

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bumi semakin rentan karena eksploitasi manusia yang kurang terkendali, sejumlah masalah menghadang masa depan bumi tempat kita menumpang hidup, pemanasan global dan perubahan iklim menjadi isu yang sangat menonjol, bauran energi Indonesia saat ini masih bertumpu sepenuhnya pada minyak bumi, sekitar 50% dari bauran energi berasal dari minyak bumi. Belum lagi dengan terus meningkatnya harga minyak dunia, dimana pemerintah, khususnya Indonesia tidak mungkin terus menerus menambah APBN untuk subsidi bahan bakar minyak. Padahal kita ketahui minyak bumi adalah sumber energi yang tidak terbarukan dan dalam pemanfaatannya berpotensi mengeluarkan gas efek rumah kaca yang dapat memperburuk keseimbangan bumi ini.

Tabel 1. 1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Energi Non Fosil	Sumber daya	Setara	Kapasitas terpasang
Tenaga air	845 juta BOE	75,67 GW	4,2 GW
Panas bumi	219 juta BOE	27 GW	0,8 GW
Mini/mikrohydro	0,5 GW	0,5 GW	0,084 GW
Biomassa	49,81 GW	49,81 GW	0,445 GW
Tenaga surya	4,80 kWh/m ² /hari	-	0,008 GW
Tenaga angin	-	-	0,0006 GW
Uranium (Nuklir)	24,112 ton	3 GW untuk 11 tahun	-

Keterangan: (-) Tidak ada data

Sumber: Departemen ESDM, 2005

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar untuk memasok kebutuhan energi khususnya listrik. Energi terbarukan merupakan energi bersih dari sisi emisi gas buang dan gas rumah kaca sehingga sangat berpotensi dikembangkan di Indonesia. Dalam rencana pengembangan energi bauran tahun 2025 energi terbarukan dapat berkontribusi hingga 15% dari total energi bauran. Dalam cetak biru pengembangan energi nasional (Pepres No 5 Tahun 2006), pencapaian proporsi 15% tersebut didapat dari geothermal hingga 9,5 MW, mikrohidro hingga 500 MW (*on grid*) dan 330 MW (*off grid*), energi matahari hingga 80 MW, **biomassa 810 MW**, energi angin 250 MW (*on grid*) dan 5 MW (*off grid*), biodiesel hingga 4,7 juta kiloliter, dan gasohol 5% dari total konsumsi minyak.

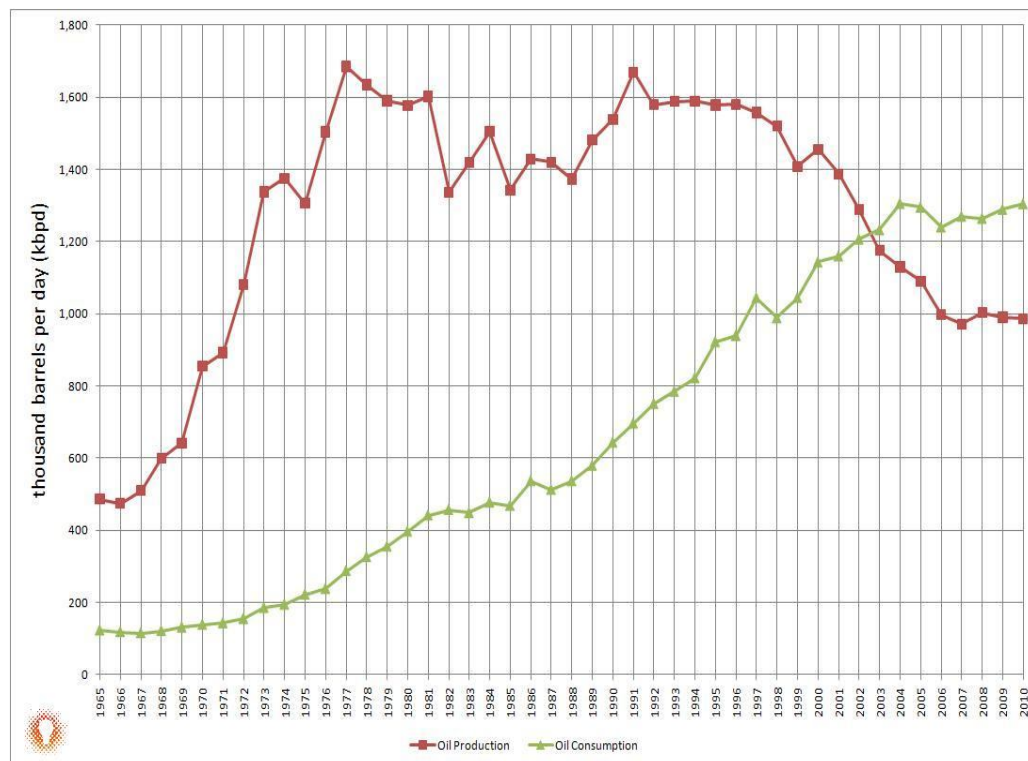
Biomassa yang terdapat dalam jumlah cukup besar pada perkebunan mete di Indonesia merupakan salah satu sumber bahan baku untuk energi termal. Potensi ketersediaan biomassa dari kulit mete sangat besar. Pada tahun 2005, hasil gelondong mete sebesar 130.052 ton dari areal seluas 581.270 ha (Ditjenbun, 2006). Saat ini ekspor dalam bentuk kacang mete sekitar 2% dari total hasil sehingga apabila berat kulit mete 0,42 dari berat total gelondong mete dengan kandungan energi 4,516 kkal/kg (H.S. Couto et. al.), maka terdapat $4,933 \times 10^9$ kkal/tahun atau setara dengan 930 ton batu bara. Limbah kulit tersebut dapat dimanfaatkan untuk menggantikan sumber energi yang digunakan selama ini. Disamping itu, sebagai negara agraris, Indonesia setiap tahun mampu menghasilkan 49 juta ton padi. Jumlah ini setara dengan 32 juta ton beras per tahun. Dalam proses penggilingan padi menjadi beras giling, diperoleh hasil samping berupa sekam (15-20%), yaitu bagian pembungkus/kulit luar biji, dedak/bekatul (8-12%) yang merupakan kulit ari, dihasilkan dari proses penyosohan, dan menir ($\pm 5\%$) merupakan bagian beras yang hancur. Apabila produksi gabah kering giling nasional 49,8 juta ton/tahun, maka akan diperoleh sekam 7,5-10 juta ton, dedak/bekatul 4-6 juta ton, dan menir 2,5 juta ton. Menurut *press release* Badan Pusat Statistik 1 November 2005, lebih dari 10,8 juta ton sekam dihasilkan dari 54 juta ton produksi gabah kering giling (GKG). Pemanfaatan hasil samping tersebut masih terbatas, bahkan kadang-kadang

menjadi limbah dan mencemari lingkungan terutama di sentra produksi padi saat panen musim penghujan. Padahal, kandungan energi dari sekam tersebut mencapai 3,300 kkal/kg (Rahmat R., 2006).

Penelitian pembakaran biomassa telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Huff (1980), yang meneliti pengaruh ukuran, bentuk, densitas, kadar air, dan temperatur dinding tungku terhadap waktu pembakaran kayu. Peneliti lain, Werther (2000), mengemukakan beberapa masalah yang berhubungan dengan limbah pertanian antara lain kadar air, *bulk density*, kadar abu, dan kadar *volatile matter*. Penelitian karakteristik pembakaran briket sekam telah dilakukan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian. Briket dengan campuran pati 12% dapat bertahan lama sehingga dapat mendidihkan air lebih cepat. Untuk meningkatkan pembakaran, Naruse (1998) membuat briket campuran batubara dan sekam dengan campuran 80% batubara dan 20% sekam yang dipress dalam suatu mesin. Hasilnya, penambahan sekam pada briket dapat meningkatkan kemampuan nyala briket. Akan tetapi pembakaran briket yang mengandung batubara akan menghasilkan bahan pencemar CO, SO₂, NO_x, poliaromatik hidrokarbon dan logam-logam berat. Bahan-bahan tersebut sangat membahayakan kesehatan manusia. Nilai kalor rendah pada briket sekam dapat ditingkatkan dengan cara mencampurkan sekam dan bahan lain yang bernilai kalor tinggi seperti kulit mete. Pembakaran briket campuran biomassa seperti ini belum banyak diteliti.

Energi akan tetap dibutuhkan dari masa ke masa. Pada saat ini di sektor industri dan transportasi, energi digunakan sebagai bahan bakar utama penggerak sektor tersebut. Energi yang umumnya sekarang digunakan berasal dari bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ketiga bahan bakar tersebut saat ini merupakan penyuplai energi terbesar di dunia. Bahan bakar fosil mampu mendominasi 81% energi primer dunia dan juga berkontribusi pada 66% pembangkit listrik global. Padahal bahan bakar tersebut termasuk sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui keberadaannya akan langka dan akhirnya habis. Bahkan, pada masa sekarang ini, krisis energi sudah mulai kita rasakan dan semakin hari menjadi topik yang semakin menyita

perhatian, dan hampir seluruh negara di dunia ini menjadikan topik tentang krisis energi ini sebagai perhatian utama dalam program kerjanya, tak terkecuali Indonesia. Selain itu, harga bahan bakar fosil yang cenderung melonjak di pasar dunia, situasi energi ini tidak lepas dari situasi energi dunia. Menurut data dari Badan Pusat Statistik mengenai perbandingan antara konsumsi dan produksi minyak bumi nasional, dapat terlihat bahwa situasi krisis energi ini harus segera dicari solusinya. Cadangan sumber daya energi bahan bakar fosil keberadaannya sangat terbatas, maka perlu adanya kegiatan diversifikasi sumber daya energi agar ketersediaan energi di masa depan akan terjamin



Gambar 1. 1 Perbandingan Produksi dan Konsumsi Minyak Harian Nasional [1]

Kontinuitas penggunaan bahan bakar fosil (*fossil fuel*) juga memunculkan ancaman serius berupa polusi akibat emisi pembakaran bahan bakar fosil ke lingkungan. Polusi yang ditimbulkan oleh pembakaran bahan bakar fosil memiliki dampak langsung maupun tidak langsung pada kesehatan

manusia. Polusi langsung bisa berupa gas-gas berbahaya, seperti CO, NO_x, UHC (*unburn hydrocarbon*), dan timbal (Pb). Sedangkan polusi tidak langsung mayoritas berupa ledakan jumlah molekul CO₂ yang berdampak pada pemanasan global. Tahun 1998 merupakan tahun dimana terjadi peningkatan suhu terbesar. Peningkatan suhu ini menyebabkan pencairan es di kutub sehingga volume lautan meningkat dan ketinggian permukaan laut meningkat 10 sampai 25 cm. Bahkan diprediksikan tahun 2100, suhu di permukaan bumi akan meningkat secara tajam hingga mencapai 6 derajat Celcius. Dampak itulah yang memicu terjadinya bencana alam yang akan menurunkan kualitas hidup manusia.

Berdasar atas dua hal yang telah disampaikan di atas, maka diperlukan suatu energi alternatif untuk mengurangi bahkan menghilangkan ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil. Salah satu solusi yang cukup menjanjikan dalam menjawab tantangan tersebut adalah bahan bakar hayati (*biofuel*).

Bahan bakar hayati atau *biofuel* adalah bahan bakar organik yang dihasilkan oleh makhluk hidup, berupa bahan padat, cair, atau gas. *Biofuel* dapat dihasilkan oleh makhluk hidup atau secara tidak langsung dari limbah industri, limbah domestik, peternakan, pasar tradisional, dan limbah pertanian. Penggunaan *biofuel* ini juga ramah lingkungan. Dari data disebutkan bahwa emisi gas yang dihasilkan, yaitu CO₂, lebih sedikit sekitar 12-18% jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Indonesia mempunyai potensi yang sangat besar dalam menyediakan lahan pertanian maupun lahan-lahan kritis yang dapat ditanami tumbuhan sumber pangan, dan dapat juga ditanami tumbuhan energi (*energy crops*) yang merupakan sumber *biofuel*. Tingginya keanekaragaman tumbuhan dapat dimanfaatkan sebagai sumber *biofuel*. Selain itu tersedianya sumber daya manusia yang cukup besar yang dapat mengolah, memanfaatkan, dan menghasilkan *biofuel*. Menurut data dari ESDM tahun 2009 tentang total kebutuhan energi nasional, potensi *biofuel*, dalam bentuk biomassa yang merupakan salah satu jenis dari *biofuel*, masih sangat memungkinkan untuk dikembangkan.

Biomassa adalah bahan organik yang berasal baik dari tumbuhan maupun hewan yang kaya akan cadangan energi. Sehingga setelah diubah menjadi energi disebut dengan bioenergi. Selanjutnya bioenergi tersebut yang digunakan sesuai dengan kebutuhan manusia. Di Indonesia, salah satu potensi biomassa yang cukup menjanjikan adalah dari kulit mete yang merupakan limbah dari produksi kacang mete. Pada tahun 2005, hasil gelondongan mete sebesar 130.052 ton dari areal seluas 581.270 ha [3]. Saat ini, ekspor dalam bentuk kacang mete sekitar 2% dari total hasil sehingga apabila berat kulit mete 0,42 dari berat total gelondong mete dengan kandungan energi 4,516 kkal/kg [4], maka terdapat $4,933 \times 10^9$ kkal/tahun atau setara dengan 930 ton batu bara. Limbah kulit tersebut dapat dimanfaatkan untuk menggantikan sumber energi yang digunakan selama ini.

Akan tetapi, potensi energi yang terkandung dalam biomassa tidak dapat langsung digunakan. Untuk pemanfaatannya, terlebih dahulu harus dilakukan konversi ke bentuk yang lain. Salah satu konversi yang dilakukan adalah mengubahnya menjadi bentuk padatan (briket). Kemudian briket yang telah dihasilkan dapat dibakar langsung (dengan efisiensi 20-25%), atau dapat dilanjutkan dengan teknologi lain untuk meningkatkan efisiensinya.

Oleh karena itu diperlukan teknologi untuk dapat mengatasinya, salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi pirolisis yaitu proses perlakuan panas tanpa kehadiran oksigen, dimana bahan yang digunakan berasal dari limbah organik. Tujuannya adalah untuk melepaskan zat *volatile matter* yang terkandung dalam biomassa dan meninggalkan karbon tetap dalam biomassa. Dengan teknologi pirolisis ini kita dapat mengatasi limbah organik, menjadikan lingkungan lebih sehat sehingga menjadi aktivitas yang zero waste dan menjadikannya produk akhir yang bernilai tambah. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO, CO_2 , H_2O dan CH_4), tar, dan char. Semua produk dari pirolisis bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Selain tiga jenis produk tersebut teknologi pirolisis juga menghasilkan produk lain. Adapun produk pirolisis lainnya antara

lain : Arang (Biochar), *Torrified Wood*, Arang Aktif, Briket Arang, *Bio-oil*, *Syngas* (Ilmiawan Hakiem, 2011).

1.2 Alasan Pemilihan Judul

Seperti yang telah diuraikan di atas, untuk menyikapi semakin melonjaknya harga minyak dunia dan menipisnya jumlah cadangan bahan bakar fosil, maka diperlukan adanya suatu usaha untuk mencari sumber bahan bakar alternatif yang salah satu di antaranya adalah biomassa. Untuk dapat memanfaatkan potensi biomassa dengan lebih efektif dan efisien, diperlukan suatu teknologi dalam proses produksi biomassa tersebut. Contoh dari teknologi yang banyak diterapkan adalah pembuatan briket dan pirolisis. Tujuan dari pembuatan briket adalah untuk mengkonsentrasikan energi dari biomassa menjadi partikel berdensitas tinggi dalam berbagai bentuk dan ukuran dan memudahkan dalam proses penyimpanan dan pemindahan.

1.3 Tujuan Penelitian

- a.) Mengkaji pengembangan teknologi pembriketan untuk memproduksi briket campuran kulit mete dan sekam padi.
- b.) Pengujian nilai kalor briket campuran kulit mete dan sekam padi dengan berbagai variasi temperatur dan lama waktu tinggal pada proses pirolisis.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat batasan permasalahan yang diberlakukan, yaitu :

- a.) Membahas pengaruh komposisi massa biobriket yang diuji, dengan komposisi 75% kulit mete dan 25% sekam padi.
- b.) Pengaruh variasi lama waktu tinggal pada proses pirolisis 10 menit, 20 menit dan 30 menit.

- c.) Pengaruh variasi temperatur pada proses pirolisis 200°C, 250°C dan 300°C
- d.) Mesh untuk kulit mete dan sekam padi memiliki ukuran 2,83 mm atau mesh no. 6.
- e.) Jumlah berat campuran lem pva dan air yang digunakan ialah 5 % dari berat total briket tersebut.
- f.) Pengaruh dari temperatur dan lama waktu tinggal pada proses pirolisis terhadap nilai kalor yang diperoleh dari pengujian menggunakan alat *bomb calorimeter*.

1.5 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

a.) Studi Pustaka

Adapun studi pustaka ini diperoleh dari beberapa literatur, baik berupa buku-buku perpustakaan, jurnal-jurnal yang diperoleh dari internet, serta laporan Tugas Akhir yang berkaitan dengan tugas sarjana ini.

b.) Pengujian dan Analisis

Pembuatan dan pengujian briket biomassa dengan alat *bomb calorimeter*.

c.) Bimbingan

Bertujuan untuk mendapatkan tambahan pengetahuan dan masukan dari dosen pembimbing serta koreksi terhadap kesalahan-kesalahan yang terjadi dalam pembuatan Tugas Akhir dan penyusunan laporan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

- BAB II** **TINJAUAN PUSTAKA**
Berisi tentang dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.
- BAB III** **METODOLOGI PENELITIAN**
Berisi tentang penjabaran langkah-langkah pengujian disertai dengan spesifikasi alat uji dan alat ukur yang digunakan.
- BAB IV** **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**
Berisi tentang analisa data yang diperoleh dari pengujian dan pembahasan untuk kemudian dihasilkan suatu kesimpulan.
- BAB V** **PENUTUP**
Berisi Merupakan jawaban dari tujuan tugas akhir pengujian briket biomassa dari berbagai variasi temperatur dan waktu tinggal proses pirolisis serta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSATAKA

2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti cahaya matahari, angin, tenaga air, tenaga gelombang, dan panas bumi dimana energi-energi tersebut dapat diperbaharui secara alamiah. Alam menyediakan berbagai sumber energi ini dalam jumlah yang sangat besar karena hampir selalu ada dan siap diolah menjadi sumber energi [3]. Definisi lain yang banyak digunakan secara umum adalah energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali oleh alam dan berkelanjutan.

Konsep energi terbarukan ini mulai dikenal pada tahun 1970-an sebagai upaya untuk mengimbangi pengembangan energi berbahan bakar nuklir dan fosil sebagai reaksi akibat harga minyak dunia yang naik pada waktu itu. Akan tetapi, karena pada tahun 1980-an, harga minyak mulai turun, konsep ini cukup terbengkalai dan baru mulai eksis lagi satu dekade belakangan ini [4].

2.2 Karakteristik Energi Terbarukan

Energi terbarukan mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut [5] :

- Sumber-sumber energi terbarukan tidak akan habis.
- Sumber energi terbarukan secara geografis bersifat tersebar dan umumnya dikembangkan dan dimanfaatkan di lokasi sumber energi tersebut berada.
- Sumber energi terbarukan mempunyai densitas daya dan energi yang rendah sehingga perangkat teknologi pemanfaatannya sangat diperlukan untuk memaksimalkan potensi sumber energi tersebut.
- Teknologi-teknologi energi terbarukan pada umumnya memerlukan biaya pokok (modal) yang tinggi tetapi biaya operasinya rendah.

- Beberapa teknologi terbarukan bersifat modular sehingga responsif terhadap pertumbuhan permintaan dan dapat dikonstruksi dalam waktu relatif singkat.
- Teknologi-teknologi energi terbarukan pada umumnya akrab dan tidak merusak lingkungan.

2.3 Macam-Macam Energi Terbarukan

Dalam pengembangannya, energi terbarukan telah banyak macamnya. Macam-macam energi terbarukan yang sering dijumpai dan dalam masih sangat dimungkinkan untuk dikembangkan lebih lanjut adalah :

a) Energi surya

Energi surya atau yang lebih dikenal dengan *solar cell* adalah teknologi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan *photovoltaic* atau sering disebut dengan sel atau panel surya. Secara umum, penggunaan tenaga matahari ini dibagi dua yaitu aktif dan pasif. Penggunaan secara aktif yaitu menggunakan teknologi panel *photovoltaic* untuk mengumpulkan energi listrik. Sementara cara penggunaan secara pasif adalah dengan cara mengatur arah bangunan, menggunakan material yang menyerap panas, dan desain bangunan yang secara alami memperlancar sirkulasi udara di dalam bangunan [3].



Gambar 2. 1 Panel Surya yang Diletakkan di Atas Atap Bangunan

Akan tetapi, pemanfaatan energi surya ini masih cukup terbatas dikarenakan matahari tidak memberikan energi konstan untuk setiap titik di permukaan bumi. Sel surya lebih sering digunakan untuk pengisian daya baterai, karena kebanyakan aplikasi lainnya memerlukan sumber energi sekunder lainnya. Daya baterai yang telah disimpan pada siang digunakan pada malam hari.

b) Energi angin

Karena matahari memanaskan permukaan bumi secara tidak merata, maka terbentuklah angin. Energi kinetik dari angin ini kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin angin. Untuk dapat menggerakkan turbin tersebut, dibutuhkan kecepatan angin dalam kisaran 20 km/jam. Akan tetapi, dalam prakteknya sangat sedikit wilayah yang memiliki angin yang bertiup terus menerus. Namun begitu, di daerah pesisir atau daerah ketinggian tersedia angin yang cukup konstan. Pada 2005, telah ada ribuan turbin angin yang beroperasi di beberapa bagian dunia, yang jika digabungkan memiliki kapasitas sebesar 47.317 MW [3].



Gambar 2. 2 Turbin Angin

Saat ini, mulai dikembangkan untuk membangun area penangkapan energi angin lepas pantai. Area penangkapan angin lepas pantai dapat ditempatkan di perairan sedalam 40 meter. Keuntungan area penangkapan lepas pantai ini adalah kemampuan menangkap energi angin tanpa halangan bukit, pepohonan, dan bangunan. Angin di tengah lautan dapat mencapai dua kali kecepatan angin di daratan [4].

c) Energi air

Energi air dapat digunakan dalam bentuk gerak dan perbedaan suhu. Energi kinetik yang terkandung dalam gerakan air tersebut dapat digunakan untuk menggerakkan kincir air yang dikopel dengan generator yang hasil luarannya adalah arus listrik. Karena air ribuan kali lebih berat daripada udara, maka aliran air yang pelan pun dapat menghasilkan sejumlah energi yang besar. Untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan energi kinetik dari aliran sungai disebut dengan *hydroelectric*. Sedangkan dengan memanfaatkan pasang surut air laut disebut dengan *tidal power* [6].



Gambar 2. 3 Kincir Air

Untuk beberapa negara maju, tenaga air ini bukanlah menjadi pilihan utama dikarenakan pertimbangan lingkungan. Untuk membangun bendungan dibutuhkan lahan yang luas dan dapat menyebabkan perubahan habitat.

d) Energi panas bumi atau *geothermal*

Energi panas bumi adalah energi yang dihasilkan dengan cara mengambil panas bumi yang berasal dari peluruhan radioaktif di pusat bumi. Ada tiga macam cara yang digunakan untuk mendapatkan energi dari panas bumi, yaitu :

- *Dry steam*, yaitu mengambil uap panas bumi dan langsung digunakan untuk menggerakkan turbin yang memutar generator penghasil listrik.
- *Flash*, yaitu mengambil air panas, biasanya bersuhu lebih dari 200°C, dari tanah yang kemudian mendidih pada saat naik ke permukaan dan kemudian dipisahkan antara air panas dan uap panas yang kemudian dialirkan ke turbin.
- *Binary*, yaitu air panas mengalir melalui *heat exchanger*, kemudian mendidihkan cairan organik yang memutar turbin.

Uap panas yang dimampatkan dan sisa cairan *geothermal* dari ketiga cara di atas disuntikkan lagi ke batuan panas agar menghasilkan panas lagi [3].

e) Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis baik berupa produk maupun buangan. Sedangkan istilah biomassa dalam kaitannya dengan energi terbarukan adalah bahan-bahan organik yang dapat dimanfaatkan lagi sebagai sumber bahan bakar dikarenakan cadangan energi yang dikandungnya sehingga ketersediaan dari sumber energi ini dapat terjamin [1].

Biomassa dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu biomassa basah dan biomassa kering. Contoh dari biomassa basah adalah sisa sayuran, sampah organik rumah tangga, sampah pasar tradisional, kotoran hewan, dan kotoran manusia. Sedangkan contoh biomassa kering adalah jerami, sekam, ranting, rumput, kayu, dan limbah pertanian

dedaunan [1]. Secara khusus, turunan dari biomassa ini antara lain adalah *biodiesel* dan *biogas*.

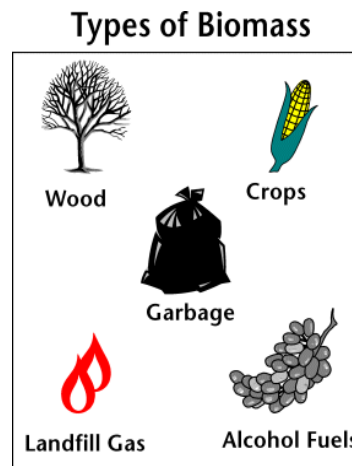
Penjelasan tentang *biomassa* ini akan dijelaskan dalam bagian subbab selanjutnya.

f) *Biogas*

Biogas hasil pencernaan berhubungan dengan pemanfaatan gas metana yang dilepaskan ketika kotoran hewan membusuk. Gas ini dapat diperoleh dari sampah dan sistem saluran limbah. Sistem penghasil *biogas* digunakan untuk memproses gas metana melalui bakteri atau dekomposer yang memecah gas metana dalam kondisi anaerob. Kemudian gas metana dikumpulkan dan dimurnikan untuk kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi.

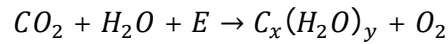
2.4 Biomassa

Seperti yang telah diutarakan di atas, bahwa biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis baik berupa produk maupun buangan, yang kemudian bahan-bahan organik ini dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar. Dengan adanya proses fotosintesis tersebut, tumbuhan menyimpan energi matahari dan simpanan energi matahari inilah yang dimanfaatkan sebagai energi.



Gambar 2. 4 Contoh-Contoh Biomassa

Proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan adalah sebagai berikut [7]:

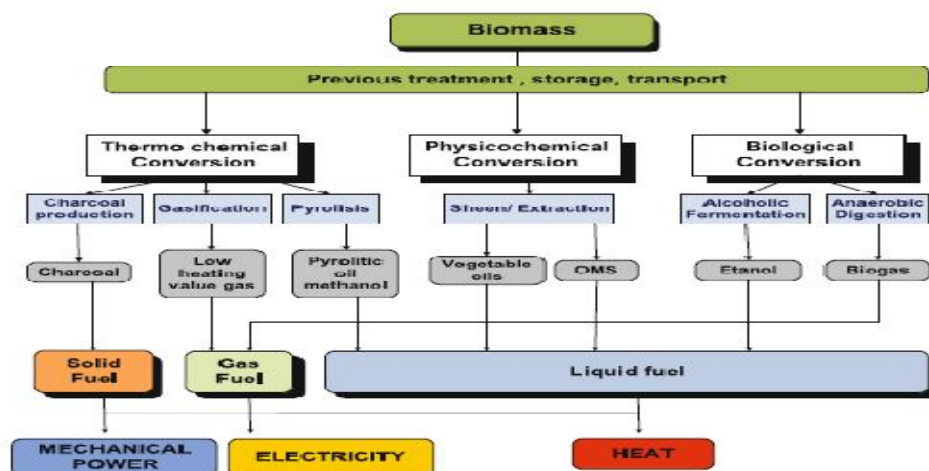


Dimana: E = energi cahaya
 CO_2 = karbon dioksida
 H_2O = air
 $C_x(H_2O)_y$ = hidrokarbon
 O_2 = oksigen

Proses fotosintesis tersebut terjadi pada khlorofil. Khlorofil adalah bahan yang membuat hijau daun. Hidrokarbon yang terjadi dapat berbentuk gula tebu atau gula bit yang mempunyai rumus $C_{12}H_{22}O_{11}$, atau berbentuk selulosa yang mempunyai rumus $(C_6H_{10}O_5)_x$ [7]. Kandungan hidrokarbon inilah yang kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

2.4.1 Pemanfaatan Biomassa

Sebenarnya, jauh sebelum manusia mengenal bahan bakar fosil, penggunaan biomassa sebagai sumber energi telah terlebih dahulu diketahui. Contohnya adalah penggunaan kayu sebagai bahan bakar. Pemanfaatan jenis ini dikenal dengan pemanfaatan biomassa secara langsung. Namun, setelah ditemukannya bahan bakar fosil, penggunaan biomassa menjadi sangat terbatas pemanfaatannya. Baru setelah cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis, pemanfaatan biomassa menjadi aktif kembali dan semakin luas.



Gambar 2. 5 Skema Pengolahan Biomassa

Dewasa ini, pemanfaatan biomassa yang paling umum digunakan untuk menghasilkan energi adalah pembakaran langsung, gasifikasi, dan pirolisis. Dan dari ketiga bentuk pemanfaatan tersebut, gasifikasi adalah yang paling banyak digunakan.

2.4.2 Keunggulan dan Kekurangan Biomassa

Keunggulan maupun kekurangan yang dimiliki biomassa adalah sebagai berikut :

a) Keunggulan

Selain karena ketersediaannya yang terjamin, keunggulan lain yang terdapat dalam pemanfaatan biomassa adalah [8]:

- Mengurangi adanya efek gas rumah kaca.

Penggunaan biomassa akan membuat sampah organik yang dapat menghasilkan gas metana yang menyebabkan terbentuknya gas rumah kaca dapat diminimalisir. Contohnya dari sampah organik tersebut adalah kotoran hewan, tandan kelapa sawit, tongkal jagung, dan sekam padi. Selain itu, penggunaan biomassa akan mengurangi penggunaan energi fosil yang menyumbang gas-gas rumah kaca terbesar saat ini.

- Melindungi kebersihan air dan tanah.

Pemanfaatan biomassa akan memanfaatkan sampah yang berbahaya bagi lingkungan karena akan mencemari lingkungan sekitar seperti air dan tanah. Sampah yang tertimbun akan mengeluarkan cairan yang berbahaya dan diserap oleh tanah dan mencemari air tanah, sedangkan air tanah ini digunakan oleh masyarakat untuk konsumsi dan kebutuhan lainnya. Sehingga dengan memanfaatkan biomassa sampah sebagai bahan bakar, kerusakan air dan tanah dapat diminimalisir.

- Mengurangi sampah organik.

Sama halnya seperti melindungi kebersihan air dan tanah, pemanfaatan biomassa akan mengurangi limbah organik karena

sampah hasil olahan pabrik dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar.

- Mengurangi polusi udara.

Biomassa merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan sehingga polusi udara dapat diminimalisir.

- Meningkatkan pemanfaatan lahan.

Penggunaan biomassa ini akan membuat semakin dimanfaatkannya lahan kosong untuk menanam tumbuhan-tumbuhan penghasil *biodiesel* seperti kelapa sawit dan jarak pagar.

b) Kekurangan

Sedangkan, kekurangan yang dimiliki oleh biomassa dalam kaitannya sebagai sumber energi adalah [9]:

- Kandungan kelembapan yang tinggi.

Dalam kandungan biomassa, terdapat kandungan air yang cukup tinggi. Hal ini dapat dilihat dari proses reaksi yang terjadi pada proses fotosintesis, dimana pada hasil reaksinya terdapat air (H_2O).

- Nilai kalor yang dikandung relatif cukup rendah.
- Ketersediaan bahan baku musiman.
- Mempunyai densitas yang cukup rendah.

Biomassa mempunyai densitas yang cukup rendah. Untuk menghasilkan energi yang setara dengan bahan bakar fosil, contohnya batubara, dibutuhkan jumlah biomassa yang banyak. Selain itu, sulit untuk mendistribusikannya karena terdapat kesulitan dalam mengemasnya. Contohnya adalah biomassa dari sekam padi yang sulit dikemas dalam bentuk briket dibandingkan dengan batu bara.

- Pembersihan atau penguraian.

Dikarenakan biomassa juga berasal dari limbah, sulit untuk menguraikan bahan-bahan yang dibutuhkan sebagai sumber energi dengan bahan-bahan yang memang tidak diperlukan.

- Membutuhkan biaya yang cukup tinggi.

Walaupun bahan biomassa cukup mudah untuk didapatkan, tetapi teknologi untuk mengolahnya masih cukup sulit didapatkan. Kalaupun ada, harga yang harus dikeluarkan cukup tinggi sehingga biaya operasional dari pengolahan biomassa ini masih tergolong mahal.

2.4.3 Karakteristik Biomassa

Karakteristik dari bahan bakar biasanya meliputi analisa *proximate*, analisa *ultimate*, dan nilai kalor, yang memberikan indikasi tentang kualitas dari suatu bahan bakar dan kelayakannya. Analisa *proximate* adalah analisa yang mengidentifikasi kandungan air (*moisture*), *volatile matter*, *fixed carbon*, dan abu yang dimiliki. Sedangkan analisa *ultimate* adalah analisa yang mengidentifikasi komposisi karbon, hydrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. Pada biomassa yang berasal dari limbah, terdapat kenaikan kandungan bahan-bahan lingkungan sekitar, sehingga analisa tentang kandungan konsentrasi logam juga semakin perlu untuk diperhatikan. Selain itu, massa jenis dari bahan bakar juga perlu diperhatikan [9].

Tabel 2. 1 Analisa *Proximate* dan *Ultimate* dan Nilai Kalor (HHV) Untuk Berbagai Bahan Biomassa [9]

Sample	Proximate Analysis (wt.%, dry basis)			Ultimate Analysis (wt.%, dry basis)					HHV (MJ/kg)
	Ash	Volatile Matter	Fixed Carbon	C	H	N	S	O	
Pine	0.2	86.3	13.5	45.2	6.3	0.1	0	48.2	20.0
Chestnut	0.4	82.1	17.5	45.5	5.7	0.2	0	48.2	19.1
Eucalyptus	0.5	84.6	14.9	46.8	6.1	0.1	0	46.5	19.5
Cellulosa residue	1.3	87.7	11.0	41.0	6.4	0.3	0	51.0	17.6
Coffee husks	4.5	79.4	16.1	43.2	6.3	2.6	0.2	43.2	20.1
Grape waste	7.5	67.9	24.6	50.0	6.0	2.0	0.1	34.4	22.1
Almond sheels	1.2	79.3	19.5	49.2	6.0	0.2	0	43.4	19.7
Olive stones	0.6	81.4	18.0	50.6	6.1	0.1	0	42.6	19.0
Olive oil waste	7.1	77.3	15.7	48.9	6.2	1.4	0.2	36.2	21.6
Petcoke	0.6	12.6	86.8	87.2	4.1	1.5	5.4	1.2	35.2
High volatile bituminous coal	7.6	37.7	54.7	77.9	5.1	1.7	1.5	6.2	32.4

a) Kandungan abu (*ash*).

Secara umum kandungan abu biomassa mempunyai kandungan abu yang rendah, biasanya kurang dari 1% seperti bahan dari rumput. Sedangkan untuk limbah padat yang berasal dari industri minyak nabati, mempunyai kandungan abu antara 4-7%

b) Kandungan *volatile matter*.

Kandungan *volatile matter* pada biomassa lebih besar dibandingkan dengan batubara, berkisar antara 70-85%, seperti yang terlihat pada tabel 2.1. Tingginya kandungan *volatile* dapat meningkatkan produksi tar pada sistem pengelolaan biomassa selanjutnya (gasifikasi).

c) Kandungan nilai kalor.

Kandungan nilai kalor untuk bahan-bahan biomassa lebih rendah dibandingkan dengan nilai kalor dari batu bara, seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

2.5 Sekam Padi

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian (*serealia*) yang berupa lembaran kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam (endospermium dan embrio). Sekam dapat dijumpai pada hampir semua anggota rumput-rumputan (*poaceae*), meskipun pada beberapa jenis budidaya ditemukan pada variasi bulir pula variasi bulir tanpa sekam (misalnya jagung dan gandum).



Gambar 2. 6 Sekam Padi

Sekam biasanya dapat ditemukan di setiap penggilingan padi. Saat ini pemanfaatan sekam padi tersebut masih sangat sedikit sehingga sekam masih merupakan limbah yang mengganggu. Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi *kariopsis* yang terdiri dari belahan *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan gabah padi, sekam akan terpisah dari butir beras. Dari proses penggilingan padi, biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak 8-12%, dan beras giling 50-63% dari bobot awal gabah. Sekam padi memiliki kerapatan jenis *bulk density* 125 kg/m³, dengan nilai kalor dari 1 kg sekam padi sebesar 3300 kcal.

Jika ditinjau dari kandungan kimianya, sekam padi mengandung bahan-bahan sebagai berikut [11]:

- Karbon : 1,33%
- Hidrogen : 1,54%
- Oksigen : 33,64%
- Silika : 16,98%

Selain itu, sekam padi mempunyai panjang sekitar 8-10 mm dengan lebar 2-3 mm dan tebal 0,2 mm. Karakteristik lain yang dimiliki sekam padi adalah kandungan zat *volatile matter* yang tinggi, yang berkisar antara 60-80% [12].

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Sekam Padi [13]

No.	Komponen	Persentase berat (basis kering)
1	Air	0.00-11.00
2	Protein	1.75-6.38
3	Lemak	0.38-3.50
4	Nitrogen	25.80-37.84
5	Serat kasar	31.30-49.92
6	Abu	14.50-29.09
7	Pentose	19.80-26.00
8	Selulosa	31.20-42.20
9	Lignin	19.20-32.88

Kadar selulosa sekam yang cukup tinggi dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil. Untuk memudahkan diversifikasi penggunaannya, maka sekam terlebih dahulu dilakukan proses pembuatan arang sekam, kemudian dipadatkan, dibentuk, dan dikeringkan.

2.6 Jambu Mete

Jambu mete (*Anacardium occidentale* L) merupakan tanaman yang berasal dari Brasil bagian tenggara. Tanaman ini dibawa oleh pelaut Portugis ke India 425 tahun lalu, kemudian menyebar ke daerah tropis dan subtropis lainnya seperti Bahama, Senegal, Kenya, Madagaskar, Mozambik, Srilanka, Thailand, Malaysia, Filipina, dan Indonesia. Jambu mete tersebar di seluruh nusantara

dengan istilah daerah yang berbeda beda. Contohnya, di Sumatera Barat disebut jambu monyet, di Jawa Barat disebut Jambu Mede, dan di Sulawesi Utara disebut buah yaki.

Tanaman jambu mete merupakan tanaman perkebunan yang sedang berkembang di Indonesia dan cukup menarik perhatian. Hal ini dikarenakan pertama, tanaman jambu mete dapat ditanam di lahan kritis sehingga persaingan lahan dengan komoditas lain menjadi kecil dan dapat juga berfungsi sebagai tanaman konversi. Kedua, tanaman jambu mete merupakan komoditas ekspor sehingga pasarannya cukup luas dan tidak terbatas pada pasar domestik saja. Ketiga, usaha tani, perdagangan, dan agroindustri mete melibatkan banyak tenaga kerja [14].



Gambar 2. 7 Jambu Mete

Pengembangan tanaman jambu mete di Indonesia dimulai sekitar tahun 1975 melalui proyek kehutanan yang saat itu ditujukan terutama untuk melindungi lahan kritis. Awal mulanya, luas areal tanaman jambu mete adalah 58.000 ha. Kemudian pada tahun 1984 meningkat menjadi 196.000 ha. Pada tahun 2005, luas total areal tanaman jambu mete di Indonesia adalah \pm 547.000 ha.

Sebagai hasil utama dari tanaman jambu mete adalah buahnya. Buah mete terdiri atas buah sejati yang berupa biji gelondong dan buah semu. Produk utama yang diambil dari tanaman jambu mete adalah bijinya (kacang mete) yang diperoleh dengan pengacipan (pengupasan kulit mete). Kacang mete ini yang

biasanya digunakan untuk campuran berbagai macam hidangan karena rasanya gurih dan enak. Sedangkan pengacipan sendiri dilakukan baik secara manual dan secara semi mekanis.



Gambar 2. 8 Limah Kulit Mete

Dengan pengacipan, dihasilkan juga limbah berupa kulit mete. Limbah kulit mete ini juga dapat diolah menjadi minyak CNSL (*Cashew Nut Shell Liquid*) yang mempunyai nilai ekonomi tinggi karena dapat digunakan sebagai bahan industri secara luas seperti minyak rem, industri cat, pernis, dan lain-lain. Selain itu, limbah kulit mete ini dapat digunakan sebagai bahan biomassa karena kandungan yang dimilikinya.

Tabel 2. 3 *Ultimate Analysis of Cashew Nut Shell*

Element % (w/w) Dry basis	
C	48.37
H	5.9
N	0.76
O ^a	44.94
S	0.03

Tabel 2. 4 *Proximate Analysis of Cashew Nut Shell*

Component	Analytical Standard	(%)
Moisture	ISO-589-1981-wet basis	9.31
Ash	ISO-1171-1976-dry basis	1.16
Volatile matter	ISO-5623-1974-dry basis	78.12
Fixed carbon	By difference-dry basis	20.71

Tabel 2. 5 *Heating Value of Cashew Nut Shell*

	Analytical Standard	(kcal/kg)
Higher heating value (HHV)	ISO-1928-95	5370
Lower heating value (LHV)	ISO-1928-95	5331

2.7 Densifikasi Biomassa

Sebelumnya telah dikemukakan bahwa biomassa pada umumnya mempunyai densitas yang rendah, sehingga akan mengalami kesulitan dalam penanganannya. Densifikasi biomassa menjadi briket bertujuan untuk meningkatkan densitas dan menurunkan persoalan penanganan seperti penyimpanan dan pengangkutan. Densifikasi menjadi sangat penting dikembangkan di negara-negara berkembang sebagai salah satu cara untuk meningkatkan kualitas biomassa sebagai sumber energi. Secara umum, densifikasi biomassa mempunyai beberapa keuntungan, yaitu [15]:

- Menaikkan nilai kalor per unit volume.
- Mudah disimpan dan diangkut.
- Mempunyai ukuran dan kualitas yang seragam.

Biomassa mempunyai energi kira-kira 1/3 energi batubara per unit massa dan 1/4 energi batubara per unit volume. Densifikasi dapat mengubahnya menjadi masing-masing 2/3 dan 3/4 [16]. Secara umum teknologi pembriketan dapat dibagi menjadi tiga [17] :

- Pembriketan dengan tekanan tinggi.

Teknologi pembriketan ini adalah dengan memadatkan bahan biomassa dengan tekanan tinggi. Proses pembuatannya umumnya menggunakan teknologi *screw press* atau *piston press*. Akibat tekanan yang tinggi, partikel bahan biomassa akan pecah dan akan terbentuk ikatan dengan partikel-partikel biomassa yang lain.

- Pembriketan bertekanan sedang dengan bantuan alat pemanas

Teknologi pembriketan dengan cara ini adalah dengan memadatkan bahan biomassa dengan tekanan sedang. Akan tetapi, pada proses pemadatannya, bahan biomassa tersebut dipanasi dengan alat pemanas yang berfungsi seperti lem yang akan membantu proses pengikatan partikel-partikel bahan biomassa.

- Pembriketan bertekanan rendah dengan bahan pengikat.

Teknologi pembriketan ini adalah dengan menggunakan tekanan yang rendah. Untuk membentuk ikatan antara partikel-partikel biomassa, digunakan bahan pengikat (contohnya adalah amilum/tepung kanji).

Syarat briket yang baik adalah briket yang permukaannya halus dan tidak meninggalkan bekas hitam di tangan. Selain itu, sebagai bahan bakar, briket juga harus memenuhi kriteria sebagai berikut [18]:

- Mudah dinyalakan.
- Tidak/sedikit mengeluarkan asap.
- Emisi gas hasil pembakaran tidak mengandung racun.
- Kedap air hasil pembakaran tidak berjamur bila disimpan dalam waktu yang lama.
- Menunjukkan upaya laju pembakaran (waktu, laju pembakaran, dan suhu pembakaran) yang baik.

Kemudian, terdapat berbagai bentuk briket. Berbagai macam bentuk yang umum dikenal adalah :

- Bentuk oval.



Gambar 2. 9 Briket dengan Bentuk Oval

- Bentuk sarang tawon.



Gambar 2. 10 Briket dengan Bentuk Sarang Tawon

- Bentuk silinder.



Gambar 2. 11 Briket dengan Bentuk Silinder

- Bentuk Telur



Gambar 2. 12 Briket dengan Bentuk Telur.

Jika dilihat dari kandungannya, parameter kualitas briket yang baik adalah :

a) Kandungan air

Kandungan air yang dikandung dalam briket dapat dinyatakan dalam dua macam :

- *Free moisture* (uap air bebas)

Free moisture dapat hilang dengan penguapan, misalnya dengan *air drying*. Kandungan *free moisture* sangat penting dalam perencanaan *handling* dan *preparation equipment*.

- *Inherent moisture* (uap air terikat)

Kandungan *inherent moisture* dapat ditentukan dengan memanaskan briket antara temperatur 104-110° C selama satu jam.

b) Kandungan abu (*ash*)

Semua briket mempunyai kandungan zat anorganik yang dapat ditentukan jumlahnya sebagai berat yang tinggal apabila briket dibakar secara sempurna. Zat yang tinggal ini disebut abu. Abu briket berasal dari *clay*, pasir, dan bermacam-macam zat mineral lainnya. Briket dengan kandungan abu yang tinggi sangat tidak menguntungkan karena akan membentuk kerak.

c) Kandungan zat terbang (*volatile matter*)

Zat terbang terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti hydrogen, karbon monoksida (CO), dan metana (CH₄). Tetapi kadang-

kadang terdapat juga gas-gas yang tidak terbakar seperti karbon dioksida (CO_2) dan H_2O . *Volatile matter* adalah bagian dari briket dimana akan berubah menjadi *volatile matter* (produk) bila briket tersebut dipanaskan tanpa udara pada suhu tertentu. Untuk kadar *volatile matter* $\pm 40\%$ pada pembakaran akan memperoleh nyala yang panjang dan akan memberikan asap yang banyak. Sedangkan untuk kadar *volatile matter* yang rendah antara 15-25 % lebih disenangi dalam pemakaian karena asap yang dihasilkan sedikit.

d) Nilai kalor

Nilai kalor dinyatakan sebagai *heating value* yang merupakan suatu parameter yang penting dari suatu *thermal coal*. *Gross caloric value* diperoleh dengan membakar suatu sampel briket di dalam bom kalorimeter dengan mengembalikan sistem ke *ambient* temperatur. *Net caloric value* biasanya berkisar antara 93-97 % dari *gross caloric value* dan tergantung dari kandungan *inherent moisture* serta kandungan hidrogen dalam briket.

2.8 Teknologi Pembriketan

Proses pembriketan adalah proses pengolahan yang mengalami perlakuan penggerusan, pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan pada kondisi tertentu, sehingga diperoleh briket yang mempunyai bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia tertentu. Tujuan dari pembriketan adalah untuk meningkatkan kualitas bahan sebagai bahan bakar, mempermudah penanganan, dan transportasi serta mengurangi kehilangan bahan dalam bentuk abu pada proses pengangkutan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembriketan adalah :

- Ukuran dan distribusi partikel.

Ukuran partikel mempengaruhi kekuatan briket yang dihasilkan karena ukuran yang lebih kecil akan menghasilkan rongga yang lebih kecil pula sehingga kuat tekan briket akan semakin besar.

- Kekerasan bahan.
Kekuatan briket yang diperoleh akan berbanding terbalik dengan kekerasan bahan penyusunnya.
- Sifat elastisitas dan plastisitas bahan.

Tabel 2. 6 Nilai Standar Mutu Briket Batu Bara [19]

Sifat-Sifat	Standar Mutu Batu Bara				
	Komersial	Impor	Jepang	Inggris	USA
Moisture (%)	7-8	6-8	6-8	3-4	6
Ash (%)	5.26	5-6	5-7	8-10	16
Volatile Matter (%)	15.24	15-28	15-30	16.4	19-28
Fixed Carbon (%)	77.36	65-75	60-80	75	60
Kerapatan (%)	0.4	0.53	1.0-1.2	0.46-0.84	1.0-1.2
Kekuatan Tekan (%)	50	46	60	12.7	62
Nilai Kalor (%)	6000	4700-5000	5000-6000	5870	4000-6500

2.8.1 Prinsip Pembuatan Briket

Dalam proses pembuatan briket, tahapan-tahapan yang perlu dilewati adalah sebagai berikut :

- Pengeringan bahan briket.
- Penggerusan atau penggilingan.
- Pencampuran dengan ditambah dengan bahan perekat.
- Pencetakan briket.
- Pengeringan briket.

2.8.1.1 Pengeringan Bahan

Tahap pertama yang dilakukan dalam proses pembuatan briket adalah pengeringan, dimana ketika sebuah partikel dipanaskan dengan dikenai temperatur tinggi atau radiasi api, air dalam bentuk *moisture* di permukaan bahan biomassa akan menguap, sedangkan yang berada di dalam akan mengalir keluar melalui pori-pori partikel dan menguap. *Moisture* dalam bahan biomassa terdapat dalam dua bentuk. Pertama sebagai air bebas (*free water*) yang mengisi

rongga pori-pori di dalam bahan bakar dan yang kedua sebagai air terikat (*bound water*) yang terserap di permukaan ruang dalam struktur bahan biomassa [20].

2.8.1.2 Penggerusan atau penggilingan

Biasanya, ukuran partikel biomassa mempunyai bentuk dan ukuran yang tidak seragam. Agar bentuk dan ukuran bahan biomassa menjadi seragam, diperlukan alat atau mesin penggiling untuk menghaluskan / memperkecil ukuran bahan biomassa. Tipe mesin penggiling yang digunakan biasanya sama dengan penggiling tepung atau bisa juga digunakan blender jika skala produksinya kecil.

2.8.1.3 Pencampuran

Sifat alamiah biomassa cenderung saling memisah. Dengan bantuan bahan perekat atau lem, partikel-partikel biomassa dapat disatukan dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Namun permasalahannya terletak pada jenis bahan perekat yang akan dipilih. Penentuan bahan perekat yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kualitas briket ketika dibakar atau dinyalakan. Faktor harga dan ketersediaannya di pasaran harus dipertimbangkan secara seksama karena setiap bahan perekat memiliki daya lekat yang berbeda-beda karakteristiknya. Untuk menghasilkan briket dengan kualitas yang baik, hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan suatu bahan perekat adalah sebagai berikut :

- Memiliki gaya kohesi yang baik bila dicampur dengan bahan biomassa.
- Mudah terbakar dan tidak berasap.
- Mudah didapat dan harganya terjangkau.
- Tidak mengeluarkan bau, tidak beracun, dan tidak berbahaya.

Selain itu, terdapat jenis-jenis bahan perekat berdasarkan bahan baku perekatnya. Jenis bahan baku yang umum dipakai sebagai perekat dalam proses pembuatan briket adalah :

a) Perekat anorganik.

Perekat anorganik dapat menjaga ketahanan briket selama proses pembakaran sehingga dasar permeabilitas bahan tidak terganggu. Perekat

anorganik ini mempunyai kelemahan yaitu adanya tambahan abu yang berasal dari bahan baku sehingga dapat menghambat pembakaran dan menurunkan nilai kalor. Contoh dari pengikat anorganik antara lain adalah semen, dan natrium silikat.

b) Perekat organik.

Perekat organik menghasilkan abu yang relatif sedikit setelah pembakaran briket dan umumnya merupakan bahan perekat yang efektif. Bahan-bahan yang biasanya digunakan sebagai bahan baku perekat organik ini adalah :

- Lempung (*clay*)

Clay atau yang sering disebut lempung atau tanah liat umumnya banyak digunakan sebagai bahan perekat briket. Jenis-jenis lempung yang dipakai untuk pembuatan briket terdiri dari jenis lempung dengan warna kemerah-merahan, kekuning-kuningan, dan abu-abu. Perekat jenis ini menyebabkan briket membutuhkan waktu yang lama untuk proses pengeringannya dan briket menjadi agak sulit menyala ketika dibakar.

- Tapioka

Jenis tapioka beragam kualitasnya tergantung dari proses pembuatannya terutama pencampuran airnya dan pada saat dimasak sampai mendidih. Tapioka juga banyak digunakan sebagai bahan pengental, bahan pengisi, dan bahan pengikat dalam industri makanan seperti dalam pembuatan pudding, sop, pengolahan sosis daging, dan lain-lain.

- Getah karet.

Daya lekat getah karet lebih kuat dibandingkan dengan tanah liat dan tapioka. Namun, ongkos produksinya lebih mahal dan agak sulit mendapatkannya. Briket dengan perekat jenis ini akan menghasilkan asap yang tebal berwarna hitam dan beraroma kurang sedap bila dibakar.

- Getah pinus

Keunggulan perekat ini terletak pada daya benturannya yang kuat, meskipun dijatuhkan dari tempat yang tinggi briket akan tetap utuh serta mudah menyala jika dibakar. Namun, asap yang keluar cukup banyak dan menyebabkan bau yang cukup menusuk hidung.

Untuk mendapatkan karbon yang memiliki sifat yang unggul dari segi mutu dan lebih ekonomis dari segi biaya produksinya, tidak jarang dalam proses pembuatannya dikombinasikan 2 jenis bahan perekat sekaligus. Di sisi lain, penggabungan macam-macam perekat ini bertujuan untuk meningkatkan ketahanan briket dari faktor-faktor yang kurang menguntungkan seperti temperatur ekstrim, kelembaban tinggi, dan kerusakan selama pengangkutan.

Sebatas untuk keperluan sendiri, pencampuran adonan bahan biomassa dengan perekat cukup dengan kedua tangan disertai alat pengaduk kayu atau logam. Namun, jika jumlah briket yang akan diproduksi cukup besar, kehadiran mesin pengaduk adonan sangat dibutuhkan untuk mempermudah pencampuran dan meringankan kerja.

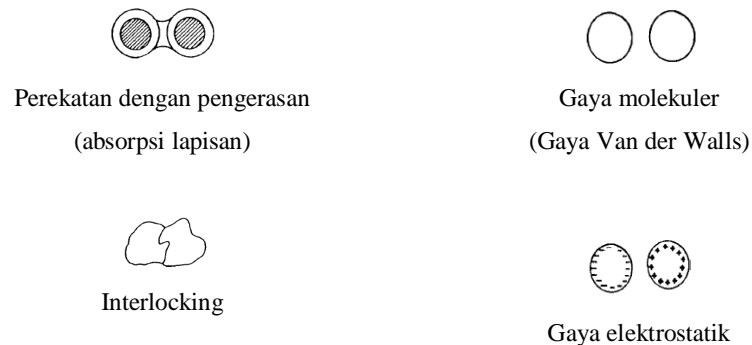
2.8.1.4 Pencetakan Briket

Pencetakan briket bertujuan untuk mendapatkan densitas tinggi dan memperoleh bentuk yang seragam dan memudahkan dalam pengemasan serta penggunaannya. Oleh karena itu, bentuk ketahanan briket yang diinginkan tergantung dari alat pencetak yang digunakan.

Pencetakan ini dapat membantu pada penggunaan biomassa untuk energi thermal karena pemadatan akan memperbaiki nilai kalor volumetric bahan bakar dan menurunkan biaya transportasi. Teknologi pembriketan dapat dibagi menjadi 3 kategori :

- Pemadatan dengan tekanan tinggi.
- Pemadatan dengan tekanan sedang dengan dibantu dengan pemanas.
- Pemadatan dengan tekanan rendah.

Jika bahan baku briket berupa butiran halus dan mudah terdeformasi maka pembriketan tidak membutuhkan perekat. Sedangkan beberapa bahan tertentu membutuhkan perekat dan tekanan press yang tinggi. Beberapa mekanisme perekatan dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2. 13 Mekanisme Perekatan

Karakteristik bahan bakar briket biomassa dipengaruhi oleh sifat-sifat fisika dan kimiawi biomassa. Sifat-sifat fisika antara lain kandungan air, densitas, dan konduktivitas termal. Sedangkan sifat-sifat kimiawi meliputi analisis proksimat dan ultimat, serta nilai kalor atas (*High Heating Value*). Sifat-sifat fisika akan mempengaruhi mekanisme perekatan. Pemadatan biomassa dengan tekanan tinggi akan mengarah pada mekanisme *interlocking* dan meningkatkan daya adhesi antar partikel, membentuk ikatan intermolekuler pada daerah kontakannya. Mekanisme perekatan biomassa pada tekanan tinggi dapat dibagi menjadi gaya kohesi dan gaya adhesi, gaya tarik-menarik antar partikel, dan ikatan *interlocking*. Gaya adhesi pada antar muka padat-cair dan gaya kohesi di dalam bahan padat digunakan untuk merekat. Lignin biomassa dapat diasumsikan juga untuk membantu perekatan partikel.

2.8.1.5 Pengerinan Briket

Umumnya kadar air pada briket yang telah dicetak masih sangat tinggi sehingga bersifat basah dan lunak. Oleh karena itu, briket perlu dikeringkan. Pengerinan bertujuan untuk mengurangi kadar air dan mengeraskannya hingga aman dari gangguan jamur dan benturan fisik. Berdasarkan caranya, dikenal dua

metode pengeringan, yaitu penjemuran dengan sinar matahari dan pengeringan dengan menggunakan oven.

2.9 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termal suatu zat yang terjadi tanpa adanya udara atau oksigen, dan merupakan langkah pertama dari semua pembakaran dan proses gasifikasi. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi. Proses ini merupakan peruraian dengan bantuan panas tanpa adanya oksigen atau dengan jumlah oksigen yang terbatas. Pirolisis dapat mengkonversi biomassa kayu menjadi arang, minyak cair dan gas. Hal ini berpotensi merupakan cara yang efektif untuk mengurangi besar biomassa menjadi bahan bakar energi padat, seragam dan mudah diangkut. Uap organik yang dihasilkan mengandung karbon monoksida, metana, karbon dioksida, tar yang mudah menguap dan air. Uap organik kemudian dikondensasikan menjadi cairan. Cairan hasil pirolisis dikenal sebagai bio-oil. Dengan proses pirolisis tersebut bahan baku berupa limbah organik akan terdekomposisi menjadi arang, bio-oil, dan syngas. Bio-oil dan syngas potensial untuk pembangkit listrik dan panas yang sangat dibutuhkan oleh proses industri. Ada tiga jenis luas pirolisis: lambat, ringan dan cepat. Ini dibandingkan pada Tabel 2.7 Setiap proses terjadi di bawah kondisi yang berbeda dan bentuk produk akhir yang berbeda.

Tabel 2. 7 Jenis pirolisis, istilah yang digunakan, produk dan status pengembangan

Jenis Pirolisis	Syarat Digunakan	Temperatur	Waktu Tinggal	Produk Primer	Status
Ringan	Torefaksi, Torifikasi, Pengeringan Tanpa Udara, Distilasi Destruktif	400-600°F (200-315 °C)	Pendek (5-30 menit)	Torrified kayu ('Bio- batubara')	Proyek Demonstrasi
Lambat	Pembuatan Arang, Karbonisasi	550-750°F (300-400°C)	Lama (berjam-jam)	Arang ('bio- arang')	Komersil
Cepat	Pirolisis Cepat, Flash Pyrolisis	750-1100°F (400-600°C)	Pendek (<1 detik)	Cairan ('bio- oil'), arang ('bio-arang'), gas(H ₂ , CH ₄ , CO & CO ₂). Asap cair	Proyek demonstrasi untuk produk energi. Komersil pada industri makanan.

2.9.1 Produk Pirolisis

Tiga kategori produk utama dari proses pirolisis merupakan padatan (arang, kayu dan torrefied arang), tar (kadang-kadang disebut bio-oil) dan campuran gas. Produk yang dihasilkan akan berbeda, tergantung pada jenis reaksi dan waktu, temperatur, komposisi bahan baku dan ukuran.

2.9.1.1 *Torrefied* kayu ('bio-batubara')

Bio-batubara adalah produk dari proses pirolisis ringan. Bahan baku biomassa dimodifikasi dengan proses termo-kimia dalam proses mengubah sifat-sifatnya. Bio-batubara memiliki massa lebih ringan dari bahan baku biomassa yang berarti, produk akan lebih mudah dan murah untuk transportasi. Karakteristik lain berarti bahwa bio-batubara dapat digunakan sebagai pengganti

langsung untuk batubara di pembangkit listrik. Ini termasuk kepadatan energi yang lebih tinggi (10.500 BTU / lb vs 8.500 BTU / lb untuk kayu), hidrofobik yang memungkinkan penyimpanan di luar ruangan, dan kemampuan untuk menghancurkan materi memungkinkan penggilingan dalam peralatan pengolahan batubara.

2.9.1.2 Arang ('bio-arang')

Arang telah dibuat dari kayu selama ribuan tahun menggunakan proses pirolisis lambat. bio-arang hitam berpori, bahan karbon terdiri dari 85 sampai 98% karbon. Bio-arang dapat diproduksi dalam bentuk gumpalan-gumpalan (terbentuk dari potongan kayu solid) atau bentuk briket (terbentuk dari partikel arang kecil dan aditif lainnya untuk meningkatkan ikatan dan pembakaran). Semua proses pirolisis membentuk beberapa jenis produk arang. Arang terdiri dari bahan anorganik dan organik padatan yang belum berubah. Bio-arang memiliki kandungan abu dan kandungan alkali yang lebih tinggi yang bila dibakar dapat menyebabkan masalah kerak dan korosi pada boiler.

2.9.1.3 Cair ('bio-oil')

Bio-oil adalah campuran dari komponen organik dengan kandungan air yang tinggi (15-35%) dan kandungan oksigen (35 - 40%). Karena kandungan air dan oksigen yang tinggi *bio-oil* memiliki nilai kalor relatif rendah - 50% dari bahan bakar konvensional [25]. *Bio-arang* adalah asam (pH 2-3, terutama asetat dan asam formiat) dan oleh karena itu sangat korosif yang juga membatasi aplikasi yang potensial. Hal ini tidak stabil dalam penyimpanan sebagai bahan bakar fosil. Viskositas dan berat molekul meningkat dengan seiring waktu dan pemisahan fase mungkin terjadi. *Bio-oil* tidak mungkin untuk langsung dicampur dengan bahan bakar berbasis hidrokarbon lainnya [26].

2.9.1.4 Gas

Gas terkondensasi (uap organik yang terdiri dari fragmentasi lignin, selulosa dan hemiselulosa) yang didinginkan dengan cepat membentuk minyak *bio-oil* pada pirolisis cepat. Gas non-terkondensasi dari pirolisis termasuk

hidrogen, metana, karbon monoksida dan karbon dioksida. Proses ini memungkinkan untuk menghasilkan hidrogen dalam volume besar dalam preferensi untuk minyak dengan mengoptimalkan kondisi untuk suhu tinggi, laju pemanasan tinggi dan waktu tinggal fase uap yang panjang [27,28]. Katalis dapat meningkatkan hasil hidrogen. Katalis yang umum digunakan ialah nikel, potasium, kalsium dan berbasis magnesium. *Steam* terbentuk dari uap dan air-gas reaksi pergeseran lanjut dapat meningkatkan produksi hydrogen [25,29]. Hal ini juga memungkinkan untuk menghasilkan hidrogen dari bio-oil atau hanya larut dalam fraksi air [25,29].

2.9.2 Proses dan Peralatan

Semua proses pirolisis yang endoterm memerlukan energi panas untuk mendorong reaksi. Sumber panas mungkin eksternal (misalnya, sebuah kumparan pemanas listrik atau kompor propana) atau mungkin internal disediakan (misalnya dengan pembakaran sebagian bahan baku atau cairan atau gas yang diproduksi). Pada pemanasan transfer energi, ke permukaan partikel biomassa dan kemudian menembus di dalam partikel. Panas memecah ikatan kimia dalam partikel dan biomassa terdegradasi menjadi bagian-bagian penyusunnya (depolimerisasi dan fragmentasi lignin, hemiselulosa, selulosa, dan fraksi ekstraktif) [30].

Produk proses pirolisis merupakan padatan (arang), gas dan uap kondensat organik. Campuran produk tergantung pada jenis dan parameter proses pirolisis. Tabel 2.8 merangkum hasil produk untuk proses pirolisis perkiraan. Hasil pirolisis lambat terutama berbentuk char (arang) sedangkan obyek pirolisis cepat adalah untuk memaksimalkan penguapan partikel kayu untuk memberikan hasil yang tinggi dari cairan (bio-oil). Proses ini bisa menaikan sampai 80% dari massa bahan awal, namun paling sering adalah antara 65-75% (basis berat kering) [31]. Dalam pirolisis cepat arang biasanya dipisahkan dari gas panas / aliran uap sementara melewati siklon, gas kemudian masuk ruang pendingin di mana gas lalu terkondensasi cepat untuk membentuk fase tunggal bio-minyak gelap atau dikumpulkan sebagai gas non-terkondensasi

(hidrogen, metana, karbon monoksida dan karbon dioksida). Banyak jenis reaktor telah dirancang dan dikembangkan dari laboratorium untuk skala komersial [31]. Persyaratan operasi seperti ukuran partikel dan mekanisme perpindahan panas berbeda dan secara signifikan mempengaruhi produk yang dihasilkan.

Tabel 2. 8 Produk hasil dari proses pirolisis.

Tipe Pirolisis	Hasil Produk		
	Cairan	Padat	Gas
Ringan	~11%	70-90%	~2%
Lambat	30%	35%	35%
Cepat	75%	12%	13%

2.10 Analisa Nilai Kalor

Apabila kita mengamati pembentukan CO_2 dari elemen-elemen pembentuknya, karbon dan oksigen, selama proses pembakaran dengan aliran tetap, baik karbon dan oksigen memasuki ruang pembakaran pada 25°C dan 1 atm. CO_2 yang terbentuk dari reaksi ini juga keluar dari ruang pembakaran pada 25°C dan 1 atm. Pembakaran dari karbon merupakan proses eksotermik. Proses eksotermik adalah reaksi yang mengeluarkan energi kimia dalam bentuk panas. Karenanya, panas akan ditransfer dari ruang pembakaran ke lingkungan sekeliling selama proses berlangsung, yang bernilai sekitar 393,520 kJ/kmol CO_2 yang terbentuk. Proses di atas tidak melibatkan adanya kerja. Sehingga, dari persamaan konservasi energi *steady flow*, perpindahan panas selama proses ini berlangsung harus sama dengan perbedaan antara entalpi produk dan entalpi reaktan.

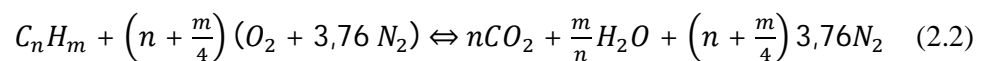
Entalpi pembentukan (formasi) dari suatu senyawa merupakan perbedaan antara entalpi senyawa tersebut, h_{senyawa}^o , dengan entalpi berbagai zat elemental yang berbentuk senyawa tersebut, selanjutnya dievaluasi pada tingkat standar.

Entalpi pembentukan secara konvensional dinotasikan oleh Δh_f^o , dan dengan dasar molal, yang dinyatakan sebagai,

$$\Delta \hat{h}_f^o = h_{\text{senyawa}}^o - \sum V_i h_i^o \quad (2.1)$$

Dalam rumusan di atas, h_i^o merupakan entalpi molal zat elemental ke- i yang terlibat dalam reaksi pembentukan (*formation reaction*), dan V_i adalah jumlah mol zat elemental ke- i yang terlibat dalam pembentukan suatu mol senyawa tersebut. Entalpi pembentukan dapat ditentukan melalui berbagai pengukuran perpindahan energi sebagai panas dan kerja yang tepat dan merupakan sifat yang lazim ditabulasikan. Menurut konvensi, berbagai zat elemental mempunyai entalpi sebesar nol pada tingkat keadaan standar. Oleh karena itu, entalpi suatu senyawa pada tingkat keadaan referensi standar adalah entalpi pembentukannya saja. Entalpi senyawa pada berbagai tingkat lainnya juga dapat ditentukan dengan menggunakan entalpi titik datum yang disebut dengan entalpi standarisasi. Secara sederhana, entalpi standarisasi ini dikaitkan secara wajar dengan entalpi berbagai elemen, dan senyawa lainnya. (Perkins, 1991)

Pembakaran pada berbagai bahan bakar dilakukan dengan menuliskan kesetimbangan energi dengan basis per satu mol bahan bakar. Biasanya berbagai produk pembakaran diasumsikan mengandung H_2O , CO_2 , dan N_2 , ditambah O_2 jika pencampuran lebih dilakukan. Reaksi stoikiometrik persamaan kimianya adalah :



Dalam reaksi tersebut, koefisien stoikiometrik menyatakan banyaknya spesies dari produk dan dari reaktan atas dasar per mol bahan bakar. Sedangkan kesetimbangan energi atas dasar per satu mol bahan bakar adalah

$$\hat{H}_R = \hat{H}_p + \hat{Q} \quad (2.3)$$

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa berbagai entalpi total dari produk dan reaktan, per mol bahan bakar, dapat dinotasikan dengan \hat{H}_p dan \hat{H}_R . \hat{Q} merupakan perpindahan energi sebagai pemanas dari pembakar per mol bahan bakar yang terbakar. Biasanya, \hat{H}_R , \hat{H}_p , dan \hat{Q} ditentukan dengan menganggap

bahwa reaksi berlangsung pada tingkat keadaan referensi standar (1 atm, 15° C) karena diperoleh dengan cara yang masuk akal untuk membandingkan berbagai bahan bakar. Untuk berbagai kondisi tersebut, diperoleh

$$\begin{aligned} \hat{H}_P^o &= (\sum_i N_i h_i) \text{ produk} \\ \hat{H}_R^o &= (\sum_i N_i h_i) \text{ reaktan} \end{aligned}$$

Dalam rumusan tersebut dapat diketahui bahwa berbagai bilangan mol, N_i , secara sederhana menyatakan berbagai koefisien stoikiometrik dalam persamaan kimia. Sedangkan \hat{Q} disebut nilai pemanasan (*heating value*) atau panas reaksi (*heat of reaction*) dari bahan bakar. \hat{Q} digunakan untuk menyatakan energi yang harus dipindahkan sebagai panas dari sistem, per mol bahan bakar untuk mempertahankan agar sistem tetap berada pada temperatur yang konstan. Istilah entalpi pembakaran (*entalpi of combustion*) terkadang juga digunakan untuk harga negatif dari \hat{Q} , yang dinyatakan kemudian oleh \hat{H}_{RP}^o .

$$\hat{H}_{RP}^o = -\hat{Q} = \hat{H}_P^o - \hat{H}_R^o \quad (2.4)$$

H₂O dalam berbagai produk dapat timbul dalam fase cair atau uap. Apabila H₂O berada pada fase cairnya, \hat{Q} disebut sebagai nilai pemanasan atas (*Higher Heating Value/HHV*). Sedangkan bila H₂O dalam bentuk uap, \hat{Q} disebut nilai pemanasan bawah (*lower heating value/LHV*). Perlu diingat bahwa kelangsungan kondensasi terkait pembebasan h_{fg} , yang memperbesar harga \hat{Q} , sehingga didapat HHV>LHV. Hubungan antara nilai panas atas dan nilai panas bawah dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q_{HHV_P} = Q_{LHV_P} + \left(\frac{m_{H_2O}}{m_f}\right) h_{fg} HO \quad (2.5)$$

$$Q_{HHV_V} = Q_{LHV_V} + \left(\frac{m_{H_2O}}{m_f}\right) h_{fg} HO \quad (2.6)$$

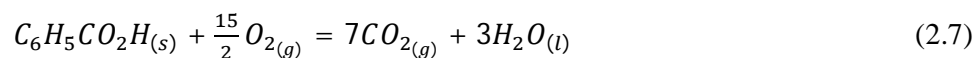
Dengan tanda subskrip P untuk tekanan konstan, dan V untuk volume konstan. Sedangkan $\left(\frac{m_{H_2O}}{m_f}\right)$ merupakan rasio massa H₂O yang dihasilkan dengan masa bahan bakar.

2.11. Menentukan Nilai Kalor Menggunakan Bomb Kalorimeter

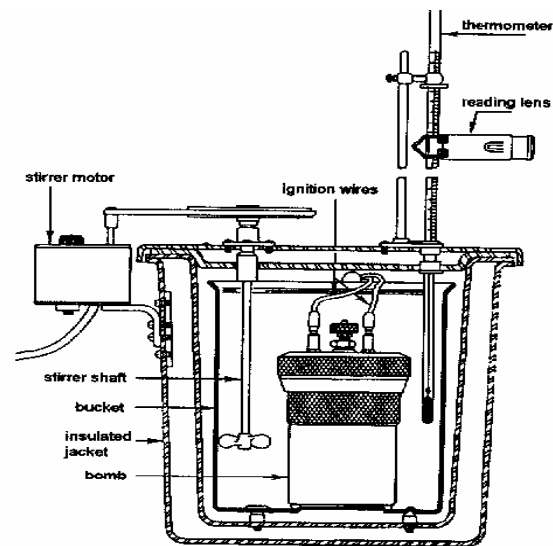
Nilai entalpi pembentukan dari suatu bahan yang tersusun dari beberapa unsur yang simple dan mudah dikenali seperti karbon, oksigen, nitrogen, dan lain-lain. Dapat diketahui dengan menggunakan analisa berdasarkan data-data yang sudah ditabelkan. Sedangkan untuk bahan bakar dengan komposisi penyusunnya tidak diketahui secara detail, entalpi dari reaktan tidak dapat ditentukan dari entalpi pembentukan suku-suku reaktan.

Nilai panas atau nilai kalori dari bahan bakar merupakan ukuran dari panas reaksi pada volume konstan dan keadaan standar untuk pembakaran sempurna satu mol bahan bakar (Heywood, 1989). Untuk menghitung nilai kalor bahan bakar cair dan padat akan lebih memuaskan bila membakar bahan bakar tersebut di bawah kondisi tekanan oksigen tinggi dan volume konstan pada bom kalorimeter.

Bom kalorimeter merupakan suatu tempat atau wadah tertutup yang dapat menahan tekanan gas sampai beberapa atmosfer, dan suhu yang tinggi, tanpa harus mengalami pengikisan atau kerusakan di bagian-bagiannya. Bahan yang ingin diketahui nilai kalor pembentukannya diledakkan dalam bom kalorimeter tersebut, setelah sebelumnya sekeliling bom kalorimeter tersebut kondisinya dijaga agar tetap sama dengan yang ada di dalam bom kalorimeter. Hal ini dimaksudkan tidak ada energi yang hilang akibat adanya perbedaan suhu di dalam dan di luar bom kalorimeter. Setelah bom diledakkan maka akan terjadi perubahan suhu di dalam bom kalorimeter. Yang perlu diambil atau dicatat adalah perubahan temperatur awal dan akhir dari bom kalorimeter tersebut setelah 6 menit. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa entalpi standar pembakaran dari suatu bahan dapat disebut juga dengan perubahan entalpi ΔH_T^0 yang mendampingi suatu proses yang bahan tersebut bereaksi dengan gas oksigen membentuk produk pembakaran, semua reaktan dan produk yang dihasilkan berada pada keadaan standar dan pada temperatur yang diberikan T. Sebagai contoh untuk entalpi pembakaran benzoid acid pada 298,15 K adalah $\Delta H_{298,15}$ untuk proses :



Dengan reaktan dan produk berada pada keadaan standar untuk temperatur T . Entalpi pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan kenaikan temperatur yang terjadi, yang merupakan hasil dari adanya reaksi pembakaran pada kondisi adiabatik di dalam kalorimeter. Sangatlah penting bila proses pembakaran yang terjadi harus sempurna. Bahan yang akan diuji dimasukkan ke dalam bom kalorimeter dan diberi tekanan antara 30 sampai 40 atm, tergantung kemampuan bom kalorimeter.

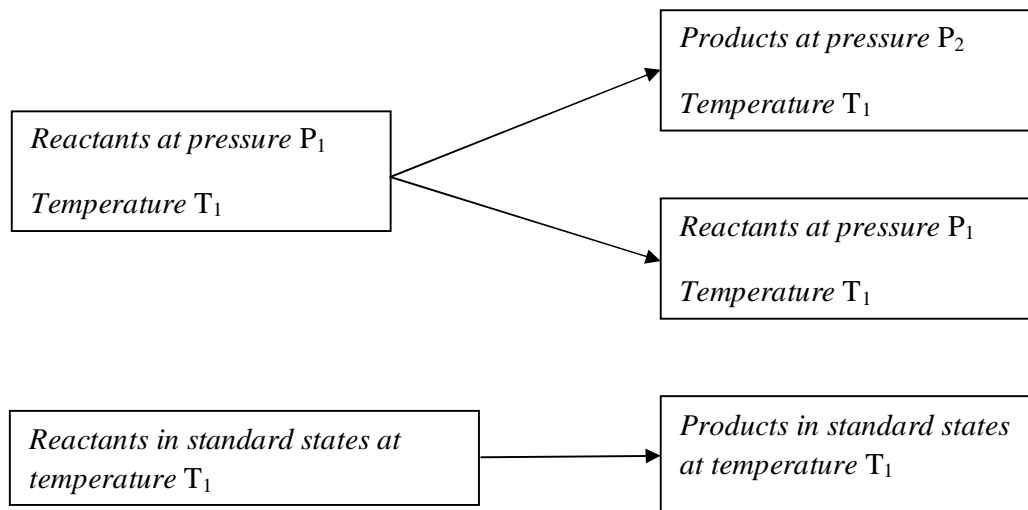


Gambar 2. 14 Potongan *Bomb Calorimeter*

Pada bom kalorimeter jaket adiabatik, bomb dimasukkan ke dalam suatu kaleng berisi air murni sampai tenggelam yang sudah dilengkapi oleh termometer. Susunan ini juga berada pada bagian dalam suatu jaket yang sudah terisi air. Sebelum dan sesudah terjadi pembakaran, temperatur jaket tersebut dijaga agar tetap sama dengan air yang ada di kaleng. Jika temperatur keduanya sama dengan akurasi yang mencukupi, sekitar $0,02^{\circ}\text{C}$, antara kaleng dengan isinya dianggap tidak ada perpindahan energi keluar maupun ke dalam kaleng, sehingga disebut adiabatik.

Dalam bom kalorimeter ini, proses yang terjadi tidak sama dengan yang ada pada pembakaran standar yang sudah dijelaskan pada contoh sebelumnya.

Pada proses aktual, temperatur kalorimeter final dan awal pembakaran tidaklah sama, dengan produk dan reaktan tidak dalam kondisi standar.



Gambar 2.15. Hubungan Antara Kondisi-Kondisi yang Terjadi Pada kalorimeter

Hubungan antara proses isothermal keadaan standar dengan proses di kalorimeter dapat dilihat pada gambar di atas. Temperatur awal dan akhir dari kalorimeter adalah T_1 dan T_2 . Berbagai keadaan dapat dilihat pada gambar, pada setiap anak panah dituliskan perubahan energi pada kaleng dan isinya dari kondisi yang satu ke kondisi lain. Di sini, ΔU_c adalah perubahan energi dari proses aktual di kalorimeter, sedangkan ΔU_T merupakan perubahan energi yang diasumsikan yang memiliki kondisi akhir pada T_1 . Kapasitas panas C merupakan sifat dari kaleng beserta isinya yang berada pada kondisi eksperimen. Kerja ekspansi dari air pada kaleng dapat ditiadakan.

Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa energi adalah kekal, dan hanya bisa berubah dari energi yang satu menjadi energi yang lain.

$$\Delta U = q - w \quad (2.8)$$

Dengan ΔU = perubahan energi dalam sistem

q = perpindahan energi dalam bentuk panas ke dalam sistem

$-w$ = kerja yang dilakukan sistem

Hukum termodinamika di atas dapat diaplikasikan pada proses aktual kalorimeter, yang diasumsikan berlangsung dalam kondisi adiabatik ($q=0$). Pada proses yang dilakukan, pada eksperimen menggunakan bom kalorimeter, -w, yang merupakan kerja yang dilakukan oleh pengaduk dianggap tidak ada dan persamaan di atas menjadi :

$$\Delta U = 0 \quad (2.9)$$

Karena perubahan energi tidak terpengaruh oleh prosesnya, hanya keadaan awal dan akhir yang ditinjau, maka

$$\Delta U_c = \Delta U_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} C dT \quad (2.10)$$

Karena perubahan suhu sangat kecil, kita dapat menganggap C konstan, sehingga integral di atas menjadi sama dengan $C(T_2 - T_1)$. Sehingga

$$\Delta U_{T_1} = -C(T_2 - T_1) \quad (2.11)$$

Perubahan entalpi standar $\Delta H_{T_1}^o$ selanjutnya dapat diketahui. Dari definisi dari H, kita akan mendapatkan

$$\Delta H_{T_1}^o = \Delta U_{T_1}^o + \Delta(PV) \quad (2.12)$$

Untuk gas ideal suku $\Delta(PV)$ akan menjadi $((n_2 - n_1)RT)$. Hasilnya adalah

$$\Delta(PV) = (n_2 - n_1)RT \quad (2.13)$$

Dengan n_2 = jumlah mol produk yang berbentuk gas

n_1 = jumlah mol reaktan yang berbentuk gas

Jumlah energi yang dibutuhkan untuk meledakkan bahan pada kalorimeter disebut dengan panas pembakaran, yang mewakili energi yang dihasilkan oleh bahan pada saat bahan tersebut terbakar. Secara teori, semua energi yang dihasilkan pada saat pembakaran terpakai untuk memanaskan lingkungan sekitar (air) dan kalor dari reaksi dapat dikalkulasikan menggunakan rumus :

$$Q = m_{H_2O} C_{p,H_2O} \Delta T_{H_2O} = m_{\text{bahan}} \Delta H_{\text{pembakaran,bahan}} \quad (2.14)$$

Meskipun demikian, ada sumber kalor lain selain bahan tersebut, seperti kawat yang ikut terbakar dan reaksi susulan yang menghasilkan asam sulfur dan asam nitrat. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kalor pembakaran kotor (H_g) adalah sebagai berikut :

$$H_g = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (2.15)$$

- Dimana : t = *net corrected temperatur size*
 = temperatur equilibrium akhir – temperatur saat bom diledakkan
 W = energi ekuivalen dari kalorimeter
 e1 = koreksi untuk panas pembentukan asam nitrat dalam kalori
 = milliliter campuran alkali 0,0709 N digunakan pada titrasi
 e2 = koreksi untuk panas pembakaran dari kawat dalam kalori
 = 2,3 (cal/cm) X panjang kawat (parr 45C10) terbakar (cm)
 e3 = koreksi untuk panas pembentukan asam sulfur dalam kalori

Sedangkan untuk mengetahui energi ekuivalen dari kalorimeter, lebih dahulu kita menggunakan bahan yang sudah diketahui nilai kalornya dengan menggunakan rumus :

$$W = \frac{H.m + e_1 + e_2}{t} \quad (2.16)$$

- Dimana : H = kalor pembakaran bahan yang sudah diketahui
 e1 = koreksi untuk panas pembentukan asam nitrat dalam kalori
 = milliliter campuran alkali 0,0709 N digunakan pada titrasi
 e2 = koreksi untuk panas pembakaran dari kawat dalam kalori
 = 2,3 (cal/cm) X panjang kawat (parr 45C10) terbakar (cm)

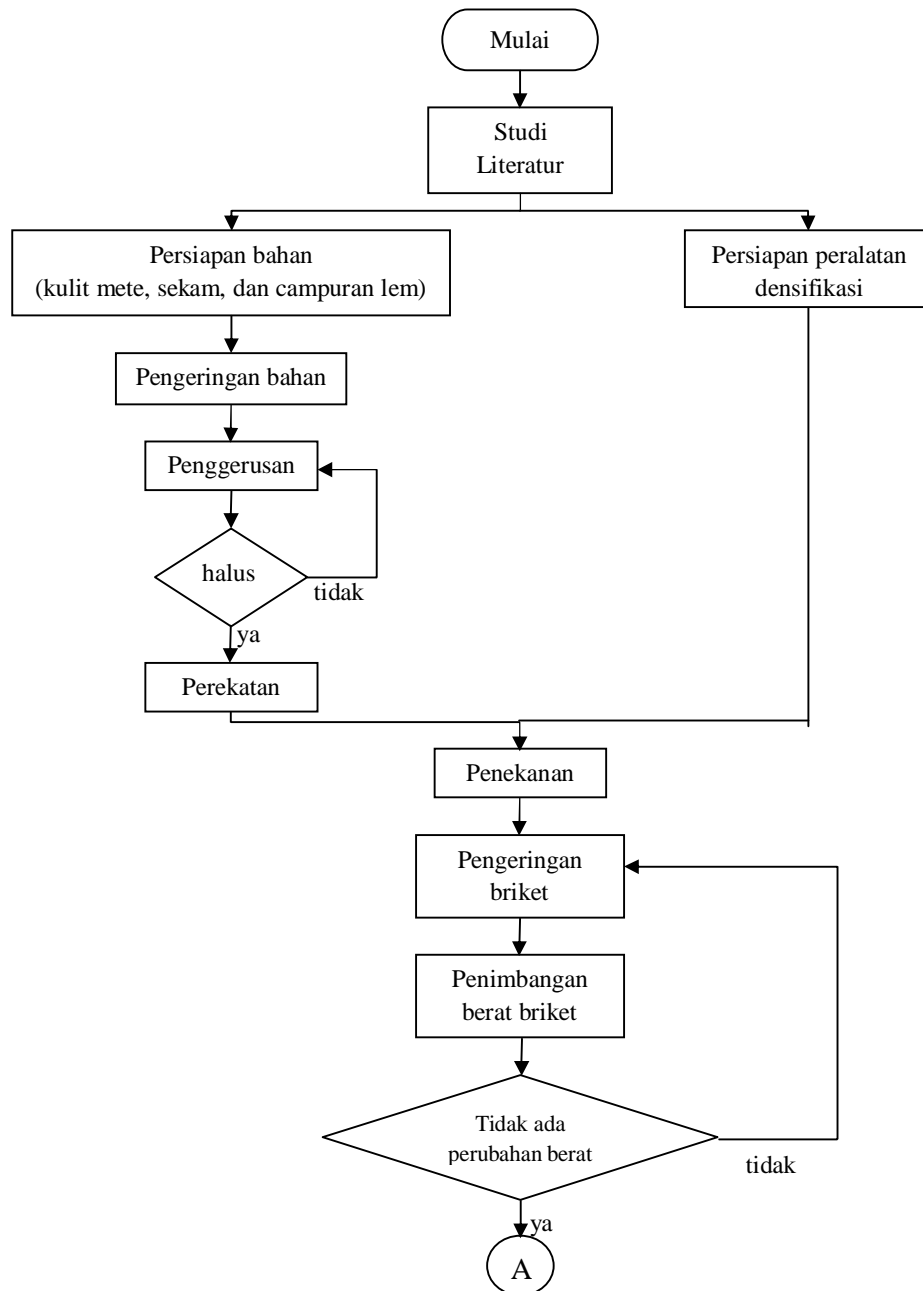
Bahan yang digunakan sebagai acuan nilai standar adalah benzoid acid, yang memiliki nilai kalor 6318 cal/g.

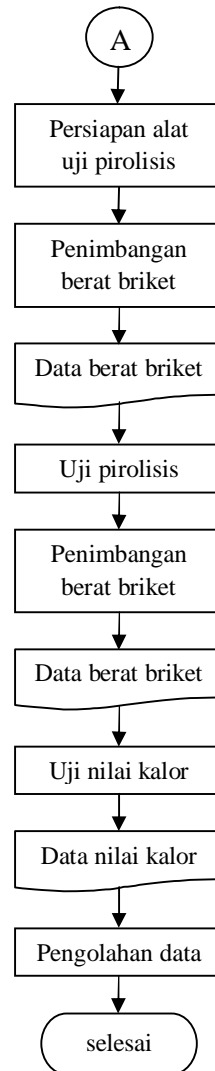
Dari setiap pengujian nilai kalor menggunakan bom kalorimeter, variable yang didapat adalah perbedaan temperatur awal (kondisi stabil) dengan temperatur akhir yang tertinggi setelah bahan yang diuji dibakar. Setelah itu dilakukan metode titrasi untuk mengetahui koreksi untuk panas pembentukan asam nitrat dan asam sulfur.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini :





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

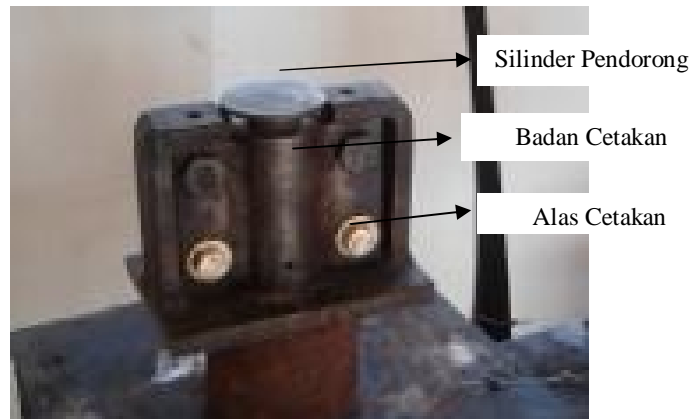
3.2 Persiapan Peralatan dan Bahan Pembuatan Biobriket

3.2.1 Persiapan Peralatan

Dalam pembuatan biobriket ini, alat-alat yang dibutuhkan adalah :

- 1) Cetakan briket

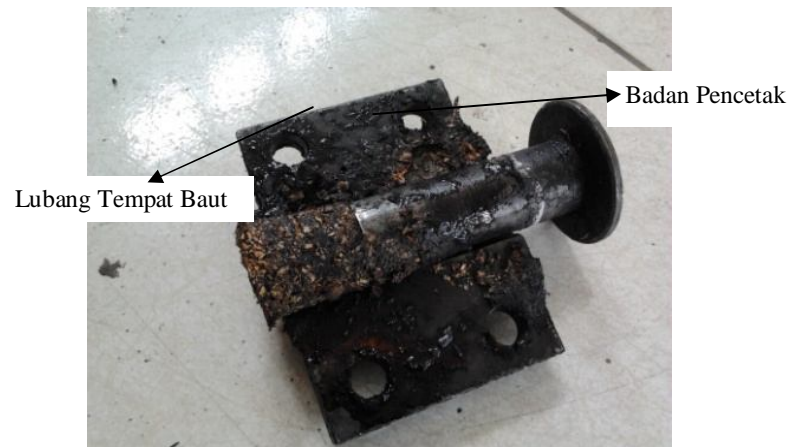
Cetakan briket yang digunakan dalam pembuatan sampel terbuat dari plat baja dan memiliki ukuran ketebalan 7,5 mm. Cetakan ini terdiri dari 3 bagian utama yaitu badan cetakan, alas cetakan, dan silinder pendorong.



Gambar 3. 2 Cetakan Briket

a) Badan Pencetak

Bagian ini memiliki dua bagian yang jika digabungkan, terbentuk suatu silinder dengan diameter 25 mm dan panjang 70 mm. Pada bagian samping terdapat lubang tempat memasang baut yang berguna untuk menyatukan kedua bagian badan pencetak.



Gambar 3. 3 Bagian Badan Pencetak

b) Alas Cetakan

Bagian ini merupakan bagian bawah dari cetakan yang berguna untuk menutup lubang bagian bawah badan cetakan supaya ketika dilakukan pengepresan, bahan briket tidak terdorong keluar.

c) Silinder Pendorong

Bagian ini mempunyai diameter 24,9 mm dan panjang 70 mm. Berfungsi untuk mendorong dan menekan bahan briket saat dilakukan pengepresan.

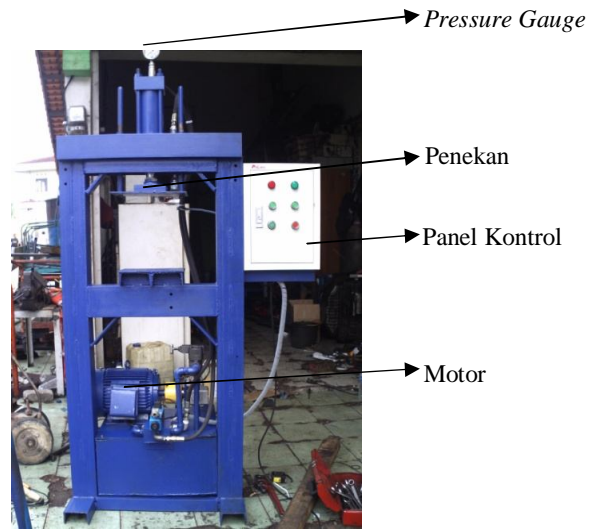
2) Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat bahan-bahan yang akan digunakan seperti kulit mete, sekam padi, dan perekat. Selain itu, juga digunakan untuk mengukur berat briket saat dilakukan pengujian.



Gambar 3. 4 Timbangan Digital

3) Alat Pres Hidrolik



Gambar 3. 5 Alat Pres Hidrolik

Alat pres ini menggunakan sistem tenaga hidrolik untuk memberikan tekanan pada silinder pendorong untuk menekan bahan briket dalam badan cetakan. Alat yang digunakan adalah alat pres hidrolik yang terdapat di Lab. *Thermofluid* Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

4) *Blender*



Gambar 3. 6 *Blender*

Blender digunakan untuk menghancurkan bahan briket menjadi ukuran yang lebih kecil dan seragam.

5) Kunci pas

Kunci pas digunakan untuk mengendurkan dan mengencangkan baut yang terdapat pada bagian badan cetakan.



Gambar 3. 7 Kunci Pas

3.2.2 Persiapan Bahan

Untuk membuat sampel biobriket, bahan baku yang diperlukan sebagai berikut :

1) Limbah kulit mete.

Limbah kulit mete ini merupakan salah satu bahan yang akan digunakan menjadi biobriket. Limbah kulit mete yang digunakan diperoleh dari limbah industri pengepresan minyak laka (CNSL - *Cashew Nut Shell Oil*) di Kabupaten Wonogiri.



Gambar 3. 8 Kulit Mete Kering

2) Sekam padi.

Sekam padi adalah bahan baku yang akan digunakan menjadi biobriket yang akan dicampur dengan kulit mete. Sekam padi yang digunakan diperoleh dari limbah penggilingan padi di daerah Kelurahan Bulusan, Kecamatan Tembalang, Semarang.



Gambar 3. 9 Sekam Padi

3) Campuran lem PVA dan air.

Penambahan campuran lem PVA dan air berfungsi untuk merekatkan bahan briobriket di atas. Tujuan dari perekatan ini adalah agar bahan tidak hancur saat bahan dipres.



Gambar 3. 10 Campuran Lem PVA dan Air

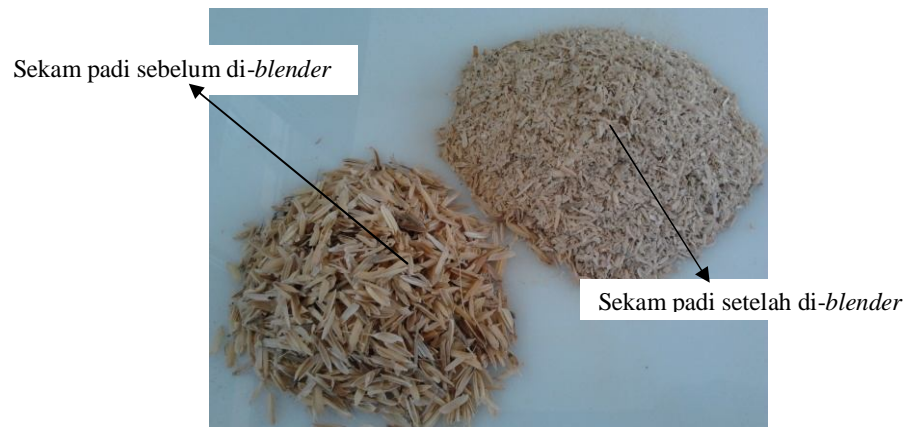
3.3 Proses Pembuatan Sampel Biobriket

Pembuatan sampel biobriket dilakukan di Lab. Thermofluid Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan sampel biobriket tersebut adalah sebagai berikut :

- 1) Semua bahan baku terlebih dahulu dikeringkan agar kadar air yang terkandung dalam bahan baku berkurang. Pengeringan dilakukan dengan cara alami yaitu mengeringkannya di bawah sinar matahari.
- 2) Setelah bahan kering, dilanjutkan dengan penggilingan dengan menggunakan *blender*. Penggilingan bertujuan untuk menjadikan ukuran partikel bahan baku menjadi lebih kecil sehingga memudahkan dalam pembuatan biobriket selanjutnya.

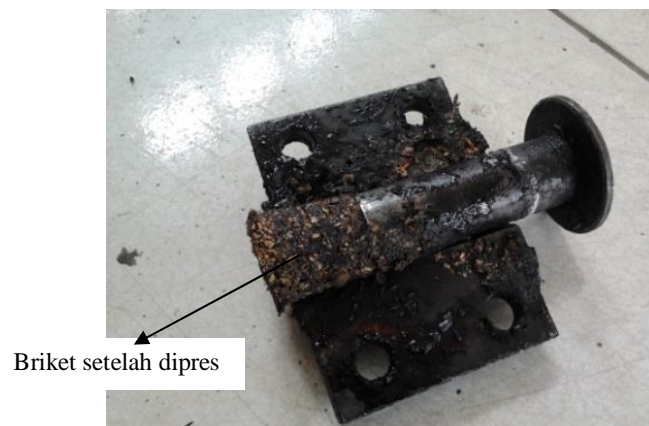


Gambar 3. 11 Kulit Mete Sebelum dan Sesudah di-*blender*



Gambar 3. 12 Sekam Padi Sebelum dan Sesudah di-blender

- 3) Setelah semua bahan digiling, bahan-bahan tersebut dicampur sesuai dengan perbandingan komposisi yang telah ditetapkan, yaitu 75% kulit mete dan 25% sekam padi. Persentase yang digunakan adalah berdasarkan persentase berat. Kemudian dicampur dengan perekat yang telah disiapkan sebesar 5% dari berat total campuran bahan.
- 4) Setelah campuran bahan rata, proses dilanjutkan dengan pengepresan dengan alat pres hidrolis. Bahan dimasukkan ke dalam pencetak dan ditekan dengan alat pres supaya menjadi silinder briket yang padat dengan diameter 25 mm dan tinggi 30 mm.



Gambar 3. 13 Bentuk Briket Setelah Pengepresan

- 5) Setelah briket dicetak, briket kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari. Lamanya pengeringan tergantung pada laju penyusutan kadar air pada biobriket yang diwakili oleh berat biobriket. Jika berat biobriket sudah tidak mengalami pengurangan lagi, maka proses pengeringan dapat dihentikan.



Gambar 3. 14 Bentuk Biobriket Setelah Proses Pengeringan

3.4 Proses Pengujian Pirolisis

3.4.1 Persiapan Alat

Dalam pengujian pirolisis ini, alat-alat yang dibutuhkan adalah :

- 1) Tungku pirolisis.

Tungku pirolisis yang digunakan adalah buatan sendiri yang terdiri dari dua bagian, bagian tungku luar (*heater*) dan bagian tungku dalam. Bagian tungku luar terbuat dari bahan pipa galvanis dengan diameter 11 cm dan tinggi 28 cm. Pada bagian alas pipa ditutup dan dipasang *thermocouple*, pada bagian selimut, diberi lempengan alumunium yang menyelubungi tungku. Lempengan alumunium tersebut berfungsi sebagai *heater* untuk menjaga suhu pada bagian dalam tungku pirolisis saat proses pirolisis dilakukan. Pada bagian alumunium ini juga terdapat terminal penghubung ke *thermocontrol*. Bagian dalam tungku terbuat dari bahan *stainless steel* yang di atasnya diberi enam lubang baut untuk menutup tungku dengan rapat, sehingga diharapkan tidak ada udara yang masuk saat proses pirolisis berlangsung. Pada bagian penutup diberi *pressure gauge* untuk memonitor tekanan pada tungku pirolisis.



Gambar 3. 15 Tungku Pirolisis

2) *Thermocontrol.*

Thermocontrol yang digunakan adalah *thermocontrol* merk Autonics. *Thermocontrol* ini dihubungkan dengan terminal pada tungku pirolisis dan dirangkai dengan *contactor* untuk mengontrol suhu pada tungku pirolisis dengan memutus dan menyambungkan aliran listrik yang menuju *heater*. Proses memutus dan menyambungkan arus listrik dilakukan secara otomatis dengan bantuan *contactor* sesuai dengan besarnya suhu yang diinginkan yang terlihat pada *display thermocontrol*.



Gambar 3. 16 *Thermocontrol*

4) *Contactor*.

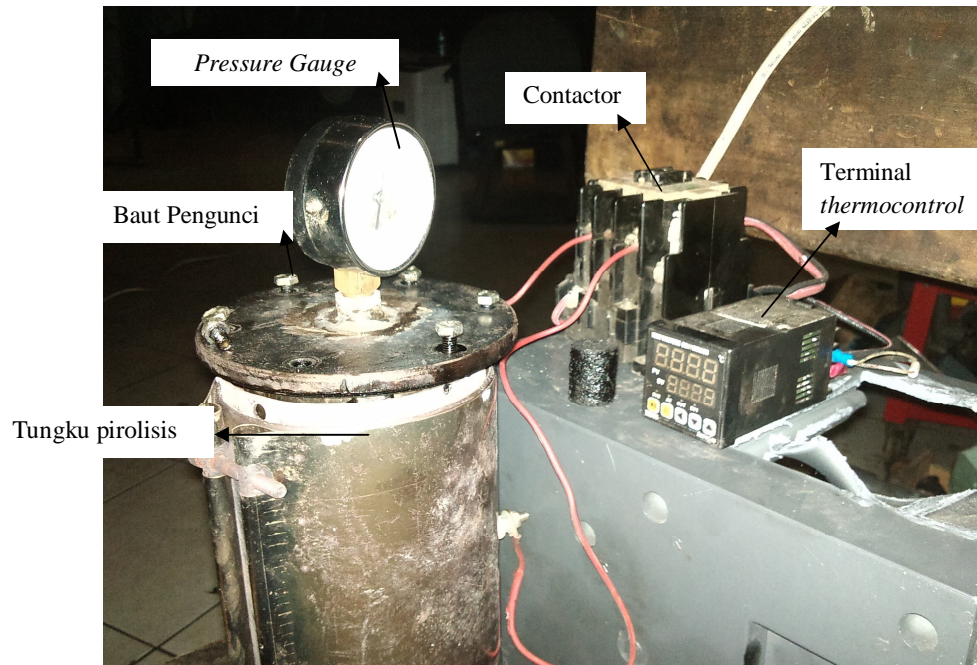
Contactor ini dirangkai dengan *thermocontrol* dan dihubungkan dengan terminal pada tungku pirolisis. *Contactor* ini berfungsi sebagai pemutus dan penyambung arus listrik yang menuju *heater* pada tungku pirolisis. Jika suhu pada *thermocontrol* telah menunjukkan suhu yang diinginkan, *contactor* akan memutus arus listrik. Sebaliknya, jika suhu kurang dari yang diinginkan, *contactor* akan menyambungkan kembali arus listrik.

Gambar 3. 17 *Contactor*6) *Stopwatch*.

Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu tinggal saat pengujian pirolisis dilaksanakan.

Gambar 3. 18 *Stopwatch*

Susunan alat-alat untuk uji pirolisis yang dilakukan adalah seperti gambar 3.19 di bawah ini.



Gambar 3. 19 Instalasi Alat-Alat Uji Pirolisis

3.4.2 Langkah-Langkah Pengujian Pirolisis

Langkah-langkah pengujian pirolisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1.)Persiapkan peralatan sesuai dengan instalasi yang telah dirancang.
- 2.)Timbang berat biobriket yang telah dikeringkan dan masukkan ke dalam tungku pirolisis.
- 3.)Tutup tungku pirolisis.
- 4.) Nyalakan *thermocontrol* dan setting *thermocontrol* sesuai dengan suhu yang diinginkan.
- 5.) Setelah *display* pada *thermocontrol* menunjukkan suhu yang diinginkan, mulai dilakukan pengukuran waktu menggunakan *stopwatch*. Proses pirolisis dimulai.

- 6.) Setelah waktu yang ditetapkan tercapai, matikan *thermocontrol*.
- 7.) Buka penutup tungku pirolisis dan ambil sampel biobriket, kemudian timbang berat biobriket tersebut.

3.5 Uji Nilai Kalor Menggunakan Bom Kalorimeter

3.5.1 Persiapan Peralatan

Dalam pengujian nilai kalor menggunakan bom kalorimeter ini, alat-alat yang harus dipersiapkan sudah termasuk dalam perangkat bom kalorimeter maupun ada juga yang harus dipersiapkan secara terpisah. Alat-alat tersebut adalah sebagai berikut :

1) *Calorimetric Water System*

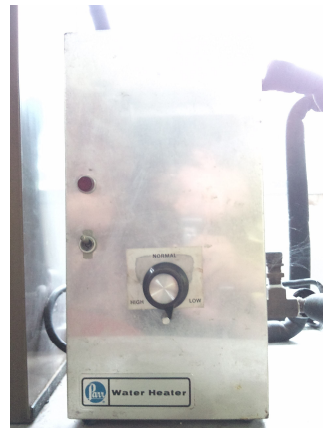
Fungsi dari *calorimetric water system* adalah menyediakan air dengan takaran 2000 ml pada suhu yang diinginkan sebagai suhu awal operasional kalorimeter dan juga sebagai tempat penampung dan sirkulasi air dari dan ke kalorimeter dan juga dari unit pemanas dan unit pendingin.



Gambar 3. 20 *Calorimetric Water System*

2) Unit Pemanas (*Heater*)

Unit pemanas buatan Parr *Institute* ini berfungsi untuk menyuplai air panas dengan suhu tertinggi mencapai 60°C ke kalorimeter.



Gambar 3. 21 Unit Pemanas (*Heater*)

3) Unit Pendingin (*Cooler*)

Unit pendingin ini berfungsi untuk menyuplai air ke kalorimeter dengan suhu 10°C . Suhu yang dihasilkan dapat diatur dengan memutar sekrup pengontrol berlawanan arah jarum jam. Gambar unit pendingin yang ada di Lab. *Thermofluid* Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro seperti terlihat pada gambar 3.22 di bawah ini.



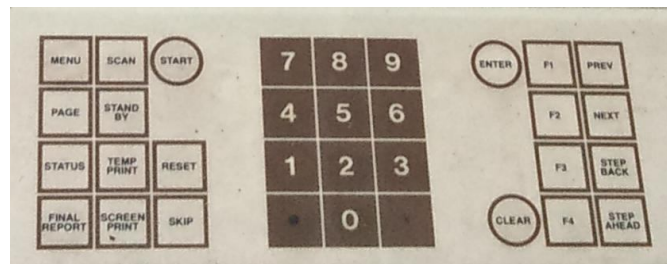
Gambar 3. 22 Unit Pendingin (*Cooler*)

4) Unit *Calorimeter Controller*

Unit *Calorimeter Controller* ini berfungsi untuk mengontrol bom kalorimeter secara komputerisasi. Penguji hanya tinggal menekan tombol-tombol pada bagian *panel* sesuai dengan prosedur. Unit ini juga dapat mencetak hasil dari pengujian yang dilakukan.



Gambar 3. 23 Unit *Calorimeter Controller*

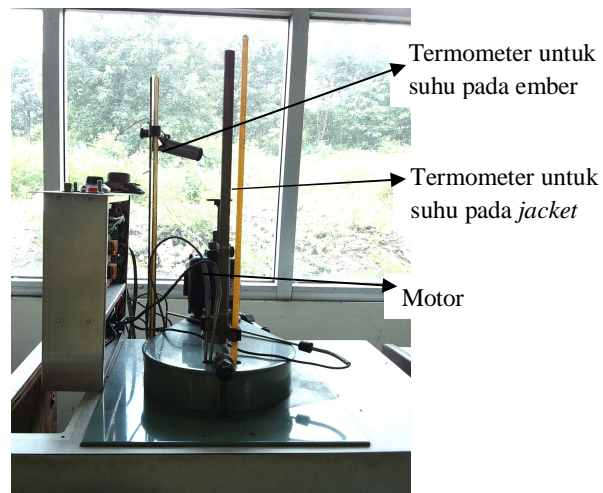


Gambar 3. 24 Bagian *Panel* Pada Unit *Calorimeter Controller*

5) Unit *Controlled Jacket Calorimetry*.

Unit *Controlled Jacket Calorimetry* merupakan unit utama dari perangkat bom kalorimeter. Pada unit inilah diletakkannya *bomb* pada bagian yang telah disediakan. Terdapat 2 buah termometer yang masing-masing berguna untuk menunjukkan suhu pada ember dan yang lainnya untuk menunjukkan suhu pada *jacket*. Selain itu juga terdapat *stirrer motor* untuk menggerakkan poros *stirrer*

Unit *Controlled Jacket Calorimetry* ini dikontrol oleh sebuah *panel* kontrol yang terangkai dengan unit *Calorimeter Controller*, sehingga unit ini dikontrol dengan cara manual dan komputerisasi. Untuk cara manual, pada *panel* kontrol tersebut terdapat *switch* yang bisa diubah kedudukannya sesuai dengan prosedur dan juga terdapat lampu-lampu yang menunjukkan proses yang sedang berjalan.



Gambar 3. 25 *Controlled Jacket Calorimetry*



Gambar 3. 26 Tampak atas *Jacket Calorimetry Control Panel*

6) 1108 *Oxygen Combustion Bomb*

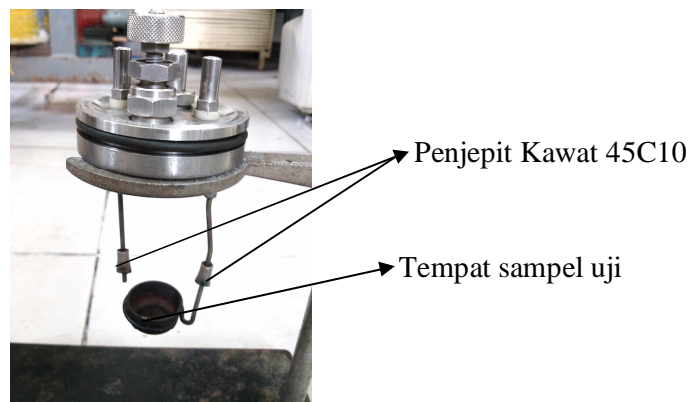
Pada 1108 *Oxygen Combustion Bomb* ini terdapat 3 bagian utama, yaitu badan silinder *bomb*, kepala *bomb*, dan penutup. Gambar 1108 *Oxygen Combustion Bomb* beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



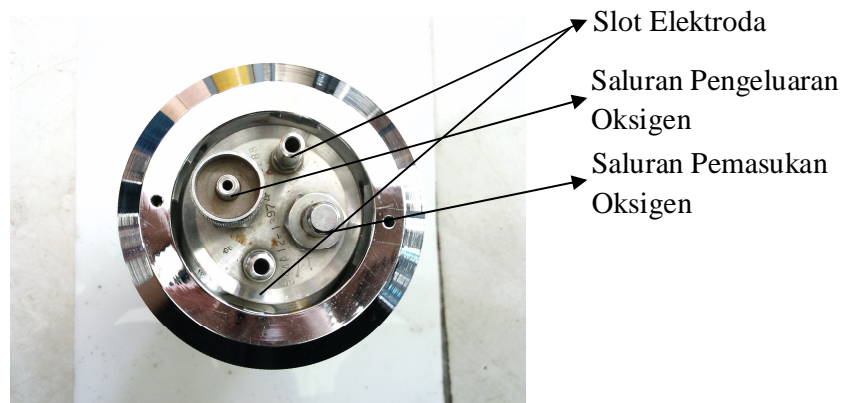
Gambar 3. 27 Bagian-Bagian dari 1108 *Oxygen Combustion Bomb*

a) Kepala *bomb*.

Pada bagian kepala *bomb* ini, terdapat bagian untuk menahan sampel dan saluran pengisian oksigen. Selain itu juga terdapat juga bagian *slot* elektroda dan penjepit kawat 45C10.



Gambar 3. 28 Tampak Samping Kepala *Bomb*



Gambar 3. 29 Tampak Atas Kepala *Bomb*

b) Silinder *bomb*.

Silinder *bomb* adalah tempat dudukan bagi kepala *bomb*. Silinder *bomb* ini cukup tebal untuk menahan tekanan pada saat pengisian oksigen dan penyalaan *bomb*.

c) Penutup *bomb*.

Penutup *bomb* ini mempunyai ulir pada bagian dalamnya. Untuk menutup *bomb* adalah dengan memutarinya searah jarum jam. Sebaliknya, untuk membuka *bomb* adalah dengan memutarinya berlawanan dengan arah jarum jam.

7) Penyangga tutup *bomb*.

Penyangga ini berfungsi sebagai dudukan sewaktu mengisi *bomb* kalorimeter dengan sampel dan sewaktu memasang kawat.



Gambar 3. 30 Penyangga Tutup *Bomb*

8) Kawat 45C10

Kawat ini berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari slot elektroda untuk membakar sampel uji. Kawat ini dijepitkan pada bagian kepala *bomb* dan disentuhkan pada sampel uji. Kawat ini mempunyai nilai kalor tertentu yang telah ditentukan oleh pabrikan untuk memudahkan dalam perhitungan nilai kalor sampel uji.



Gambar 3. 31 Kawat 45C10 buatan Parr.

9) Regulator pengisian oksigen.

Unit ini memiliki pembacaan skala untuk tekanan dalam satuan atm di dalam *bomb*, dan juga dapat menunjukkan tekanan yang berada di dalam tabung oksigen. Dilengkapi oleh katup pengontrol pengisian tekanan dan juga katup untuk membuang tekanan sisa. Bentuk dari alat ini dapat dilihat pada gambar 3.32 di bawah ini.



Gambar 3. 32 Regulator Pengisian Oksigen

10) Tabung Oksigen



Gambar 3. 33 Tabung Oksigen

11) Amperemeter.

Pada pengujian nilai kalor ini, amperemeter digunakan untuk memastikan bahwa kawat 45C10 terpasang dengan baik pada penjepit di penutup *bomb*.



Gambar 3. 34 Amperemeter

3.4.2 Proses Pengujian Nilai Kalor

3.4.2.1 Pengaturan Awal Kalorimeter

Setelah memastikan bahwa semua sistem kelistrikan dan air terhubung, gunakan tombol kontrol manual untuk mengalirkan air dan sistem air kalorimeter menuju pemanas. Langkah ini diperlukan untuk memastikan bahwa di dalam pemanas telah terisi air sebelum dinyalakan. Setelah itu, nyalakan pemanas, dan biarkan selama 10 menit agar mencapai kondisi operasional. Selama periode ini, pindahkan tombol kontrol manual ke posisi air dingin dan biarkan air mengisi jaket sampai air terlihat pada *overflow ring*. Dan rakit bom oksigen dan isi ember dengan air murni dengan volume 2000 ml pada temperatur kamar.

Tempatkan ember pada kalorimeter, masukkan bom ke dalam ember, tutup kalorimeter, pindahkan *switch* “*purge*” ke posisi “*run*” dan pindahkan *switch* daya ke posisi “*on*” untuk menyalakan motor. Dengan menggunakan kontrol manual, naikkan temperatur jaket sebesar satu sampai dua derajat di atas suhu ember lalu lepas kontrol manual. Pada tahap ini, lampu putih, yang menunjukkan adanya aliran air dingin tingkat rendah, akan menyala. Tambahkan air dingin dengan menggunakan kontrol manual sampai lampu jingga menyala yang menunjukkan adanya aliran panas tingkat rendah. Kemudian disusul dengan menyalanya lampu merah yang menandakan adanya aliran panas tingkat tinggi. Setelah itu lepas kontrol manual dan biarkan beberapa saat. Lampu jingga dan lampu putih akan menyala secara bergantian yang menunjukkan adanya pasokan air yang seimbang antara panas dan dingin.

Setelah lampu putih dan jingga menyala secara bersamaan, catat temperatur *jacket* dan ember. Jika termometer dan *thermocouple* terpasang dengan benar, temperatur yang terbaca tidak akan menunjukkan perbedaan lebih dari $0,02^{\circ}$ C. Pengecekan terakhir dilakukan pada saluran pembuangan dan kalorimeter menuju ke sistem air kalorimeter. Saluran ini harus bebas hambatan. Hal ini dapat diuji dengan menyalakan kalorimeter pada keadaan normal, lalu

memindahkan tombol kontrol manual ke posisi dingin. Maka saluran tersebut akan mengalirkan air dengan lancar menuju ke sistem air kalorimeter.

3.4.2.2 Standarisasi Kalorimeter

Sebelum melakukan pengujian untuk mengetahui nilai kalor dari suatu bahan, kalorimeter yang digunakan harus dilakukan proses standarisasi terlebih dahulu. Proses ini diperlukan untuk mengetahui nilai ekuivalen energi atau dalam bahasa yang lebih umum dinamakan kapasitas kalor. Kapasitas kalor ini diperlukan untuk mengetahui seberapa besar nilai kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air di dalam bom kalorimeter sebesar 1°C . Proses standarisasi sama dengan proses pengujian, hanya saja nilai yang didapat akan dimasukkan ke dalam persamaan 2.15 pada bab II. Setiap standarisasi harus dilakukan enam kali dalam kurun waktu tidak lebih dari 5 hari pada pengujian bahan uji yang sama. Sampel yang digunakan dalam proses standarisasi ini adalah asam benzoat seperti yang terlihat pada gambar 3.35 di bawah ini.



Gambar 3. 35 Asam Benzoat

Untuk mendapatkan nilai ekuivalen yang akan digunakan sebagai acuan untuk pengujian selanjutnya, prosedur yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Letakkan asam benzoat pada *bomb* seperti saat melakukan pengujian sampel seperti biasa.
- 2) Tekan tombol *start* yang ada pada *panel* unit *calorimeter controller*.
- 3) Tekan tombol F1 untuk mengubah metode pengujian ke metode standarisasi.

- 4) Masukkan *sampel id* (nilai *sampel id* bebas, dengan syarat tidak boleh ada nilai yang sama untuk pengujian berikutnya) dan *sampel weight*.
- 5) Tunggu beberapa saat sampai *printer* mencetak hasil sementara (*preliminary report*).
- 6) Setelah laporan sementara dicetak, tekan tombol *menu*.
- 7) Keluarkan *bomb*, dan hitung panjang kawat yang terbakar dan kalikan hasilnya dengan 2,3.
- 8) Tekan tombol *final report*.
- 9) Masukkan *sampel id* yang telah ditentukan sebelumnya, lalu masukkan nilai koreksi asam nitrat sebesar 10, nilai koreksi sulfur sebesar 0, dan nilai koreksi kawat yang telah dihitung pada prosedur no.7 lalu tekan *enter*.
- 10) Tunggu beberapa saat hingga *printer* mencetak hasil akhir (*final report*). Hasil akhir energi ekuivalen akan diperoleh.
- 11) Ulangi prosedur no. 1-10 minimal sebanyak 6 kali.

3.4.2.3 Setting Awal Unit Calorimeter Controller

Sebelum dilakukan pengujian, penguji terlebih dahulu harus melakukan pengaturan pada unit *calorimeter controller*. Prosedur yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Hidupkan *calorimeter controller*.
- 2) Tekan tombol 2 (*operating parameter*) pada bagian *calorimeter controller panel*.
- 3) Ubah parameter operasi dengan menekan tombol 2 lalu tekan *enter*.
- 4) Masukkan penunjuk jam lalu tekan *enter*.
- 5) Masukkan, bulan, tanggal, dan tahun lalu tekan *enter*.
- 6) Pilih mode operasi dengan menekan tombol 2 (*adiabatic reference*) atau pilih sesuai dengan metode operasi yang diinginkan lalu tekan *enter*.
- 7) Atur kondisi dinamik dengan menekan tombol 1 (*normal*) lalu tekan *enter*.
- 8) Pilih satuan yang diinginkan sesuai dengan nomornya lalu tekan *enter*.

- 9) Aktifkan *alarm audio* dengan menekan tombol 1 (*enabled*) lalu tekan *enter*.
- 10) Aktifkan *key beep* dengan menekan tombol 1 (*enabled*) lalu tekan *enter*.
- 11) Aktifkan *alarm* dengan menekan tombol 1 (*enabled*) lalu tekan *enter*.
- 12) Pastikan *operating parameter* yang dipilih telah benar lalu tekan tombol 1 (*yes*) kemudian tekan *enter*.
- 13) Tekan tombol 3 pada *main menu* untuk masuk ke halaman 3.
- 14) Tekan tombol 2 (*no*) lalu *enter* untuk memasukkan nilai energi ekuivalen.
- 15) Masukkan angka yang menunjukkan nilai energi ekuivalen dengan menekan tombol yang sesuai.
- 16) Masukkan *call id* untuk menunjukkan pasangan *bomb* dan ember yang digunakan, lalu tekan *enter*. Kemudian, masukkan energi ekuivalen yang diinginkan untuk *call id* tersebut lalu tekan *enter*.
- 17) Pastikan nilai energi ekuivalen telah benar lalu tekan tombol 1 (*yes*) kemudian tekan *enter*.

3.4.2.4 Prosedur Penggunaan Bom Kalorimeter

Prosedur penggunaan bom kalorimeter oksigen yang terdapat di Lab. *Thermofluid* Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro adalah sebagai berikut :

- 1) Letakkan sampel yang telah ditimbang beratnya pada tempat sampel uji pada kepala *bomb*.
- 2) Pasang kepala *bomb* pada penyangga tutup *bomb* dan kencangkan kawat 45C10 dengan panjang 23 cm (diukur terlebih dahulu) pada elektroda dengan penjepit yang telah tersedia. Pastikan bahwa kawat menyentuh sampel.
- 3) Pastikan kawat yang telah terpasang dengan baik dengan memastikan adanya arus listrik yang mengalir pada kawat tersebut dengan menggunakan amperemeter.

- 4) Tutup *bomb* menggunakan kepala *bomb*. Hal yang perlu diperhatikan adalah posisi kawat jangian berubah sehingga kawat tidak lagi menempel pada sampel. Sebelum menutup *bomb*, periksa kondisi ring-ring karet, pastikan dalam kondisi yang baik dan lumasi sedikit dengan air agar ring tersebut dapat diputar dengan bebas, lalu putar tutup ke silinder dan tekan secara perlahan sedalam mungkin. Untuk memudahkan proses ini, tekan tutup tanpa memutarinya dan buka katup pelepas udara. Untuk mengencangkan tutup hanya diperlukan tangan kosong.
- 5) Isi oksigen ke dalam *bomb* dengan menutup katup keluar pada kepala *bomb* lalu buka katup tanki oksigen tidak lebih dari seperempat putaran. Buka katup jalur pengisian oksigen secara perlahan, dan perhatikan tekanan yang naik pada meteran. Apabila sudah mencapai tekanan 35 atm (umumnya 30 atm, tapi tidak lebih dari 40 atm), tutup katup kontrol. Katup cek masuk *bomb* akan menutup dengan sendirinya setelah aliran oksigen dihentikan, dan menjaga tekanan di dalam *bomb* pada tekanan yang ditunjukkan oleh meteran. Buang tekanan sisa pada selang pengisian dengan menekan ke bawah pengungkit yang menempel pada katup pelepas. Meteran akan kembali menuju ke angka nol. Jika setelah itu tekanan turun secara perlahan dan ada gas yang terbangun pada jumlah besar pada saat katup pelepas tekanan dibuka, katup cek pada kepala *bomb* tidak beroperasi dengan baik. Masalah ini harus diperbaiki sebelum *bomb* digunakan. Jika ternyata terdapat jumlah oksigen yang melebihi 40 atm, jangan lakukan pengujian. Lepaskan alat penghubung pengisian; buang oksigen dari dalam *bomb*, lepaskan bagian kepala *bomb*, dan timbang kembali sampel sebelum mengulangi proses pengisian oksigen.
- 6) Isi ember dengan air murni dengan volume sebesar 2000 ml sesuai dengan takaran pada *Calorimetric Water System*.
- 7) Tempatkan *bomb* yang telah diisi sampel dan oksigen pada ember yang telah terisi dengan air murni. Periksa kebocoran pada *bomb* sebelum penyalakan. Jangan menyalakan *bomb* jika ada kebocoran gas, walaupun

kebocoran yang terjadi sangat kecil. Yang harus dilakukan adalah mengeluarkan *bomb* dari ember; buang oksigen dari dalam *bomb*, dan hilangkan sumber kebocoran sebelum memulai prosedur penyalaan *bomb*.

- 8) Kemudian, masukkan *socket* elektroda pada *slot elektroda* yang ada pada *bomb* lalu tutup kalorimeter.
- 9) Nyalakan motor dengan memindahkan *switch* ke posisi “on” yang terdapat pada *jacket calorimetry control panel*.
- 10) Jika suhu di kedua termometer pada *jacket calorimetry* telah menunjukkan nilai yang hampir sama, tekan tombol *start* pada bagian *calorimeter controller panel*.
- 11) Masukkan *call id* yang telah ditentukan lalu tekan *enter*. Masukkan *sampel id* (nilai *sampel id* bebas, dengan syarat tidak boleh ada nilai yang sama untuk pengujian berikutnya) lalu tekan *enter*. Masukkan berat sampel lalu tekan *enter*.
- 12) Tunggu beberapa saat sampai *printer* mencetak laporan sementara (*preliminary report*).
- 13) Setelah laporan sementara dicetak, tekan tombol *menu*.
- 14) Keluarkan *bomb*, dan hitung panjang kawat yang terbakar dan kalikan hasilnya dengan 2,3.
- 15) Tekan tombol *final report*.
- 16) Masukkan *sampel id* yang telah ditentukan.
- 17) Jika *display* meminta memasukkan nilai koreksi asam nitrat, langsung tekan *enter* yang menunjukkan bahwa sampel tidak mengandung asam nitrat.
- 18) Jika *display* meminta memasukkan nilai koreksi sulfur, langsung tekan *enter* yang menunjukkan bahwa sampel tidak mengandung sulfur.
- 19) Masukkan nilai koreksi kawat yang telah dihitung pada langkah 14 lalu tekan *enter*.
- 20) Tunggu beberapa saat sampai *printer* mencetak laporan akhir (*final report*).

Beberapa hal yang harus diperhatikan sewaktu menggunakan bom kalorimeter adalah sebagai berikut :

1) Ukuran sampel yang diperbolehkan

Untuk menjaga keselamatan, *bomb* oksigen ini tidak diperbolehkan dioperasikan dengan sampel yang akan melepaskan nilai kalor lebih dari 8000 kalori, dan tekanan awal *bomb* harus di bawah 40 atm (590 psig). Untuk material yang belum diketahui nilai kalornya, sebaiknya dimulai dengan menguji sampel dengan berat kurang dari 0,7 gram.

2) Jangan memberikan tekanan yang melampaui batas keamanan *bomb* (40 atm).

3) Jangan melakukan pengujian dengan sampel dengan berat yang berlebih.

4) Jangan melakukan penyalaaan *bomb* tanpa ada media pendingin.

5) Jangan menyalakan unit jika terjadi kebocoran gelembung udara pada saat *bomb* dimasukkan ke dalam air.

6) Menjauhlah dari *bomb* sesaat setelah unit dinyalakan, dan jangan melakukan kontak dengan unit selama 20 detik setelah penyalaaan.

7) Jaga kondisi fisik dari bom kalorimeter, pastikan tidak ada perubahan fisik pada bom kalorimeter.

3.4.3 Proses Pemasangan Regulator Oksigen

Proses pengisian oksigen ke dalam *bomb* dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satunya dengan menggunakan saluran pengisian oksigen. Oksigen untuk *bomb* dapat diberikan dengan menggunakan tabung oksigen standar yang berada di pasaran. Kendurkan tutup pengaman tabung dan pastikan ulir pada katup luar berada pada keadaan baik dan bersih. Tempatkan ujung saluran pada *socket* keluar dan kencangkan baut penggabung dengan kunci. Dalam mengencangkan baut penggabung tersebut, jaga agar meteran tekanan pada posisi menghadap ke atas sehingga mudah terbaca dengan mudah.