

Pembuatan Arang Kayu Lamtoro Menggunakan Metode Pirolisis Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Azhar Adhitama Prasetyo*, Nurhadi, Linda Pulungan

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

*azharadhitama69@gmail.com

Abstract. Coal reserves in Indonesia are of low quality (lignite) with calories <5100 cal/gr which are included in reserves with a percentage value of 60%. The policies set by the government are Law No. 4 of 2009 concerning Mineral and Coal Mining, then on Increased Value Added (PNT) contained in PP No. 23/2010. This policy is realized by processing and refining fine minerals in the country. The existence of PNT can also be done by making new and renewable energy by means of pyrolysis. Pyrolysis is a process of thermochemical decomposition of organic matter through heating without or a little oxygen, where the material will undergo a breakdown of its chemical structure into gas and liquid phases. Renewable energy by means of pyrolysis is one solution to reduce the effect of greenhouses. This energy, of course, must be included in renewable energy, this energy can be produced from wood plants which have the nature of growing rapidly to act as a fuel energy reserve. The purpose of this study was to determine the pyrolysis results of local wood, namely lamtoro wood (*leucaena leucocephala*), to the charcoal produced during the pyrolysis process, the calorific value obtained and also the biochar for analysis of these results. The pyrolysis process used a sample of lamtoro wood with a size of -32 + 42 mesh and carried out at 3 temperature variables, namely 300°C, 450°C, and 600°C with a heating rate of 10°C / minute for 60 minutes. From the test results, the optimal temperature in the pyrolysis of lamtoro wood is at a temperature of 450 °C with a yield obtained that is 26.45% and Volatile Matter obtained 73.55%. Then from these results the calorific value obtained is 6694 kcal / kg and energy 177,056 kcal, where the char energy produced is 38.70%. The optimal mixing of coal is done at a ratio of 25% with a value Volatile Matter of 49.10 and the resulting calorific value is 177.056 kcal.

Keywords: Biomass, Fuel, Charcoal, Pyrolysis, Calorific Value.

Abstrak. Cadangan batubara di Indonesia memiliki kualitas rendah (Lignit) dengan kalori yaitu <5100 kal/gr yang termasuk kedalam cadangan dengan nilai persentase yaitu 60%. Kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah yaitu UU no.4 Tahun 2009 mengenai Pertambangan Mineral dan Batubara, kemudian tentang Peningkatan Nilai Tambah (PNT) yang terdapat pada PP no.23 tahun 2010. Pada kebijakan ini direalisasikan dengan cara pengolahan dan pemurnian mineral halus didalam negeri. Adanya PNT tersebut dapat juga dilakukan dengan upaya pembuatan energi baru terbarukan dengan cara pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia bahan organik melalui pemanasan

tanpa atau sedikit oksigen, dimana material tersebut akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas dan cair. Energi terbarukan dengan cara pirolisis merupakan salah satu solusi untuk menekan pengaruh dari rumah kaca. Energi tersebut tentunya harus termasuk kedalam energi renewable, energi ini dapat dihasilkan dari tumbuhan kayu yang memiliki sifat tumbuh dengan cepat guna berperan sebagai cadangan energi bahan bakar. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil pirolisis dari kayu lokal yaitu kayu lamtoro (*leucaena leucocephala*), terhadap arang yang dihasilkan selama proses pirolisis, nilai kalor yang didapat dan juga bio char untuk dilakukan analisis hasil tersebut. Proses pirolisis menggunakan sampel kayu lamtoro dengan ukuran - 32+42 mesh dan dilakukan pada 3 variabel suhu yaitu 300°C, 450°C, dan 600°C dengan heating rate sebesar 10°C/menit selama 60 menit. Dari hasil pengujian yang dilakukan suhu optimal dalam pirolisis kayu lamtoro yaitu pada suhu 450°C dengan yield yang didapatkan yaitu 26,45% dan Volatile Matter yang didapatkan 73,55%. Kemudian dari hasil tersebut nilai kalor yang didapatkan yaitu 6694 kkal/kg dan energi 177.056 kkal, dimana energi arang yang dihasilkan yaitu 38,70%. Pencampuran batubara yang optimal dilakukan yaitu pada rasio 25% dengan nilai Volatile Matter sebesar 49,10 dan nilai kalor yang dihasilkan yaitu 177,056 kkal.

Kata Kunci: Biomassa, Bahan Bakar, Arang, Pirolisis, Nilai Kalor.

1. Pendahuluan

Pemanfaatan bahan bakar batubara yang cukup banyak digunakan terutama pada PLTU dimana dari penggunaan tersebut menyebabkan keberadaan dari batubara itu sendiri mengalami penurunan dan juga terdapat beberapa isu mengenai pencemaran lingkungan yang menyebabkan diharuskannya dilakukan penelitian dan pengembangan mengenai energi baru dan terbarukan sebagai energi pengganti ataupun campuran dari batubara tersebut. Maka dilakukan pirolisis sebagai terobosan pembuatan energi baru dan terbarukan tersebut.

Pirolisis sendiri merupakan proses dekomposisi bahan organik dengan cara pemanasan tanpa menggunakan oksigen yang memiliki produk berupa arang (padat), gas, dan juga tar (cair). Proses pirolisis disini difokuskan pada penentuan suhu optimal dalam proses pirolisis itu sendiri guna mendapatkan hasil yang optimal dalam bentuk arang dari bahan organik tersebut.

Bahan organik yang digunakan pada penelitian ini yaitu kayu lamtoro yang berasal dari Gorontalo dikarenakan kayu ini merupakan salah satu program pengembangan untuk pemanfaatannya dalam Biomassa untuk pencampuran arang hasil pirolisis dengan batubara yang akan digunakan sebagai bahan bakar dari PLTU yang terdapat di Gorontalo. Kayu Lamtoro sendiri dipilih berdasarkan dari nilai kalor kayu tersebut, dimana kayu ini memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yaitu sebesar 4.197 kkal/kg, dengan nilai kalor tersebut cocok digunakan sebagai campuran dengan batubara yang digunakan di PLTU tersebut, dimana batubara yang digunakan yaitu batubara peringkat rendah yaitu lignit dengan nilai kalor berkisar 4.000 kkal/kg. Dari hal tersebut nantinya akan dilakukan pencampuran arang Kayu Lamtoro hasil pirolisis dengan batubara tersebut.

Kegiatan pencampuran tersebut dilakukan dengan beberapa rasio yaitu 5%, 25% dan 50% antara arang dan batubara, yang nantinya akan dipilih rasio terbaik guna mendapatkan hasil yang baik dengan harapan memenuhi standar penggunaan bahan bakar pada PLTU tersebut tanpa merubah kualitas dari batubara yang digunakan sebelumnya sebagai bahan bakar dan juga dapat menekan tingkat polusi dari penggunaan batubara tersebut sebagai bahan bakar PLTU. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sebagai berikut.

Mengetahui yield produk yang dihasilkan dari arang kayu lamtoro hasil proses pirolisis.

Mengetahui energi yang diperoleh dari hasil pengujian arang kayu lamtoro hasil pirolisis.
Mengetahui suhu optimal dalam pembuatan arang kayu lamtoro pada proses pirolisis.
Mengetahui karakterisasi rasio campuran batubara dan arang untuk bahan bakar PLTU.
Mengetahui rasio optimal campuran arang kayu dan juga batubara yang sesuai dengan pemanfaatannya sebagai bahan bakar PLTU.

2. Landasan Teori

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen atau dengan oksigen terbatas. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah arang (char), minyak, dan gas. Menurut Wijayanti (2013) hasil pirolisis berupa tiga jenis produk yaitu padatan (charcoal / arang), gas (fuel gas) dan cairan (bio-oil). Dan umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4 -7 jam. Namun keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya. Temperatur pirolisis untuk mereduksi bahan organik, yang akan terproses secara optimal pada 300°C. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pirolisis yaitu kadar air, ukuran partikel, temperatur, waktu, bahan, tipe pirolisis. Berikut ini merupakan hasil dari proses pirolisis menurut Wijayanti (2013), sebagai berikut :

1. Arang (char), Arang adalah gumpalan karbon hitam yang memiliki nilai kalor tinggi dihasilkan dari pemanasan bahan organik dengan suhu tinggi.
Gas (fuel gas), merupakan hasil asap cair dari proses pirolisis yang tidak dapat terkondensasi dengan komposisi CO, CO₂, CH₄, dll yang memiliki nilai kalor.
Cairan (bio-oil), merupakan asap cair yang terkondensasi dari uap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya.

Biomassa merupakan suatu bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan juga hewan baik itu hasil produksinya, hasil dari metabolisme, ataupun limbah yang dihasilkannya. Biomassa sendiri merupakan sumberdaya karbon yang dapat diperbaharui dan dapat diproses menjadi bahan bakar berupa padat, cair, ataupun gas. Salah satunya yaitu Kayu Lamtoro yang digunakan sebagai bahan untuk pembuatan arang. Berdasarkan penelitian Cahyono et al (2008) nilai kalor kayu lamtoro yaitu sebesar 4.197 kkal/kg lebih besar dibandingkan dengan Kayu Angsana, Kayu Gamal, dan Kayu Turi.

Tabel 1. Nilai kalor dan kadar abu pada tanaman (Cahyono et al. 2008)

| Jenis Kayu | Parameter | | |
|--|---------------|-----------------------|---------------|
| | Kadar air (%) | Nilai Kalor (kkal/kg) | Kadar Abu (%) |
| Lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>) | 10,13 | 4.197 | 5,78 |
| Turi (<i>Sesbandia grandiflora</i>) | 6,83 | 3.965 | 0,62 |
| Gamal (<i>Glirisidia maculate</i>) | 23,97 | 4.168 | 2,97 |
| Angsana (<i>Pterocarpus indica</i>) | 7,35 | 4.060 | 9,08 |

Peningkatan mutu batubara dilakukan tergantung dari peruntukan dari batubara itu sendiri. Peningkatan mutu dapat dilakukan salah satunya dengan pencampuran batubara tersebut dengan arang hasil pirolisis. Pencampuran tersebut bertujuan untuk meningkatkan kualitas batubara tersebut salah satunya dalam pemanfaatannya sebagai bahan bakar dari PLTU.

Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar pada PLTU umumnya merupakan batubara dengan peringkat rendah berupa lignit sampai bituminus, dimana pada penelitian ini menggunakan batubara Lignit sebagai bahan bakar dari PLTU tersebut. Pada dasarnya kualitas batubara yang baik akan meningkatkan akan meningkatkan produksi listrik yang dihasilkan, namun keekonomisannya bernilai rendah. Hal terpenting selain kualitas adalah optimalisasi kualitas batubara dengan keekonomisannya, karena dalam kegiatan produksinya keekonomisan akan menentukan anggaran modal yang akan digunakan (Setiawan dkk., 2018). Berdasarkan penelitian Abdi Setiawan dkk (2018) batubara yang berasal dari Kalimantan Utara memiliki nilai kalor sebesar 4.000 – 5.000 kkal/kg.

Nilai kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas baik yang diserap maupun dilepaskan

oleh suatu benda. Nilai kalor berpengaruh terhadap laju pembakaran. Semakin tinggi nilai kalor yang dikandung suatu bahan bakar semakin baik bahan bakar tersebut digunakan untuk pembakaran. Dengan kata lain nilai kalor ini berpengaruh terhadap pemanfaatannya sebagai bahan bakar PLTU, dimana penggunaan batubara peringkat rendah dengan nilai kalor 4.000 – 5.000 kkal/kg dapat ditingkatkan dengan pencampuran arang hasil pirolisis guna meningkatkan mutu dari batubara tersebut, dalam hal ini yaitu peningkatan nilai kalor dan juga sebagai upaya meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan dalam penyediaan listrik (Agung Pribadi., 2020).

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian pirolisis ini ditujukan untuk menghasilkan arang dari kayu lamtoro dimana pada akhirnya arang yang dihasilkan diharapkan memiliki kualitas yang mendekati dari kualitas batubara dengan variabel suhu 300, 450, dan 600°C. Kemudian akan dilakukannya pencampuran dengan batubara guna mengurangi penggunaan batubara yang pada umumnya digunakan pada PLTU sebagai bahan bakar dengan rasio pencampuran sebesar 5%, 25%, dan 50%, sehingga diharapkan dapat menekan nilai pencemaran lingkungan yang ditimbulkan dari penggunaan batubara tersebut dengan penggunaan dan juga pencampuran arang biomassa sebagai energi baru terbarukan yang ramah lingkungan.

Pengaruh Suhu Terhadap Arang dan Zat Volatile Hasil Pirolisis

Suhu memberikan pengaruh terhadap umpan yang dimasukan dengan perolehan produk pirolisis. terjadinya penurunan nilai arang seiring dengan peningkatan suhu yang digunakan. Nilai arang tertinggi didapatkan pada suhu 300°C sebesar 61,76% dan nilai arang terendah terdapat pada suhu 600°C sebesar 24,88%. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka zat-zat pada kayu lamtoro akan terdekomposisi menjadi sedikit arang dan zat volatile. Terlihat pada Tabel 2 sbb.

Tabel 2. Pengaruh suhu terhadap arang dan zat *volatile* hasil pirolisis

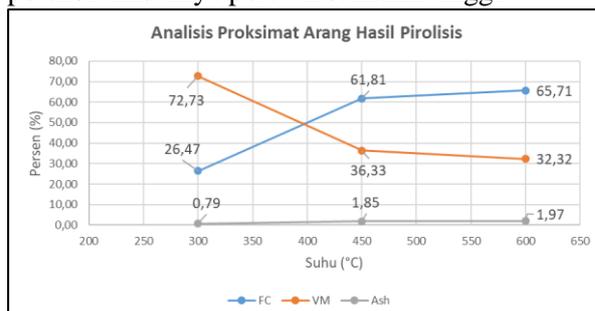
| Suhu (°C) | Arang (%) | Zat Volatile (%) |
|-----------|-----------|------------------|
| 300 | 61,76 | 38,24 |
| 450 | 26,45 | 73,55 |
| 600 | 24,88 | 75,12 |

Sumber : Data Hasil Pengujian Pirolisis, 2020

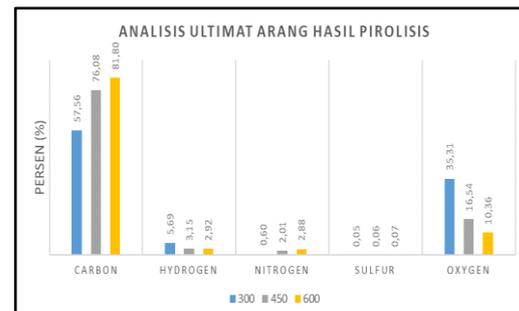
Analisis Proksimat dan Ultimat Arang

Pada analisis proksimat FC tertinggi pada suhu 600°C sebesar 65,71% dan FC terendah pada suhu 300°C sebesar 26,47%. VM tertinggi pada suhu 300°C sebesar 72,73% dan terendah pada suhu 600°C sebesar 32,32%. Pada ash terjadi peningkatan seiring dengan penambahan suhu namun tidak signifikan. VM yang semakin rendah berakibat terhadap FC yang semakin tinggi karena kadar air semakin berkurang dan karbon tertambat semakin banyak.

Pada analisis ultimat seiring dengan penambahan suhu nilai C semakin meningkat, kadar H dan O semakin berkurang, menandakan indikasi pembakaran yang baik. Kadar N dan S semakin meningkat namun tidak signifikan masih dalam kategori rendah. Apabila N dan S tinggi maka potensi timbulnya polutan semakin tinggi.



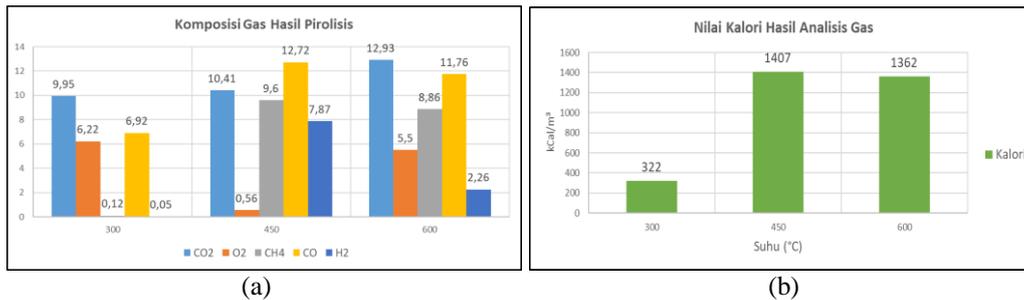
(a)



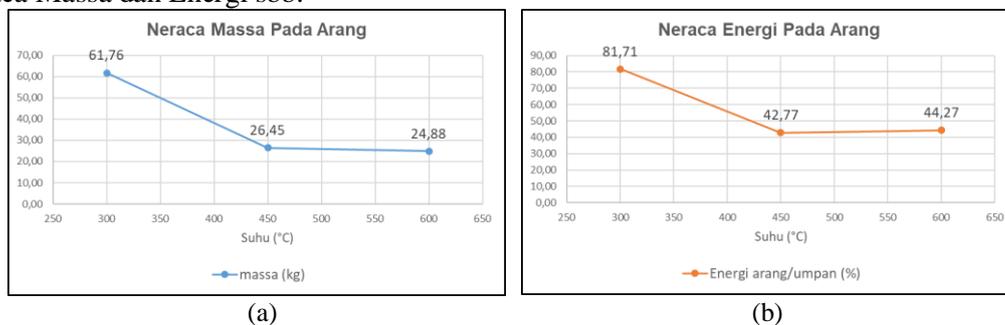
(b)

Gambar 1. Analisis (a) Proksimat dan (b) Ultimat Arang Hasil Pirolisis**Analisis Komposisi dan Nilai Kalor Gas Hasil Pirolisis**

Komposisi gas hasil pirolisis didapatkan nilai parameter CH₄, CO, dan H₂ paling tinggi pada suhu 450°C yaitu CH₄ sebesar 9,6%, CO sebesar 12,72%, dan H₂ sebesar 7,87%. Parameter tersebut menunjukkan indikasi ketersediaan energi yang besar yang dapat dilihat pada grafik nilai kalor gas, dimana suhu 450°C memiliki nilai kalor terbesar yaitu 1470 kkal/kg.

**Gambar 2.** Analisis (a) Komposisi Gas dan (b) Nilai Kalor Gas Hasil Pirolisis**Nilai Kalor Arang, Neraca Massa dan Energi Arang Hasil Pirolisis**

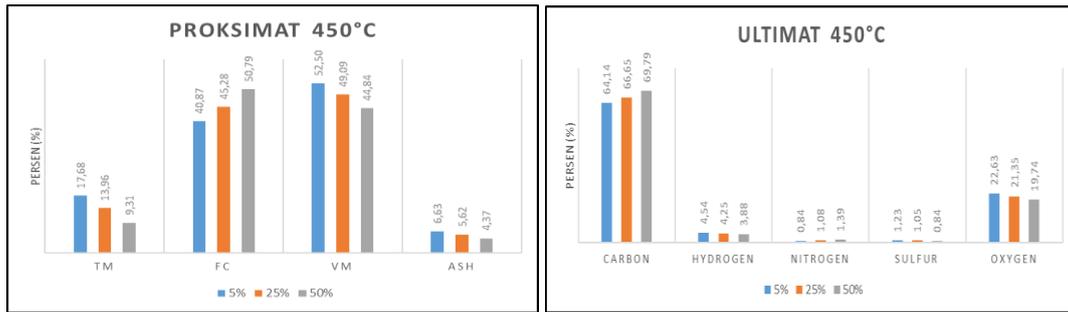
Nilai kalor arang semakin meningkat seiring dengan penambahan suhu, dengan nilai kalor 300°C sebesar 5.477 kkal/kg, 450°C sebesar 6.694 kkal/kg, dan 600°C sebesar 7.366 kkal/kg. Nilai kalor tersebut akan berpengaruh terhadap Neraca Energi yang dihasilkan berdasarkan perhitungan nilai kalor terhadap massa arang yang diperoleh. Terlihat pada gambar 4. grafik Neraca Massa dan Energi sbb.

**Gambar 3.** (a) Neraca Massa dan (b) Neraca Energi Arang Hasil Pirolisis

Penentuan suhu optimum pirolisis jatuh pada suhu 450°C dikarenakan dari parameter-parameter pengujian yang sudah dilakukan nilai yang diperoleh dari suhu 450°C tersebut memiliki nilai yang cukup baik dan tidak terpaut jauh dengan nilai yang diperoleh suhu 600°C. Kemudian arang hasil pirolisis 450°C akan dilakukan pencampuran dengan batubara dengan rasio arang 5%, 25%, dan 50%.

Analisis Proksimat dan Ultimat Hasil Pencampuran Arang dan Batubara

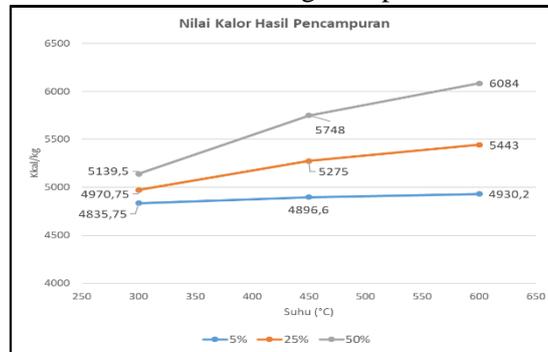
Hasil yang didapatkan pada analisis proksimat cukup konstan dari segi kenaikan, dimana VM, TM, dan Ash mengalami penurunan seiring dengan penambahan rasio. TM, VM, dan Ash terendah terdapat pada rasio 50% TM sebesar 9,31%, VM sebesar 44,84, dan Ash sebesar 4,37%. FC mengalami peningkatan seiring penambahan rasio yang digunakan, FC terbesar pada rasio 50% sebesar 50,79%. Pada Analisis Ultimat nilai C semakin meningkat, terbesar pada rasio 50% yaitu 69,79% H, S dan O mengalami penurunan, Sedangkan N menalami peningkatan namun H, N, S, dan O tidak begitu signifikan.



Gambar 4. Analisis (a)Proksimat dan (b)Ultimat Arang Hasil Pirolisis

Analisis Nilai Kalor Hasil Pencampuran Arang dan Batubara

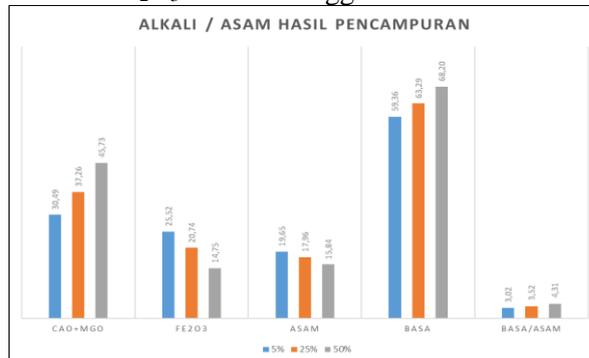
Nilai kalor yang didapat semakin meningkat seiring dengan penambahan suhu dan juga rasio yang digunakan, hal ini dapat terjadi karena semakin banyak rasio yang digunakan maka karakteristik dari arang tersebut akan mempengaruhi hasil dari pencampuran. Pada suhu 450°C nilai kalor yang dihasilkan cukup besar dengan interval yang tidak terpaut jauh. Pada rasio 5% sebesar 4896,6 kkal/kg, 25% sebesar 5275 kkal/kg, dan pada rasio 50% sebesar 5748 kkal/kg.



Gambar 5. Analisis Nilai Kalor Hasil Pencampuran Arang dan Batubara

Alkali / Asam Hasil Pencampuran

Alkali / Asam disini akan berpengaruh terhadap penentuan jenis abu dari campuran, dimana $CaO + MgO >$ dari Fe_2O_3 maka hasil campuran masuk kedalam Tipe Abu Lignit. Kemudian parameter asam akan mempengaruhi terhadap indeks *slagging*, semakin tinggi asam berpotensi terjadinya *slagging*. Pada basa berpengaruh terhadap indeks *Fouling*, dimana apabila tipe abu lignit faktor terbesar terjadinya *fouling* apabila nilai Na_2O_3 semakin besar. Semakin besar penggunaan rasio, maka kadar Na_2O_3 semakin tinggi.



Gambar 6. Alkali / Asam Hasil Pencampuran

Titik Leleh Abu Hasil Pencampuran

Titik leleh abu pencampuran diasumsikan sama dengan titik leleh abu penyusun yang memiliki suhu titik leleh abu yang lebih rendah (batubara), dari hasil yang didapatkan nilai titik leleh abu

arang > 1500°C. Maka titik leleh abu batubara yang diambil dengan asumsi potensi terbesar terjadinya *slagging*. Dapat dilihat pada tabel 3. Sebagai berikut :

Tabel 2. Pengaruh suhu terhadap arang dan zat *volatile* hasil pirolisis

| Parameter | Satuan | Batubara | Arang | Pencampuran |
|------------------------------|--------|----------|-------|-------------|
| <i>Initial / deformasi</i> | °C | 1.335 | 1.500 | 1.335 |
| <i>Softening / spherical</i> | °C | 1.339 | 1.500 | 1.339 |
| <i>Hemispherical</i> | °C | 1.345 | 1.500 | 1.345 |
| <i>Fluid / Flow</i> | °C | 1.402 | 1.500 | 1.402 |

Sumber : Data Hasil Kegiatan Pengujian Pirolisis dan Pencampuran, 2020

Dari hasil titik leleh abu yang didapatkan, digunakan untuk menghitung, indeks *slagging* yang berpotensi terjadi dengan menggunakan perhitungan indeks *slagging* dengan tipe abu lignit. Parameter yang digunakan pada perhitungan indeks *slagging* dengan tipe abu lignit tersebut yaitu parameter *Initial deformation* (1.335°C) dan juga *hemispherical* (1.345°C).

Indeks *Slagging* dan *Fouling* Hasil Pencampuran

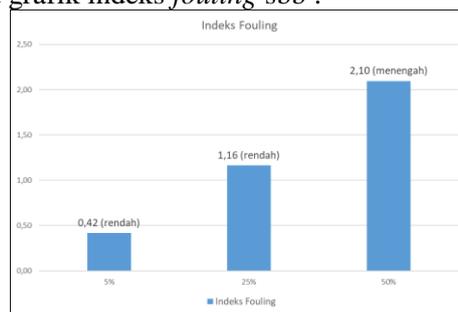
Hasil dari indeks *slagging* yang didapatkan berdasarkan perhitungan indeks *slagging* tipe lignit, didapatkan indeks *slagging* yang masuk kedalam kategori menengah sebesar (1.377°C). nilai ini didapatkan berdasarkan titik leleh abu dan juga tipe abu dari hasil campuran tersebut. Dapat dilihat pada tabel 3. Indeks *slagging* sbb.

Tabel 3. Indeks *Slagging* Hasil Pencampuran

| Parameter | Batubara | Arang | Pencampuran |
|----------------------------|----------|--------|-------------|
| <i>Slagging index (Rs)</i> | 1.337 | 1.500 | 1.337 |
| <i>Type slagging</i> | Menengah | Rendah | Menengah |

Sumber : Hasil Pengujian Pirolisis dan Pencampuran, 2020

Hasil dari indeks *Fouling* yang didapatkan berdasarkan kadar dari Na_2O_3 hasil pencampuran. Pada rasio 5% kadar Na_2O_3 sebesar 0,42%, 25% sebesar 1,16, dan 50% sebesar 2,10%. Sehingga pada 5% dan 25% masih masuk kedalam kategori rendah sedangkan pada 50% masuk kedalam kategori menengah. Berikut grafik indeks *fouling* sbb :



Gambar 7. Indeks *Fouling* Hasil Pencampuran

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dari proses pirolisis yang telah dilakukan didapatkan besar yield yaitu 26,45% dari suhu 450°C dimana hasil ini cukup baik dibandingkan dengan suhu yang lain karena zat *volatile* yang didapatkan cukup besar yaitu 73,55%.
2. Energi yang dihasilkan dari hasil pengujian suhu 450°C didapatkan nilai kalor sebesar 6694 kkal/kg dan energi sebesar 177.056 kkal, dimana energi arang yang dihasilkan yaitu

- 42,77%.
3. Secara garis besar setelah melakukan pengujian suhu yang optimal dalam pirolisis kayu lamtoro yaitu pada suhu 450°C, dimana pada suhu ini memiliki hasil yang cukup baik, baik pada hasil yield yang didapatkan, kualitas arang, kualitas gas yang dihasilkan, dan juga neraca massa dan energi yang dihasilkan.
 4. Dari hasil yang diperoleh dari pengujian blending arang dan juga batubara, pengujian ultimat dan juga proksimat memiliki nilai yang cukup konstan, pada nilai kalor rasio 50% memiliki nilai terbesar namun tidak terpaut jauh dengan rasio 25%, indeks fouling rasio 50% yaitu 2,1(menengah), 25% yaitu 1,16 (menengah), dan 5% yaitu 0,42 (rendah) diakibatkan oleh unsur-unsur alkali asam yang terkandung dalam masing-masing rasio.
 5. Dari hasil pengujian blending dengan rasio campuran 25% menjadi rekomendasi dalam pemanfaatan sebagai bahan bakar PLTU, dimana hasil blending dengan rasio tersebut berdasarkan beberapa parameter pengujian seperti nilai analisis ultimat dan proksimat, titik leleh abu, nilai kalor, dan juga indeks slagging dan fouling yang didapatkan, dimana indeks fouling 25% masuk kedalam kategori rendah dengan nilai 1,16.

5. Saran

Berikut beberapa saran yang penulis harapkan untuk pengujian ataupun penelitian seperti ini untuk kedepannya, sebagai berikut :

1. Perlunya dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai teknologi pirolisis karena merupakan teknologi guna mengurangi penggunaan batubara dan sebagai energi baru terbarukan.
2. Perlunya pengujian dengan variabel suhu dan juga bahan yang lebih bervariasi guna mendapatkan suhu pirolisis yang optimal dan juga energi baru yang dapat diketahui dan dapat digunakan kedepannya.

Daftar Pustaka

- Adi Setiawan, Sri Widodo. 2018. Peningkatan Nilai Kalori Pada Batubara Lgnit. *Jurnal Geomine*. Volume 6 Nomor 3.
- Agus S Ginting, Armansyah. 2015. Karakteristik Gas-Gas Hasil Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi industri Pertanian*. Bogor.
- Andreas Wijaya, Willyanto Anggono. 2016. Karakteristik Pembakaran Briket. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 16 Nomor 2. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Anonim. 2003. Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi Hijau. Departemen Energi Sumberdaya dan Mineral (DESDM), Jakarta. Indonesia.
- Arief, Nukman. 2019. Pengaruh Pencampuran Batubara dan Arang. Seminar Nasional Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Cahyono, Agus. 2018. Handbook Energy and Economic Statistics of Indonesia. Kementerian Energi Sumberdaya dan Mineral, Jakarta. Indonesia.
- Eggy Maulana Putra, Stefano Munir, Sriyanti. 2018. Optimasi Kinerja Teknologi Co-Firing Batubara Dengan Biomassa. *Prosiding Teknik Pertambangan*. Volume 4 Nomor 1. Universitas Islam Bandung. Bandung.
- Hendri, Suhengki, Amru. 2018. Pengaruh Fouling Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler PLTU Sebalang. *Jurnal Power Plant*. Volume 6 Nomor 1. STT-PLN. Jakarta.
- Kemas Ridhuan, Dwi, Rizki. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 8 Nomor 1. Universitas Muhammadiyah Metro. Lampung.
- Mahidin, Hamdani, Muhtadin. 2014. Karakteristik Pembakaran Beberapa Jenis Biomassa. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Volume 10 Nomor 1. Universitas Syiah Kuala. Aceh.
- Muhammad Raju, Armansyah. 2016. Karakterisasi Aran dan Gas-gas Hasil pirolisis Limbah Kelapa Sawit. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. Volume 4 Nomor 2. Institut Pertanian Bogor.

Bogor.

- Mulyana, Rida. 2016. Pedoman Investasi Biomassa di Indonesia. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Jakarta. Indonesia.
- Saparudin, Syahrul, Nurhyati. 2015. Pengaruh variasi Temperatur Pirolisis Terhadap Kadar Hasil dan Nilai Kalor Briket. Jurnal Dinamika Teknik Mesin. Volume 5 Nomor 1. Universitas Mataram. Mataram.
- Tekat Dwi, Zahrial. 2008. Analisis Nilai Kalor dan Kelayakan Ekonomis Sebagai Bahan Bakar Substitusi Batubara. Jurnal Forum Pasca Sarjana. Volume 31 Nomor 2. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Yuli Ristianingsih, Ayuning Ulfa. 2015. Pengaruh Suhu Terhadap karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku TKKS. Jurnal Konversi. Volume 4 Nomor 2. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.