

Studi Pengaruh Waktu Proses Torefaksi dan Kadar Air terhadap Karakteristik Produk Torefaksi Batubara Peringkat Rendah di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara “Puslitbang tekMIRA”

M Liana Rahmy*, Slamet Handoko¹, Pramusanto²

^{*2}Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara “Puslitbang tekMIRA, Indonesia.

*lelurahmy@gmail.com, ¹Slamethan@gmail.com,
²Pramusanto69@gmail.com

Abstract. Indonesia have moreless 60% of the coal reserves constitute low quality coal (Lignit) with a caloric content of <5100 cal/gr. Based in government regulations (PP) no 23 of 2010 on the Implementation of Mineral and Coal Mining Activities, to be able to increase added value for mineral and coal commodities. Coal has the opportunity to do increased coal through the technology that one of them exists is the torefaction process. Torefactions constitute a heat treatment at temperatures of 200°C-300°C in atmospheric pressure in the absence of oxygen, with a caloric-valued solid fuel end product equivalent to sub-bitumunus C. Torefact testing where this experiment was conducted at the “Technological and Coal Center for Research and Development tekMIRA”. Torefaction experiments used two coal feeds with different water content. Testing is performed beginning with a stage of preparation where the grain size used is -3 +6 mesh. Later on temperature torefaction testing used was 300°C with variations of stay time used for 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, and 120 minutes. The results of torefactory testing products are char, liquid, and gas. From the test results using feed 1, optimum stay time in the torefaction process at 120 minutes, due to char mass yields of 50,432 gr, gas yields of 4,311gr, and liquid yields of 15,257 gr. Whereas in the feed condition 2 the best residence time of the torefaction process is 90 minutes, due to mass yield 56,433 gr, gas yield 3,863 gr, and liquid yield 9,704 gr. Effective feed in the use of the torefaction process that is feed 2. It is because of the higher caloric value of 6001 cal/g, char mass product of 56,433 gr, gas product of 3,863 gr, liquid product of 9,704 gr.

Keywords: Torefaction, Residence Time, Feed, Mesh, Char, Calor.

Abstrak. Indonesia memiliki lebih kurang 60% dari cadangan batubara merupakan batubara kualitas rendah (Lignit) dengan kandungan kalori sebesar <5100 kal/gr. Berdasarkan peraturan pemerintah (PP) no 23 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara, untuk dapat meningkatkan nilai tambah bagi para komoditas mineral dan batubara. Batubara memiliki peluang untuk dilakukan peningkatan batubara melalui teknologi yang ada salah satunya adalah proses torefaksi. Torefaksi merupakan suatu perlakuan

panas pada temperatur 200°C-300°C dalam tekanan atmosfer tanpa adanya kehadiran oksigen, dengan produk akhir bahan bakar padat bernilai kalor setara dengan sub-bituminus C. Pengujian torefaksi dimana percobaan ini dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara “Puslitbang TekMIRA”. Percobaan torefaksi menggunakan dua umpan batubara dengan kandungan air yang berbeda. Pengujian dilakukan diawali dengan tahapan preparasi dimana ukuran butir yang digunakan adalah -3+6 mesh. Kemudian pada pengujian torefaksi temperatur yang digunakan adalah 300°C dengan variasi waktu tinggal yang digunakan selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Dari hasil pengujian menggunakan umpan 1, waktu tinggal yang optimum dalam proses torefaksi pada 120 menit, karena hasil massa 50,432 gr, hasil gas 4,311gr, dan hasil cair 15,257 gr. Sedangkan pada kondisi umpan 2 waktu tinggal terbaik proses torefaksi yaitu 90 menit, karena hasil massa 56,433 gr, hasil gas 3,863 gr, dan hasil cair 9,704 gr. Umpan yang efektif dalam penggunaan proses torefaksi yaitu umpan 2. Hal tersebut dikarenakan nilai kalor lebih tinggi sebesar 6001 kal/g, produk massa arang sebesar 56,433 gr, produk gas 3,863 gr, produk cair 9,704 gr.

Kata Kunci: Torefaksi, Waktu Tinggal, Umpan, Mesh, Arang, Kalor.

1. Pendahuluan

Kualitas batubara di Indonesia umumnya didominasi oleh batubara dengan peringkat rendah sekitar 60% dari cadangan batubara yang memiliki kalori sebesar <5100 kal/gr. Hal ini tentunya merupakan masalah yang krusial dimana banyak kebutuhan pasar yang menginginkan batubara dengan nilai kalor >5100 kal/kg. Batubara jenis peringkat rendah memiliki kandungan air cukup tinggi sehingga nilai kalor batubara jenis ini rendah. Agar batubara dengan kualitas rendah setara dengan batubara kualitas menengah ataupun tinggi maka diperlukan adanya pengolahan yang dapat meningkatkan nilai kalor pada batubara kualitas rendah. Permen ESDM No 26 Tahun 2018 pasal 16 tentang pemegang IUP dan IUPK Operasi Produksi wajib melakukan Peningkatan Nilai Tambah batubara melalui kegiatan pengolahan untuk komoditas tambang batubara yang meliputi peningkatan mutu batubara, pembuatan briket, pembuatan kokas, pencairan batubara, gasifikasi batubara, dan coal slurry. Dalam kebijakan tersebut disebutkan adanya teknologi PNT batubara yang dapat dilakukan dengan peningkatan mutu batubara. Salah satu upaya peningkatan mutu batubara yaitu dengan pirolisis melalui torefaksi.

Torefaksi merupakan suatu perlakuan panas dengan suhu 300°C yang dilakukan pada batubara dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kalor pada batubara peringkat rendah serta menurunkan kandungan air yang ada didalamnya dengan hasil produk berupa char (arang). Pada penelitian terdahulu (Jenny Rizkiana dkk, 2018) mengenai peningkatan peringkat Batubara menjadi bahan bakar yang padat dan lebih ramah lingkungan ko-pirolisis dengan biomassa. Pengujian tersebut menggunakan suhu 300°C dan waktu tinggal yaitu 30, 60, 90 menit. Dari hasil pengujian kondisi optimum waktu tinggal yaitu 30 dan 90 menit dengan hasil nilai kalor sebesar 12,57-23,80%. Adapun perolehan karbon tetap pada waktu tinggal 90 menit yaitu 49,36-49,75%. Atas dasar itu, maka diperlukan adanya penelitian torefaksi dengan suhu yang digunakan 300°C dan menggunakan batubara sebagai umpan. Variabel tidak tetap yang akan dilakukan penelitian yaitu dua umpan dengan kadar air yang berbeda serta waktu tinggal 30, 60, 90, dan 120 menit.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana Pengaruh variasi yaitu waktu tinggal dan perbedaan kadar air terhadap umpan torefaksi sehingga dapat menghasilkan produk batubara kualitas menengah dari proses torefaksi?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh waktu tinggal terhadap karakteristik hasil produk torefaksi
2. Mengetahui perbedaan kadar air terhadap karakteristik hasil produk torefaksi

3. Mengetahui karakteristik perubahan massa umpan batubara hingga menghasilkan produk torefaksi
4. Mengetahui optimasi pengaruh waktu tinggal dan perbedaan kadar air terhadap proses torefaksi.

2. Landasan Teori

Torefaksi adalah proses peningkatan nilai tambah batubara peringkat rendah untuk proses pembangkit energi lainnya seperti pembakaran langsung pada skala industri dengan produk akhir bahan bakar padat bernilai kalor setara batubara tingkat sub-bituminus C menurut kualifikasi standard ASTM D 388. Produk yang dihasilkan berupa *char*. Torefaksi adalah degradasi termal dalam atmosfer dengan suhu kisaran 200-300°C, selama beberapa jam tergantung pada jenis umpannya. Kelebihan torefaksi yaitu meningkatkan nilai kalor untuk memungkinkan penggunaannya sebagai bahan bakar langsung dengan pengurangan kelembaban, peningkatan kepadatan energi, pengurangan O/C, peningkatan nilai pemanasan, dan peningkatan keapian dan reaktivitas bahan bakar olahan.

Hasil produk torefaksi proses ini melibatkan struktur molekul besar yang terpecahkan menjadi beberapa molekul kecil. Adapun hasil produk torefaksi yaitu

1. Padat (Arang) merupakan hasil produk yang paling penting mengandung karbon ($\pm 85\%$), namun sedikit mengandung oksigen dan hidrogen karena sebagian batubara memiliki sifat hidrofobitas yang tinggi,
2. produk cair dikenal sebagai tar, *bio-oil*, atau *biocrude* yang merupakan cairan tar hitam mengandung hingga 20% air,
3. produk gas seperti CO₂, H₂O, CO, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₆H₆, dan lain-lain.

Banyak sedikitnya hasil produk Torefaksi tergantung dari beberapa parameter-parameter termasuk laju pemanasan dan suhu akhir yang dicapai oleh umpan.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara “Puslitbang *tekMIRA*” melalui percobaan torefaksi menggunakan batubara peringkat rendah sebagai umpan. Sampel diambil dari lokasi penelitian laboratorium Puslitbang *tekMIRA*. Sampel batubara dengan ukuran bongkah +6 cm *dicrushing* terlebih dahulu menjadi ukuran yang lebih kecil. Setelah itu dilakukan pengayakan untuk penyeragaman ukuran guna mendapatkan ukuran yang diinginkan yaitu -3+6 mesh. Penelitian ini menggunakan dua umpan dengan kadar air yang berbeda. Umpan 1 tidak dilakukan *pretreatment* dan umpan 2 dilakukan pengeringan menggunakan oven dengan suhu 105 °C selama dua jam agar kadar air lebih rendah. Umpan yang akan dilakukan pengujian ditimbang dengan berat 70 gr.

Alat torefaksi dilakukan dalam suatu reaktor berbentuk silinder tegak dengan sistem pemanasan langsung. Proses torefaksi ini menggunakan perpindahan panas disekeliling tabung reaktor berkecepatan tinggi (50 m/detik hingga 80 m/detik). Pemindahan panas secara intensif pada pengoperasian reaktor berlangsung pada suhu yang tinggi (berlangsung sekitar 300°C). Hasil produk gas bergerak keatas sedangkan produk cair dikeluarkan dari bagian bawah torefaksi. Adapun produk padat tetap berada dalam tabung reaktor.



Gambar 1. Alat Torefaksi (Sumber: Dok Penelitian, 2019)

Percobaan torefaksi dilakukan dengan menggunakan dua variabel tidak tetap, yaitu umpan 1 dengan kadar air 13,05% dan umpan 2 dengan kadar air 12,93%. Umpan 2 adalah umpan yang telah dikeringkan. Kemudian variasi waktu tinggal adalah 30, 60, 90, dan 120 menit.



Gambar 2. Bagan alir kegiatan penelitian (Sumber: penelitian, 2019)



Gambar 3. Sampel Penelitian (Sumber: Dok Penelitian, 2019)

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Karakteristik proksimat

Karakteristik proksimat menunjukkan presentase kadar air dan zat terbang menggunakan umpan 1 dan 2 menjadi berkurang setelah dilakukannya torefaksi dilihat dari hasil produk arang. Pada waktu tinggal 60 hingga 120 menit kadar air produk arang yang lebih tinggi pada saat menggunakan umpan 1 dibandingkan menggunakan umpan 2. Hal tersebut dikarenakan adanya pemanasan terlebih dahulu yang dilakukan pada umpan 2 sebelum dilakukan torefaksi, sehingga kadar air dengan menggunakan umpan 1 lebih banyak dibandingkan menggunakan umpan 2. Kadar zat terbang produk arang pada waktu tinggal 60 hingga 120 menit menghasilkan kadar zat terbang yang lebih tinggi pada saat menggunakan umpan 1. Adapun kadar karbon tertambat produk arang pada waktu tinggal 60 hingga 120 menit semakin meningkat menggunakan umpan 2 yang disebabkan karena presentasi lainnya menurun.

Tabel 1. Hasil Pengujian Proksimat

No	Umpan	Parameter			
		Air, (%) adb	Abu, (%) adb	Zat Terbang, (%) adb	Karbon Tertambat, (%) adb
1	U.1	13,05	2,53	45,88	38,54
2	30	9,67	2,74	44,28	43,31
3	60	9,89	3,82	44,94	41,35
4	90	9,44	2,92	44,35	42,64
5	120	9,51	2,74	44,32	43,43
6	U.2	12,93	2,26	46,12	38,69
7	30	9,37	2,92	45,5	41,21
8	60	9,1	2,99	44,32	43,59
9	90	7,86	2,94	42,85	46,35
10	120	8,99	2,99	43,82	44,2

Sumber: Hasil penelitian, 2019

Karakteristik ultimat

Nilai kadar hidrogen, nitrogen, oksigen, dan total sulfur pada umpan 1 terjadi penurunan dan kadar karbon pada umpan 1 terjadi peningkatan daripada hasil produk arang pada suhu 300°C untuk berbagai waktu tinggal. Sedangkan hasil produk arang dengan berbagai waktu tinggal tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sedangkan nilai kadar hidrogen, nitrogen, oksigen, dan total sulfur pada umpan 2 terjadi penurunan daripada hasil produk arang untuk berbagai waktu tinggal. Hal tersebut dikarenakan unsur-unsur yang terkandung pada umpan mengalami penguapan dari hasil panas yang diterima. Kemudian kadar karbon pada umpan terjadi peningkatan pada hasil produk untuk berbagai waktu tinggal. Sedangkan hasil produk arang untuk setiap waktu tinggal tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Ultimat

No	Umpan	Parameter				
		S, (%) adb	C, (%) daf	H, (%) daf	N, (%) daf	O, (%) daf
1	U.1	0,282	66,35	4,57	0,883	27,86
2	30	0,241	69,12	4,46	1,038	25,11
3	60	0,323	69,31	4,57	1,011	24,74
4	90	0,309	69,37	4,58	1,006	24,69
5	120	0,262	68,82	4,48	1,005	25,4
6	U.2	0,255	66,37	4,52	0,92	27,89
7	30	0,306	69,77	4,56	1,011	24,32
8	60	0,29	69,92	4,54	0,995	24,22
9	90	0,285	70,84	4,53	1,023	23,27
10	120	0,288	69,4	4,44	0,987	24,85

Sumber: Hasil penelitian, 2019

Karakteristik nilai kalor

Nilai kalor umpan 1 dan 2 mengalami peningkatan setelah dilakukan torefaksi yang dapat dilihat dari hasil produk arang. Untuk setiap waktu tinggal 30, 60, 90, dan 120 menit, nilai kalor dengan

menggunakan umpan 2 lebih tinggi dibandingkan menggunakan umpan 1. Hal ini disebabkan umpan 2 memiliki nilai kadar air yang lebih rendah dengan melakukan pemanasan terlebih dahulu sebelum dilakukan torefaksi sehingga menjadikan nilai kalor lebih tinggi. dapat dilihat bahwa tingkat kecepatan berkurangnya komponen kadar air, zat terbang, karbon tertambat, dan abu, antara umpan 1 dan umpan 2, pada setiap waktu tinggal ternyata tidak sama. Dari perbedaan ini dapat diambil kesimpulan bahwa untuk umpan 1 nilai kalor tertinggi diperoleh pada waktu tinggal 60 menit, sedangkan untuk umpan 2 adalah pada waktu tinggal 90 menit. Adapun pengaruh berkurangnya kadar air dan meningkatnya kadar *fix carbon* yang menyebabkan nilai kalor meningkat. Artinya arang umpan 1 mencapai nilai kalor tertinggi pada 120 menit yaitu sebesar 5780 kalori, sedangkan untuk umpan 2 tercapai pada 90 menit sebesar 6001 kalori.

Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai Kalor

Nilai kalori, (kal/g) adb	Umpan		produk arang			
			30	60	90	120
	U.1	5216	5527	5641	5771	5780
U.2	5247	5805	5856	6001	5892	

Sumber: Hasil penelitian, 2019

Karakteristik hilang massa

Pada waktu tinggal 30, 60, 90, dan 120 menit, perolehan persentase hilang massa (Tabel. 4 bagian presentase arang) lebih besar adalah menggunakan umpan 1 dibanding umpan 2. Hal tersebut dikarenakan persentase kadar air pada umpan 1 lebih tinggi sehingga pada saat proses torefaksi umpan terdekomposisi lebih banyak dan menyebabkan hilang massa lebih besar. Selain itu dipengaruhi oleh adanya pemanasan yang diterima umpan sehingga umpan mengalami penguapan unsur-unsur atau terdekomposisinya material sehingga terdapat sebagian yang berubah menjadi gas dan cair.

Karakteristik neraca massa

Pada waktu tinggal 30 hingga 120 menit, perolehan massa arang menggunakan umpan 2 lebih besar dibandingkan dengan menggunakan umpan 1. Selain itu hasil produk cair yang diperoleh menggunakan umpan 2 lebih rendah dari pada menggunakan umpan 1. Hal ini dapat disebabkan kehadiran kadar air yang tinggi pada umpan 1 sehingga hasil produk cair menggunakan umpan 1 lebih besar dari pada umpan 2.

Tabel 4. Neraca Massa Hasil Produk Torefaksi

Umpan		Massa (gram)				Presentase (%)		
		Berat Awal	Arang	Cair	Gas	Arang	Cair	Gas
U.1	30	70	52,968	9,077	7,955	75,67	12,97	11,36
	60	70	52,212	14,247	3,541	74,59	20,35	5,06
	90	70	52,166	15,126	2,708	74,52	21,61	3,87
	120	70	50,432	15,257	4,311	72,05	21,80	6,16
U.2	30	70	57,192	4,313	8,495	81,70	6,16	12,14
	60	70	56,855	8,778	4,367	81,22	12,54	6,24
	90	70	56,433	9,704	3,863	80,62	13,863	5,519
	120	70	55,012	8,972	6,016	78,59	12,82	8,59

Sumber: Hasil penelitian, 2019

Karakteristik gas

Nilai kadar CO dan CO₂ menggunakan umpan 2 lebih rendah dibandingkan dengan umpan 1.

Hal tersebut dapat disebabkan karena umpan 2 telah mengalami penurunan kadar air melalui pemanasan terlebih dahulu sebelum dilakukan torefaksi. Namun nilai kadar CO dan CO₂ menggunakan umpan 2 pada waktu tinggal 120 menit mengalami peningkatan. Hal tersebut terjadi seiring dengan lamanya waktu tinggal yang diterima oleh umpan sehingga dapat menimbulkan adanya uap dan menyerap pada hasil produk arang. Kadar nilai O₂ cenderung lebih besar pada hasil produk arang menggunakan umpan 2. Hal tersebut dikarenakan pada umpan 1 terjadinya proses pembakaran yang membutuhkan O₂ sehingga apabila dilihat pada grafik kadar CO₂ lebih tinggi. Namun, pada menit ke 90 menggunakan umpan 2 terjadinya penurunan kadar O₂ dikarenakan terjadinya proses pembakaran yang menyebabkan kadar CO₂ meningkat. Selain itu gas N₂ pada hasil produk arang menggunakan umpan 2 lebih tinggi nilainya dibanding umpan 1. Namun pada waktu tinggal 120 menit gas N₂ menggunakan umpan 2 lebih tinggi dari pada umpan 1. Sedangkan hasil gas C_nH_m dan H₂ rata-rata pada umpan 1 ataupun 2 hanya menghasilkan sedikit saja.

Tabel 5. Komposisi Gas

Umpan		Gas (%)							HHV kkal/m ³
		CO	CO ₂	O ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	C _n H _m	
U.1	30	10,16	40,63	11,63	0	3,22	34,29	0,07	592
	60	7,79	53,27	7,62	0	2,73	28,59	0	469
	90	6,8	48,17	9,02	0	2,51	33,5	0	420
	120	5,62	11	18,66	0	2,49	62,23	0	328
U.2	30	5,34	13,64	17,61	0	2,33	61,08	0	360
	60	3,65	18,82	15,88	0	2,14	59,51	0	293
	90	7,45	47,35	8,29	0	2,45	34,46	0	434
	120	6,62	14,78	20,3	0	2,28	56,02	0	394

Sumber: Hasil penelitian, 2019

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut

1. Variasi waktu tinggal, tidak terlalu berpengaruh terlihat pada karakteristik proksimat dan ultimat untuk berbagai waktu tinggal untuk umpan 1 dan 2 menunjukkan hasil relatif sama. Seiring dengan bertambahnya waktu tinggal hasil produk arang memiliki hasil presentasi hilang massa yang terus meningkat dan perolehan arang yang semakin berkurang. Adapun hasil perolehan produk cair yang semakin meningkat seiring dengan adanya waktu tinggal. Sedangkan hasil produk gas semakin menurun seiring dengan adanya waktu tinggal.
2. Variasi kadar air, terdapat adanya pengaruh terhadap hasil produk torefaksi. Pada waktu tinggal 30 hingga 120 menit, perolehan produk arang yang dihasilkan lebih tinggi menggunakan umpan 2 dibandingkan massa produk arang menggunakan umpan 1. Adapun perolehan hasil produk cair yang lebih tinggi yaitu menggunakan umpan 1 dibandingkan menggunakan umpan 2 untuk berbagai waktu tinggal. Sedangkan untuk produk gas, hasil perolehan yang lebih tinggi yaitu menggunakan umpan 2 dibandingkan menggunakan umpan 1 untuk berbagai waktu tinggal.
3. Proses torefaksi ternyata dapat meningkatkan nilai kalor dan juga mengurangi kelembaban pada hasil produk arang. Berdasarkan analisis neraca massa, seiring dengan dilakukan proses torefaksi produk arang semakin berkurang dan tidak melebihi target dikarenakan arang merupakan produk yang diunggulkan. Kemudian didapatkan produk cair dan gas dengan perolehan yang tidak menentu. Banyak sedikitnya perolehan produk cair dan gas yang dihasilkan bergantung pada parameter proses torefaksi.

4. Dari hasil pengujian pada produk umpan kondisi umpan 1 yang dilakukan di dapatkan waktu tinggal optimum dalam proses torefaksi yaitu berada pada 120 menit, dengan nilai kalor 5780 kal/ gr, hasil massa 50,432 gr, hasil gas 4,311 gr, dan hasil cair 15,257 gr. Sedangkan umpan 2 yang efektif dalam penggunaan proses torefaksi yaitu pada waktu tinggal 90 menit dengan nilai kalor 6001 kal/gr dan produk massa arang sebesar 56,433 gr, produk gas 3,863 gr, produk cair 9,704 gr. Adapun waktu tinggal yang baik dalam proses torefaksi yaitu 90 menit.

5. **Saran**

1. Melakukan penelitian torefaksi dengan jumlah yang lebih banyak menggunakan alat dengan skala yang lebih besar, sehingga dapat memaksimalkan hasil produk arang.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut untuk hasil produk torefaksi untuk produk cair dan gas dengan kriteria produk agar dapat dimanfaatkan dengan layak.
3. Melakukan percobaan terhadap sampel batubara yang berasal dari lokasi tertentu dengan karakteristik nilai kadar air >20%, sehingga diharapkan pengaruh dari proses torefaksi dengan cara pengeringan terlebih dahulu dapat lebih signifikan
4. Melakukan penelitian lebih lanjut berdasarkan parameter lainnya yaitu temperatur, ukuran umpan, laju pemanasan, jenis umpan, dan banyaknya sampel uji

Daftar Pustaka

- [1] Basu, P., 2010, “ Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory ”, Elsevier, New York.
- [2] Basu, P., 2013, “ Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction, Elsevier, San Diego
- [3] Carlos F. Valdés and Farid Chejne , 2018, “Fast Pyrolysis Of Coal Particles In A Novel Hot Plate Reactor: Implications Of The Reaction Atmosphere On The Reactivity And Char Chemical Structure”, Universidad Nacional De Colombia, Colombia. Design and Theory ”, Elsevier, New York
- [4] Dong Kyoo Park dkk, 2009, “Co-Pyrolysis Characteristics Of Sawdust And Coal Blend In TGA And A Fixed Bed Reactor”, Korea Advanced Institut Of Science And Technology, Korea. Elsevier”, San Diego.
- [5] Ferrara, F., et, al, 2014, Pyrolysis of Coal, Biomass and Their Blends : Performance Assessment by Thermogravimetric Analysis, Italy.
- [6] Gale, Thomah K., 1994, Effects of Pyrolysis Conditions on Coal Char Properties, Department of Mechanical Engineering, Brigham Young University.
- [7] Henrik Tolvanen, Lauri Kokko, Risto Raiko, 2012, “ Fast Pyrolysis Of Coal, Peat, And Torrefied Wood: Mass Loss Study With A Drop-Tube Reactor, Particle Geometry Analysis, And Kinetics Modeling”, Tampere University Of Technology, Finland.
- [8] Horne. 1978 dan Allen G.P Chambers. 1976. Sedimentation in the Modern and Miocene Delta. IPA
- [9] J. Solar*, I. de Marco, B.M. Caballero, A. Lopez-Urionabarrenechea, N. Rodriguez, I. Agirre, A. Adrados, 2016, Influence of temperature and residence time in the pyrolysis of woody biomass waste in a continuous screw reactor, Spain, Elsevier.
- [10] Jenny Rizkiana dkk, 2018, “Hybrid Coal: Effects Of Composition And Co-Pyrolysis Retention Time In Low Rank Coal And Biomass Waste Co-Pyrolysis Process On The Product’s Yield”, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [11] Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1952, Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ed., Vol. 6, The Inter Science Encyclopedia, Inc., New York.
- [12] Li, Qian., et, al, 2017, Pyrolysis Characteristics and Evolution of Char Structure during Pulverized Coal Pyrolysis in Drop Tube Furnace : Influence of Temperature, China.
- [13] Li Zhang, Shaoping Xu, Wei Zhao, Shuqin Liu, 2006, “Co-Pyrolysis Of Biomass And Coal In A Free Fall Reactor”, Dalian University Of Technology, China.
- [14] Pahla, G, Ntuli, F., Muzenda, E, 2018, “Torrefaction Of Landfill Food Waste For Possible

- Application In Biomass Co-Firing”, South Africa, Elseveir.
- [15] Raclavska. H, dkk, 2019, “Effect Of Impregnated Potassium On Bomass Torrefaction” Taiwan, Elseveir.
- [16] Speight, J. G., 2005. “Handbook of Coal Analysis”. Wiley Interscienc, Hoboken, New Jersey.
- [17] Zhao Bin, dkk, 2017, “Effect Of Pyrolysis Temperatur, Heating Rate, And Residence Time On Rapeseed Stem Derived Biochar”, Journal of Cleaner Production.