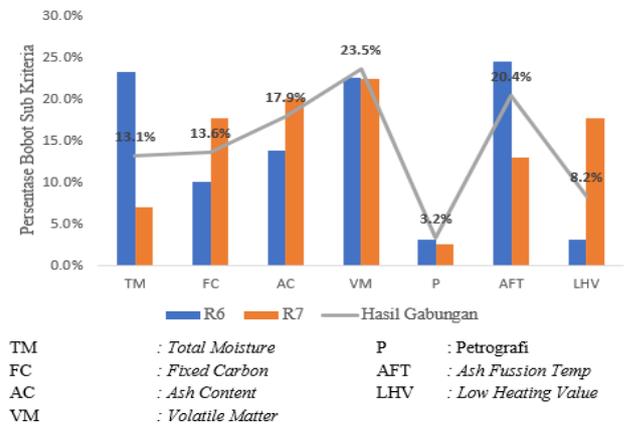
Gambar 5. Grafik Batang Pembobotan Sub Kriteria Karakteristik Batubara Hasil Penilaian Responden K-1

Untuk hasil perhitungan konsistensi kelompok dua (K-2) disajikan pada Gambar 6.



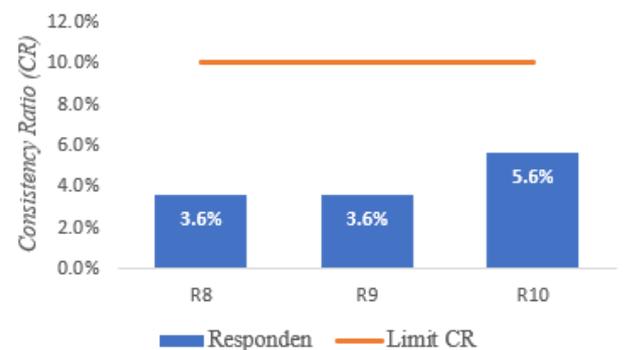
Gambar 6. Grafik Batang Rasio Konsistensi K-2 pada Penilaian Subkriteria Karakteristik Batubara

Hasil pembobotan sub kriteria karakteristik batubara masing-masing responden dan penilaian gabungan K-2 dapat dilihat pada Gambar 7.



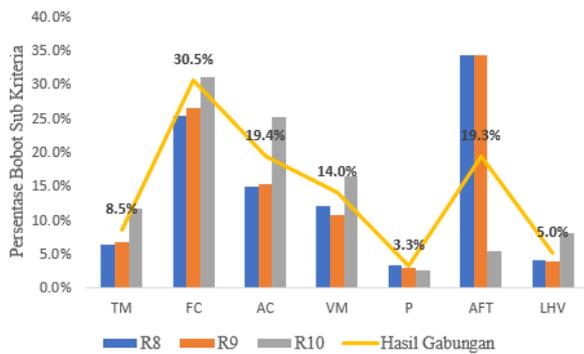
Gambar 7. Grafik Batang Pembobotan Sub Kriteria Karakteristik Batubara Hasil Penilaian Responden K-2

Hasil perhitungan konsistensi kelompok tiga (K-3) disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Batang Rasio Konsistensi K-3 pada Penilaian Subkriteria Karakteristik Batubara

Hasil pembobotan sub kriteria karakteristik batubara masing-masing responden dan penilaian gabungan K-3 dapat dilihat pada Gambar 9.



TM : Total Moisture
 FC : Fixed Carbon
 AC : Ash Content
 VM : Volatile Matter
 P : Petrografi
 AFT : Ash Fusion Temp
 LHV : Low Heating Value

Gambar 9. Grafik Batang Pembobotan Sub Kriteria Karakteristik Batubara Hasil Penilaian Responden K-3

Hasil pembobotan yang telah dilakukan pada masing-masing kelompok untuk subkriteria karakteristik batubara untuk proses gasifikasi menunjukkan bahwa pada kelompok satu (K-1) kandungan *fixed carbon* prioritas tertinggi dalam karakteristik batubara. Selanjutnya prioritas kedua dan ketiga yaitu *total moisture* dan *ash content*.

Fixed carbon merupakan angka yang menunjukkan kandungan karbon yang terdapat dalam batubara setelah zat terbang (*volatile matter*) dihilangkan. Semakin tinggi kandungan karbon pada batubara semakin tinggi peringkat batubara tersebut dan semakin banyak jumlah karbon yang akan didapatkan dari gasifikasi. Namun *fixed carbon* merupakan bagian batubara yang sangat sulit dibakar [15].

Kandungan *fixed carbon* dalam bahan bakar juga dapat mempengaruhi efisiensi proses gasifikasi [16]. Semakin tinggi kandungan *fixed carbon*, semakin tinggi efisiensi gasifikasi yang dapat dicapai. Ini karena *fixed carbon* menyediakan sumber karbon yang lebih banyak untuk diubah menjadi gas sintesis, meningkatkan produksi gas per unit massa bahan bakar. Dari penjelasan di atas Kelompok K-1 menjadikan *fixed carbon* menjadi prioritas pertama karakteristik batubara.

Kandungan air pada batubara (*total moisture*) dapat mempengaruhi reaksi gasifikasi yang berarti bahwa air dapat bereaksi dengan karbon dalam bahan bakar untuk menghasilkan gas sintesis seperti hidrogen (H) dan karbon monoksida (CO) dalam reaksi gasifikasi. Namun, kelembaban yang tinggi dapat mengganggu reaksi gasifikasi dengan mengurangi suhu reaksi dan mengkonsumsi sebagian energi termal yang tersedia, sehingga dapat menurunkan efisiensi proses gasifikasi. Penelitian lain [17] juga menyatakan dalam proses gasifikasi, kandungan total kelembaban akan

mempengaruhi efisiensi gasifikasi. Hal ini mungkin yang menjadi pertimbangan *total moisture* menjadi prioritas kedua.

Ash content yang tinggi dalam bahan bakar dapat mempengaruhi efisiensi proses gasifikasi. Abu yang tidak terbakar justru menyebabkan kerugian energi karena memerlukan energi tambahan untuk memanaskan dan mengubah fase abu serta berpotensi pembentukan *slagging* dan *fouling* [18]. Hal ini juga yang mungkin mendasari kelompok satu menjadikan kandungan abu menjadi prioritas ketiga.

Kelompok dua (K-2) dari hasil pembobotan menunjukkan prioritas pertama adalah *ash fusion temperature*, dilanjutkan *volatile matter* dan *ash content* sebagai prioritas ke dua dan tiga.

Ash fusion temperature sebagai prioritas pertama dari K-1 mempengaruhi pembentukan *slag* selama proses gasifikasi. Jika *ash fusion temperature* relatif rendah, abu dalam bahan bakar akan meleleh dan membentuk *slag*. *Slag* ini dapat menempel pada permukaan dan dinding reaktor gasifikasi, mengganggu aliran gas dan mengurangi efisiensi proses. Sebaliknya, jika *ash fusion temperature* bahan bakar padat tinggi, abu akan tetap padat dan tidak meleleh selama proses gasifikasi, mengoptimalkan transfer panas dan efisiensi proses secara keseluruhan.

Prioritas ke dua yakni *volatile matter* dari kelompok K-3 hampir sama dengan kandungan *fixed carbon* yang perbandingannya dapat menentukan rasio bahan bakar yang juga menentukan tingkat reaktivitas batubara dalam proses gasifikasi.

Kelompok tiga (K-3) dari hasil pembobotan menunjukkan prioritas pertama adalah *fixed carbon*, dilanjutkan *ash fusion temperature* dan *ash content* sebagai prioritas kedua dan ketiga. Seperti penjelasan di atas terkait masing-masing prioritas yang mungkin mendasari kelompok K-3 menjadikan pertimbangan sebagai prioritas pertama, kedua dan ketiga.

Pembobotan Kriteria

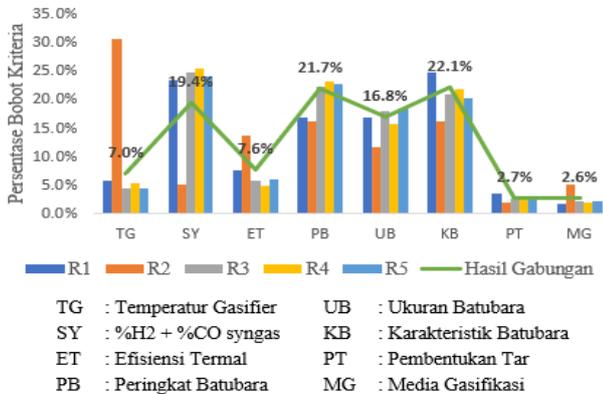
Rasio konsistensi untuk kriteria penentuan reaktor batubara untuk kelompok satu (K-1) yang merupakan kelompok praktisi dapat dilihat pada Gambar 10.

Rasio konsistensi untuk kelompok satu (K-1) dari hasil perhitungan di bawah 10% yang artinya data jawaban hasil kuesioner untuk kriteria reaktor gasifikasi dapat digunakan dalam penelitian. Jika nilai rasio konsistensi < 0.1 maka data dapat dipakai dan sebaliknya jika nilai rasio konsistensi > 0.1 maka data harus diperbaiki [12].



Gambar 10. Grafik Batang Rasio Konsistensi K-1 pada Penilaian Kriteria Reaktor Gasifikasi

Hasil pembobotan kriteria reaktor gasifikasi masing-masing responden dan penilaian gabungan K-1 dapat dilihat pada Gambar 11.



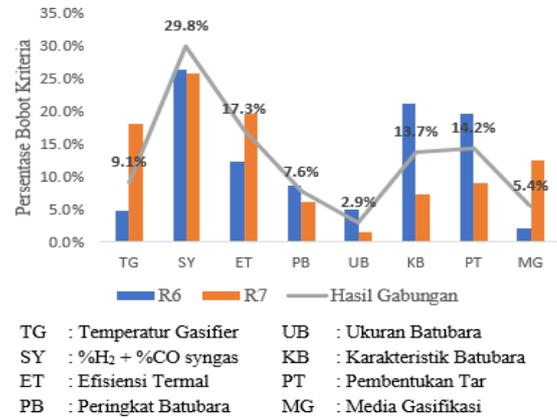
Gambar 11. Grafik Batang Pembobotan Kriteria Reaktor Gasifikasi Batubara Hasil Penilaian Responden K-1

Rasio konsistensi untuk kriteria penentuan reaktor batubara untuk kelompok dua (K-2) yang merupakan kelompok pemerintah dapat dilihat pada Gambar 12.



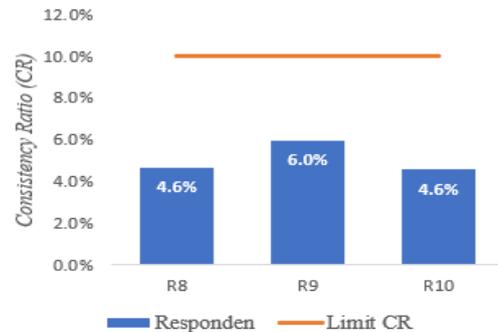
Gambar 12. Grafik Batang Rasio Konsistensi K-2 pada Penilaian Kriteria Reaktor Gasifikasi

Hasil pembobotan kriteria reaktor gasifikasi masing-masing responden dan penilaian gabungan K-2 dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Batang Pembobotan Kriteria Reaktor Gasifikasi Batubara Hasil Penilaian Responden K-2

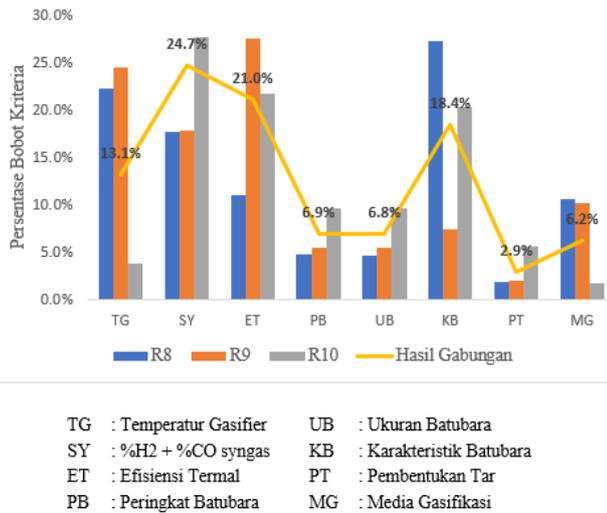
Rasio konsistensi untuk kriteria penentuan reaktor batubara untuk kelompok tiga (K-3) yang merupakan kelompok akademisi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Batang Rasio Konsistensi K-3 pada Penilaian Kriteria Reaktor Gasifikasi

Hasil pembobotan kriteria reaktor gasifikasi masing-masing responden dan penilaian gabungan K-3 terdapat pada Gambar 15.

Penilaian bobot dari kriteria-kriteria gasifikasi untuk kelompok satu (K-1) menetapkan prioritas pertama adalah karakteristik batubara, selanjutnya peringkat batubara dan peringkat ketiga yakni %H₂ + %CO syngas yang dihasilkan. Karakteristik batubara menjadi prioritas pertama mempertimbangkan dari karakteristik batubara akan nampak komposisi-komposisi kimia maupun fisik yang dapat menentukan mulai dari desain reaktor, proses gasifikasi dan gas hasil gasifikasi. Seperti yang telah dijelaskan di atas terkait hasil pembobotan sub kriteria karakteristik batubara dalam proses gasifikasi.



Gambar 15. Grafik Batang Pembobotan Kriteria Reaktor Gasifikasi Batubara Hasil Penilaian Responden K-3

Kelompok dua (K-2) dari hasil penilaian pembobotan kriteria-kriteria gasifikasi dengan nilai rasio konsistensi di bawah 10%, menunjukkan untuk prioritas pertama dari kelompok dua yaitu %H₂ + %CO syngas, selanjutnya efisiensi termal dan pembentukan tar sebagai prioritas kedua dan ketiga.

Persentase H₂ dan CO yang tinggi dalam gas hasil gasifikasi dapat meningkatkan efisiensi proses gasifikasi. H₂ dan CO merupakan gas-gas yang reaktif dan memiliki nilai kalor yang tinggi. Persentase yang tinggi dari keduanya berarti lebih banyak energi yang tersedia dalam gas sintesis yang dihasilkan. Persentase H₂ dan CO dalam hasil gasifikasi juga mempengaruhi kualitas gas sintesis. H₂ dan CO merupakan gas-gas yang sangat berharga dalam berbagai aplikasi industri, seperti produksi amonia, metanol, dan hidrokarbon lainnya. Persentase yang tinggi dari keduanya berarti gas sintesis memiliki kualitas yang lebih baik, karena memiliki potensi energi yang lebih tinggi dan keberagaman penggunaan yang lebih luas.

Perbandingan H₂/CO dalam gas hasil gasifikasi juga penting dalam menentukan jenis reaksi kimia yang terjadi dan jenis produk yang dihasilkan. Rasio yang tinggi (>1) akan menghasilkan lebih banyak H₂, sementara rasio yang rendah (<1) akan menghasilkan lebih banyak CO. Hal ini dapat mempengaruhi kegunaan gas sintesis dan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu.

Efisiensi termal mengacu pada sejauh mana energi yang tersimpan dalam bahan bakar dapat dimanfaatkan selama proses gasifikasi. Semakin tinggi efisiensi termal, semakin besar proporsi energi dalam bahan bakar yang dikonversi menjadi energi dalam bentuk gas sintesis yang berguna. Efisiensi termal yang tinggi berarti proses

gasifikasi dapat memanfaatkan energi secara efektif dan mengoptimalkan penggunaan bahan bakar. Efisiensi termal yang rendah dapat menyebabkan terjadinya banyak panas hilang dalam sistem gasifikasi. Panas hilang dapat terjadi melalui pendinginan sistem, emisi gas buang, atau pengeluaran panas yang tidak dimanfaatkan. Semakin tinggi efisiensi termal, semakin sedikit panas yang hilang dalam proses gasifikasi, sehingga lebih banyak energi yang dapat dimanfaatkan secara efektif.

Prioritas ketiga dari kelompok dua yaitu pembentukan tar yang dapat memberikan pengaruh yang buruk terhadap proses dan hasil gasifikasi. Tar yang terbentuk selama proses gasifikasi dapat mengalir melalui pipa, katup, dan peralatan lainnya dalam sistem gasifikasi. Tar bersifat lengket dan kental, sehingga dapat menyumbat saluran dan menghambat aliran gas sintesis.

Hal tersebut dapat mengurangi efisiensi proses gasifikasi dan menyebabkan penurunan kinerja sistem secara keseluruhan. Tar dapat mengandung berbagai senyawa organik berat yang tidak diinginkan, seperti hidrokarbon kompleks dan senyawa aromatik. Ketika tar terbentuk dan tercampur dengan gas sintesis akan mengkontaminasi gas sintesis dan dapat mengganggu penggunaan atau pemurnian gas sintesis tersebut.

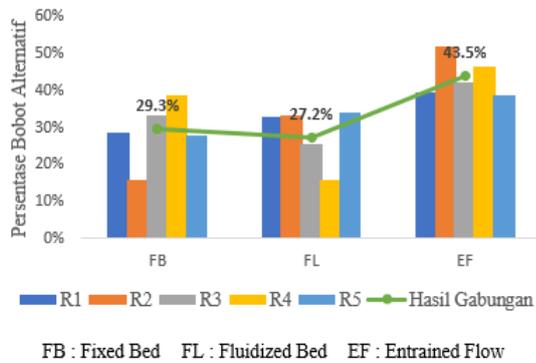
Tar yang terbentuk dalam proses gasifikasi dapat berinteraksi dengan abu dan mineral lainnya yang terkandung dalam bahan bakar padat. Reaksi antara tar dan abu dapat menyebabkan pembentukan *slag* atau endapan padat yang menempel pada dinding reaktor atau peralatan lainnya. Pembentukan *slag* dapat mengganggu aliran gas dan mempengaruhi kinerja serta umur operasional peralatan gasifikasi. Proses pembentukan tar dapat menghasilkan emisi polutan, termasuk partikel padat, senyawa organik volatil (VOC), dan senyawa beracun seperti benzena dan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH). Emisi polutan ini memiliki dampak negatif pada kualitas udara dan lingkungan.

Kelompok tiga (K-3) dari hasil penilaian pembobotan kriteria gasifikasi menentukan bahwa persentase H₂ dan CO, efisiensi termal dan karakteristik batubara menjadi faktor yang signifikan dalam proses gasifikasi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya yang menjadi pertimbangan dalam kelompok K-3.

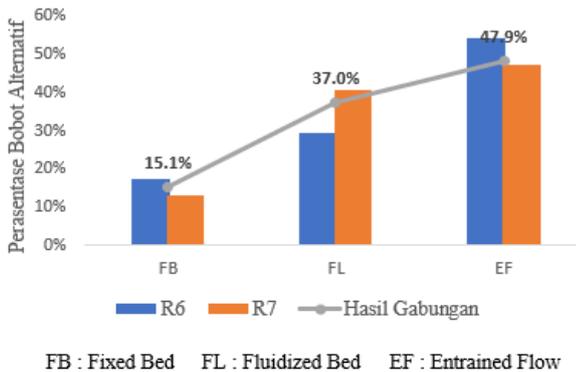
Pembobotan Alternatif

Pembobotan alternatif dilakukan pada masing-masing kelompok setelah mendapatkan jawaban hasil kuesioner setiap responden dari kriteria dan sub kriteria berdasarkan parameter gasifikasi dan batubara yang telah diketahui. Hasil tersebut akan digabungkan kembali menggunakan rumus rata-rata geometrik untuk mendapatkan nilai gabungan setiap kelompok.

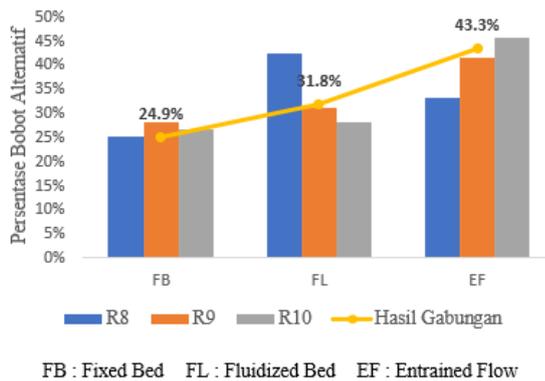
Kelompok satu (K-1) dari tiga alternatif yang didapatkan berdasarkan hasil kuesioner yang mendapatkan prioritas utama yaitu *entrained flow* dengan persentase sebesar 43.5%. Begitu juga dengan kelompok dua (K-2) dan kelompok tiga (K-3) memilih reaktor *entrained flow* sebagai reaktor utama berdasarkan kriteria dan sub kriteria serta parameter batubara lokasi penelitian. Berikut grafik hasil pemilihan alternatif dari masing-masing kelompok responden (Gambar 16, 17, dan 18).



Gambar 16. Grafik Batang Prioritas Alternatif Kelompok Satu (K-1)



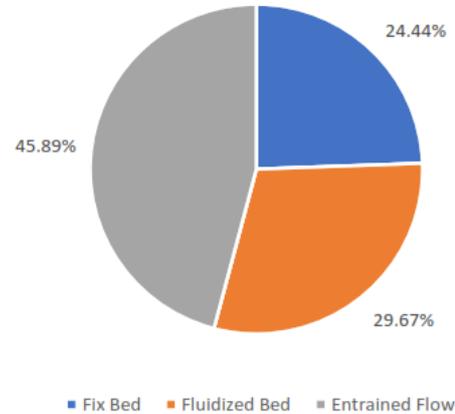
Gambar 17. Grafik Batang Prioritas Alternatif Kelompok Dua (K-2)



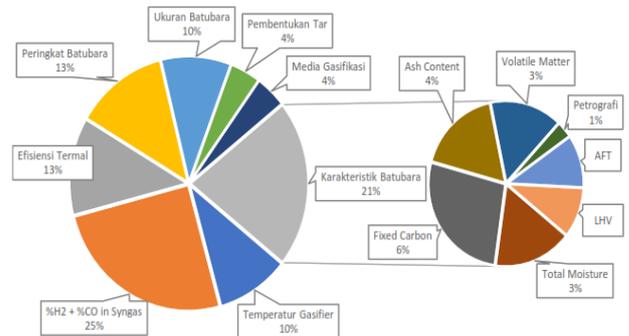
Gambar 18. Grafik Batang Prioritas Alternatif Kelompok Tiga (K-3)

Hasil Akhir Kriteria dan Sub kriteria AHP Pemilihan Reaktor Gasifikasi

Hasil akhir yang didapatkan dari kriteria-kriteria yang menjadi prioritas dalam pemilihan reaktor gasifikasi disajikan pada Gambar 19 dan 20.



Gambar 19. Grafik Pie Pilihan Alternatif dari Semua Responden



Gambar 20. Grafik Pie Pilihan Kriteria dan Sub Kriteria dari Semua Responden

Hasil evaluasi akhir terhadap metode AHP dalam pemilihan reaktor gasifikasi terlihat bahwa reaktor *entrained flow* menjadi alternatif utama yang cocok untuk batubara di lokasi penelitian. Penelitian lain menyatakan hal yang sama untuk batubara di daerah Sumatera Selatan tepatnya di Tanjung Enim dimana pemilihan reaktor yang sesuai dengan batubara menggunakan metode AHP adalah reaktor *entrained flow* [19]. Karakteristik utama dalam proses gasifikasi yaitu persentase H₂ dan CO yang dihasilkan, selain itu kriteria karakteristik batubara memiliki peringkat ke dua setelah kriteria H₂ dan CO. Sub kriteria pada karakteristik batubara *fixed carbon*, *ash content*, *total moisture* menjadi elemen penting yang perlu diperhatikan dalam pemilihan reaktor gasifikasi.



KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan para responden lebih memilih reaktor *entrained flow* sebagai reaktor yang cocok untuk batubara di lokasi penelitian dengan kriteria %H₂ dan %CO dan karakteristik batubara menjadi kriteria utama dalam pemilihan reaktor gasifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setyono, Agus E dan Tamtomo Kiono. (2021). "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 2(3), 154 – 162.
- [2] Pertamina Eney Institute. (2020). *Pertamina Energy Outlook 2020*. Jakarta: Pertamina Eney Institute.
- [3] Ntanos, S. Arabatzis, Milioris, Chalikias, Lalou, (2015). *Energy Consumption and CO2 Emissions on a Global Level*. Conference: International Conference on Quantitative and Qualitative Methodologies in the Economic and Administrative Sciences At: Technological Educational Institute of Athen.
- [4] International Energy Agency (IEA). (2021). Global Energy Review: CO₂ Emission in 2021, Global Emissions Rebound Sharply to Highest Ever Level. www.iea.org diakses Desember 2022.
- [5] Syukri Nur, Muhammad & J Roben, Mifaqih. (2016). *Gasifikasi Batubara: Solusi Energi dan Lingkungan untuk Indonesia*. Jakarta
- [6] Vamvuka, D. (2000). *Gasification Of Coal. "Clean Uses of Coals*. Low-Rank Coal Technologies. MultiScience Publishing Co. Ltd.
- [7] Lee, Sunggyu. (2007). *Handbook of Alternative Fuel Technology*. Taylor & Francis Group, LLC.
- [8] Bell, D. Towler, B. Fan, M. (2011). *Coal Gasification And Its Application*. First edition 2011. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK.
- [9] Wang, Z., Zhang, K., Li, Y., He, Y., Kuang, M., Li, Q., and Cen, K., (2016). "Gasification Charactersitic of Different Rank Coal at H₂O and CO₂ Atmospheres". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.
- [10] Kheybari, S., Rezaie, F. M., Naji, A., and Najafi, F., (2019). "Evaluation of energy production technologies from biomass using analytical hierarchy process: The case of Iran". *Jurnal Cleaner of Production* 233.
- [11] RPM. (2020). *Statement of Open Cut Coal Resources and Reserve PT Mifa Bersaudara*. Meulaboh, Aceh Barat.
- [12] Pratiwi, H. (2020). *Metode Analytical Hierarchy Process*. Researchgate Publication 341767794.
- [13] Maulana, B. (2015). *Analisis Penentuan Prioritas Penunjukan Pejabat Struktural Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) (Studi Kasus YP. Shafiyatul Amaliyyah Medan)*. Medan: Badan Penerbit Universitas Sumatera Utara.
- [14] Basri dan Syarli. (2018). AHP-Standar Score: Pendekatan Baru Dalam Sistem Pemingkatan. *Jurnal Keteknikan dan Sains. LPPM UNHAS*, 1(1).
- [15] Ma, Honghe., Wang, S., Zhou, Lu., (2012). *Combustion of Fixed Carbon in Supercritical Water*. *Advanced Materials Research*, 347-353, 277-280.
- [16] Abrar, R. Bindar, Y., Sudanto, H., Sasangko, D., (2017). Pengaruh Kadar Karbon Pada Proses Gasifikasi. *SINERGI*, 21(1), 1-8.
- [17] Rianda, S. Yaskuri, D., Effendi, A. (2019). Gasifikasi Batubara Peringkat Rendah Menggunakan Reaktor Bubbling Fluidized Bed Pada Suhu Rendah. *Indonesian Mining Journal*, 22(2), 99 – 105.
- [18] Al-Latif, L. M., Solihin., Sulistyohadi, F. (2019). Kajian Potensi Pembentukan Slagging dan Fouling Berdasarkan Nilai Ash Fusion Temperature dan Indeks Slagging Fouling pada Proses Gasifikasi Batubara Menggunakan Unit Fixed Bed Downdraft Gasifier di Puslitbang tekmira Bandung. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 5(2).
- [19] Susanto, Herri. (2018). *Pengembangan Teknologi Gasifikasi Untuk Mendukung Kemandirian Energi dan Industri Kimia*. Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung. Bandung.