

Kemas Ridhuan
Dwi Irawan



Energi Terbarukan Pirólisis



PERJANJINAN MUTU
SAS DAN INTERNASIONAL
PUSAT PENGEMBANGAN USAHA KAMPUS
PUSAT KARIR
PUBLIKASI ILMIAH
BIOMASS CENTRE (MPC)

Hak Cipta pada penulis
Hak Penerbitan pada penerbit
dilarang memperbanyak/memproduksi sebagian
atau seluruhnya dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis
dari pengarang dan/atau penerbit.

Kutipan pasal 72:

Sanksi pelanggaran Undang-undang Hak Cipta
(UU No. 10 Tahun 2012)

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal (49) ayat (1) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/(atau) denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan/ atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).

ENERGI TERBARUKAN PIROLISIS

Kemas Ridhuan, M.Eng.
Dwi Irawan, M.T.



ENERGI TERBARUKAN PIROLISIS

Penulis

Kemas Ridhuan, M.Eng.
Dwi Irawan, M.T.

Desain Cover

Team Laduny Creative

Lay Out

Team Laduny Creative

ISBN. 978-623-7311-73-7

16 x 24 cm; x + 126 hal

Cetakan Pertama, Januari 2020

Dicetak dan diterbitkan oleh:

CV. LADUNY ALIFATAMA (Penerbit Laduny)

Anggota IKAPI

Jl. Ki Hajar Dewantara No. 49 Iringmulyo, Metro – Lampung.

Telp. 0725 (7855820) - 0811361113

Email: ladunyprinting@gmail.com

PRAKATA

Puji dan syukur Alhamdulillah Hirobbil Alamin penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Hidayah, Nikmat dan Karunia-Nya jualah penulis dapat menyelesaikan pembuatan Buku Ajar ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

Buku ajar ini merupakan salah satu luaran dari penelitian Strategi Nasional yang berjudul “Pengembangan Reaktor *Pirolisis* Dengan Menggunakan Bahan Bakar Biomassa Untuk Peningkatan Produksi Dan Efisiensi Hasil Bio-Arang Dan Bio-Oil”. Buku ajar ini berisikan dari hasil-hasil penelitian penulis yang pernah dilakukan dan hasil dari beberapa penelitian lainnya dari beberapa jurnal yang ada.

Buku ajar ini membahas mengenai energi terbarukan pirolisis, yaitu pada energi biomassa yang diproses dengan cara pirolisis sehingga menghasilkan produk berupa arang aktif dan asap cair. Proses pirolisis merupakan suatu cara yang cukup efektif dalam mengembangkan sumber-sumber energi baru untuk mengganti keberadaan energi fosil yang kian menipis. Pemanfaatan energi alternatif secara maksimal memang perlu ditingkatkan, seperti halnya energi biomassa. Energi ini banyak terdapat disekitar kita dan bahkan selalu menjadi bahan yang tidak berguna bahkan sangat mengganggu karena keberadaannya dan pemanfaatannya masih belum maksimal. Oleh karena itu perlu diinformasikan lebih luas lagi kepada masyarakat tentang energi terbarukan khususnya biomassa melalui media cetak yang berbentuk buku. Penggunaan buku ajar ini juga dapat menunjang kegiatan proses pembelajaran bagi mahasiswa terutama pada mata kuliah energi terbarukan dan pada umumnya untuk menjawab kebutuhan, permasalahan dan tantangan mengenai energi yang ada di masyarakat. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, penerapan dan pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berdampak langsung pada nilai

kehidupan, kemandirian dan kesejahteraan masyarakat menjadi salah satu tolak ukur keberhasilan transfer ilmu pengetahuan dan teknologi.

Bentuk partisipasi dan kontribusi ilmiah dari Civitas Akademika Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro dalam mengembangkan keilmuan khususnya tentang energi yaitu dengan membuat buku ajar ini sehingga dapat menyebarluaskan informasi tentang energi terutama energi terbarukan dengan proses pirolisis dan dapat dibaca oleh banyak pihak khususnya akademisi.

Diharapkan buku ajar ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan ilmu pengetahuan sehingga memberikan kontribusi keilmuan dan informasi yang bernilai guna dan berdaya guna bagi kehidupan umat manusia dimasa yang akan datang.

Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Rektor Universitas Muhammadiyah Metro
2. Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Universitas Muhammadiyah Metro
3. Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi
4. LLDIKTI Wilayah II Palembang
5. Rekan-rekana Dosen dilingkungan Universitas Muhammadiyah Metro
6. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan yang telah membantu sehingga buku ajar ini dapat dileselesaikan dengan baik.

Penulis sangat menyadari sepenuhnya bahwa dengan segala kekurangan dan keterbatasan yang ada baik pada diri penulis maupun peralatan yang digunakan, masih sangat banyak hal-hal yang perlu diperbaiki dan disempurnakan serta dikembangkan lebih lanjut dari buku ajar ini. Saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata penulis sampaikan, semoga buku ajar yang tidak seberapa ini kiranya akan bermanfaat dan dapat menambah wawasan dan pemahaman kita semua untuk kajian informasi dan keilmuan selanjutnya.

Metro. Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Energi.....	1
1.2 Konsepsi Energi Hijau.....	4
1.3 Energi dan Perubahan Iklim.....	5
1.4 Komposisi Energi Dunia.....	6
1.5 Sumber Energi.....	8
1.6 Penghematan Energi.....	10
1.7 Konservasi Energi.....	11
BAB II ENERGI TERBARUKAN.....	13
2.1 Definisi energi terbarukan.....	13
2.2 Sumber energi terbarukan.....	14
2.3 Kebaikan dan keburukan energi terbarukan.....	18
BAB III ENERGI BIOMASSA.....	20
3.1 Biomassa.....	20
3.2 Sekam Padi.....	36
3.3 Kulit Durian.....	39
3.4 Kulit Kelapa Muda.....	40
3.5 Cangkang Karet.....	41
3.6 Bahan Bakar Biomassa.....	42
BAB IV PEMBAKARAN PIROLISIS.....	45
4.1 Udara.....	45
4.2 Bahan Bakar.....	48
4.3 Pembakaran.....	54
4.4 Karbonisasi.....	64
4.5 Pirolisis.....	66
4.6 Bio Arang.....	78
4.7 Bioberiket.....	82
4.8 Asap Cair.....	89
BAB V REAKTOR PIROLISIS.....	108
5.1 Reaktor Pirolisis.....	108
5.2 Kondensor.....	111
DAFTAR PUSTAKA.....	121
LAMPIRAN.....	124

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi kimia sekam padi	38
Tabel 4.1. Reaksi kimia peruraian selulosa pada produk biomassa.....	75
Tabel 4.2. Asap cair dan karakteristiknya.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Biomassa Sekam Padi	38
Gambar 3.2. Biomassa Kulit Durian	40
Gambar 3.3. Biomassa kulit kelapa muda.....	41
Gambar 3.4. Biomassa Cangkang Karet	42
Gambar 4.1. Rangkaian proses pirolisis.....	72
Gambar 4.2. Rangkaian system proses pirolisis	77
Gambar 4.3. Arang berbagai biomassa	80
Gambar 4.4. Asap cair.....	90
Gambar 5.1. Reaktor Pirolisis	111
Gambar 5.2. Alat kondensor	112

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Energi

Segala sesuatu yang kita lakukan dalam kehidupan sehari-hari membutuhkan energi. Untuk bertahan hidup kita membutuhkan energi yang diperoleh dari makanan. Setiap kendaraan membutuhkan energi untuk bergerak dan energi itu diperoleh dari bahan bakar. Hewan juga membutuhkan energi untuk hidup, sebagaimana manusia dan tumbuhan.

Energi merupakan salah satu konsep yang paling penting dalam fisika. Konsep yang sangat erat kaitannya dengan usaha adalah konsep energi. Secara sederhana, energi merupakan kemampuan melakukan usaha. Definisi yang sederhana ini sebenarnya kurang tepat atau kurang valid untuk beberapa jenis energi (misalnya energi panas atau energi cahaya tidak dapat melakukan kerja). Definisi tersebut hanya bersifat umum. Usaha dilakukan ketika energi dipindahkan dari satu benda ke benda lain. Contoh ini juga menjelaskan salah satu konsep penting dalam sains, yakni kekekalan energi. Jumlah total energi pada sistem dan lingkungan bersifat kekal alias tetap. Energi tidak pernah hilang, tetapi hanya dapat berubah bentuk dari satu bentuk energi menjadi bentuk energi lain. Mengenai Hukum Kekekalan Energi akan kita kupas tuntas dalam pokok bahasan tersendiri.

Dalam kehidupan sehari-hari terdapat banyak jenis energi. Energi kimia pada bahan bakar membantu kita menggerakkan kendaraan, demikian juga energi kimia pada makanan membantu makhluk hidup bertahan hidup dan melakukan kerja. Dengan adanya

energi listrik, kita bisa menonton TV atau menyalakan komputer sehingga bisa bermain game sepuasnya. Ini hanya beberapa contoh dari sekian banyak jenis energi dalam kehidupan kita. Misalnya ketika kita menyalakan lampu neon, energi listrik berubah menjadi energi cahaya. Energi listrik juga bisa berubah menjadi energi panas (setrika listrik), energi gerak (kipas angin) dan sebagainya. Banyak sekali contoh dalam kehidupan kita, dirimu bisa memikirkan contoh lainnya. Secara umum, energi bermanfaat bagi kita ketika energi mengalami perubahan bentuk, misalnya energi listrik berubah menjadi energi gerak (kipas angin), atau energi kimia berubah menjadi energi gerak (mesin kendaraan).

Suatu sistem dikatakan mempunyai energi/tenaga, jika sistem tersebut mempunyai kemampuan untuk melakukan usaha. Dalam fisika, energi dapat digolongkan menjadi beberapa macam antara lain : Energi mekanik (energi kinetik + energi potensial) , energi panas , energi listrik, energi kimia, energi nuklir, energi cahaya, energi suara, dan sebagainya. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan yang terjadi hanyalah transformasi/perubahan suatu bentuk energi ke bentuk lainnya, misalnya dari energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada air terjun.

Hukum kekekalan energi mengatakan bahwa energi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan; selalu ada jumlah energi yang sama di sana dalam satu bentuk atau yang lainnya. Energi dipendam atau disimpan. Bentuk energi apapun bisa dikonversi menjadi bentuk energi yang lain. Namun, konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya sering sangat tidak efisien. Hal ini berarti ada kehilangan dan energi yang bisa dipakai untuk mengerjakan sesuatu berkurang pada setiap transformasinya. Contohnya pada saat kita makan, maka energi dalam makanan dikonversi oleh tubuh kita sehingga kita bisa menggunakannya untuk bergerak, bernafas dan berpikir. Namun, tubuh kita hanya memiliki efisiensi sebesar 5% dalam menghasilkan

energi yang bisa dipakai, sisa energi pada makanan hilang dalam bentuk panas tubuh yang anda rasakan pada saat berolah raga.

Untuk penggunaan energi seperti yang kita ketahui bahwa ada tiga sektor utama energi di mana energi digunakan di Indonesia yaitu :

1. Sektor Industri

Termasuk fasilitas dan peralatan yang digunakan untuk produksi, pertanian, pertambangan, dan konstruksi.

2. Sektor Transfortasi

Terdiri dari kendaraan bermotor yang mengangkut orang dan barang, seperti mobil, truk, sepeda motor, kereta api, pesawat terbang dan kapal.

3. Sektor Komersial/Residensial

Terdiri dari rumah tinggal, bangunan komersial seperti gedung perkantoran bertingkat, pusat perbelanjaan, usaha kecil seperti warung dan industri rumah tangga.

Sebanyak 90 persen bahan bakar fosil berasal dari produksi energi bumi. Energi ini kebanyakan dimanfaatkan dalam sektor industri yakni untuk menggerakkan mesin-mesin industri maupun untuk kegiatan industri lainnya. Adanya peningkatan dalam aktivitas industri ini secara otomatis meningkatkan konsumsi energi pada masyarakat yang akhirnya mulai mengeksploitasi alam secara berlebihan. Maka diperlukan pengembangan sumber-sumber energi baru untuk mengatasi kebutuhan energi tersebut. Dengan demikian maka sektor industri dapat berjalan dengan baik sehingga terciptalah pembangunan. Ketersediaan energi sangat diperlukan guna menjamin pembangunan nasional yang berkelanjutan. Apalagi, sektor energi memegang peranan sangat penting dalam pembangunan ekonomi yang berkelanjutan.

1.2. Konsepsi Energi Hijau

Penyediaan dan pemanfaatan energi yang berkelanjutan dilaksanakan untuk mendorong tercapainya pembangunan nasional yang berkelanjutan. Mengingat pentingnya penyediaan dan pemanfaatan energi berkelanjutan tersebut, maka perlu disusun konsepsi energi hijau yang mengintegrasikan pemikiran-pemikiran dan program-program yang berkaitan dengan penyediaan dan pemanfaatan energi yang berkelanjutan.

Konsepsi energi hijau adalah sistem penyediaan dan pemanfaatan energi di tanah air merupakan satu kesatuan konsep penyediaan energi untuk masa kini dan masa mendatang, untuk memenuhi kebutuhan energi saat ini tanpa mengorbankan kebutuhan energi generasi mendatang dalam upaya menciptakan pembangunan berkelanjutan. Sedangkan definisi Pembangunan Berkelanjutan adalah suatu pembangunan yang dapat memenuhi kebutuhan nasional saat ini serta mampu mengkompromikan kebutuhan generasi mendatang. Energi hijau merupakan perpaduan antara pemanfaatan energi terbarukan yang maksimal, pemanfaatan energi yang efisien, dan penggunaan teknologi energi bersih untuk mendukung penyediaan energi berkelanjutan.

Untuk mewujudkan Penyediaan dan Pemanfaatan Energi Berkelanjutan diperlukan kemandirian, antara lain :

- a. kemandirian finansial, yaitu sektor energi hijau yang tidak memerlukan bantuan pendanaan dari sektor lain. Pembiayaannya dapat dilakukan sendiri.;
- b. kemandirian teknologi, yaitu makin meningkatnya kemampuan teknologi nasional dalam penyediaan barang dan jasa sehingga kandungan lokal teknologi nasional dalam system energi makin besar.

- c. kemandirian Sumber Daya Manusia (SDM) yaitu makin meningkatnya kemampuan SDM dalam negeri dalam bidang energi.

1.3. Energi dan Perubahan Iklim

Telah umum diketahui bahwa CO₂ merupakan GRK (Gas Rumah Kaca) utama yang memerangkap panas di lapisan atmosfer bagian bawah (troposfer) dan selanjutnya menghangatkan permukaan bumi. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dalam laporannya (*assessment report*) yang ke-4 melaporkan bahwa konsentrasi CO₂ di atmosfer telah mencapai 379 ppm; melebihi rentang normal antara 180-300 ppm yang bertahan selama 650.000 tahun terakhir. Akibatnya, dari hasil pencatatan diketahui bahwa rata-rata temperatur bumi telah mengalami peningkatan sebesar 0,79°C dibandingkan dengan masa sebelum revolusi industri. Pemanasan global telah terjadi dan kait-mengkait dengan perubahan perilaku cuaca dan iklim bumi. Pencairan es di wilayah Kutub Utara dan sekitarnya (termasuk Greenland) menjadi bukti telah terjadinya pemanasan global.

Sektor energi memegang peran dominan dalam masalah pemanasan global, karena 56,6% emisi CO₂ dunia dihasilkan dari sektor energi. Dari sektor energi, kontribusi Indonesia terhadap emisi CO₂ dunia sekitar 1,26%; jauh dibawah Amerika yang berkontribusi sebesar 21,4%. Namun di sisi lain, sebagai negara kepulauan dengan garis pantai sepanjang 81.000 km, Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat rentan terhadap dampak pemanasan global dan perubahan iklim. Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional) mencatat kenaikan permukaan air laut di beberapa wilayah di tanah air sebesar 8 mm per-tahun, melebihi rata-rata dunia yang mencapai 1,8 mm per-tahun. Perubahan intensitas hujan dan panjang musim hujan serta kemarau ditengarai berbagai

pihak sebagai dampak nyata telah terjadinya perubahan iklim di tanah air. Oleh karena itu, Indonesia sangat berkepentingan dengan upaya kolektif masyarakat internasional dalam mencegah perubahan iklim yang lebih tidak bersahabat.

1.4. Komposisi Energi Dunia

Energi merupakan salah satu tulang punggung utama jalannya peradaban. Kemajuan suatu bangsa membutuhkan dukungan ketersediaan energi. Sebagai contoh, pada tahun 2006, negara maju seperti Amerika mengkonsumsi 21,4% energi dunia, sedangkan Cina yang dianggap sebagai kekuatan industri baru mengkonsumsi 15,6% energi dunia. Peningkatan kebutuhan energi di satu sisi serta ketidakstabilan harga dan pasokan energi konvensional di sisi lain, memunculkan isu keamanan energi (*energy security*) di berbagai negara di dunia. Kesadaran mengenai dampak negatif penggunaan sumber energi fosil terhadap lingkungan, khususnya atmosfer bumi, memunculkan berbagai upaya untuk meningkatkan penggunaan sumber energi baru dan terbarukan yang rendah emisi CO₂nya atau penggunaan bahan bakar fosil yang disertai upaya untuk mengeliminasi/meminimalkan emisi GRK (*Gas Rumah Kaca*) ke atmosfer, seperti *Carbon Capture and Storage (CCS)*. Dengan demikian, di samping bermasalah dengan dirinya sendiri (*ketidakstabilan harga dan pasokan*), penggunaan bahan bakar fosil secara konvensional juga menimbulkan permasalahan lingkungan hidup.

Bertambahnya jumlah penduduk, kemajuan teknologi, dan peningkatan perekonomian menyebabkan peningkatan konsumsi energi dunia. *International Energy Agency* melaporkan peningkatan konsumsi energi dunia hampir dua kali lipat dari 6.128 Mtoe pada tahun 1973 hingga 11.435 Mtoe pada tahun 2005. Meski bila dilihat sisi jumlah, penggunaan bahan bakar fosil semakin meningkat, namun akibat masalah ketersediaan dan harga yang fluktuatif, persentase

penggunaan minyak bumi mengalami penurunan; dari 46,2% pada tahun 1973 menjadi 35% pada tahun 2005. Penurunan persentase penggunaan minyak bumi tersebut dikompensasi oleh kenaikan penggunaan gas (16% menjadi 20,7%) dan batubara (24,4% menjadi 25,3%), serta sumber energi nuklir (0,9% menjadi 6,3%). Selama kurun waktu yang sama, penggunaan sumber energi air mengalami peningkatan dari 1,8% menjadi 2,2%, sedangkan sumber-sumber energi yang lain seperti surya, panas bumi, dan angin mengalami peningkatan dari 0,1% menjadi 0,5%. Selain itu, pembakaran biomassa dan sampah menyumbang suplai energi sekitar 10%. Dari gambaran tersebut, terlihat bahwa peradaban dunia saat ini masih sangat ditopang oleh bahan bakar fosil.

Seperti halnya komposisi energi dunia, Indonesia juga masih bertumpu pada minyak bumi untuk pemenuhan kebutuhannya; bahkan dengan persentase yang lebih tinggi (54,4% dari total energi). Namun kesadaran kolektif bangsa Indonesia terkait permasalahan pada minyak bumi, yakni penurunan tingkat produksi domestik (kurang dari 1 juta barel per-hari), cadangan yang tidak besar (sekitar 24 tahun pada tahun 2007), serta ketidakstabilan harga minyak dunia menumbuhkan keinginan bangsa ini untuk mengurangi ketergantungannya terhadap minyak bumi. Hal tersebut tertuang dalam Peraturan Presiden Nomor 5 tahun 2005 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam peraturan tersebut, pada tahun 2025 konsumsi minyak bumi diharapkan turun menjadi 20%, gas alam naik menjadi 30%, batubara naik menjadi 33%, sedangkan energi baru dan terbarukan naik menjadi 17%.

Target capaian energi terbarukan pada perpres tersebut (yakni 15%) cukup maju dibandingkan dengan negara tetangga seperti Australia yang hanya 6% pada tahun 2029-2030 [Australia's Energy Outlook, 2006], sedangkan India menargetkan kontribusi tenaga air dan nuklir sebesar 11,8% pada tahun 2031-2032. Guna mencapai

target penggunaan energi terbarukan tersebut, baru-baru ini Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral telah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 32 Tahun 2008 yang mewajibkan berbagai sektor pengguna energi untuk menggunakan Bahan Bakar Nabati (BBN) dengan persentase dan pentahapan tertentu.

1.5. Sumber Energi

Pengurangan penggunaan sumber energi fosil secara konvensional adalah konsekuensi logis penurunan emisi Gas Rumah Kaca. Meski demikian, terlanjur tingginya ketergantungan teknologi terhadap bahan bakar fosil, ditambah masih belum kompetitifnya harga sumber energi terbarukan, menyulitkan berbagai negara, terutama negara dengan kemampuan finansial dan teknologi terbatas (seperti Indonesia), untuk menyatakan *sayonara* kepada sumber energi fosil. Beberapa skenario yang kemudian dipilih adalah penetrasi bertahap penggunaan sumber energi yang mengemisikan CO₂ neto yang rendah, terutama yang berasal dari sumber energi baru dan terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan implementasi teknologi untuk menangkap dan menyimpan CO₂ di dalam lapisan bumi (*Carbon Capture and Storage - CCS*). Di bawah ini akan diuraikan kondisi energi di berbagai sektor pengguna energi di Indonesia, serta usulan strategi untuk menjamin pemenuhan kebutuhan energi dengan dampak lingkungan seminimal mungkin.

Sumber Energi Ada banyak sumber-sumber energi utama dan digolongkan menjadi dua kelompok besar yang dibahas pada alinea-alinea berikut:

- a. Energi konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.

Sumber-sumber energi konvensional tidak dapat tergantikan dalam waktu singkat, itulah mengapa disebut dengan tidak terbarukan. Sumber-sumber energi konvensional tidak ramah lingkungan; karena menimbulkan polusi udara, air, dan tanah yang berdampak kepada Penurunan tingkat kesehatan dan standar hidup.

Bahan bakar fosil terbentuk dari sisasisa organik tanaman dan hewan, yang mati ribuan tahun lalu dan tetap terkubur dalam pasir dan lumpur. Tahun-tahun berlalu, lapisan pasir dan lumpur kian menumpuk di atasnya dan berubah bentuk menjadi batuan karena panas dan tekanan. Sisa tumbuhan dan hewan yang terkubur di dalamnya berubah menjadi bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil harus diekstraksi dari kedalaman bumi di mana mereka terbentuk.

- b. Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan.

Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini.

Ada beragam jenis energi terbarukan, yaitu seperti Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Tenaga Air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat.

Sumber-sumber energi Konvensional dan Terbarukan bisa dikonversikan menjadi sumber-sumber energi sekunder, seperti listrik. Listrik berbeda dari sumber-sumber energi lainnya dan dinamakan

sumber energi sekunder atau pembawa energi karena dimanfaatkan untuk menyimpan, memindahkan atau mendistribusikan energi dengan nyaman. Sumber energi primer diperlukan untuk menghasilkan energi listrik.

Sektor energi adalah salah satu sektor terpenting di Indonesia karena merupakan dasar bagi semua pembangunan lainnya. Ada banyak tantangan yang terkait dengan energi, dan salah satu hal yang menjadi perhatian pemerintah Indonesia adalah bagaimana memperluas jaringan listrik, terutama dengan membangun infrastruktur pasokan listrik ke daerah perdesaan. Masih ada banyak daerah perdesaan yang sering mengalami pemadaman listrik oleh karena infrastruktur yang tidak memadai. Banyak tempat yang tidak memiliki akses terhadap infrastruktur listrik, sehingga masyarakat menggunakan sumber-sumber energi yang mahal dan tidak efisien, seperti lampu minyak tanah dan genset, atau kayu untuk memasak.

1.6. Penghematan Energi

Penghematan energi adalah tindakan mengurangi jumlah penggunaan energi atau penggunaan energi yang optimal sesuai dengan kebutuhan sehingga akan menurunkan biaya energi yang dikeluarkan. Penghematan energi dapat dicapai dengan penggunaan energi secara efisien di mana manfaat yang sama diperoleh dengan menggunakan energi lebih sedikit, ataupun dengan mengurangi konsumsi dan kegiatan yang menggunakan energi. Konservasi energi berkaitan dengan usaha-usaha untuk mengkonversi atau mengubah sumber daya energi menjadi energi dan tindakan penghematan pemakaian energi atau efisiensi energi.

Penghematan energi dapat menyebabkan berkurangnya biaya, serta meningkatnya nilai lingkungan, keamanan negara, keamanan pribadi, serta kenyamanan. Organisasi-organisasi serta perseorangan dapat menghemat biaya dengan melakukan penghematan energi,

sedangkan pengguna komersial dan industri dapat meningkatkan efisiensi dan keuntungan dengan melakukan penghematan energi.

1.7. Konservasi Energi

Konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. dalam Pelaksanaan konservasi energi harus mencakup seluruh tahap pengelolaan energi. Tahap pengelolaan energi tersebut meliputi kegiatan penyediaan energi, pengusahaan energi, pemanfaatan energi, dan konservasi sumber daya energi. Penyediaan energi yaitu kegiatan atau proses menyediakan energi, baik dari dalam negeri maupun dari luar negeri. Pengusahaan energi yaitu kegiatan menyelenggarakan usaha penyediaan dan/atau pemanfaatan energi. Pemanfaatan energi yaitu kegiatan menggunakan energi, baik langsung maupun tidak langsung, dari sumber energi.

Pelaksanaan konservasi energi dalam kegiatan penyediaan energi meliputi perencanaan yang berorientasi pada penggunaan teknologi yang efisien energi pemilihan prasarana, sarana, peralatan, bahan, dan proses yang secara langsung ataupun tidak langsung menggunakan energi yang efisien dan pengoperasian sistem yang hemat energi. Pelaksanaan konservasi energi dalam pengusahaan energi dilakukan melalui penerapan teknologi yang efisien energi yang memenuhi standar sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Pelaksanaan konservasi dalam pemanfaatan energi antara lain dengan adanya ketentuan bahwa pemanfaatan energi oleh pengguna sumber energi dan pengguna energi wajib dilakukan secara hemat dan efisien serta pengguna sumber energi dan pengguna energi yang menggunakan sumber energi dan/atau energi lebih besar atau sama dengan 6.000 (enam ribu) setara ton minyak pertahun wajib melakukan konservasi energi melalui manajemen energi.

Manajemen energi dilakukan dengan menunjuk manajer energi, menyusun program konservasi energi, melaksanakan audit energi secara berkala melaksanakan rekomendasi hasil audit energi, dan melaporkan pelaksanaan konservasi energi setiap tahun kepada menteri, gubernur, atau bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya masing-masing.

Pelaksanaan kebijakan konservasi sumber daya energi antara lain meliputi sumber daya energi yang diprioritaskan untuk diusahakan dan/atau disediakan jumlah sumber daya energi yang dapat diproduksi; dan pembatasan sumber daya energi yang dalam batas waktu tertentu tidak dapat diusahakan. Secara ringkas pelaksanaan konservasi dalam pemanfaatan energi dilakukan dengan efisiensi pemakaian energi. Untuk pelaksanaan konservasi sumber daya energi dilakukan dengan cara menggunakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui seefisien mungkin, dan dengan mengembangkan penggunaan teknik konversi energi melalui pemanfaatan energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin tinggi.

BAB II

ENERGI TERBARUKAN

2.1. Definisi Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang pada umumnya sumber daya non fosil yang dapat diperbaharui dan apabila dikelola dengan baik maka sumber dayanya tidak akan habis. Jenis energi terbarukan meliputi biomasa, panas bumi, energi surya, energi hidro, energi angin dan samudera.

Pada tahun 2010, banyak negara telah menyadari pentingnya memanfaatkan sumber-sumber Energi Terbarukan sebagai pengganti energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, batubara dan gas yang telah menimbulkan dampak yang sangat merusak terhadap bumi. Dengan semakin menipisnya cadangan sumber energi tidak terbarukan, maka biaya untuk penambangannya akan meningkat, yang berdampak pada meningkatnya harga jual ke masyarakat. Pada saat yang bersamaan, energi tidak terbarukan akan melepaskan emisi karbon ke atmosfer, yang menjadi penyumbang besar terhadap pemanasan global.

Dibanyak daerah pedalaman di Indonesia, solusi energi tidak terbarukan belum tersedia. Karena akses kepada jaringan PLN belum ada ataupun masih sangat terbatas. Daerah perdesaan ini sering menjadi tempat-tempat yang terisolasi dan bergantung kepada pemakaian energi tradisional yang tidak bisa diandalkan, seperti generator yang berbahan bakar minyak, kayu atau tabung LPG sebagai sumber energi yang digunakan untuk memasak, penerangan, serta kebutuhan listrik dasar lainnya. Solusi Energi Terbarukan menjadi jawaban terhadap permintaan kebutuhan pembangunan desa di

Indonesia, serta mempromosikan solusi praktis dan berkelanjutan yang bisa langsung diadopsi oleh masyarakat pedesaan yang menjadi prioritas bagi bangsa Indonesia.

Ada banyak alasan mengapa energi terbarukan menjadi pilihan, diantaranya; relatif tidak mahal, bersifat netral karbon, kebanyakan tidak menimbulkan polusi dan semakin mendapatkan dukungan dari berbagai LSM untuk menggantikan solusi energi tidak terbarukan berbasis bahan bakar minyak. Lebih lanjut, mengimplementasikan teknologi ini dalam masyarakat pedesaan bisa memberikan peluang kemandirian kepada masyarakat pedesaan untuk mengelola dan mengupayakan kebutuhan energi mereka sendiri beserta solusinya.

Dengan semakin banyaknya penyebarluasan informasi tentang energi terbarukan maka akan memberikan referensi yang berguna kepada masyarakat terutama di daerah pedesaan, karena Teknologi Energi Terbarukan merupakan hal baru bagi kebanyakan daerah pedesaan di Indonesia. Juga kepada pembuat keputusan serta pemangku kepentingan di masyarakat. Juga untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai pilihan energi terbarukan untuk digunakan di berbagai konteks pedesaan di Indonesia. Tenaga Surya, Pembangkit Listrik Tenaga Air skala kecil, Tenaga Angin dan Biomassa yang berasal dari berbagai sumber.

Energi terbarukan merupakan sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini.

2.2. Sumber Energi Terbarukan

Ada beragam jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Berbagai

sumber energy terbarukan, yaitu seperti Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Tenaga Air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah; yakni sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi sumber-sumber ini berada di tempat-tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas. Teknologi energi terbarukan lainnya adalah tenaga ombak, yang masih dalam tahap pengembangan.

a. Energi Matahari

Matahari terletak berjuta-juta kilometer dari Bumi (149 juta kilometer) akan tetapi menghasilkan jumlah energi yang luar biasa banyaknya. Energi yang dipancarkan oleh matahari yang mencapai Bumi setiap menit akan cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh penduduk manusia di planet kita selama satu tahun, jika bisa ditangkap dengan benar. Setiap hari, kita menggunakan tenaga surya, misal untuk mengeringkan pakaian atau mengeringkan hasil panen. Tenaga surya bisa dimanfaatkan dengan cara-cara lain: Sel Surya (yang disebut dengan sel Energi ‘fotovoltaik’ yang mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik secara langsung. Pada waktu memanfaatkan energi matahari untuk memanaskan air, panas matahari langsung dipakai untuk memanaskan air yang dipompakan melalui pipa pada panel yang dilapisi cat hitam.

b. Energi Angin

Angin adalah pergerakan udara yang terjadi akibat udara hangat naik dan udara dingin mengalir menggantikan udara panas. Energi angin telah digunakan selama berabad-abad lalu untuk menggerakkan perahu layar memanfaatkan tenaga angin untuk mendorongnya bergerak di air, dan juga bisa dimanfaatkan

menggerakkan baling-baling yang dipasang di puncak menara, yang disebut dengan turbin angin yang akan menghasilkan energi mekanik atau listrik.. Pada saat angin bertiup, angin disertai dengan energi kinetik (gerakan) yang bisa melakukan suatu pekerjaan.

c. Energi Mikrohidro

Air yang mengalir dari hulu ke hilir merupakan energi yang sangat besar. Air merupakan sumber daya terbarukan, yang secara terus menerus tersirkulasi oleh penguapan dan peresapan. Panas matahari menyebabkan air di danau dan lautan menguap untuk membentuk awan. Kemudian air tersebut jatuh kembali ke bumi dalam bentuk hujan dan salju dan mengalir melalui sungai dan aliran lain menuju lautan. Air yang mengalir dapat dijadikan energi untuk memutar kincir yang selanjutnya energi tersebut digunakan untuk proses mekanis industri. Energi aliran air juga dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik melalui turbin dan generator.

d. Energi Biomassa

Pada awalnya, biomassa dikenal sebagai sumber energi ketika manusia membakar kayu untuk memasak makanan atau menghangatkan tubuh pada musim dingin. Kayu merupakan sumber energi biomassa yang masih lazim digunakan tetapi sumber energi biomassa lain termasuk makanan hasil panen, rumput dan tanaman lain, limbah dan residu pertanian atau pengolahan hutan, komponen organik limbah rumah tangga dan industri, juga gas metana sebagai hasil dari timbunan sampah. Biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan sebagai bahan bakar transportasi. Beberapa contoh proses atau hasil dari biomassa seperti biogas, etanol, biodiesel, arang briket, gasifikasi, pirolisis.

e. Energi Hidrogen

Hidrogen mempunyai potensi yang luar biasa sebagai bahan bakar dan sumber energi, tetapi teknologi yang dibutuhkan untuk mendukungnya masih dalam tahap-tahap awal. Hidrogen merupakan zat yang berlimpah di bumi. Sebagai contoh, air mengandung dua pertiga hidrogen, tetapi di alam hidrogen dijumpai bersama-sama dengan elemen lain. Sekali terpisah dari elemen lainnya, hidrogen dapat digunakan untuk menggerakkan kendaraan, menggantikan gas alam untuk memasak dan memanaskan, juga untuk menghasilkan energi listrik.

f. Energi Panas Bumi

Bumi Panas yang terkandung dalam perut bumi menghasilkan uap dan air panas yang dapat digunakan untuk memberikan tenaga pada generator dan menghasilkan listrik, atau untuk pemakaian lain seperti pemanasan rumah dan pembangkit daya pada industri. Energi panas bumi dapat diambil dari sumber di bawah tanah dengan pengeboran atau dari sumber lain yang lebih dekat dengan permukaan bumi.

g. Energi Gelombang Laut

Lautan menyediakan banyak bentuk energi terbarukan, dan setiap bentuknya dikendalikan oleh kekuatan tersendiri. Energi dari gelombang lautan dan ombak dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik dan tenaga panas lautan dapat diubah menjadi listrik juga. Dengan teknologi yang ada sekarang ini, kebanyakan energi dari lautan kurang efektif dalam hal biaya dibandingkan dengan sumber energi terbarukan yang lain, namun tetap saja lautan menyimpan potensi energi yang besar untuk masa depan.

h. Energi Pasang Surut

Dua kali sehari, air pasang naik dan turun menggerakkan volume air yang sangat banyak saat tingkat air laut naik dan turun di sepanjang garis pantai. Energi air pasang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik seperti halnya listrik tenaga air tetapi dalam skala yang lebih besar. Pada saat air pasang, air bisa ditahan di belakang bendungan. Ketika surut, maka tercipta perbedaan ketinggian air antara air pasang yang ditahan di bendungan dan air laut, dan air laut di belakang bendungan bisa mengalir melalui turbin yang berputar, untuk menghasilkan listrik. Memang tidak mudah membangun penahan air pasang ini, karena pantai harus terbentuk secara alami dalam bentuk kuala, dan hanya 20 lokasi di seluruh dunia yang telah diidentifikasi sebagai tempat yang berpotensi.

2.3. Kebaikan dan Keburukan Energi Terbarukan

a. Kelebihan Energi Terbarukan

Energi terbarukan memiliki beberapa kebaikan diantaranya yaitu:

- 1) Tersedia secara melimpah
- 2) Lestari tidak akan habis
- 3) Ramah lingkungan (rendah atau tidak ada limbah dan polusi)
- 4) Sumber energi bisa dimanfaatkan secara cuma-cuma dengan investasi teknologi yang sesuai
- 5) Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan sumber-sumber energi konvensional dan mengurangi biaya operasi.
- 6) Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja
- 7) Mandiri' energi tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga

- 8) Lebih murah dibandingkan energi konvensional dalam jangka panjang Bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil
- 9) Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil
- 10) Distribusi Energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir.

b. Kekurangan Energi Terbarukan

Namun demikian energi terbarukan juga memiliki berbagai kekurangan yaitu diantaranya :

- 1) Biaya awal besar
- 2) Keandalan pasokan Sebagian besar energi terbarukan tergantung kepada kondisi cuaca.
- 3) Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan.
- 4) Energi tambahan yang dihasilkan energi terbarukan harus disimpan, karena infrastruktur belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai, dijadikan cadangan di negara-negara lain dalam bentuk akses terhadap jaringan listrik.
- 5) Kurangnya tradisi/pengalaman Energi terbarukan merupakan teknologi yang masih berkembang
- 6) Masing-masing energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosialnya sendiri.

BAB III

ENERGI BIOMASSA

3.1. Biomassa

Biomassa adalah material biologis yang berasal dari suatu kehidupan, atau organisme yang masih hidup yang berstruktur karbon dan campuran kimiawi bahan organik yang mengandung hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil dari atom - atom dan elemen-elemen lainnya. Dan biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik yaitu menyimpan energi yang berasal dari matahari dimana sinar matahari memberi energi pada tanaman untuk mengubah air dan karbondioksida menjadi oksigen dan gula. Zat gula ini disebut karbohidrat yang disimpan sebagai sumber energi bagi tanaman dan hewan yang memakan tanaman tersebut. Makanan yang kaya akan karbohidrat merupakan sumber energi yang baik bagi tubuh manusia. Biomassa merupakan sumber energi yang terbarukan karena persediaannya tidak terbatas, seperti tumbuhan-tumbuhan, pertanian, maupun limbah yang dihasilkan akan selalu tersedia.

Biomassa dapat pula meliputi limbah terbiodegradasi yang dapat dibakar sebagai bahan bakar seperti jerami, sekam, batok kelapa, tandan kosong dan cangkang sawit, dan limbah kayu. Biomassa merupakan sumber daya terbarukan yang bisa dikembangkan secara berkelanjutan di masa depan. Biomassa memiliki sifat lingkungan yang sangat positif sehingga tidak ada pelepasan karbon dioksida ke atmosfer dan memiliki kandungan sulfur yang sangat rendah. Artinya, biomassa bukan kontributor penyebab perubahan global. Biomassa memiliki potensi ekonomi yang nyata

seiring dengan peningkatan harga bahan bakar fosil di masa mendatang.

Biomassa merupakan bahan bakar organik yang terbentuk dari zat-zat organik yang disusun oleh tumbuhan melalui proses fotosintesis (dengan bantuan energi matahari). Biasanya bahan bakar jenis ini diklasifikasikan ke dalam bahan bakar padat yang memiliki unsur kimia antara lain: zat arang atau karbon (C), hidrogen (H), zat asam atau oksigen (O), zat lemas atau nitrogen (N), belerang (S), abu dan air yang semuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia. Salah satu bahan bakar padat alternatif yang digunakan sebagai sumber energi adalah biomassa.

Biomassa disebut juga sebagai pitomassa dan seringkali diterjemahkan sebagai bioresource atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya meliputi ratusan atau ribuan spesies tanaman, daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan, dan limbah residu dan proses industri, limbah dan kotoran hewan. Tanaman energi yang membuat perkebunan energi skal besar akan menjadi salah satu biomassa yang menjanjikan, walaupun belum dikomersialkan saat ini. Biomassa secara spesifik berarti kayu, rumput napier, rapessed, eceng gondik, rumput laut raksasa, chlorella, serbuk gergaji, serpihan kayu, jerami, sekam padi, sampah dapur, lumpur pulp, kotoran hewan, dan lain-lain. Biomassa jenis perkebunan seperti kayu putih, poplar hybrid, kelapa sawit, tebu, rumput gajah dan lain-lain adalah termasuk katagori ini.

Biomassa sering diiklankan sebagai karbon netral atau karbon hampir netral, tetapi ini bisa menyesatkan. Memang benar bahwa pada awalnya (secara relatif) karbon yang dirilis tersebut langsung ditarik keluar dari atmosfer, sehingga dapat dinetralkan kembali oleh tanaman yang sudah ada. Tetapi setiap karbon tambahan dipancarkan dalam budidaya, pemanenan dan pengangkutan bahan bakar. Hal tersebut dapat menjadi tambahan produksi karbon yang cukup besar.

Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin sedikit karbon yang dihasilkan dalam tahap produksi, maka semakin dekat dengan klasifikasi bahan bakar berkarbon rendah bahkan netral.

Bagaimana kita menggunakan biomassa untuk mencapai keseimbangan karbon? Pepohonan merupakan sebuah perkebunan energi yang terus tumbuh, mereka menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer. Pohon-pohon tersebut menyimpan karbon (C) dalam jaringan kayu dan melepaskan oksigen (O₂) kembali ke atmosfer. Pada saat panen, kayu dari pepohonan tersebut diangkut dari perkebunan untuk dibakar dan panasnya digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Ketika kayu dibakar di pembangkit tenaga listrik, karbon dilepaskan ke atmosfer dan diserap kembali oleh tanaman yang tumbuh (biomassa) di dalam siklus yang berkelanjutan. Kayu mentah (diantaranya kayu yang belum diolah secara kimiawi). Kayu dari pohon adalah biomassa yang telah digunakan selama berabad-abad dan karena itu wajar untuk menganggap pepohonan sebagai tanaman penghasil energi potensial. Biomassa yang diperoleh dari praktek kehutanan seperti penjarahan dan pemangkasan dari pengelolaan taman hutan, kebun dan kulit kayu, kayu balok, serbuk gergaji, palet kayu dan briket.

Tanaman-tanaman Penghasil Energi: adalah tanaman yang ditanam khusus sebagai bahan bakar. Terdapat 4 jenis utama tanaman penghasil energi:

1. Tanaman penghasil energi berotasi pendek - rotasi tanam pendek mempercepat panen dari pepohonan yang tumbuh untuk biomassa menjadi hanya beberapa tahun. Karena batang yang dipanen berusia muda, biomassa yang dihasilkan cenderung memiliki proporsi kulit pohon yang tinggi.
2. Rumput & tanaman - tanaman penghasil energi non kayu - tanaman tahunan yang dapat menawarkan hasil yang tinggi

seperti Miskantus, Switchgrass, Alang-alang Kenari, Alang-alang raksasa, rami, dll

3. Tanaman - tanaman pertanian penghasil energi - Tanaman-tanaman ini sudah dikenal baik oleh petani. Termasuk di dalamnya, tanaman penghasil gula seperti bit gula dan tebu; Tanaman pati seperti gandum, jagung dan kentang; Tanaman penghasil minyak seperti minyak rapa atau bahkan limbah minyak nabati (WVO).
4. Tanaman yang hidup di air / tanaman hidroponik - Baik ganggang mikro dan makro seperti rumput laut dan kelps. Gulma kolam dan danau juga termasuk dalam tanaman air. Namun tanamantanaman ini mempunyai kadar air yang tinggi sehingga perlu dikeringkan sebelum digunakan.

Banyak tanaman pertanian dan peternakan menghasikan limbah dan residu yang dapat digunakan langsung untuk pupuk pertanian di mana mereka berasal, sehingga meminimalkan transportasi. Residu dari panen atau pengolahan pertanian terdiri dari berbagai macam jenis, yang paling signifikan adalah jenis residu kering dan basah. Residu kering terkandung dalam jerami atau sekam seperti ampas dari produksi tebu dan sekam dari biji-bijian; residu kering juga termasuk bulu unggas dan bulu hewan yang sering digunakan sebagai peralatan tidur.

Residu basah seperti kotoran hewan, pupuk kandang dan silase (hijauan makanan ternak yang di fermentasi) memiliki kadar air yang tinggi sehingga sesuai untuk proses penguraian anaerobik. Residu basah sulit dan mahal untuk ditransportasikan, sehingga sebaiknya diproses berdekatan dengan tempat produksi menggunakan proses biomassa yang memanfaatkan penguraian anaerobik.

Limbah makanan adalah residu dan limbah dari proses awal produksi, pengolahan, penanganan dan distribusi sampai pascakonsumsi dari hotel, restoran dan rumah tangga. Banyak bahan

makanan diproses dengan cara menghilangkan bagian yang tidak dapat dimakan atau yang tidak diinginkan seperti kulit, cangkang, sekam, bagian tengah, biji, kepala, pulp dari ekstraksi sari buah dan minyak, dan lain-lain.

Proses pemasakan makanan meninggalkan residu dan limbah seperti minyak goreng bekas yang dapat digunakan untuk membuat biodiesel. Sisa makanan juga dapat dibagi menjadi limbah kering dan basah, namun sebagian besar mempunyai kadar air yang relatif tinggi sehingga cocok untuk penguraian anaerobic pada produksi biogas. Limbah dengan tingkat gula atau pati yang tinggi cocok untuk fermentasi bioetanol. Limbah Industri atau produk turunan yang dihasilkan oleh kebanyakan proses industri dan manufaktur memiliki potensi untuk dikonversi menjadi bahan bakar biomassa.

Kesemua ini nantinya dapat dibagi lagi menjadi bahan kayu dan non-kayu. Endapan kotoran dapat dikeringkan dan digunakan pada proses pembakaran, gasifikasi atau pirolisis (dekomposisi melalui pemanasan). Namun karena biomassa ini memiliki kadar air yang tinggi, penguraian anaerob adalah pilihan yang menarik karena tidak memerlukan proses pengeringan.

Saat ini banyak residu pertanian digunakan untuk daur ulang dan perbaikan hara tanah, ketidakhadiran residu tersebut akan menyebabkan jumlah penggunaan pupuk sintetis meningkat secara signifikan dan produk-produk lain yang mengeluarkan emisi CO₂ yang signifikan dan penggunaan energi selama proses produksi.

Proses pra-pengolahan sebelum konversi biomassa menjadi bahan bakar, penanganan mencakup pemotongan dengan panjang seragam, perajangan, penggilingan atau pencacahan. Pengeringan dan mengurangi kadar air.

Proses pengeringan dapat dibagi menjadi 3 tipe, yaitu :

1. Pengeringan pasif, adalah metode pengeringan yang biasanya termurah, memerlukan peralatan tambahan atau energi

eksternal minimal, tetapi juga paling lambat. Metode ini dapat digunakan untuk mencapai kadar air 25-30%. Namun, jika dibutuhkan pengurangan kadar air yang lebih besar, diperlukan pengeringan aktif.

2. Pengeringan Aktif memerlukan asupan energi eksternal seperti angin atau konveksi udara, dikombinasikan dengan ventilasi yang baik, bersama dengan kipas angin atau blower dan biasanya dengan system pemanas.
3. Campuran - Jika ada dua jenis bahan dan salah satunya sangat kering, campur bahan ini dengan bahan berkadar air yang lebih tinggi untuk mengurangi tingkat rata-rata kelembaban.

Tempat penyimpanan biomassa harus dirancang dengan baik dan dibangun untuk sejumlah fungsi. Penyimpanan tersebut harus mampu menjaga bahan bakar tetap dalam kondisi yang baik, terutama melindunginya dari kelembaban. Proses konversi biomassa untuk energi yang berguna, terdapat sejumlah opsi teknologi yang tersedia untuk mengolah berbagai jenis biomassa menjadi sumber energi terbarukan. Teknologi konversi dapat melepaskan energi secara langsung, dalam bentuk panas atau listrik atau mengubahnya ke bentuk lain, seperti biofuel atau biogas. Beberapa perubahan energi yang dapat terjadi yaitu seperti :

1. Thermal Conversion - Konversi Termal - Proses yang mencakup pembakaran dan gasifikasi untuk menghasilkan Listrik dan gas sintetik.
2. Combined Heat And Power (CHP) - Gabungan Panas Dan Energi atau cogeneration adalah proses di mana biomassa digunakan untuk bahan bakar mesin CHP untuk pembangkit listrik simultan dan panas. Tri-generasi adalah ekstensi lanjut untuk memasukkan suatu proses pendingin untuk pengkondisian udara juga.

3. Co-Firing - Pembakaran bersama adalah proses penggantian bahan bakar fosil yang dipasok ke pembangkit listrik atau boiler dengan energi alternatif terbarukan seperti minyak nabati (terutama kelapa). Biofuel potensial lainnya seperti minyak tall dari industri kertas (kayu pinus), minyak pirolisis atau gas sintetis juga dapat digunakan.

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Energi biomassa adalah energi dibuat untuk bahan bakar yang didapatkan dari sumber alami yang dapat diperbarui. Jadi, energi biomassa ini bisa menjadi jalan keluar dari bahan bakar yang selama ini tidak dapat diperbaharui dan mencemari lingkungan hidup. Biasanya, bahan pembuat biomassa ini berasal dari dua jenis, dari kategori hewan yang bisa berupa mikroorganisme ataupun makroorganisme dan juga bahan-bahan energi biomassa dari tumbuhan seperti tanaman sisa pengolahan ataupun hasil panen secara langsung. Energi biomassa ini muncul berdasarkan adanya siklus carbon di bumi. Dimana, hampir semua unsur kehidupan, mulai dari tumbuhan, hewan hingga manusia memiliki unsur karbon yang pada dasarnya terus berputar. Karena itulah, biomassa sendiri bisa dibuat bahan bakar karena juga mengandung unsur carbon.

Biomassa dapat diubah menjadi energi alternatif dengan tiga proses utama yaitu pembakaran langsung, konversi secara termokimia dan proses biologi. Konversi secara termokimia terdiri dari pirolisis, gasifikasi dan pencairan (*liquefaction*) Untuk mengolah limbah biomassa yang biasanya memiliki kadar air relatif tinggi, metode pirolisis dan gasifikasi membutuhkan energi tambahan untuk menguapkan air yang terkandung, sehingga total efisiensi energinya menjadi rendah.

a. Komposisi Kimia Biomassa

Struktur kayu bervariasi di antara spesies dan sampai taraf tertentu di dalam spesies dan individu pohon. Ciri khas dan penyebaran sel bervariasi menurut musim ketika sel itu terbentuk dan juga bervariasi dengan perubahan kegiatan pohon. Kayu tersusun dari beberapa jenis sel yang berbeda. Struktur kayu daun lebar lebih sederhana daripada kayu daun jarum, yang mempunyai lebih banyak tipe sel. Trakeid menyusun mayoritas unsur longitudinal kayu daun jarum. Umumnya kayu mengandung selulosa 40-60%, hemiselulosa 20-30%, dan lignin 20-30%.

Selulosa merupakan salah satu komponen utama penyusun dinding sel yang kandungannya berkisar antara 40-45% dari bahan kering kayu. Struktur kimia selulosa adalah rantai lurus, memanjang dan tidak bercabang. Struktur seperti itu merupakan polimer linier dari unit-unit anhidro-D-glukopiranosida yang diikat oleh β -(1 \rightarrow 4) glikosidik. Derajat polimerisasi (DP) selulosa berkisar 7.000–10.000 glukosa. Kandungan dan struktur kimia selulosa antara kayu daun lebar dan kayu daun jarum relatif tidak berbeda. Satu-satunya yang membedakan hanya DP, dimana DP selulosa kayu daun jarum lebih tinggi dibandingkan kayu daun lebar.

b. Proses dan Teknologi Konversi Biomassa

Proses konversi biomassa menjadi energi melalui dua lintasan yaitu (1) dekomposisi kimia, dan (2) penghancuran/penguraian secara biologi. Sedangkan teknologi untuk pendayagunaan biomassa dibagi menjadi empat kelompok dasar yaitu (1) proses pembakaran langsung, (2) proses termokimia, (3) proses biokimia, dan (4) proses agrokimia (Demirbas, 2002 and 2004).

a. Proses Pembakaran Langsung (direct Combustion)

Proses pembakaran langsung ini terjadidengan melibatkan pembakaran biomassa dengan udara berlebih untuk menghasilkan

gas buang yang panas. Gaspanas ini digunakan untuk menghasilkan uap dalam boiler. Sebagian besar (97%) pembangkit biopower di dunia menggunakan sistem pembakaran langsung (Demirbas, 2004). Mereka membakar bahan baku bioenergi secara langsung untuk menghasilkan uap dan menjalankan turbin kemudian menghasilkan listrik dengan generator. Uap dari pembangkit listrik juga digunakan untuk proses di pabrik atau untuk pemanas ruangan.

Proses pembakaran biomassa secara langsung dapat melalui dua cara yaitu: Bahan baku biomassa langsung dimasukkan ke dalam tungku pembakaran atau tungku boiler, atau biomassa dicampur dengan batubara dan proses ini juga disebut Cofiring. Hasil akhir dari proses ini adalah panas dan abu.

b. Proses Konversi Termokimia

Proses konversi biomassa dengan termokimia dibagi menjadi lima bagian yaitu; pirolisis, gasifikasi, hidrogenasi, pencairan (pencairan dengan tekanan tinggi atau rendah, dan ekstraksi flui pada kondisi superkritis.

1. Pirolisis Biomassa

Pirolisa biomassa merupakan pembakaran pada ruang tertutup dan tidak bersinggungan langsung dengan udara bebas. Temperatur pemanasan pada proses ini berkisar 500°C dan akan mengubah biomassa menjadi tiga bagian yaitu gas, biochar, dan crude oil (bio-oil). Ada tiga macam pirolisa, yaitu pirolisa konvensional ataupun pirolisa lambat (slow pyrolysis), pirolisa cepat (fast pyrolysis), serta Pirolisa kilat (flash pyrolysis) yang sangat tergantung pada waktu dan temperatur yang bersentuhan langsung dengan ukuran biomassa pada proses konversi. Pada tabel berikut ini disajikan perbedaan indikator untuk tiga kelompok pirolisa pada biomassa.

2. Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi biomassa adalah proses perubahan bentuk biomassa menjadi gas pada suhu dan tekanan udara tertentu. Proses gasifikasi juga merupakan bentuk dari pirolisa namun konsentrasi produknya adalah lebih banyak gas daripada biochar ataupun bio-oil atau tar. Pada proses gasifikasi ini, juga muncul panas yang dapat dikombinasikan dengan steam gas turbin yang memanfaatkan buangan panas untuk menjalankan turbin.

Kombinasi gas dan panas tersebut dimanfaatkan lagi menjalankan gas turbin dan steam turbin untuk menghasilkan listrik. Dengan demikian, efisiensi konversi energi pada kombinasi sistem ini mampu mencapai lebih dari 50%.

3. Hidrogenasi Biomassa

Hidrogenasi biomassa merupakan proses konversi biomassa untuk menghasilkan hidrogen.

4. Likuifaksi Biomassa dan Likuifaksi Katalitik

Proses perubahan atau konversi biomassa menjadi bahan bakar cair dengan melibatkan katalis, kondisi ini dimungkinkan pada suhu rendah tapi dengan tekanan tinggi.

5. Ekstraksi Aliran Superkritis and Ekstraksi Aliran Superkritis Katalitik

Proses ini hampir sama dengan likuifaksi biomassa namun fokus kinerja konversi energi biomassa tersebut sangat mengandalkan karakteristik katalisnya yaitu suhu kritis atau pada tekanan kritisnya.

c. Proses Konversi Biokimia

Biomassa yang mengalami proses konversi biokimia, umumnya membutuhkan waktu yang relatif lama karena menunggu kemampuan bakteri pengurai berfungsi dengan baik untuk mengubah biomassa menjadi komponen gas dan limbah padat. Produk bioenergi dari proses ini adalah biogas.

d. Proses Konversi Agrokimia

Proses ini terjadi dengan lebih mengandalkan pada produk yang dihasilkan dari kegiatan pertanian, terutama pada proses pengolahan hasil-hasil pertanian seperti ekstraksi tanaman jarak menjadi minyak jarak atau pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi CPO. Kedua produk tersebut langsung digunakan sebagai biodiesel dan tidak memerlukan proses kimia lanjutan.

Energi panas yang dihasilkan selain dapat langsung dimanfaatkan juga dapat diubah menjadi bentuk energi lain (energi listrik, energi mekanis, pendinginan) dengan mempergunakan jalur konversi yang lebih panjang. Yang perlu diperhatikan adalah bahwa makin panjang jalur konversi yang ditempuh, maka makin kecil efisiensi konversi biomass tersebut menjadi energi. Hal ini disebabkan tiap tahap konversi mempunyai efisiensi kurang dari 100%. Sebagai contoh, konversi biomass menjadi energi panas dengan cara pembakaran langsung tungku dapat mencapai efisiensi lebih kurang 40%. Tetapi konversi biomass menjadi energi listrik melalui proses konversi gasifikasi hanya dapat mencapai efisiensi lebih kurang 17%.

c. Karakteristik Biomassa

Ketika biomassa dijumpai di lapangan, secara umum dapat diidentifikasi karakteristiknya seperti jenis dan ukuran yang tidak seragam karena berasal dari berbagai sumber, kadar air yang tinggi, kandungan energi yang rendah. Kendati identifikasi karakteristik biomassa secara kasat mata tersebut dapat dilaksanakan dengan mudah dan murah namun tidak mampu memberikan informasi kuantitatif yang sangat diperlukan dalam strategi dan program kerja teknis dalam pengelolaan biomassa sebagai bahan baku bioenergi. Pengelolaan terpenting adalah melakukan pengubahan energi yang rendah menjadi materi berenergi tinggi melalui proses fisik, biologi, dan kimia atau kombinasinya serta pemilihan teknologi konversinya.

Ada tiga cara pendekatan analisis untuk menentukan karakteristik biomassa (M. Nur, 2014) yaitu :

1. Analisis Proksimat

Analisis proksimate merupakan analisis di laboratorium untuk menentukan kadar air (moisture content), zat terbang (volatile matter), karbon tetap (fixed carbon), dan kadar abu (ash) dari biomassa.

- a) Kadar air (Moisture Content) Kadar air muncul selalu hadir sebagai penciri dalam setiap organisme hidup. Kadar air adalah penciri penting untuk bahan bakar biomassa. Ada berbagai kadar air untuk bahan bakar biomassa, sesuai dengan jenis biomassa, bentuk biomassa, kondisi penyimpanan dan iklim. Peningkatan kadar air akan mengurangi suhu pembakaran maksimum adiabatik dan meningkatkan waktu yang diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dalam tungku. Kadar air biomassa memiliki kepentingan besar dalam hal daya tahan penyimpanan, nilai kalor bersih, pengapian diri, perancangan pabrik, perhitungan jumlah untuk konsumsi boiler.
- b) Zat Terbang (Volatile Matter) Kadar karbon tetap adalah karbon ditemukan dalam bahan yang tersisa setelah bahan yang mudah menguap didorong off. Hal Zat terbang mengacu pada komponen, kecuali untuk kelembaban, yang dibebaskan pada suhu tinggi tanpa adanya udara. Jumlah zat terbang dalam bahan bakar biomassa lebih penting daripada batubara. Bagian utama dari bahan bakar ini kemudian diupkan sebelum fase gas homogen pembakaran sementara char sisanya dibakar heterogen. Jumlah pengaruh zat terbang sangat dekomposisi dan pembakaran perilaku termal. Ini berbeda dengan kandungan karbon utama biomassa karena beberapa karbon hilang dalam hidrokarbon dengan volatil.

- c) Karbon Tetap (Fixed Carbon) Kadar karbon tetap adalah karbon ditemukan dalam bahan yang tersisa setelah bahan yang mudah menguap. Hal ini berbeda dengan kandungan karbon utama biomassa karena beberapa karbon hilang dalam hidrokarbon dengan volatil.
- d) Kadar Abu (Ash) Kadar abu biomassa adalah residu dari sisa pembakaran yang bersifat tidak mudah terbakar. Ini merupakan mineral massal setelah karbon, oksigen, sulfur dan udara yang telah terjadi selama proses pembakaran. Beberapa elemen yang hadir dalam bentuk biomassa abu setelah pembakaran dikenal sebagai unsur pembentuk abu. Mereka ada dalam bentuk garam, tersimpan dalam struktur karbon (abu melekat) atau setelah diperkenalkan ke bahan bakar saat panen dan transportasi dalam bentuk debu atau tanah liat (ash entrained). Semua jenis biomassa memiliki kandungan abu yang rendah dibandingkan dengan batubara. Namun, komposisi abu biomassa lebih rentan untuk penyumbatan dalam tungku biomassa.

2. Analisis Ultimate

Analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada biomassa seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan, dan juga unsur mikro. Elemen karbon, hidrogen dan oksigen merupakan komponen utama dari bahan bakar biomassa. Nilai prosentase karbon dan hidrogen nilai kalori yang lebih tinggi (yang merupakan kasus batubara) karena konsentrasi dari unsur-unsur dalam bahan bakar secara langsung terkait dengan nilai kalor (lihat rumus). Karbon sebagian hadir dalam bentuk teroksidasi yang menjelaskan nilai yang lebih rendah pada gross calorific value (GCV) untuk biomassa daripada batu bara.

Jika kandungan karbon lebih tinggi dalam biomassa hutan maka akan mengarah ke GCV sedikit lebih tinggi dari bahan bakar biomassa herba. Karbon dan hidrogen teroksidasi selama reaksi pembakaran untuk membentuk CO₂ dan H₂O. Sejauh oksigen yang bersangkutan, organik terikat O dilepaskan selama pembakaran dan memberikan bagian dari oksigen keseluruhan diperlukan untuk mempertahankan pembakaran yang sempurna.

3. Analisis Elemen Biomassa

Analisis elemen biomassa merupakan analisa unsur konstituen organik utama yang diperlukan untuk perancangan bahan biomassa. Dalam analisis ini, ditemukan elemen karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Unsur-unsur tersebut membentuk senyawa makromolekul alami seperti selulosa (C₆H₁₂O₆), hemiselulosa (C₅H₈O₄), lignin, pati dan protein dari jaringan tumbuhan.

Beberapa penelitian lebih lanjut dari unsur-unsur utama termasuk klorin (Cl), alkali dan abu membentuk unsur-unsur seperti aluminium (Al), silikon (Si), kalsium (Ca), besi (Fe), kalium (K), magnesium (Mg), natrium (Na) dan fosfor (P). Kekhawatiran lain studi unsur elemen dalam biomassa seperti logam berat: arsen (As), barium (Ba), kadmium (Cd), cobalt (Co), kromium (Cr), tembaga (Cu), mangan (Mn), molibdenum (Mo), nikel (Ni), timbal (Pb), titanium (Ti), vanadium (V), seng (Zn). Relevansi penelitian logam berat terletak pada prediksi emisi, pemanfaatan abu dan aerosol formation. Both ini penelitian lebih lanjut yang mahal dan tidak penting untuk membuat suatu gambar kasar dari perilaku bahan bakar biomassa selama pembakaran.

Kemudian nilai kalor, ini mencerminkan kandungan energi dari biomassa tersebut. Dua ukuran nilai kalor dapat dibedakan, satu dengan mempertimbangkan kadar air bahan bakar dan satu jika bahan bakar benar-benar kering. Yang terakhir, nilai kalor bruto (GCV), adalah panas yang dilepaskan selama pembakaran per unit massa dari bahan bakar saat air yang terbentuk dalam fase cair. Jaring Nilai kalor (NCV) adalah panas yang dilepaskan selama pembakaran per unit massa dari bahan bakar saat air yang terbentuk dalam fase gas. Perbedaan antara GCV dan NCV memperhitungkan entalpi antara air gas dan cairan pada 25 ° C dan kandungan hidrogen dari bahan bakar. Nilai kalor merupakan faktor yang sangat penting untuk desain boiler dan untuk perhitungan konsumsi bahan bakar pembangkit listrik yang menjadi bagian utama dari biaya operasional.

d. Limbah Biomassa

Pada kelompok ini, limbah yang menjadi salah satu sumber biomassa dapat diperoleh dari limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah industri kehutanan, serta limbah organik dari pemukiman/perkotaan. Beragam produk limbah pertanian yang dapat diperoleh dan dimanfaatkan sebagai sumber biomassa, terutama limbah yang terjadi pada proses pasca panen dan proses pengolahan hasil panen di pabrik pengolahan. Contoh sederhana, jerami yang menjadi limbah panen padi akan dijumpai di lapangan, sedangkan sekam akan diperoleh saat pengolahan gabah di pabrik beras.

Pada perkebunan, limbah juga akan terjadi di saat panen namun akan lebih besar jumlahnya pada saat pengolahan panen di dipabrik. Limbah juga terjadi pada perkebunan yang harus melakukan penanaman kembali untuk mencapai produksi optimumnya. Pada perkebunan kelapa sawit, misalnya, limbah dari lapangan hanya berupa guguran daun dan pelepah tua atau penggantian penggantian pohon sawit tua. Namun jumlah dan ragam limbah akan bertambah

pada saat pengolahan tandan buah segar di pabrik kelapa sawit (PKS). Limbah yang dihasilkan dari PKS adalah tandan kosong (2224%), serabut (12-14.%), cangkang sawit (5-8%), serta limbah cair atau Palm Oil Mill Effluent (POME) sebesar 50% untuk setiap ton tandan buah segar (TBS) yang diolah PKS (M. Nur, 2014).

Limbah organik pemukiman/kota yang bersumber dari sisa kegiatan masyarakat di tingkat rumah tangga, restoran, pasar, dan super market merupakan bahan baku biomassa. Kendati sebuah kota mampu menyediakan limbah dalam jumlah besar, seperti kota Tangerang dengan 4.000 ton sampah/hari, namun untuk mendapatkan kualitas dari aspek keseragaman bahan baku, dan teknologi pengolahannya masih harus memperhatikan aspek regulasi dan kebijakan pemerintah, serta peningkatan kesadaran bagi masyarakat untuk mengumpulkan dan mengantarkan sampahnya ke sistem yang sudah diatur oleh pemerintah.

Limbah biomassa kehutanan dapat dibagi menjadi tiga sumber penting yaitu: (1) serasah hutan, (2) limbah penebangan, dan (3) limbah industri kayu hutan.

1. Serasah hutan terjadi dari komponen pohon seperti daun, ranting, dan dahan, bahkan pohon yang telah tua dan tidak berfungsi atau mati dan jatuh ke tanah.
2. Limbah penebangan merupakan sisa batang, ranting, dan dahan yang terjadi setelah penebang pohon. Sisa biomassa ini umumnya masih segar karena kadar airnya tinggi sehingga perlu waktu atau sedikit upaya supaya lebih kering.
3. Limbah industri kayu umumnya ditemukan di sentra pengolahan kayu hutan dalam bentuk serbuk gergaji, potongan kulit kayu, atau potongan kayu yang tidak lagi bernilai ekonomi.

Selama ini berbagai macam limbah telah banyak menimbulkan masalah. Dalam penanganannya yang selama ini dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang kesemuanya berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat.

Pengolahan waste to product merupakan pengolahan limbah menjadi bahan baku atau produk baru yang bernilai ekonomis. Dalam pengelolaannya, waste to product harus menerapkan prinsip-prinsip pengolahan yaitu :

- 1) Reduce artinya mengurangi. Dalam hal ini, diharapkan kita dapat mengurangi penggunaan berbagai material terutama kayu yang dapat menambah jumlah limbah serbuk kayu, serta dapat mengurangi dan mencegah kerusakan hutan akibat penebangan hutan secara liar tanpa memperhatikan kondisi lingkungan.
- 2) Reuse artinya pemakaian kembali. Dalam pengolahan berbagai limbah maksudnya adalah menggunakan kembali limbah menjadi bahan baku untuk membuat briket arang yang bernilai ekonomis.
- 3) Recycle artinya mendaur ulang. Dalam pengolahan berbagai limbah ini, maksudnya adalah mendaur ulang limbah tersebut menjadi produk baru, yaitu briket arang.

3.2. Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri atas dua belahan yang disebut lemma dan palea yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%,

dedak antara 8- 12% dan beras giling antara 50-63,5% dari data bobot awal gabah. Dari analisis ultimate dan analisis proximate pada sekam padi terlihat bahwa sebagian besar sekam padi terdiri dari volatil. dengan kadar volatil yang tinggi diharapkan dapat diperoleh gas dan cairan dari proses pirolisis dalam jumlah yang banyak. Kadar karbon dan kadar oksigen dalam sekam padi juga hampir berimbang sekitar 35-38%. Ini menunjukkan bahwa dalam minyak pirolisis nantinya akan mempunyai kadar oksigen dalam jumlah yang banyak. Kandungan belerang dalam sekam padi adalah nol. akibatnya hasil pembakaran dari minyak pirolisis sekam padi akan lebih ramah lingkungan dibandingkan hasil pembakaran batubara. Zat silika yang terdapat dalam sekam padi mencapai 16,98%. Nilai kalor dari sekam padi adalah sekitar 14,8 MJ/kg dan sedikit dibawah nilai kalor kayu (~ 17-20 MJ/kg)

Sekam padi memiliki panjang sekitar 8 – 10mm, lebar 2 – 3mm dan tebal 0,2mm. Anatomi sekam padi terbentuk dari perhiasan bunga yang disebut *gluma* yaitu dua duri kecil dibagian pangkal, *palea* adalah bagian penutup yang kecil, dan *lemma* bagian penutup besar dan pada varietas tertentu memiliki bulu. Sekam padi memiliki komponen utama seperti selulosa 31,4 – 36,3 %, hemiselulosa 2,9 – 11, 8%, dan lignin 9,5 – 18,4%. Kadar air 32,40 – 11,45 %. Serat 31,37 – 49,92%. Abu 13,16 – 29,04. (Champagne, 2004).

Sekam padi memiliki banyak manfaat diantaranya adalah permukaan luar sekam padi bisa digunakan sebagai absorben dan isolator yang baik, sebagai media tanam karena dapat mengemburkan tanah sehingga dapat menyerap unsur hara yang terdapat didalam tanah, kandungan silikanya sebagai bahan baku pada industri bahan bangunan dan sebagai sumber energi panas. Sekam padi memiliki konduktivitas panas 0,271 BTU, bulk density 0,100

g/ml, bulk densil (kerapatam jenis) 1125 kg/m³, dan jumlah kalori berkisar antara 3300 – 3600 kkalori tiap 1 kg sekam padi.



Gambar 3.1. Biomassa Sekam Padi

Ditinjau dari komposisi kimiawinya, sekam mengandung beberapa unsur penting sebagai yang tercantum pada tabel 2.3. Sekam memiliki kerapatan jenis (bulk densil) 1125 kg/m³, dengan nilai kalori 1kg sekam sebesar 3300 kkalori, serta memiliki bulk density 0,100 g/ml, nilai kalori antara 3300-3600 kkalori/kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU (Houston, 1972). Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan bahan bakar ataupun sebagai adsorpsi pada logam-logam berat.

Tabel 3.1. Komposisi Kimia Sekam Padi (% berat)
(sumber : Haryadi, 2006)

No.	Komponen	% Berat
1.	Kadar air	32,40 – 11,35
2.	Protein kasar	1,70 – 7,26
3.	Lemak	0,38 – 2,98
4.	Ekstrak nitrogen bebas	24,70 – 38,79
5.	Serat	31,37 – 49,92
6.	Abu	13,16 – 29,04
7.	Pentosa	16,94 – 21,95
8.	Sellulosa	34,34 – 43,80
9.	Lignin	21,40 – 46,97

Sekam tersusun dari jaringan serat-serat selulosa yang mengandung banyak silika dalam bentuk serabut-serabut yang sangat keras. Pada keadaan normal, sekam berperan penting melindungi biji beras dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan jamur, dapat mencegah reaksi ketengikan karena dapat melindungi lapisan tipis yang kaya akan minyak terhadap kerusakan mekanis selama pada pemanenan, penggilingan dan pengangkutan biomassa.

3.3. Kulit Durian

Tanaman durian (*Durio zibethinus Murr*), merupakan salah satu jenis buah-buahan yang produksinya melimpah. Bagian buah yang dapat dimakan (persentase bobot daging buah) tergolong rendah yaitu hanya 20,52%. Hal ini berarti ada sekitar 79,08% yang merupakan bagian yang tidak termanfaatkan untuk dikonsumsi seperti kulit dan biji durian. Kulit durian merupakan limbah rumah tangga yang dibuang sebagai sampah dan tidak memiliki nilai ekonomi, Kulit durian secara proporsional mengandung unsur selulose yang tinggi (50-60 %) dan kandungan lignin (5 persen) serta kandungan pati yang rendah (5 persen) sehingga dapat diindikasikan bahan tersebut bisa digunakan sebagai campuran bahan baku papan olahan serta produk lainnya yang dimampatkan. Menurut Violet Hatta (2007) kulit durian memiliki kandungan Selulose 50-60%, Lignin 5%, Pati 5%, Nilai kalor 3786,95 kal/gram, Nilai keteguhan lengkung 360 kg/cm² dan Nilai keteguhan patah 543 kg/cm².



Gambar 3.2. Biomassa Kulit Durian

3.4. Kulit Kelapa Muda

Kelapa (*Cocos nucifera L.*) adalah tanaman serba guna dimana seluruh bagian tanaman ini bermanfaat bagi kehidupan manusia. Kelapa yang masih muda memiliki tempurung yang masih muda dan lunak. Tempurung kelapa muda saat ini merupakan limbah buangan dan belum banyak dimanfaatkan dan hanya dijadikan bahan buangan setelah daging buah dan airnya diambil sebagai minuman. Tempurung buah kelapa muda relatif masih lunak dengan komposisi lignin atau hemiselulosa yang jauh lebih kecil daripada tempurung kelapa tua. Demikian juga sabut kelapa masih lekat tidak mudah diuraikan. Apabila akan digunakan sebagai bahan bakar, kandungan air dalam bahan masih cukup tinggi. Limbah ini juga berukuran besar dan cukup keras kalau dibuat menjadi potongan kecil-kecil.

Limbah kelapa muda meskipun tergolong bahan sampah organik, tetapi untuk dibuat menjadi kompos juga jelas kurang efisien. Hal ini karena sifat bahan yang sudah keras dan tidak mudah terurai oleh mikroorganisma. Dari sekian alternatif maka yang paling mungkin tentu saja adalah digunakan sebagai bahan bakar dengan dijemur terlebih dahulu untuk mengurangi kadar airnya.



Gambar 3.3. Biomassa kulit kelapa muda

Tempurung kelapa muda adalah pelindung utama dari daging buah kelapa yang lunak. Tempurung merupakan lapisan yang keras dengan ketebalan 3-5 mm. Sifat kerasnya disebabkan oleh banyaknya kandungan silikat (SiO_2) di tempurung tersebut, dari berat total buah kelapa 15 – 19 % merupakan berat tempurungnya. Komposisi senyawa penyusun tempurung kelapa Air 8,0%, Abu 0,6%, Senyawa-senyawa yang larut dalam pelarut organik 4,2%, Lignin 29,4%, Pentosan 27,2%, Asam Uronat 3,5%, Selulosa 26,6%, Metoxyl 5,39%, Nitrogen 0,11%. (Palungkung, 1993)

3.5. Cangkang Karet

Karet atau memiliki nama latin *Hevea brasiliensis* merupakan tanaman asli dari lembah sungai amazon, brazil, amerika selatan. Tanaman dapat tumbuh baik di daerah daratan rendah yakni hingga ketinggian 200 m dari permukaan laut dengan kebutuhan sinar matahari minimum 5 -7 jam perhari. Karet mampu tumbuh hingga mencapai ketinggian 15 -25 m.

Secara fisik cangkang buah karet memiliki ciri ini sebagai tumbuhan yang berlignin. Konstruksi cangkang yang keras mengindikasikan bahwa cangkang buah karet ini mengandung senyawa aktif berupa lignin yang cukup banyak, sehingga bagian ini cukup

potensial untuk diolah menjadi produk karbon aktif yang sangat bermanfaat dan bernilai jual yang tinggi. Selain pemanfaatannya yang masih kurang optimal, jika dibandingkan dengan bagian buah lainnya. Cangkang karet mengandung lignin 33,54% untuk diolah menjadi peroduk karbon, selulosa 48,64%, pentosan 16,81%, kadar abu 1,25% dan kadar silika 0,52% menurut Safitri (2010).



Gambar 3.4. Biomassa Cangkang Karet

3.6. Bahan Bakar biomassa

Biomassa merupakan bahan bakar organik yang terbentuk dari zat-zat organik yang disusun oleh tumbuhan melalui proses fotosintesis (dengan bantuan energi matahari). Biasanya bahan bakar jenis ini diklasifikasikan ke dalam bahan bakar padat yang memiliki unsur kimia antara lain: zat arang atau karbon (C), hidrogen (H), zat asam atau oksigen (O), zat lemas atau nitrogen (N), belerang (S), abu dan air, yang semuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia. Salah satu bahan bakar padat alternatif yang digunakan sebagai sumber energi adalah biomassa.

Biomassa merupakan materi turunan organisme hidup seperti tumbuh tumbuhan. Sebagai contoh pupuk, sampah, dan serbuk gergaji, yang semuanya itu merupakan sumber biomassa. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang meliputi banyak karbon

yang tidak sama dengan sumber-sumber alamiah lain seperti bahan bakar minyak, batubara dan bahan bakar nuklir.

Bahan bakar merupakan suatu materi di mana apabila dipanaskan pada suhu tertentu disertai oksidasi dengan oksigen (O₂) akan terjadi proses pembakaran. Produk hasil proses pembakaran ada tiga, yaitu: radiasi panas, emisi gas buang dan abu. Berdasarkan formasi dan proses pembentukannya bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam, antara lain:

1. Berdasarkan materi pembentuknya, bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:
 - a. Bahan bakar berbasis bahan organik, yang terdiri dari:
 - 1) Bahan bakar fosil, misalnya: batubara, minyak bumi dan gas bumi.
 - 2) Bahan bakar terbarukan (biofuel), misalnya: biomassa, biogas, biodiesel, bioetanol yang berbasis pada minyak nabati dan hewani. Bahan bakar organik tersusun dari unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), oksigen (O), sulfur (S) dan lain-lain dalam jumlah kecil. Dari beberapa unsur kimia pembentuk bahan bakar tersebut, unsur C, H, dan S merupakan kandungan utama yang berperan sebagai bahan bakar.
 - b. Bahan bakar nuklir, misalnya: uranium dan plutonium. Energi yang dihasilkan dari reaksi rantai penguraian atom-atom melalui peristiwa peluruhan radioaktif.
2. Berdasarkan wujudnya, bahan bakar dibagi menjadi tiga, yaitu: Bahan bakar padat, bahan bakar cair, dan Bahan bakar gas.
3. Berdasarkan proses pembentukannya, bahan bakar dibagi menjadi dua, yaitu: Bahan bakar alamiah dan bahan bakar non-alamiah. Bahan bakar padat tersusun dari : komponen yang dapat terbakar, yaitu komponen yang mengandung : C, H, S, yaitu unsur-unsur yang bila terbakar membentuk gas, disebut

sebagai“ bahan dapat terbakar yang membentuk gas” atau “BTG” atau “VCM”.

Komponen yang bila terbakar tidak membentuk gas, yaitu “karbon tetap” atau “KT” atau “FC” (fixed carbon). Komponen yang tidak dapat terbakar, yaitu O, N, bahan mineral atau abu, dan H₂O. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat, antara lain :

1. *Ukuran partikel partikel* ; yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.
2. *Kecepatan aliran udara* ; Laju pembakaran biobriket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur
3. *Jenis bahan bakar* ; Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik tersebut antara lain kandungan volatile matter dan kandungan moisture.
4. *Temperatur udara pembakaran* ; Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

BAB IV

PEMBAKARAN PIROLISIS

4.1. Udara

Udara merujuk kepada campuran gas yang terdapat pada permukaan bumi. Oksigen (O_2) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 21% dari udara. Hampir 78% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen (N_2) dan sisanya merupakan . Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran (wikipedia.co.id). Udara teoritis adalah udara minimum yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna. Dalam prakteknya, kebutuhan udara pembakaran selalu lebih besar dari kebutuhan udara teoritis, dan disebut sebagai udara berlebih (excess air).

Dalam pembakaran, ada pengertian udara primer yaitu udara yang dicampurkan dengan bahan bakar di dalam burner (sebelum pembakaran) dan udara sekunder yaitu udara yang dimasukkan dalam ruang pembakaran setelah burner, melalui ruang disekitar burner atau melalui tempat lain pada dinding dapur. Dalam prakteknya, kebutuhan udara pembakaran selalu lebih besar dari kebutuhan udara teoritis, dan disebut sebagai udara berlebih (excess air). Besarnya jumlah udara yang harus disuplai ke dalam proses pembakaran dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, ukuran partikel bahan bakar, dan teknik pembakarannya. Ketika diasumsi bahan bakar dibakar dengan udara teoritis, berarti proses pembakaran tersebut sempurna atau tepat secara

kimiawi dan tidak ada atom-atom oksigen yang tidak tercampur hadir di dalam gas yang dihasilkan.

Stoikiometri merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk menentukan rumus empirik senyawa yang belum diketahui. Kebanyakan digunakan untuk senyawa-senyawa yang mengandung karbon. Dalam analisis pembakaran, massa suatu senyawa yang telah diketahui dibakar dalam suatu aliran gas oksigen. Semua karbon di dalam sampel terkonversi menjadi karbon dioksida dan semua hidrogen terkonversi menjadi air. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen juga mengurangi transfer panas pada permukaan alat penukar panas, juga meningkatkan volum hasil samping pembakaran, yang juga harus dialirkan melalui alat penukar panas sampai ke cerobong (energyefficiencyasia.org). Nitrogen juga dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala yang tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen (NO_x), yang merupakan pencemar beracun. Karbon, hydrogen dan sulfur dalam bahan bakar bercampur dengan oksigendi udara, membentuk karbon dioksida (CO_2), uap air dan sulfur oksida (SO_2).

Dalam proses pembakaran sulit untuk mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual . Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terjadinya pembakaran secara sempurna seluruh bahan bakar yang ada. Untuk memastikan bahwa pembakaran terjadi secara sempurna, ruang bakar harus mendapatkan tambahan udara (excess air). Udara berlebih akan meningkatkan jumlah oksigen dan kemungkinan terbakarnya seluruh bahan bakar. Saat seluruh bahan bakar dan oksigen di udara mencapai titik kesetimbangan, pembakaran dapat dikatakan mencapai stoikiometri. Efisiensi pembakaran akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah excess air, sampai panas hilang dalam udara berlebih lebih besar dari

pada panas yang dihasilkan oleh pembakaran yang lebih efisien. Secara teoritis, oksigen dan karbon monoksida tidak dapat muncul secara serempak dalam gas buang tetapi biasanya keduanya muncul dalam proses pembakaran actual disebabkan oleh pencampuran tak sempurna. Apabila angka perbandingan antara udara dan bahan bakar actual diketahui, maka persentase kelebihan udara dapat dihitung. Persentase kelebihan udara ditentukan melalui persamaan :

$$\% \text{ excess air} = \frac{(\text{mol udara actual}) - (\text{mol udara teoritis})}{(\text{mol udara teoritis})} \times 100\%$$

Berikut ini adalah kisaran pemakaian udara berlebih untuk beberapa bahan bakar :

- a. Udara 3 - 15% untuk bahan bakar gas
- b. Udara 5 - 20% untuk bahan bakar minyak
- c. Udara 15 - 60% untuk batubara

Produk pembakaran adalah energi panas, karbon dioksida, uap air, nitrogen dan gas lainnya. Dalam teori ada jumlah spesifik oksigen yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan bahan bakar secara sempurna. Oksigen teoritis adalah laju alir mol (untuk sistem batch) atau molar O_2 (untuk sistem kontinyu) yang dibutuhkan agar terjadi pembakaran sempurna pada bahan bakar, dengan asumsi bahwa semua karbon pada bahan bakar teroksidasi menjadi CO_2 , semua hidrogen teroksidasi menjadi H_2O dan sulfur teroksidasi menjadi SO . Penambahan excess-air dapat meningkatkan aliran udara turbulen sehingga akan meningkatkan pencampuran udara dan bahan bakar di ruang bakar mengakibatkan pembakaran akan sempurna. Excess-air akan mempengaruhi jumlah gas CO pada gas buang dan kehilangan panas (heat losses) pembakaran serta akan mempengaruhi efisiensi pembakaran.

4.2. Bahan Bakar

Bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor atau panas. Bahan bakar dibakar dengan tujuan untuk memperoleh kalor tersebut, untuk digunakan baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai contoh penggunaan kalor secara langsung yaitu untuk memasak di dapur rumah tangga dan penggunaan kalor secara tidak langsung yaitu kalor diubah menjadi energi mekanik pada motor bakar.

Bahan bakar pada pembakaran pirolisis merupakan sumber panas yang menyebabkan bahan baku pirolisis yaitu biomassa terbakar sehingga menghasilkan asap yang jika didinginkan menjadi asap cair dan menghasilkan bioarang yang merupakan bahan bakar bernilai kalor tinggi. Pemilihan dan penggunaan jenis bahan bakar yang tepat dan untuk keperluan yang benar dan untuk penggunaan bahan bakar yang efisien sangat mempengaruhi hasil bioarang dan asap cair. Seperti bahan bakar padat, cair atau gas. Dan untuk bahan bakar padatnya jenis apa, batu bara atau biomassa, biomasnya apa, dan lain sebagainya.

Spesifikasi dari bahan bakar yang baik dan karakteristik utama yang dapat mempengaruhi hasil dari pembakaran tersebut dan yang terpenting adalah :

a. Nilai kalor atau Kalor Pembakaran.

Nilai kalor adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna 1 kilogram atau satu satuan berat bahan bakar padat atau cair atau 1 meter kubik atau 1 satuan volume bahan bakar gas, pada keadaan baku. Berdasarkan jumlah panas yang dihasilkan nilai kalor dapat dibagi menjadi :

- 1) Nilai kalor atas atau high heating value (HHV) adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satu satuan volume bahan

bakar gas, pada tekanan tetap, suhu 25°C , apabila semua air yang mula-mula berujud cair setelah pembakaran mengembun menjadi cair kembali.

- 2) Nilai kalor bawah atau low heating value (LHV) adalah kalor yang besarnya sama dengan nilai kalor atas dikurangi kalor yang diperlukan oleh air yang terkandung dalam bahan bakar dan air yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar untuk menguap pada 25°C dan tekanan tetap. Air dalam sistem setelah pembakaran berwujud uap air pada 25°C .

b. Kandungan Air di dalam Bahan Bakar.

Air yang terkandung dalam bahan bakar padat terdiri dari :

- 1) Kandungan air internal atau air Kristal, yaitu air yang terikat secara kimiawi.
- 2) Kandungan air eksternal atau air mekanikal, yaitu air yang menempel pada permukaan bahan dan terikat secara fisis atau mekanis.

Air dalam bahan bakar cair merupakan air eksternal, bisa masuk kedalam bahan bakar dari proses pengembunan dari udara yang masuk kedalam tangki, berperan sebagai pengganggu. Air dalam bahan bakar gas merupakan uap air yang bercampur dengan bahan bakar tersebut. Air yang terkandung dalam bahan bakar menyebabkan penurunan mutu bahan –bakar dan dapat merusak pelumasan pada bagian-bagian yang bergerak sliding pada pompa dan sistim bahan bakar, juga mengakibatkan karat pada permukaan yang kena air, dan filter akan cepat kotor dengan demikian kandungan air dalam bahan bakar harus serendah mungkin. Semakin tinggi kadar air maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air. Dalam proses ini terjadi proses karbonisasi tidak sempurna sehingga kualitas air yang dihasilkan jelek.

kadar air akan berpengaruh pada nilai kalor yang dihasilkan di mana semakin tinggi kadar air maka nilai kalor yang dihasilkan semakin rendah. Semakin tinggi kadar air dalam arang maka dalam proses pembakarannya akan dibutuhkan kalor yang besar untuk mengeluarkan air menjadi uap sehingga energi yang tersisa dalam arang tersebut menjadi lebih kecil. Keberadaan air dalam kayu dan produk olahannya berkaitan erat dengan sifat higroskopis kayu, di mana kayu mempunyai sifat afinitas yang besar terhadap air sehingga kayu tidak pernah kering sama sekali dari air.

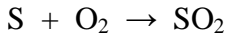
c. Kandungan Abu.

Abu yang terkandung dalam bahan bakar padat adalah mineral yang tak dapat terbakar (Non-BDT) yang tertinggal setelah proses pembakaran dan perubahan-perubahan atau reaksi-reaksi yang menyertainya selesai. Ash didalam bahan bakar secara umum terdiri dari beberapa macam seperti partikel-partikel padat, larutan garam anorganik. Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar karena menurunkan nilai kalor. Di dalam dapur atau dalam generator gas, abu dapat meleleh pada suhu tinggi, menghasilkan massa yang disebut “slag”. Sifat kandungan abu dapat ditandai oleh perubahan –perubahan yang terjadi bila suhunya naik. Abu merupakan mineral, abu terdiri dari bahan mineral seperti lempung, silika, kalsium serta magnesium oksida. Semakin besar kadar abu berarti kualitasnya semakin jelek.

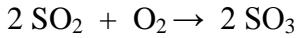
d. Kandungan Belerang.

Apa bila bahan bakar yang mengandung belerang dibakar, belerang akan terbakar membentuk gas belerang dioksida (SO_2) dan belerang trioksida (SO_3), gas-gas ini bersifat sangat korosif terhadap logam dan beracun. Kandungan sulfur didalam bahan bakar sangat mempengaruhi keausan mesin dan emisi gas buang, sulfur teroksidasi ketika terjadi proses pembakaran.

Reaksi (1) :

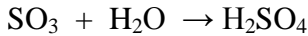


Reaksi (2) :



Reaksi ini dipengaruhi beberapa faktor seperti temperatur pembakaran, temperatur gas buang , kelembaban relative dan air fuel ratio. SO_3 yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan uap air hasil pembakaran dan membentuk asam sulfat (H_2SO_4) , yang sangat korosif, sehingga merusak piston dinding silinder, cylinder head , katup dan saluran buang dari katup buang, exhaust manifold sampai ujung knalpot.

Reaksi (3)



e. Kandungan BTG dan daya pembentukan Kokas.

Jika bahan bakar padat dibakar tanpa udara berlebihan , pertamanya yang menguap adalah air, baru kemudian gas-gas yang terbentuk dari terbakarnya (BTG). Sisa akhir pembakaran adalah KT atau kokas serta abu. Makin tua umur geologis bahan bakar padat, maka makin rendah kandungan BTG –nya.

f. Berat jenis (Spesific Gravity).

Berat jenis dinyatakan dalam gram/ml, dalam derajat API, dalam lb/gallon, atau lb/cu-ft, dan derajat Baume berat jenis disingkat sp.gr. atau sg. Berat jenis berhubungan dengan kerapatan. Kerapatan akan memberikan pengaruh terhadap nilai kalor suatu bahan, kerapatan yang tinggi cenderung memberi nilai kalor yang tinggi dibandingkan yang berkerapatan rendah.

g. Viskositas atau kekentalan.

Viskositas adalah kebalikan fluiditas atau daya alir. Makin tinggi viskositas makin sukar mengalir. Mengingat kecepatan mengalir juga tergantung pada berat jenis, maka pengukuran viskositas

demikian dinyatakan sebagai “viskositas kinematik”. Viskositas absolute = viskositas kinematik x berat jenis cairan.

Satuan viskositas antara lain: poise, gram / cm detik, cST (centi Stoke), atau dengan skala Saybolt Universal (SU) diukur dalam detik.

Catatan : agar minyak dapat dipompa harus mempunyai viskositas $\leq 10\ 000$ detik SU dan agar dapat dikabutkan dengan tekanan udara ≥ 1 psi harus mempunyai viskositas ≤ 100 detik SU. Pengaruh viskositas pada pengabutan sangat menentukan dalam mencapai pembakaran sempurna bersih. Jika pengabutan berlangsung dengan viskositas >100 detik SU dan tekanan udara <1 psi, maka butiran kabut minyak terlalu besar sehingga susah bercampur dengan udara sekunder. Akibatnya akan terbentuk gumpalan karbon yang mengganggu ruang bakar, burner dan dapur. Bagi minyak-minyak berat, pemanasan pendahuluan harus dilakukan sebelum pengabutan, pemanasan pendahuluan ini gunanya untuk menurunkan viskositas sampai dibawah 100 detik SU. Viscosity secara langsung dikaitkan dengan performance mesin, emisi dan umur mesin. Viskosity yang rendah mengurangi output power, karena bahan bakar juga harus berfungsi sebagai pelumas terhadap komponen-komponen sistim bahan bakar, khususnya pompa injeksi dan injector.

h. Densitas

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volum bahan bakar pada suhu acuan 15°C . Densitas diukur dengan suatu alat yang disebut hydrometer. Pengetahuan mengenai densitas ini berguna untuk penghitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalan. Satuan densitas adalah kg/m^3 .

i. Specific gravity

Didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volum minyak bakar terhadap berat air untuk volum yang sama pada

suhu tertentu. Densitas bahan bakar, relatif terhadap air, disebut specific gravity. Specific gravity air ditentukan sama dengan 1. Karena specific gravity adalah perbandingan, maka tidak memiliki satuan. Pengukuran specific gravity biasanya dilakukan dengan hydrometer. Specific gravity digunakan dalam penghitungan yang melibatkan berat dan volum.

j. Titik Nyala

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api. Titik nyala untuk minyak tungku/ furnace oil adalah 66°C .

k. Titik Tuang

Titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar akan tertuang atau mengalir bila didinginkan dibawah kondisi yang sudah ditentukan. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

l. Panas jenis

Panas jenis adalah jumlah kKal yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg minyak sebesar 10°C . Satuan panas jenis adalah kkal/kg $^{\circ}\text{C}$. Besarnya bervariasi mulai dari 0,22 hingga 0,28 tergantung pada specific gravity minyak. Panas jenis menentukan berapa banyak steam atau energi listrik yang digunakan untuk memanaskan minyak ke suhu yang dikehendaki. Minyak ringan memiliki panas jenis yang rendah, sedangkan minyak yang lebih berat memiliki panas jenis yang lebih tinggi.

m. Residu Karbon

Residu karbon memberikan kecenderungan pengendapan residu padat karbon pada permukaan panas, seperti burner atau injeksi nosel, bila kandungan yang mudah menguapnya menguap. Residu minyak mengandung residu karbon 1 persen atau lebih.

n. Kadar zat mudah menguap

Zat mudah menguap dalam briket arang bukan merupakan komponen penyusun arang, tetapi merupakan hasil dekomposisi zat-zat penyusun arang akibat proses pemanasan. Kadar zat mudah menguap dalam arang selain air dapat dihitung dengan menguapkan semua zat-zat menguap dalam arang selain air. Suhu yang digunakan dalam proses pembuatan arang akan mempengaruhi besarnya kadar zat mudah menguap. Kadar zat mudah menguap dapat diperkecil bila suhu pengarangan dinaikkan.

4.3. Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia cepat antara oksigen dan bahan bakar pada suhu tertentu, yang disertai pelepasan suatu kalor. Pembakaran mengoksidasi kandungan karbon dan hidrogen yang terdapat pada bahan bakar dengan reaksi eksotermik, sedangkan gasifikasi mereduksi hasil pembakaran menjadi gas bakar dengan reaksi endotermik. Berdasarkan kondisinya, pembakaran dibagi menjadi tiga, yaitu; pembakaran spontan, pembakaran sempurna dan pembakaran parsial. Sebelum proses pembakaran berlangsung, terlebih dahulu bahan bakar dinaikkan suhunya hingga titik bakarnya tercapai (flash point). Penguraian dan oksidasi dimulai pada suhu yang rendah ke suhu tinggi. Jika bahan bakar mengandung unsur oksigen dan zat penguap (volatile matter) yang tinggi maka suhu penguraian dan oksidasi akan semakin rendah.

Pada proses pembakaran biomassa, 80% energi yang dilepaskan dalam bentuk gas yang mudah terbakar dan sisanya dalam bentuk karbon. Oleh karena itu, selama proses pembakaran sangat penting untuk mempertahankan agar oksigen dapat selalu dijaga dalam kontak dengan bahan bakar dan gas-gas yang terbentuk ketika pembakaran berlangsung pada suhu penyalannya. Kontak yang baik

antara bahan bakar dengan oksigen akan menghasilkan proses pembakaran secara cepat dan komplit, sehingga diperoleh efisiensi pembakaran yang relatif tinggi.

Jika bahan bakar dalam bentuk gas, maka pencampuran reaktan (oksigen dan bahan bakar) dapat dicapai secara optimal karena substansi gas-gas tersebut dapat dengan mudah dicampur secara cepat dan tepat sesuai dengan rasio kebutuhan udara yang diperlukan. Proses pembakarannya pun mungkin dapat terjadi secara cepat, dan kemudian pengontrolannya pun juga lebih cepat terutama dalam penambahan atau pengurangan bahan bakar maupun oksigen yang diperlukan. Supaya proses pembakaran bahan bakar biomassa juga dalam situasi yang sama dengan proses pembakaran gas alam, maka bahan bakar biomassa yang dioksidasi perlu direduksi ukurannya menjadi partikel-partikel lebih kecil dari kondisi awalnya.

Proses pembakaran pada bahan bakar pada umumnya dibagai menjadi 3 tahap, antara lain;

- a. Proses pengeringan
- b. Proses devolatilisasi
- c. Proses pembakaran karbon

Pada saat biomasa dipanasi, kandungan air di dalam bahan bakar sedikit demi sedikit mulai menguap pada suhu antara 90 – 100 °C. Kandungan air yang dilepaskan dari bahan bakar biomasa tersebut kemudian mengalir keluar bersama dengan gas buang melalui cerobong. Pada suhu antara 140 – 400°C terjadi proses devolatilisasi yang akan melepaskan gas-gas pembentuk unsur biomassa (volatile). Gas-gas tersebut kemudian dioksidasi dengan udara sekunder dan akan melepaskan kalor hingga suhunya mencapai 800 – 1.026°C. Proses pembakaran tersebut terjadi secara sinambung mengikuti ketiga reaksi di atas.

Sebagaimana diketahui bahwa pembakaran adalah proses oksidasi dimana oksigen diberikan dengan mengikuti rasio udara berlebih terhadap massa bahan bakar

agar diperoleh reaksi pembakaran yang komplit. Reaksi utama dari proses pembakaran antara karbon dengan oksigen akan membentuk karbon monoksida (CO)

dan karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida merupakan produk pembakaran yang memiliki temperatur rendah. Oksidasi karbon monoksida ke karbon dioksida hanya dapat terbentuk jika memiliki sejumlah oksigen yang seimbang. Kandungan CO yang tinggi mengindikasikan proses pembakaran tidak komplit dan ini harus seminimal mungkin dihindari, karena:

- a. CO adalah gas yang dapat dibakar. Kandungan CO yang tinggi akan menghasilkan efisiensi pembakaran yang rendah
- b. Dapat menyebabkan gangguan bau (odour)
- c. Bila konsentrasi gas CO sangat tinggi mempunyai resiko yang tinggi bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya.

Emisi gas CO₂ di atmosfer sangat problematik, sejak kehadiran CO₂ menjadi pertimbangan utama dalam kasus efek pemanasan global maka keberadaan CO₂ saat ini mulai dipertimbangkan lagi. Selama proses pembakaran bahan bakar biomasa gas CO₂ yang dikeluarkan akan segera diikat kembali oleh tanaman selama proses pertumbuhannya berlangsung. Hal ini dapat terjadi karena CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran biomasa adalah CO₂ netral berbeda dengan bahan bakar fosil.

Selama proses pembakaran biomassa juga akan menghasilkan gas metan (CH₄) yang merupakan komponen dasar dari gas alam. CH₄ mempunyai kontribusi yang besar terhadap efek pemanasan global, bahkan lebih kuat 21 kali dari pada CO₂. Keberadaan CH₄ di atmosfer dapat mencapai jangka waktu 12 tahun sebelum akhirnya terdegradasi secara alami. Beberapa gas lainnya juga akan dihasilkan dari reaksi

oksidasi antara oksigen dengan komponen bahan bakar seperti oksida-oksida nitrogen, yaitu; NO, N₂O, dan NO₂. Pada beberapa literatur menyebutkan bahwa jumlah oksida nitrogen diperoleh dari dua sumber, yaitu; panas dan udara.

Untuk mendapatkan proses pembakaran secara komplit diperlukan sejumlah udara pembakaran yang cukup untuk mengoksidasi unsur-unsur pembentuk biomassa.

Jumlah kebutuhan udara untuk keperluan oksidasi bahan bakar biomassa dapat ditentukan berdasarkan persentase kandungan unsur-unsur pembentuknya. Komposisi

unsur senyawa bahan bakar dapat diketahui melalui analisis proksimasi (analisis pendekatan) dan analisis ultimasi (analisis tuntas).

Pembakaran merupakan suatu runutan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan menimbulkan panas atau nyala : Bahan bakar padat + O₂ Gas buang + abu - ΔH. Reaksi pembakaran secara umum terjadi melalui 2 cara, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran habis. Pembakaran sempurna adalah proses pembakaran yang terjadi jika semua karbon bereaksi dengan oksigen menghasilkan CO₂, sedangkan pembakaran habis adalah proses pembakaran yang terjadi jika bahan bakar terbakar habis adalah proses pembakaran yang tidak semuanya menjadi CO₂. Proses pembakaran actual dipengaruhi oleh 5 faktor, yaitu :

- a. Pencampuran udara dan bahan dengan baik
- b. Kebutuhan udara untuk proses pembakaran
- c. Suhu pembakaran
- d. Lamanya waktu pembakaran yang berhubungan dengan laju pembakaran
- e. Berat jenis bahan yang akan dibakar

Pencampuran udara dan bahan bakar yang baik dalam pembakaran actual biasanya tidak dapat dicapai tetapi didekati melalui penambahan excess udara. Penambahan excess udara harus baik dengan nilai minimum karena apabila terlalu banyak dapat meningkatkan kehilangan energy dalam pembakaran dan meningkatnya emisi NO_x. Proses pembakaran sampah/biomassa berlangsung secara bertahap. Tahap awal terjadi penguapan kandungan air sampah yang belum terbakar menggunakan panas dari bahan terbakar yang berada di sekelilingnya atau menggunakan energi panas yang ditambahkan dari luar. Pada saat pemanasan sampah terjadi pelepasan karbon atau bahan volatile yang terkonversi menjadi gas yang mudah terbakar, proses ini disebut gasifikasi. Gas ini selanjutnya bercampur dengan oksigen yang dapat mengalami reaksi oksidasi. Kondisi ini apabila menghasilkan temperature cukup tinggi dan berlangsung lama dapat terkonversi secara sempurna (complete combustion) menghasilkan uap air dan CO₂ yang dilepaskan ke udara.

Kondisi sebaliknya dapat terjadi yaitu apabila temperatur pembakaran rendah dan waktu tinggal pada ruang bakar cepat terjadi pembakaran yang tidak sempurna (incomplete combustion) yang dapat menghasilkan asap. Dampak lain dari pembakaran tidak sempurna adalah terbentuknya polutan lain yang semula tidak terdapat dalam sampah karena terjadi reaksisintesa yang disebut *denovo* menghasilkan dioksidan furan. Tingkat kesempurnaan pembakaran dipengaruhi oleh beberapa variable berikut :

a. Temperatur

Temperatur pembakaran merupakan fungsi nilai bakar (heating value) sampah dan bahan bakar tambahan dari luar, rancangan alat pembakar (incinerator), supply udara dan control pembakaran. Pembakaran sempurna memerlukan temperature tinggi, secara umum temperatur lebih tinggi dari 650°C dan waktu

tinggal 1-2 detik dapat menghasilkan pembakaran sempurna pada makanan dan sampah biomassa. Temperatur lebih tinggi sekitar 1000°C diperlukan untuk membakar campuran sampah yang mengandung bahan berbahaya (hazardous) seperti sampah medis dengan waktu tinggal minimal 1 detik dapat menghasilkan polutan seperti dioksida, furan, asap dan abu minimal.

b. Waktu Tinggal

Pembakaran sempurna membutuhkan waktu tinggal yang cukup yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menjamin terjadinya pencampuran yang sempurna antara udara dan bahan bakar agar dapat bereaksi secara sempurna. Pembakaran pada temperatur rendah, sampah dengan nilai panas rendah dan turbulensi campuran gas yang rendah memerlukan waktu tinggal yang lebih lama untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna.

c. Turbulensi

Turbulensi pencampuran gas yang terbakar dan udara diperlukan untuk menjamin terjadinya kontak yang cukup antara bahan bakar dan udara. Hal ini dapat menghasilkan temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan pembakaran sempurna. Tingkat pencampuran tergantung dari rancangan ruang bakar insinerator dan sistem injeksi udara. Sistem pembakaran dengan sirkulasi udara alami pada sistem pembakaran terbuka tidak dapat menghasilkan pencampuran yang baik. Demikian juga tumpukan sampah yang terlalu tinggi dapat mengganggu turbulensi pencampuran udara dan gas yang mudah terbakar karena tersumbatnya rongga jalur aliran kedua bahan ini. Rancangan insinerator yang dapat menghasilkan pembakaran sempurna menggunakan sistem sirkulasi paksa (*forced circulation*) untuk memperoleh turbulensi pencampuran.

d. Komposisi bahan

Karakteristik bahan seperti nilai panas, kandungan air dan sifat kimia (kandungan C, H, O, N, S dan Cl) sampah berpengaruh terhadap proses pembakaran dan jenis polutan pada gas buang dan abu. Semakin tinggi temperatur, waktu tinggal dan derajat pencampuran gas dan udara semakin mendekati pembakaran sempurna dan semakin kecil pengaruh karakteristik bahan terhadap tingkat kesempurnaan pembakaran.

Beberapa hal yang terjadi pada proses pembakaran, yaitu :

a. Pembakaran dengan udara kurang

Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena bahan bakar berlebih serta ada bahan bakar yang tak terbakar disamping terdapat hasil pembakaran, seperti CO, CO₂, uap air, O₂, dan N₂.

b. Pembakaran dengan udara berlebih

Pada proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena udara berlebih serta hasil pembakaran, seperti CO₂, uap air, O₂ dan N₂.

c. Pembakaran dengan udara optimum

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dan panas yang hilang minimum, serta terdapatnya hasil pembakaran, seperti CO₂, uap air, dan N₂. Pada proses pembakaran (inceneration) limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) kebanyakan terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Dapat juga mengandung halogen, sulfur, nitrogen dan logam berat. Hadirnya elemen lain

Energi panas yang dihasilkan oleh suatu proses pembakaran dapat diduga besarnya melalui beberapa pendekatan diantaranya melalui pendekatan pancaran panas dari gas hasil pembakaran dan pendekatan jumlah nilai kalor yang dikandung oleh bahan bakar per massa bahan bakar. - Pendekatan jumlah energi panas pembakaran

berdasarkan pancaran gas hasil pembakaran didekati melalui sifat radiasi gas yang menyerap. Gas-gas hasil pembakaran memiliki kemampuan untuk memancarkan atau menyerap panas. Pendekatan energi panas yang dihasilkan oleh suatu proses pembakaran adalah melalui nilai kalor yang dikandung oleh bahan bakar.

Nilai kalor menunjukkan kalor yang berpindah bila hasil pembakaran lengkap suatu bahan bakar didinginkan sampai suhu semula udara dan bahan bakar. Harga yang biasa digunakan dalam penetapan nilai kalor adalah kalor kotor (gross heating value) atau yang lebih dikenal dengan nilai kalor atas (higher heating value). HHV adalah kalor total yang dibebaskan dalam pembakaran yang terukur dari waktu awal pembakaran hingga mencapai suhu produk pembakaran sedangkan nilai kalor bersih (net heating value) atau nilai kalor bawah (lower heating value) adalah kalor yang dihasilkan bahan bakar manakala semua air dalam produk pembakaran tersisa sebagai uap air.

Pembakaran stoikiometrik adalah pembakaran dimana semua atom-atom karbon akan menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) dan atom hidrogen menghasilkan uap air (H_2O) sedangkan jumlah udara minimum yang memberikan oksigen yang cukup untuk oksida lengkap dari semua karbon, hidrogen, dan elemen – elemen yang dapat terbakar di dalam bahan bakar dinamakan udara stoikiometrik atau udara teoritis. Sehingga pembakaran stoikiometrik jika berlaku pembakaran lengkap dengan kebutuhan udara hanya sebesar udara teoritis. Dari keseimbangan energi, semua energi yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat ditransfer melalui ruang bakar. Tetapi dalam kenyataannya tidak semua energi reaksi kimia dapat diperoleh, hal ini disebabkan faktor-faktor, seperti ketidak homogenya bahan bakar maupun pembakaran tidak lengkap. Oleh karena itu timbul satu sifat yang disebut efisiensi ruang bakar, dan dinyatakan dalam persamaan:

$$\text{Efisiensi Ruang Bakar} = \frac{HHV - \Sigma \text{Losses}}{HHV}$$

Pembakaran stoichiometri adalah pembakaran dimana bahan bakar terbakar sempurna dengan jumlah udara teori, yaitu apabila :

- a. Tidak ada bahan bakar yang belum terbakar (semua unsur karbon C menjadi karbondioksida CO^2 , dan semua unsur hidrogen H menjadi air H_2O)
- b. Tidak ada oksigen di dalam produk

Penyebab proses pembakaran menjadi tak sempurna, dimana ditandai dengan terbentuknya C, H_2 , CO, OH atau yang lain dalam produk pembakaran :

- a. Kekurangan oksigen (O_2)
- b. Kurangnya kualitas campuran
- c. Terjadi dissosiasi (peruraian gas produk karena suhu tinggi)

Pembakaran yang optimum dapat terjadi ketika jumlah udara yang sesungguhnya harus lebih besar daripada yang dibutuhkan secara teoritis. Analisis kimia gas-gas merupakan metode obyektif yang dapat membantu untuk mengontrol udara yang lebih baik dengan mengukur CO_2 , atau O_2 , dalam gas buang menggunakan peralatan pencatat kontinyu atau peralatan Orsat. Pengukuran kandungan gas CO_2 , dalam gas buang dapat digunakan untuk menghitung udara berlebih (*excess-air*). Sejumlah tertentu *excess-air* diperlukan untuk pembakaran sempurna bahan bakar minyak, jika terlalu banyak *excess-air* mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna. Penambahan *excess-air* dapat meningkatkan aliran udara turbulen sehingga akan meningkatkan pencampuran udara dan bahan bakar di ruang bakar mengakibatkan pembakaran akan sempurna. *Excess-air* akan mempengaruhi jumlah gas CO pada gas buang dan kehilangan panas (*heat losses*) pembakaran serta akan mempengaruhi efisiensi pembakaran (Ridhuan, 2015).

Temperatur Nyala Api (*Flame Temperatur*) adalah suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas ke sekelilingnya. Suhu nyala *adiabatic* diperlukan

untuk mengetahui berapa besar panas yang terjadi ketika bahan bakar tersebut dibakar. Hal ini merupakan salah satu parameter

karakteristik termal dari bahan bakar. Perhitungan suhu nyala adiabatik didasarkan atas persentase massa dari kandungan carbon, hydrogen, oksigen dan nitrogen di dalam bahan bakar. Dalam pembakaran, semua kalor yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi kalor produk dan kalor sensibel. Terdapat dua klasifikasi utama dari nyala api yaitu nyala api premix (premixed flame) dan nyala api difusi (diffusion flame). Nyala api premix (premixed flame) adalah jenis dimana bahan bakar dan udara bercampur sebelum terjadinya proses pembakaran. Nyala api difusi (diffusion flame) timbul sewaktu udara berdifusi ke bahan bakar di dalam nyala api

Mekanisme pembakaran biomassa terdiri dari tiga tahap yaitu pengeringan (drying), devolatilisasi (devolatilization), dan pembakaran arang (char combustion). Proses pengeringan akan menghilangkan moisture, devolatilisasi yang merupakan tahapan pirolisis akan melepaskan volatil, dan pembakaran arang yang merupakan tahapan reaksi antara karbon dan oksigen, akan melepaskan kalor. Laju pembakaran arang tergantung pada laju reaksi antara karbon dan oksigen pada permukaan dan laju difusi oksigen pada lapis batas dan bagian dalam dari arang.

Reaksi permukaan terutama membentuk CO. Diluar partikel, CO akan bereaksi lebih lanjut membentuk CO₂. Pembakaran akan menyisakan material berupa abu. Biomassa merupakan materi turunan organisme hidup seperti tumbuh-tumbuhan. Sebagai contoh pupuk, sampah, dan serbuk gergaji, yang semuanya itu merupakan sumber biomassa. Biomasa dapat dikategorikan sebagai kayu dan biomasa non-kayu. Biomasa kayu dapat dibagi lagi menjadi kayu keras dan kayu lunak. Biomasa non-kayu yang dapat digunakan sebagai bahan bakar meliputi limbah hasil pertanian seperti limbah pengolahan industri gula pasir (bagasse), sekam padi, rerantingan (stalks), jerami,

biji-bijian, termasuk pula kotoran hewan dapat juga digunakan sebagai bahan bakar. Bahan bakar kayu meliputi gelondongan kayu (cord wood), ranting pohon, tatal kayu, kayu sejenis cemara (bark), gergajian kayu, sisa hasil hutan, arang kayu, dan lainlain. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang meliputi banyak karbon yang tidak sama dengan sumber-sumber alamiah lain seperti bahan bakar minyak, batubara dan bahan bakar nuklir.

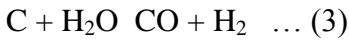
Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.

4.4. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses konversi dari suatu zat organik ke dalam karbon atau residu yang mengandung karbon dalam proses pembuatan arang berkarbon, karbonisasi dilakukan dengan membakar tempurung kelapa untuk menghilangkan kandungan air atau moisture content dan material-material lain dalam tempurung kelapa yang tidak dibutuhkan oleh arang seperti hydrogen dan oksigen atau material yang menguap. Karbon yang terkandung di dalam arang bereaksi dengan oksigen pada permukaan membentuk karbon monoksida menurut reaksi berikut :



Permukaan karbon juga bereaksi dengan karbondioksida dan uap air dengan reaksi reduksi sebagai berikut :



Selama proses karbonisasi, gas-gas yang bisa terbakar seperti CO, CH₄, H₂, formaldehid, metana, asam formiat dan asam asetat serta gas-gas yang tidak bisa terbakar seperti CO₂, H₂O dan tar cair dilepaskan. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi.

Proses karbonisasi dapat merupakan reaksi endoterm atau eksoterm tergantung pada temperatur dan proses reaksi yang sedang terjadi. Secara umum hal ini dipengaruhi oleh hubungan temperatur karbonisasi, sifat reaksi, perubahan fisik/kimiawi yang terjadi. Proses karbonisasi dilakukan melalui dua cara, pertama dengan pemanasan secara langsung dalam tungku Beehive yang berbentuk kubah. Tungku Beehive merupakan tungku yang paling tua dimana batubara dibakar pada kondisi udara terbatas, sehingga hanya zat terbang saja yang akan terbakar. Jika zat terbang terbakar habis, proses pemanasan dihentikan. Kelemahannya antara lain terdapat produk samping berupa gas dan cairan yang tidak dapat dimanfaatkan atau habis terbakar, disamping itu produktivitas sangat rendah.

Cara kedua adalah karbonisasi dengan pemanasan tak langsung atau sistem destilasi kering. Dalam hal ini bahan baku ditempatkan pada ruang tegak sempit dan dipanaskan dari luar (pemanasan tak langsung). Cara ini selain menghasilkan kokas juga diperoleh produk samping berupa tar, amoniak, gas metana, gas hidrogen dan gas lainnya. Gas-gas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Sedangkan produk cair berupa tar, amoniak dan lain-lain dapat diproses lebih lanjut untuk menghasilkan bahan-bahan kimia, umumnya berupa senyawa aromatic

4.5. Pirolisis

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun tempurung kelapa. Istilah lain dari pirolisis adalah penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Hal tersebut mengandung pengertian bahwa apabila tempurung kelapa dipanaskan tanpa berhubungan dengan udara dan diberi suhu yang cukup tinggi, maka akan terjadi reaksi penguraian dari senyawa-senyawa kompleks yang menyusun tempurung dan menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padatan, cairan dan gas. Dalam pembuatan arang dari kayu melalui proses pirolisis akan terjadi proses perubahan komponen kimia kayu menjadi arang, yang terjadi pada suhu $200^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$. Tiga komponen utama kayu adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Proporsi dari tiga polimer struktur ini bervariasi tergantung dari jenis kayu. Senyawa lain seperti resin terdapat dalam jumlah kecil. Pada umumnya kayu mengandung dua bagian selulosa dan satu bagian hemiselulosa, serta satu bagian lignin. Berdasarkan suhunya proses pirolisis kayu dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

- a. Tahap suhu rendah ($0^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$) Reaksi yang terjadi pada bagian ini adalah reaksi endotermis, yaitu reaksi yang menyerap panas, artinya panas yang dihasilkan dari reaksi tersebut lebih rendah dari panas yang diterima. Reaksi ini pada intinya adalah proses menguapkan air, walaupun titik didih air adalah 100°C tetapi untuk menguapkan air yang berada di dinding sel diperlukan suhu sampai 200°C . Pada tahap ini, meskipun lambat terjadi pula proses dekomposisi kayu. Walaupun kekuatan kayu naik seiring menurunnya kadar air kayu, namun perlahan-lahan akan menurun jika sudah di atas 100°C . Proses pirolisis berjalan pelan namun kayu tidak

sampai terbakar. Kelembaban tinggi akibat proses penguapan air.

b. Tahap suhu tinggi (di atas 200°C)

Tahap ini merupakan reaksi eksotermis, yaitu reaksi yang menghasilkan panas

artinya panas yang dihasilkan dari reaksi ini lebih besar dari yang diterima. Pada tahap ini proses dekomposisi meningkat pesat, dimulai dari terjadinya proses dekomposisi komponen kayu misalkan hemiselulosa, selulosa dan lignin. Hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 200°C - 250°C, selulosa mulai 280°C dan berakhir pada 300°C - 350°C, sementara lignin mulai terdekomposisi pada suhu 300°C -350°C dan berakhir pada suhu 400°C - 450°C.

Pada permulaan pirolisis dihasilkan gas-gas yang mudah terbakar seperti CO, metana, metanol, formaldehid dan asam asetat. Proses pirolisis selanjutnya menghasilkan tar, termasuk di dalamnya adalah furfural dan derivatif furan sebagai hasil dekomposisi dari pentosan, kemudian glukosa sebagai hasil dekomposisi selulosa dan berbagai macam senyawa aromatik (fenol, xilenol) sebagai hasil dekomposisi lignin. Semua hasil dekomposisi menguap bersamaan dengan meningkatnya suhu pirolisis dan residu yang tertinggal adalah arang.

Pada proses pirolisis terjadi dekomposisi senyawa-senyawa penyusunnya, dan berdasarkan komponen utamanya maka pirolisis dapat dibagi sebagai berikut:

a. Pirolisis selulosa

Selulosa adalah makromolekul yang dihasilkan dari kondensasi linear struktur heterosiklis molekul glukosa. Selulosa terdiri dari 100-1000 unit glukosa (Fengel dan Wegener, 1984). Selulosa terdekomposisi pada temperatur

280°C dan berakhir pada 300-350°C Girard (1992), menyatakan bahwa pirolisis selulosa berlangsung dalam dua tahap, yaitu :

1. Tahap pertama adalah reaksi hidrolisis menghasilkan glukosa.
2. Tahap kedua merupakan reaksi yang menghasilkan asam asetat dan homolognya, bersama-sama air dan sejumlah kecil furan dan fenol.

b. Pirolisis hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polimer dari beberapa monosakarida seperti pentosan ($C_5H_8O_4$) dan heksosan ($C_6H_{10}O_5$). Pirolisis pentosan menghasilkan furfural, furan dan derivatnya beserta satu seri panjang asam-asam karboksilat. Pirolisis heksosan terutama menghasilkan asam asetat dan homolognya. Hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur 200-250°C.

c. Pirolisis lignin

Lignin merupakan sebuah polimer kompleks yang mempunyai berat molekul tinggi dan tersusun atas unit-unit fenil propana. Senyawa-senyawa yang diperoleh dari pirolisis struktur dasar lignin berperan penting dalam memberikan aroma asap produk asapan. Senyawa ini adalah fenol, eter fenol seperti guaiakol, siringol dan homolog serta derivatnya (Girard,1992). Lignin mulai mengalami dekomposisi pada temperatur 300-350°C dan berakhir pada 400-450°C.

Pirolisis juga merupakan degradasi limbah organik secara thermal dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan arang karbon, minyak dan gas yang dapat dibakar. Besarnya produk yang akan dihasilkan dipengaruhi kondisi proses, terutama temperatur dan laju pemanasan. Perbedaan utama pirolisis, gasifikasi dan insinerasi: jumlah oksigen yang disuplai ke reaktor thermal. Temperatur relatif rendah, yaitu dalam rentang 400-800°C. Kondisi proses yang bervariasi mengakibatkan perbedaan produk arang, gas atau minyak

yang dihasilkan. Panas disuplai melalui pemanasan tidak langsung, seperti pembakaran dari gas atau minyak, atau pemanasan langsung menggunakan transfer gas panas. Pirolisis memiliki kelebihan dalam menghasilkan gas atau produk minyak dari limbah yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk proses pirolisis itu sendiri.

- a. Pirolisis dari limbah domestik (sampah kota) menghasilkan :
 - 4) 35% produk arang
 - 5) kadar abu hingga 37%
- b. Pirolisis dengan laju pemanasan yang lambat terhadap limbah akan menghasilkan :
 - 1) Arang hingga 50%
 - 2) Kadar abu sekitar 10%
 - 3) Pemanfaatan arang, yaitu digunakan langsung sebagai bahan bakar yang dipadatkan menjadi briket arang bahan bakar dan dapat digunakan sebagai bahan adsorpsi seperti karbon aktif .

Proses Pirolisis Proses pembakaran bahan baku tempurung kelapa menjadi arang tempurung dan asap cair dengan menggunakan tungku pirolisis, adapun langkah-langkah adalah sebagai berikut:

- a. Pada waktu pengisian bahan baku diusahakan tempurung kelapa terisi penuh di dalam reaktor dengan menggunakan balok kayu untuk memadatkan tempurung di dalam reaktor pirolisis.
- b. Reaktor ditutup rapat setelah terisi penuh dengan tempurung kelapa. Untuk mencegah asap keluar dari reaktor pirolisis.
- c. Untuk proses pembakaran disediakan bahan bakar sekitar 40 – 50 kg tempurung untuk membakar 120 kg tempurung yang akan dijadikan briket.
- d. Pada saat proses pembakaran suhu pirolisis dikontrol melalui alat kontrol temperatur yang terpasang diatas reaktor pirolisis. Selama proses pembakaran suhu dijaga sekitar 300-400°C.

- e. Kran pada separator / penampung tar harus dibuka 5-10 menit per jam karena untuk mencegah cairan tar mengeras didalam pipa. Disamping itu untuk mencegah terjadinya tekanan tinggi pada reaktor pirolisis.
- f. Setelah 5 – 6 jam dimana asap cair tidak keluar dari kondensor maka proses pirolisis dianggap sudah selesai.
- g. Setelah proses pirolisis selesai tempurung (sisa pembakaran) yang digunakan sebagai bahan bakar kemudian dapat dikeluarkan dan dimatikan dengan menggunakan air. Arang hasil pirolisis yang ada didalam reaktor didiamkan terlebih dahulu selama 2 jam kemudian dikeluarkan dan digiling.

Pirolisis merupakan juga proses pemecahan lignoselulosa oleh panas dengan oksigen yang terbatas dan menghasilkan gas, cairan dan arang yang jumlahnya tergantung pada jenis bahan, metode, dan kondisi dari pirolisnya. Pada proses pirolisa, sellulosa mengalami 2 tahap, yaitu :

- a. Tahap pertama merupakan reaksi hidrolisis asam yang diikuti oleh dehidrasi yang menghasilkan glukosa.
- b. Tahap kedua pembentukan asam asetat dan homolognya bersama air serta sejumlah kecil furan dan fenol (Girard, 1992).

Hasil pirolisis dari senyawa sellulosa, hemisellulosa dan lignin diantaranya akan menghasilkan asam organik, fenol, karbonil yang merupakan senyawa yang berperan dalam pengawetan bahan makanan. Senyawa-senyawa tersebut berbeda proporsinya diantaranya tergantung pada jenis, kadar air kayu, dan suhu pirolisis yang digunakan. Asap cair pada proses ini diperoleh dengan cara kondensasi asap. yang dihasilkan melalui cerobong reaktor pirolisis. Proses kondensasi asap menjadi asap cair sangat bermanfaat bagi perlindungan pencemaran udara yang ditimbulkan oleh proses

tersebut. Di samping itu, asap cair yang mengandung sejumlah senyawa kimia.

Proses pirolisis terdiri dua tingkat yaitu :

- a. Pirolisis primer adalah proses pirolisis yang terjadi pada suhu 150-300°C (proses lambat), dan pada suhu 300-400°C (proses cepat). Hasil dari proses lambat adalah arang, H₂O, CO, dan CO₂. Sedangkan hasil pirolisis cepat adalah arang, berbagai gas, dan H₂.
- b. Pirolisis sekunder adalah proses pirolisis yang terjadi pada gas hasil dan terjadi pada suhu lebih dari 600°C dan hasil pirolisisnya : CO, H₂, dan hidrokarbon. Umumnya proses sekunder ini digunakan untuk gasifikasi.

Dekomposisi pirolisis kayu dengan adanya udara dalam suhu akhir menghasilkan tiga kelompok, yaitu komponen padat (arang), senyawa-senyawa yang mudah menguap dan gas yang mudah menguap. Cairan pirolisis merupakan campuran kompleks senyawa alifatik dan aromatik. Proses pirolisis melibatkan berbagai proses reaksi yaitu dekomposisi, oksidasi, polimerisasi, dan kondensasi. Reaksi-reaksi yang terjadi selama pirolisis kayu adalah penghilangan air dari kayu pada suhu 120-150°C, pirolisis hemiselulosa pada suhu 200-250°C,

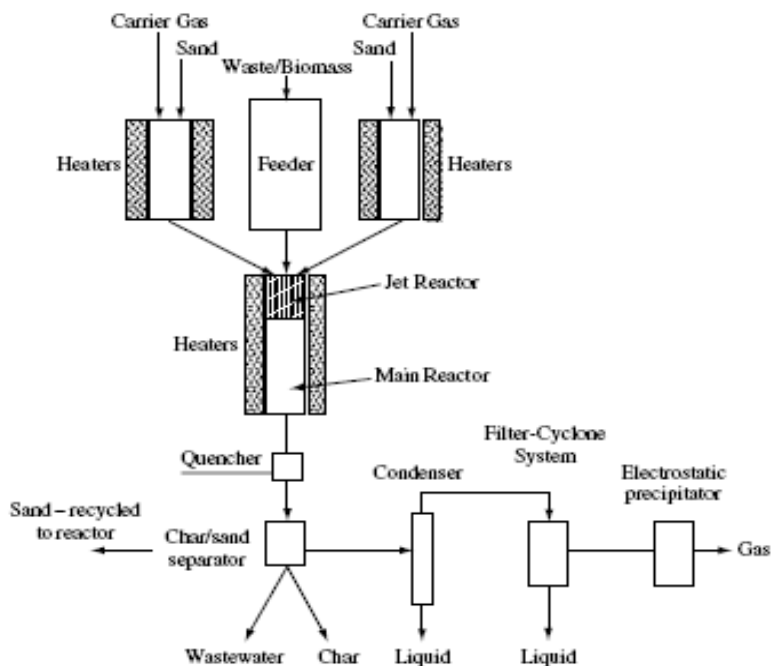
Dari hasil pirolisis ini kemudian dapat dilakukan konversi produk salah satunya untuk kepentingan sintesis bahan pengganti minyak bumi atau bahan obat-obatan. Secara bertahap, pirolisis kayu akan mengalami penguraian yaitu :

- a. hemiselulosa terdegradasi pada 200-260°C,
- b. Selulosa pada 240-350°C,
- c. Lignin pada 280-500°C.

Degradasi termal dapat dilakukan dengan adanya pelarut dalam jumlah rendah sehingga reaksi berjalan lebih cepat.

Proses pirolisis untuk pembentukan asap cair dan arang (Jannsen et al. 2004), dapat dijelaskan dengan tiap daerah, yaitu :

- a. Dimulai saat kayu yang dibakar mengalami penguraian yang sangat kompleks (daerah 1),
- b. Dimana senyawa kimia kayu yang diidentifikasi sifat fisik dan kimia akibat perpindahan massa dan panas kemudian terjadi penguapan (evaporation) (daerah 2),
- c. Yang menyebabkan titik didih air menguap pada suhu dekomposisi antara 200-250°C (daerah 3),
- d. Mengalami pirolisis (daerah 4),
- e. Lapisan arang (daerah 5),
- f. Lapisan awal permukaan (daerah 6)
- g. Dan nyala api (daerah 7).



Gambar 4.1. Rangkaian proses pirolisis

Pirolisis juga disebut termalisis yaitu dekomposisi termal (panas) dari bahan organik, seperti pada waktu batubara dipanaskan lebih dari 300°C tanpa udara atmosfer. Pada reaksi kimia pirolisis biomasa, terdapat tiga faktor yang berpengaruh yaitu :

- a. Bahan baku : dimana bahan baku memiliki kandungan komposisi kimia dan kadar air yang berbeda untuk tiap bahan.
- b. Reaktor : proses pirolisis dapat dilakukan pada beberapa jenis reaktor seperti *vertical – shaft* atau *batch reactor*, *rotating tubular* atau *fluidized – bed reactor*.
- c. Kondisi operasi : berbagai kondisi operasi pirolisis yang dapat terjadi seperti suhu pirolisis, waktu pirolisis (waktu tinggal).

Seiring waktu reaksi dan suhu dinaikkan, komposisi dari produk pirolisis berkembang menjadi komponen yang lebih stabil. Dekomposisi bahan organik dijabarkan sebagai berikut :

- 100 – 200°C : merupakan kondisi pengeringan dengan pemanasan, dehidrasi.
- 250°C : adalah kondisi hilangnya cairan dan karbon dioksida, evolusi hidrogen.
- 340°C : yaitu kondisi putusya rantai karbonmakromolekul.
- 380°C : merupakan kondisi tahap pirolisis, pengayaan karbon.
- 400°C : merupakan kondisi pecahnya rantai C-O dan C-H.
- 400 – 600°C : merupakan kondisi konversi komponen organik cair dalam hal ini untuk menghasilkan produk pirolisis cair (tar).
- 600°C : adalah kondisi pemecahan komponen organik cair untuk menghasilkan komponen yang stabil (gas, hidrokarbon rantai pendek) senyawa aromatik (senyawa bensen).

>600°C : yaitu kondisi pemanasan aromatis menghasilkan bensen dan aromatik titik didih tinggi.

Proses pirolisis dapat dibagi menjadi beberapa fase dimana menjadi pedoman kesuksesan prosesnya, yaitu :

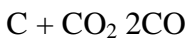
- a. Fase pengeringan.
- b. Fase pirolisis.
- c. Fase evolusi gas.

Pada suhu 200°C pengeringan fisik disertai produksi uap air, jika yang dimasukkan bahan biomasa yang basah maka perlu disertakan atau dimasukkan *steam* (uap air panas) ke dalam reaktor, Pirolisis terjadi pada suhu 200 – 500°C. struktur makromolekul pecah menjadi gas, komponen organik cair, karbon padat. Evolusi gas terjadi pada 500 – 1200°C, produk hasil pirolisis diturunkan lebih lanjut, karbon padat dan produk organik cair menghasilkan gas yang stabil. Hidrokarbon besar molekul besar dipecah menjadi metana dan karbon padat. Metana direaksikan dengan uap air dikonversi menjadi karbon monoksida dan hidrogen. Karbon padat direaksikan dengan uap air atau karbon dioksida dikonversi menjadi karbon monoksida dan hidrogen.

Reaksi kimia peruraian selulosa pada biomasa :



Reaksi utama yang terjadi pada fase evolusi gas dijabarkan sebagai berikut :



(Sumber : Ullmann's, 2002)

Tabel 4.1. Reaksi kimia peruraian selulosa pada produk biomassa

No.	Reaksi	Produk
1.	$C_6H_{10}O_5 + \text{panas} \rightarrow CH_4 + 2CO + 3H_2O + 3C$	
2.	$C_6H_{10}O_5 \rightarrow 6C + 5H_2O_{(g)}$	Karbon
3.	$C_6H_{10}O_5 \rightarrow 0.8 C_6H_8O + 1.8 H_2O_{(g)} + 1.2 CO_2$	Oli residu
4.	$C_6H_{10}O_5 \rightarrow 2C_2H_4 + 2CO_2 + H_2O_{(g)}$	Etilen

(Sumber : Sorensen B, 2004)

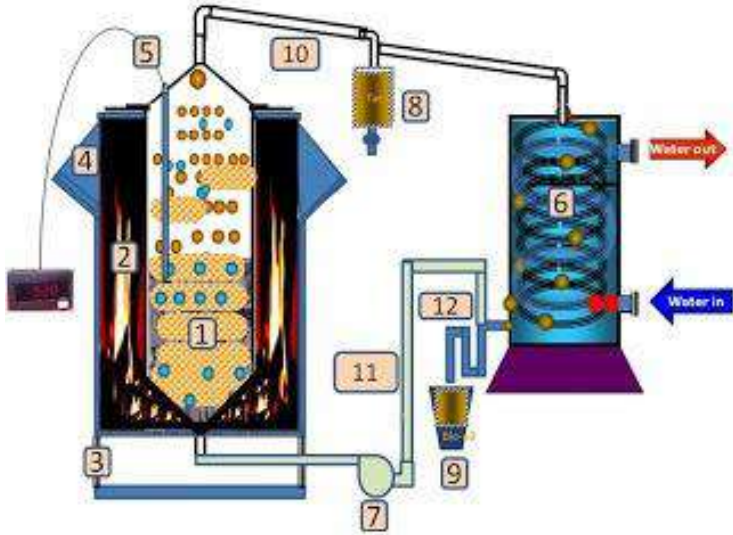
Dengan pirolisis merupakan endotermik, berbagai metode telah dilakukan untuk memungkinkan pemanasan ke partikel biomass yang mengakibatkan reaksi :

- Pembakaran sebagian biomassa produk melalui suntikan udara. Hal ini mengakibatkan produk-produk berkualitas rendah.
- Perpindahan panas langsung dengan gas panas, produk ideal gas yang dipanaskan dan didaur ulang. Masalahnya adalah untuk menyediakan panas cukup dengan aliran gas yang masuk akal.
- Perpindahan panas tidak langsung dengan nilai permukaan (dinding, tabung). Sulit untuk mencapai perpindahan panas baik di kedua sisi permukaan pertukaran panas.
- Perpindahan panas langsung dengan sirkulasi solid: memindahkan solid panas antara kompor dan reaktor pirolisis. Ini adalah efektif tetapi teknologi yang kompleks.

Pada flash pirolisis biomassa harus dibuat menjadi partikel halus dan char isolasi lapisan yang terbentuk pada permukaan partikel yang bereaksi harus terus dihilangkan. Teknologi berikut telah diusulkan untuk pirolisis biomassa :

- Tetap *beds* ; yang digunakan untuk produksi tradisional arang. Miskin udara, lambat menghasilkan perpindahan panas, sangat rendah hasil cairan.

2. Augers ; Teknologi ini diadaptasi dari Lurgi proses gasifikasi batu bara. Memberikan kontrol yang baik dari *residence* biomassa. Tidak mengencerkan produk pirolisis dengan carrier atau fluidizing gas.
3. Ablatif proses: Biomassa partikel bergerak dengan kecepatan tinggi terhadap permukaan logam panas. Ablation dari setiap char terbentuk di permukaan partikel, mempertahankan terjadinya perpindahan panas. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan permukaan logam berputar dengan kecepatan tinggi dalam tempat partikel biomassa.
4. *Rotating cone*: merupakan proses pemanasan pasir dan partikel biomassa yang dimasukkan ke kerucut yang berputar. Karena rotasi kerucut, campuran pasir dan biomas pada kerucut dibawa melintasi permukaan dengan gaya sentrifugal. Cara ini dilakukan untuk memperoleh hasil cairan yang baik.
5. Fluidized bed: Biomassa partikel yang dimasukkan ke hamparan pasir panas fluidized oleh gas, yang biasanya merupakan produk recirculated gas. Tinggi kecepatan transfer panas dari pasir fluidized mengakibatkan pemanasan cepat partikel biomassa. Panas biasanya diberikan oleh tabung-tabung penukar panas melalui pembakaran panas gas yang mengalir. Tantangan utama dalam meningkatkan kualitas dan konsistensi dari biofuel.



Gambar 4.2. Rangkaian Sistem Proses Pirolisis

Keterangan gambar 4.2. :

- 1) Tabung pirolisis Tempat menampung semua bahan tempurung/kayu/serbuk gerjen yang akan dijadikan arang melalui proses pirolisis.
- 2) Tungku pembakaran Tungku pembakaran berfungsi untuk membakar semua bahan yang akan dibakar dalam tabung pirolisis.
- 3) Lubang udara Lubang udara berfungsi untuk sirkulasi udara selama proses pembakaran agar panas yang dihasilkan bisa merata
- 4) Lubang bahan bakar Lubang bahan bakar berfungsi untuk keluar masuknya semua bahan bakar yang digunakan selama proses pembakaran.
- 5) Pengukur suhu Pengukur suhu adalah alat yang berfungsi untuk mengatur suhu selama proses pembakaran dalam tungku agar lebih stabil sehingga proses pengarangan menjadi lebih sempurna.

- 6) Tabung kondensasi Tabung kondensasi berfungsi untuk mendinginkan asap/gas agar menjadi zat cair sehingga mempermudah dalam penyimpanan.
- 7) Blower Blower berfungsi untuk mendorong agar asap dapat mengalir secara cepat dan lancar dalam tempat penampungan.
- 8) Penampung tar Penampung tar adalah alat yang digunakan untuk menampung tar yang keluar selama proses pengarangan menggunakan pirolisis.
- 9) penampung bio-oil Penampung bio-oil adalah tempat untuk menampung asap cair yang dihasilkan dalam proses pengarangan dengan pirolisis.
- 10) Pengukur tekanan Pengukur tekanan merupakan peralatan yang mendukung dalam pengarangan menggunakan tabung pirolisis, berfungsi untuk mengukur tekanan agar tetap stabil.
- 11) Pipa gas recycle Pipa gas recycle merupakan alat pendukung tabung pirolisis, berfungsi untuk merecycle semua bahan gas yang dihasilkan selama proses pengarangan dan digunakan sebagai tambahan bahan bakar.
- 12) Pipa bio-oil Pipa bio-oil merupakan alat pendukung tabung pirolisis, berfungsi untuk mengalirkan bio-oil yang diperoleh selama proses pengarangan dalam pirolisis.

4.6. Bio-arang

Arang atau karbon merupakan residu hitam berbentuk padatan berpori yang mengandung 85-95 % karbon yang nantinya akan dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen *volatile* dari bahan-bahan yang mengandung karbon melalui pemanasan pada suhu tinggi. Kendati demikian, masih terdapat sebagian pori – pori yang tetap tertutup dengan hidrokarbon, ter dan senyawa organik lain. Kualitas arang karbon juga dipengaruhi oleh kesempurnaan dalam proses karbonisasinya. karbonisasi merupakan

proses penguraian selulosa menjadi karbon pada suhu berkisar 275°C. Proses ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan akan menentukan kualitas dari arang karbon yang dihasilkan. Banyaknya arang karbon yang dihasilkan ditentukan oleh komposisi awal biomassa yang digunakan. Bila dalam proses karbonisasi kandungan zat menguap semakin banyak maka akan semakin sedikit karbon yang dihasilkan karena banyak bagian yang terlepas ke udara. Proses karbonisasi memiliki 4 tahapan tertentu, yaitu :

- a. Pada suhu 100 - 120°C penguapan air akan berlangsung, selanjutnya saat suhu mencapai 270°C mulai terjadi penguapan selulosa. Destilat yang dihasilkan akan mengandung asam organik dan sedikit metanol.
- b. Pada suhu 270 - 310°C reaksi eksotermik berlangsung. Pada suhu ini selulosa akan mengalami penguraian secara intensif menjadi larutan pirolignat, gas kayu, dan sedikit ter. Asam pirolignat merupakan asam organik dengan titik didih rendah seperti asam cuka dan metanol, sedangkan gas kayu terdiri atas CO dan CO₂.
- c. Pada suhu 310 - 510°C lignin mulai mengalami penguraian sehingga akan dihasilkan lebih banyak ter. Larutan pirolignat akan menurun dan produksi gas CO₂ pun ikut menurun. Namun hal berbeda terjadi pada gas CO, CH₄, dan H₂ yang jumlahnya meningkat.
- d. Pada suhu 500 - 1000°C merupakan tahap terjadinya pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon.



Gambar 4.3. Arang berbagai biomassa

Karbon atau arang yang telah mengalami perbesaran pori atau luas permukaan sehingga dapat menyerap zat-zat lain yang ada di sekitarnya. Karbon juga memiliki kelebihan lain yakni mudah untuk dibuat, sebab proses pembuatannya termasuk proses yang cukup sederhana. Dalam pembuatan arang karbon, tidak hanya bahan bakunya saja yang perlu diperhatikan, juga proses aktivasinya. Karena merupakan hal penting yang turut berpengaruh dalam pembuatan karbonaktif. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap karbon agar karbon mengalami perubahan *sifilt*, baik fisik maupun kimia, dimana luas permukaannya meningkat tajam akibat terjadinya penghilangan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa pengarangan.

Ada dua metode aktivasi yang dapat digunakan dalam pembuatan arang karbon, yakni :

- b. Aktivasi kimia yaitu pengaktifan arang atau karbon dengan menggunakan bahan-bahan kimia sebagai *activating agent* yang dilakukan dengan cara merendam arang dalam larutan kimia, seperti $ZnCl_2$, KOH , HNO_3 , H_3PO_4 , dan sebagainya.
- c. Aktivasi fisika, yaitu pengaktifan arang atau karbon dengan menggunakan panas, uap, dan CO_2 dengan suhu tinggi dalam sistem tertutup tanpa udara sambil dialiri gas inert.

Dari kedua jenis proses aktivasi yang ada, cara aktivasi kimia memiliki berbagai keunggulan tertentu dibandingkan dengan cara aktivasi fisik, diantaranya adalah :

- a. Dalam proses aktivasi kimia, zat kimia pengaktif sudah terdapat dalam tahap penyiapannya sehingga proses karbonisasi dan proses aktivasi karbon terakumulasi dalam satu langkah yang umumnya disebut *one-step activation* atau metode aktivasi satu langkah.
- b. Dalam proses aktivasi kimia, suhu yang digunakan umumnya lebih rendah dibanding pada aktivasi fisik.
- c. Efek *dehydrating agent* pada aktivasi kimia dapat memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon.
- d. Produk yang dihasilkan dalam aktivasi kimia lebih banyak dibandingkan dengan aktivasi fisik.

Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Bio-arang merupakan bahan bakar arang yang dibuat dari bahan tumbuh-tumbuhan dengan cara proses pirolisis dan dengan kualitas kalori yang lebih baik dibanding arang biasa. Pambayun (2013) mengatakan persen removal tertinggi didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na_2CO_3 5% dengan persen removal sebesar 99,745%. Kapasitas optimum penyerapan fenol dengan karbon aktif dari arang tempurung kelapa terbaik didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na_2CO_3 5% dengan kapasitas serapan sebesar 220,751 mg fenol/gram karbon aktif. Bio-arang yang dihasilkan dari pembakaran pirolisis kemudian dibuat beriket agar membentuk gumpalan lebih padat, bahkan dapat menaikkan nilai kalorinya.

Arang diperoleh dengan memanaskan kayu sampai lengkap pirolisis (karbonisasi), hanya meninggalkan karbon dan anorganik

abu. Di banyak bagian dunia, arang masih diproduksi semi-industri, dengan membakar tumpukan kayu yang telah sebagian besar tertutup lumpur atau batu bata. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran bagian dari kayu dan produk sampingan *pyrolyzes volatile* sisa tumpukan. Terbatasnya pasokan oksigen mencegah dari pembakaran arang juga. Alternatif yang lebih modern adalah dengan memanaskan kayu dalam kapal logam kedap udara, yang jauh lebih sedikit polusi dan memungkinkan produk volatile akan terkondensasi.

4.7. Biobriket

Briket atau biobriket adalah suatu bentuk gumpalan bahan yang terbuat dari bahan lunak yang dikeraskan, dengan bahan baku yang berasal dari jasad hidup diantaranya nabati tumbuhan yaitu biomassa. Briket arang dari biomassa adalah bahan bakar potensial yang mengandung kadar karbon relatif tinggi dan mempunyai nilai kalori tinggi. Briket arang dibuat dari bahan bioarang yang diperoleh dengan cara pembakaran terbatas terhadap biomassa kering atau tanpa udara. Sebenarnya biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar, akan tetapi kurang efisien hasilnya karena pada umumnya biomassa mempunyai nilai kalori rendah yaitu pada kisaran 3000 kkal/kg. Jadi untuk meningkatkan efisiensi pembakaran biomassa harus dibuat bioarang sehingga nilai kalornya meningkat pada kisaran 5000 kkal/kg.

Perbedaan briket dengan arang konvensional adalah pada bahan bakar briket terdapat penambahan bahan lain dan tingkat konsentrasi material karbonnya lebih tinggi karena adanya proses pemadatan. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil briket biomassa mempunyai tingkat gas emisi netto (rumah kaca) lebih rendah, karena briket dari biomassa merupakan bagian dari siklus karbon.

Teknologi pembriketan telah dikembangkan dunia ada 2 macam aliran yang berbeda, yaitu teknologi versi Eropa/amerika yaitu

teknologi pembriketan dengan menggunakan pres piston sedangkan versi jepang secara independen menggunakan pres ulir. Masing-masing versi memiliki kelebihan dan kekurangannya. Kedua teknologi ini sudah banyak digunakan, akan tetapi karena keunggulannya teknologi pembriketan dengan pres ulir lebih banyak pemakainya. Briket biomassa digunakan sebagai pengganti dari bahan bakar kayu, batu bara dan lignit sudah banyak dikenal di banyak negara berkembang, akan tetapi masih banyak dijumpai kendala penghambat. Hal ini disebabkan pengembangan terhadap teknologi ini masih kurang fokus. Teknologi pembriketan tidak berjalan mapan di beberapa negara berkembang disebabkan pula oleh keterbatasan teknologi/keahlian SDM dan kurangnya pengetahuan adaptasi teknologi bersangkutan ke tempat yang tepat dengan kondisi/sasaran. Ciri-ciri arang yang baik untuk biobriket adalah :

- a. Arang berwarna hitam merata
- b. Tidak mengandung kotoran
- c. Ujung pecahan arangnya bercahaya
- d. Bila dijatuhkan pada lantai keras, pecahan kepingannya seperti lingkaran terang
- e. Waktu pembakaran lama
- f. Kecepatan bakaran rendah
- g. Nyala api besar dan mudah/cepat dinyalakan.

Teknologi pembriketan mempunyai aspek penting terhadap kualitas bioberiket yang dihasilkan. Saat ini teknologi pembriketan dengan teknologi tekanan/presure tinggi, baik pada mesin pres ram/piston maupun pres ulir sudah digunakan. Briket hasil pres piston bentuknya solid sempurna, sedangkan bentuk briket hasil pres ulir memberikan lubang ditengahnya yang dapat membuat karakteristik pembakaran lebih baik. Briket dapat dihasilkan dengan kepadatan $1,2 \text{ g/cm}^3$ dari limbah biomassa yang memiliki kepadatan antara $0,1 - 0,2 \text{ g/cm}^3$. Briket dapat dibakar bersih sehingga lingkungan sehat.

Beberapa aspek-aspek dasar dalam pemberiketan berdasarkan Murfihenni (2014) yaitu :

a. Tekanan pengopakan

Pemadatan atau densifikasi biomassa atau adalah merupakan representasi dari suatu kelompok teknologi yang digunakan untuk merubah biomassa menjadi bahan bakar dan teknologi ini dikenal pula sebagai pembriketan. Pembriketan dapat meningkatkan karakteristik dalam penanganan/ handling bahan bakar untuk ditransportasikan dan disimpan, dan khususnya yaitu membantu meningkatkan penggunaan biomassa untuk proses produksi bahan energi. Pemadatan atau densifikasi pada bahan biomassa dapat meningkatkan nilai kalori secara volumetrik, mengurangi ongkos pengangkutan dan dapat membantu pengembangan kondisi energi di daerah/ pedesaan. Pembriketan adalah merupakan salah satu teknik penggumpalan yang karakteristiknya sudah dikenal luas sebagai teknologi pemadatan/densifikasi. Penggumpalan residu/limbah biomassa dilakukan bertujuan untuk meningkatkan kepadatan dan dilakukan dalam rangka penggunaan biomassa adalah untuk memproduksi bahan energi. Bahan baku untuk briket dapat diperoleh dari sampah atau limbah industri kayu dan sampah biomassa produk buangan yang dapat terbakar.

Pembriketan dan ekstrusi keduanya merupakan istilah dalam teknologi pengompakan yang dengan kata lain adalah suatu proses pengepresan bersama dilakukan terhadap sejumlah partikel dalam suatu volume yang terbatas. Jika bahan (dihaluskan) mengalami deformasi dibawah tekanan tinggi, khususnya pada proses pengepresan, maka tidak lagi diperlukan bahan pengikat. Kekuatan dari proses pengompakan yaitu ditimbulkan oleh gaya molekul/ van der walls, gaya valensi dan penguncian. Komponen bahan alam dapat diaktivasi menjadi

bahan pelekat dengan menggunakan tekanan tinggi tertentu. Beberapa bahan baku biomassa masih membutuhkan bahan pengikat walaupun sudah dilakukan proses dibawah tekanan tinggi.

b. Mekanisme Pengikatan pada Proses Pemadatan

Untuk pemahaman yang baik dari pembriketan biomassa, adalah penting untuk mengetahui sifat fisik dan kimia dari biomassa tersebut, termasuk sifat bahan biomassa yang mempengaruhi sebagai bahan bakar. Sifat fisik yang menarik antara lain meliputi kadar air, berat jenis curah/bulk, kerenggangan volume dan sifat termal. Sifat kimia yang penting meliputi proximate dan ultimat analisis termasuk nilai kalor batas tinggi. Sifat fisik penting digunakan untuk penjelasan mekanisme atau cara pengikatan dalam proses pemadatan biomassa. Pemadatan biomassa dengan tekanan tinggi membuat mekanisme kearah penguncian, meningkatkan daya pelekatan antara partikel dan pembentukan ikatan antara molekul di area kontak. Mekanisme pengikatan dengan tekanan tinggi terbagi menjadi dua antara lain: adhesi atau pelekatan dan gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara partikel solid dalam ikatan penguncian.

Media pengikat yang memiliki viskositas tinggi, seperti tar dan organik cair dengan molekul berat dapat membuat ikatan berupa padatan bercabang atau sistem jembatan. Gaya adhesi/pelekatan antara bidang permukaan dan kohesi antara benda solid seluruhnya digunakan untuk kekuatan pengikatan. Lignin dari biomassa kayu juga dapat diasumsikan untuk membantu proses pengikatan dengan cara ini.

Selanjutnya pembagian benda padat menjadi bagian-bagian kecil mempermudah tarikan atom-atom atau molekul yang berada di sekelilingnya. Pembentukan lapisan absorsi yang tipis membuat pergerakan molekul tidak bebas. Namun demikian

benda partikel dapat saling bersinggungan dan berpenetrasi satu sama lain. Pelunakan lignin pada tekanan dan temperatur tinggi membentuk lapisan absorpsi yang merupakan bagian dari benda terkait. Pemberian gaya dari luar seperti tekanan akan meningkatkan luas area kontak, gaya molekuler yang cukup tinggi dan meningkatkan kekuatan ikat diantara pasangan bahan yang saling melekat. Mekanisme penting lainnya yaitu adanya gaya van der Waals, yang mendukung pendekatan jarak antara partikel pasangan benda yang dilekatkan. Misalnya seperti yang terjadi pada powder. Pada fiber dan partikel bulki dapat terkunci atau menutup lipatan satu sama lain adalah sebagai hasil pembentukan yang disebabkan oleh penguncian atau ikatan bentuk tertutup. Untuk memperoleh ikatan tipe ini, kompresi dan gaya shear harus selalu dilakukan pada sistem. Kekuatan dari hasil penggumpalan hanya bergantung kepada jenis interaksi dan karakteristik bahan.

c. Mekanisme Pengompakan

Di dalam proses ekstruder ulir, putaran ulir mengambil bahan dari tempat pengumpan kemudian dilalukan ke dalam tabung dan terjadi pengompakan pada cetakan sehingga membuat benda terbentuk karena adanya tekanan di sepanjang ulir. Selama proses berjalan biomassa diberikan gaya ke dalamnya dan terjadi kontak geser pada dinding tabung. Hal ini juga menyebabkan efek friksi dalam pengerjaan proses pembriketan biomassa. Kombinasi efek yang diakibatkan oleh gesekan dinding tabung, panas yang ditimbulkan karena gesekan internal dan putaran ulir (rpm 600) menyebabkan kenaikan temperatur sistem yang mendukung terjadinya pemanasan biomassa. Kemudian dilakukan gaya terhadap cetakan/ekstrusi, dimana briket harus dibuat memerlukan bentuk. Pada tahapan ini pula bagian matras cetak diberikan tekanan maksimum. Dan

hal ini diaplikasikan pada biomassa agar diperoleh pengompakan yang lebih baik. Untuk menghasilkan briket dengan pengerjaan ekstrusi yang lebih halus biasanya matras cetakan dipanasi dan sebagian panas dari proses diberikan kepada biomassa dan permukaan ulir. Ekstruder secara sederhana menampilkan tiga zona yang berbeda yaitu: pengumpukan, transport dan zona ekstrusi. Gaya yang diberikan memainkan penting dan berpengaruh terhadap proses pengompakan biomassa yang terjadi di dalam zona kompresi. Pada waktu biomassa diumpukan ke dalam ekstruder ulir dan pemberian gaya dilakukan kemudian akan menimbulkan hambatan gesek di dalam matras dan terjadinya pengompakan disebabkan oleh mekanisme sebagai berikut:

- 1) Sebelum mencapai zona kompresi, biomassa dikompresi secara parsial, untuk menuju kepada pengepakan tertutup dan kemudian meningkatkan densitas. Energi yang terpakai digunakan untuk mengatasi friksi partikel.
- 2) Pada zona kompresi, bahan biomassa menjadi relatif lunak disebabkan oleh suhu temperatur tinggi (200 - 300°C) di dalam proses ini sifat elastisitas menghilang, pengepresan menjalar ke dalam ruang antara partikel sehingga hasilnya meningkatkan area kontak antar partikel. Ketika partikel-partikel datang bersamaan karena adanya tekanan, maka akan terbentuk jembatan.
jembatan lokal yang mendukung terjadinya penguncian dari partikel-partikel tersebut. Pada tahapan ini kelembaban menimbulkan uap yang membantu melembabkan biomassa.
- 3) Biomassa mendapatkan kompresi lebih lanjut di dalam tabung cetak (280°C) untuk membentuk briket. Pada bagian ini uap menghilang dan terjadi pengompakan secara simultan, dan tekanan diberikan secara merata terhadap

keseluruhan bagian bahan dan pada akhirnya diperoleh briket dengan kerapatan yang merata.

Udara yang terjebak di dalam zona kompresi akan menekan balik ke arah bagian pengumpan dan konduktivitas termal bahan meningkat karena adanya pengompresian. Selama perjalanan melewati zona kompresi biomassa menyerap energi panas dari friksi dan panas tersebut masuk ke seluruh bagian masa bahan. Kebritelan, keplastisan dan abrasivitas adalah merupakan faktor-faktor penting dalam pemberian tekanan pada proses pengompakan. Kecepatan pepadatan relatif penting di dalam penentuan variasi pada mekanisme pengikatan. Tujuan dari pengompakan adalah untuk membuat partikel-partikel menjadi lebih kecil dan berdekatan sehingga gaya aksi diantara partikel tersebut menjadi lebih kuat. Selanjutnya dapat memberikan cara penguatan yang lebih baik terhadap proses pepadatan untuk bahan biomassa yang bersifat bulki. Hasil produknya hendaknya cukup kuat menahan dalam perlakuan kasar yang terjadi di dalam handling. Apabila tekanan yang merata tidak meliputi keseluruhan volume bahan, maka timbul variasi kerapatan di dalam produk yang berefek buruk terhadap hasil produk briket. Pepadatan atau densifikasi pada bahan biomassa dapat meningkatkan nilai kalori secara volumetrik,

Suhu untuk analisis kandungan air adalah $130^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sehingga air yang lepas merupakan air terikat yang berada di dinding sel. Kadar air briket arang hasil penelitian sudah memenuhi standar Jepang (6%), di mana kadar air terendah yaitu 2,65 % dan kadar air tertinggi yaitu 4,11%. Kadar air briket arang tempurung kelapa yang

paling baik didapat pada suhu pirolisis 400°C dengan persentase perekat 3 % yaitu sebesar 2,65%. (Misdarpon, 2014).

4.8. Asap Cair

Cairan yang dihasilkan pada pirolisis ini terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan atas adalah asap cair sedangkan lapisan bawah adalah tar. Selama proses pirolisis berlangsung, terjadi beberapa tahap pirolisis yaitu tahap awal adalah proses pelepasan air yang disertai pelepasan gas-gas ringan seperti CO dan CO₂. Tahap awal ini terjadi pada temperatur 100 sampai 200°C. Pada kisaran temperatur ini dalam wadah pendingin hanya berisi air saja. Tahap kedua adalah proses dekomposisi unsur-unsur tempurung kelapa seperti hemiselulosa, selulosa dan lignin. Hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 200°C sampai 250°C, selulosa mulai terdekomposisi pada temperatur 280°C dan berakhir pada temperatur 300°C sampai 350°C, sedangkan lignin mulai terdekomposisi pada suhu 300°C sampai 350°C dan berakhir pada suhu 400°C. Pada tahap ini mulai dihasilkan tar dan semua hasil dekomposisi tempurung kelapa yang menguap bersamaan dengan meningkatnya temperatur pirolisis, residu yang tertinggal adalah arang.

Cairan yang merupakan campuran asap cair dan tar ini memiliki perbedaan berat jenis yaitu asap cair sebesar 1,0357 g/mL dan tar sebesar 1,0465 g/mL. Sebelum dilakukan destilasi, cairan ini didekantasi untuk memisahkan tar. Proses dekantasi dilakukan selama seminggu dan diharapkan dapat mengurangi kandungan tar pada asap cair.

Penggunaan asap cair terutama dikaitkan dengan sifat-sifat fungsional asap cair, diantaranya adalah sebagai antioksidan, antibakteri, antijamur, dan potensinya dalam pembentukan warna coklat pada produk. Asap cair dapat diaplikasikan pada bahan pangan karena dapat berperan dalam pengawetan bahan pangan. Cara

pengawetan tradisional biasanya dilakukan dengan pengasapan. Beberapa teknik pengasapan dapat dilakukan pada temperatur di atas 70°C kemudian bahan diasap langsung di atas sumber asap. Saat ini sedang dikembangkan metode pengawetan yang lain yaitu menggunakan metode pengasapan asap cair dengan mencelupkan bahan pada larutan asap atau menyemprotkan larutan asap pada bahan kemudian produk dikeringkan. Proses destilasi terhadap asap cair juga dapat menghilangkan senyawa yang tidak diinginkan dalam asap cair seperti hidrokarbon karsinogen dan residu tar.



Gambar 4.4. Asap Cair

Diketahui pula bahwa temperatur pembuatan asap merupakan faktor yang paling menentukan kualitas asap yang dihasilkan. Kandungan maksimum senyawa-senyawa fenol, karbonil, dan asam dicapai pada temperatur pirolisis 600°C. Tetapi produk yang diberikan asap cair yang dihasilkan pada temperatur 400°C dinilai mempunyai kualitas organoleptik yang terbaik dibandingkan dengan asap cair yang dihasilkan pada temperatur pirolisis yang lebih tinggi.

Pirolisis dengan empat tingkat temperatur yang berbeda menghasilkan arang, cairan dan gas dalam jumlah yang berbeda pula. Penurunan rendemen arang dari temperatur 250-400°C. Arang yang dihasilkan beratnya semakin berkurang dengan naiknya temperatur pirolisis, ini disebabkan semakin berkurangnya komponen-komponen

organik yang terdapat dalam tempurung tersebut. Arang yang dihasilkan pada temperatur 400°C adalah sebesar 31,80 % dan pada temperatur 250°C diperoleh arang dengan rendemen yang cukup tinggi yaitu sebesar 42,17 %.

Pembakaran tempurung pada temperatur pirolisis 400°C dihasilkan cairan yang paling banyak yaitu sebesar 51,43 %. Menurut Girard (1992) pirolisis pada temperatur 400°C ini menghasilkan senyawa yang mempunyai kualitas organoleptik yang tinggi dan pada temperatur lebih tinggi lagi akan terjadi reaksi kondensasi pembentukan senyawa baru dan oksidasi produk kondensasi diikuti kenaikan linear senyawa tar dan hidrokarbon polisiklis aromatis. Cairan yang merupakan campuran asap cair dan tar ini memiliki perbedaan berat jenis yaitu asap cair sebesar 1,0357 g/mL dan tar sebesar 1,0465 g/mL. Sebelum dilakukan destilasi, cairan ini didekantasi untuk memisahkan tar. Proses dekantasi dilakukan selama seminggu dan diharapkan dapat mengurangi kandungan tar pada asap cair.

Pemisahan asap cair secara destilasi adalah berdasarkan volatilitas komponen-komponennya. Asap cair didestilasi berdasarkan variasi temperatur dengan maksud untuk memisahkan tar dan untuk mendapatkan asap cair dengan sifat-sifat fungsional yang menonjol. Dengan proses destilasi ini diharapkan asap cair yang dihasilkan memiliki warna yang lebih jernih daripada asap cair tanpa destilasi dan tetap memiliki aroma asap.

Pada awalnya Asap cair merupakan asam cuka (veenager) yang diperoleh melalui proses pirolisis bahan yang mengandung selulosa, hemi selulosa, dan lignin pada suhu 400°C selama 90 menit lalu diikuti proses kondensasi dalam kondensor pendingin destilat yang diperoleh berupa asap cair yang memiliki kemampuan untuk mengawetkan, karena adanya senyawa fenol, asam dan karbonil. Asap cair (Liquid Smoke) merupakan suatu hasil destilasi atau

pengembunan dari uap hasil pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon serta senyawa-senyawa lain dan merupakan salah satu hasil pirolisis tanaman atau kayu pada suhu sekitar 400°C pirolisis tempurung kelapa yang telah menjadi asap cair akan memiliki senyawa fenol sebesar 4,13%, karbonil 11,3% dan asam 10,2%. Senyawa-senyawa tersebut mampu mengawetkan makanan sehingga mampu bertahan lama karena memiliki fungsi utama yaitu sebagai penghambat perkembangan bakteri.

Asap cair merupakan bahan kimia hasil destilasi asap hasil pembakaran yang mampu menjadi desinfektan sehingga bahan makanan dapat bertahan lama tanpa membahayakan konsumen. Pemanfaatan limbah kayu sebagai asap cair telah mendapat perhatian belakangan ini. Pada umumnya diperoleh secara pirolisis. Pada proses pirolisis terjadi dekomposisi dari senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terdapat pada bahan baku tersebut, pirolisis tersebut pada umumnya menghasilkan asap cair, tar, arang, minyak nabati dan lain-lain.

Asap cair juga merupakan campuran larutan dan dispersi koloid dari uap asap kayu dalam air yang diperoleh dari hasil pirolisis kayu atau dibuat dari campuran senyawa murni (Maga 1987). Asap diproduksi dengan cara pembakaran yang tidak sempurna yang melibatkan reaksi dekomposisi konstituen polimer menjadi senyawa organik dengan berat molekul rendah yang diakibatkan oleh panas. Reaksi yang terjadi adalah oksidasi, polimerisasi dan kondensasi (Girard 1992). Proporsi partikel padatan dan cairan dalam medium gas menentukan kepadatan gas. Selain itu asap juga memberikan atribut warna dan flavor pada medium pendispersi gas.

a. Kandungan asap cair

Asap cair mengandung berbagai senyawa yang terbentuk karena terjadinya pirolisis tiga komponen material kayu yaitu selulosa,

hemiselulosa dan lignin. Lebih dari 400 senyawa kimia dalam asap telah berhasil diidentifikasi. Komponen-komponen tersebut ditemukan dalam jumlah yang bervariasi tergantung jenis kayu, umur tanaman sumber kayu, dan kondisi pertumbuhan kayu seperti iklim dan tanah. Komponen-komponen tersebut meliputi asam yang dapat mempengaruhi citarasa, pH dan umur simpan produk asapan; karbonil yang bereaksi dengan protein dan membentuk pewarnaan coklat dan fenol yang merupakan pembentuk utama aroma dan menunjukkan aktivitas antioksidan.

Selain itu golongan-golongan senyawa penyusun asap cair adalah air (11-92 %), fenol (0,2-2,9 %), asam (2,8-9,5 %), karbonil (2,6-4,0 %) dan tar (1-7 %). Kandungan senyawa-senyawa penyusun asap cair sangat menentukan sifat organoleptik asap cair serta menentukan kualitas produk pengasapan. Komposisi dan sifat organoleptik asap cair sangat tergantung pada sifat kayu, temperatur pirolisis, jumlah oksigen, kelembaban kayu, ukuran partikel kayu serta alat pembuatan asap cair (Girard, 1992).

Adapun komponen-komponen penyusun asap cair meliputi:

1. Senyawa fenol

Senyawa fenol diduga berperan sebagai antioksidan sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk asapan. Kandungan senyawa fenol dalam asap sangat tergantung pada temperatur pirolisis kayu. Menurut Girard (1992), kuantitas fenol pada kayu sangat bervariasi yaitu antara 10-200 mg/kg. Beberapa jenis fenol yang biasanya terdapat dalam produk asapan adalah guaiakol, dan siringol. Senyawa-senyawa fenol yang terdapat dalam asap kayu umumnya hidrokarbon aromatik yang tersusun dari cincin benzena dengan sejumlah gugus hidroksil yang terikat. Senyawa-senyawa fenol ini juga dapat mengikat gugus-gugus lain seperti aldehyd, keton, asam dan ester (Maga, 1987).

b. Senyawa karbonil

Senyawa-senyawa karbonil dalam asap memiliki peranan pada pewarnaan dan citarasa produk asapan. Golongan senyawa ini mempunyai aroma seperti aroma karamel yang unik. Jenis senyawa karbonil yang terdapat dalam asap cair antara lain adalah vanilin dan siringaldehida.

c. Senyawa asam

Senyawa-senyawa asam mempunyai peranan sebagai anti bakteri dan membentuk citarasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butirrat dan valerat.

d. Senyawa hidrokarbon polisiklis aromatis

Senyawa hidrokarbon polisiklis aromatis (HPA) dapat terbentuk pada proses pirolisis kayu. Senyawa hidrokarbon aromatik seperti benzo(a)pirena merupakan senyawa yang memiliki pengaruh buruk karena bersifat karsinogen (Girard, 1992). Pembentukan berbagai senyawa HPA selama pembuatan asap tergantung dari beberapa hal, seperti temperatur pirolisis, waktu dan kelembaban udara pada proses pembuatan asap serta kandungan udara dalam kayu. Dikatakan juga bahwa semua proses yang menyebabkan terpisahnya partikel-partikel besar dari asap akan menurunkan kadar benzo(a)pirena. Proses tersebut antara lain adalah pengendapan dan penyaringan.





e. senyawa benzo (a) pirena

Benzo(a)pirena mempunyai titik didih 310 oC dan dapat menyebabkan kanker kulit jika dioleskan langsung pada permukaan kulit. Akan tetapi proses yang terjadi memerlukan waktu yang lama (Winaprilani, 2003).

Menurut Djatmiko et al. (1985) keberadaan senyawa-senyawa kimia dalam asap cair dipengaruhi oleh kandungan kimia dari bahan baku yang digunakan dan suhu yang dicapai pada proses pirolisis.

Dari hasil analisis jenis komponen asap cair dengan teknik GCMS paling sedikit teridentifikasi sebanyak 61 senyawa yang terdiri atas keton (17 senyawa), fenolik (14 senyawa), asam karboksilat (8 senyawa), alkohol (7 senyawa), ester (4 senyawa), aldehida (3 senyawa), dan lain-lain 1 senyawa. Senyawa kimia utama yang terdapat di dalam asap antara lain asam formiat, asetat, butirrat, kaprilat, vanilat dan asam siringat, dimetoksifenol, metal glioksal furfural, methanol, etanol, oktanol, asetaldehid, diasetil, aseton dan 3,4 benzopiren.

Tabel 4.2. Asap Cair dan Karaktristiknya

Kandungan	Asap Cair Sekam Padi Sebelum Pemurnian	Asap Cair Sekam Padi Setelah Pemurnian	Asap Cair Grade I di Pasaran Indonesia	Asap Cair Standar
Warna	 Hitam	 Putih Bening	 Kuning Bening	 Colorless Pale Yellow Pale Reddish Brown
Kadar air	92,1860 %	80,0665 %	83,1422 %	11-92 %
Fenol	1814,0374 mg/liter	1031,8919 mg/liter	13081,7232 mg/liter	-
Asam (asam asetat)	0,8703 %	0,3343 %	7,8048 %	1 – 18 %
Karbonil	5,9128 %	19,4532 %	7,5674 %	-
Benze (a) pyrene	16,24 ppm	3,15 ppm	< 0,39 ppm	0,001 ppm
pH	6,00	4,94	4,7100	1,5 – 3,7
Berat jenis	1,0134	1,0108	1,0207	> 1,001

Komposisi utama yang terdapat dalam tempurung kelapa adalah hemisellulosa, selulosa dan lignin. Hemiselulosa adalah jenis polisakarida dengan berat molekul kecil berantai pendek dibanding dengan sellulosa dan banyak dijumpai pada kayu lunak. Hemisellulosa disusun oleh pentosan ($C_5H_8O_4$) dan heksosan ($C_6H_{10}O_5$). Pentosan banyak terdapat pada kayu keras, sedangkan heksosan terdapat pada

kayu lunak Pentosan yang mengalami pirolisis menghasilkan furfural, furan, dan turunannya serta asam karboksilat. Heksosan terdiri dari mannan dan galakton dengan unit dasar mannanosa dan galaktosa, apabila mengalami pirolisis menghasilkan asam asetat dan homolognya. Hemisellulosa tempurung kelapa juga mengandung sellulosa dan lignin.

Hasil pirolisis sellulosa yang terpenting adalah asam asetat dan fenol dalam jumlah yang sedikit. Sedangkan pirolisis lignin menghasilkan aroma yang berperan dalam produk pengasapan. Senyawa aroma yang dimaksud adalah fenol dan eterfenolik seperti guaikol (2-metoksi fenol), syringol (1,6-dimetoksi fenol) dan derivatnya (Girard, 1992). Asap cair dibuat dari pirolisis kayu atau dibuat dari campuran senyawa murni (asap buatan). Prinsip utama dalam pembuatan asap cair sebagai bahan pengawet adalah dengan mendestilasi asap yang dikeluarkan oleh bahan berkarbon dan diendapkan dengan destilasi multi tahap untuk mengendapkan komponen larut.

Untuk menghasilkan asap yang baik pada waktu pembakaran sebaiknya menggunakan jenis kayu keras seperti kayu bakau, rasa mala, serbuk dan serutan kayu jati serta tempurung kelapa, sehingga diperoleh ikan asap yang baik (Tranggono, 1997). Hal tersebut dikarenakan asap yang dihasilkan dari pembakaran kayu keras akan berbeda komposisinya dengan asap yang dihasilkan dari pembakaran kayu lunak. Pada umumnya kayu keras akan menghasilkan aroma yang lebih unggul, lebih kaya kandungan aromatik dan lebih banyak mengandung senyawa asam dibandingkan kayu lunak (Girard, 1992). Komposisi kimia asap cair tempurung kelapa adalah fenol 5,13%, karbonil 13,28%, asam 11,39%.

Asap cair mengandung senyawa fenol 2,10 s.d. 5,13% dan dikatakan juga bahwa asap cair tempurung kelapa memiliki 7 macam senyawa dominan yaitu fenol-metil-1, 2-siklopentadion,

2-metoksifenol, 2-metoksi-4-metilfenol, 2,6-dimetoksifenol, 4-etil-2-metoksifenol dan 2,5-dimetoksi-benzil alkohol. Fraksi netral dari asap kayu juga mengandung fenol yang juga dapat berperan sebagai antioksidan seperti guaikol (2-metoksi fenol) dan siringol (1,6-dimetoksi penol) (Tranggono dkk,1997).

Girard (1992) melaporkan bahwa komponen terdeteksi di dalam asap dikelompokkan menjadi beberapa golongan yaitu :

- 1) Fenol, 85 macam diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan.
- 2) Karbonil, keton, dan aldehid, 45 macam diidentifikasi dalam kondensat.
- 3) Asam-asam 35 macam diidentifikasi dalam kondensat.
- 4) Furan, 11 macam
- 5) Alkohol dan ester, 15 macam diidentifikasi dalam kondensat.
- 6) Lakton, 13 macam.
- 7) Hidrokarbon alifatik 1 macam, diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan.
- 8) Poli Aromatik Hidrokarbon (PAH) 47 macam diidentifikasi dalam kondensat.

b. Peranan Asap Cair

Peran masing-masing komponen dalam asap cair berbeda-beda. Senyawa fenol disamping memiliki peranan dalam aroma asap juga menunjukkan aktivitas anti oksidan. Senyawa aldehid dan keton mempunyai pengaruh utama dalam warna (reaksi maillard) sedangkan efeknya dalam cita rasa sangat kurang menonjol. Asamasam pengaruhnya kurang spesifik namun mempunyai efek umum pada mutu organoleptik secara keseluruhan, sedangkan senyawa hidrokarbon aromatik polisiklis seperti 3,4 benzopiren memiliki pengaruh buruk karena bersifat karsinogenik (Girard, 1992).

Penggunaan asap cair mempunyai banyak keuntungan dibandingkan metode pengasapan tradisional, yaitu lebih mudah diaplikasikan, proses lebih cepat, memberikan karakteristik yang khas pada produk akhir berupa aroma, warna, dan rasa, serta penggunaannya tidak mencemari lingkungan (Pszczola 1995). Girard (1992) melaporkan bahwa komponen terdeteksi di dalam asap dikelompokkan menjadi beberapa golongan yaitu: 1. Fenol, 85 macam diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan. 2. Karbonol, keton, dan aldehyd, 45 macam diidentifikasi dalam kondensat. 3. Asam-asam 35 macam diidentifikasi dalam kondensat. 4. Furan, 11 macam. 5. Alkohol dan ester, 15 macam diidentifikasi dalam kondensat. 6. Lakton, 13 macam. 7. Hidrokarbon alifatik 1 macam, diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan, 8. Poli Aromatik Hidrokarbon (PAH) 47 macam diidentifikasi dalam kondensat dan 20 macam dalam produksi asapan.

Asap memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, fenolat dan karbonil. Seperti yang dilaporkan Darmadji dkk, (1996) yang menyatakan bahwa pirolisis tempurung kelapa menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa fenol sebesar 4,13 %, karbonil 11,3 % dan asam 10,2 %. Asap memiliki kemampuan untuk pengawetan bahan makanan telah dilakukan di Sidoarjo untuk bandeng asap karena adanya senyawa fenolat, asam dan karbonil (Tranggono, 1997). Asap cair banyak digunakan pada industri berfungsi untuk mengawetkan serta memberi aroma dan cita rasa yang khas. Asap cair memiliki sifat fungsional sebagai anti oksidan, anti bakteri dan pembentuk warna serta cita rasa yang khas. Sifat-sifat fungsional tersebut berkaitan dengan komponen-komponen yang terdapat di dalam asap cair tersebut.

Asap cair memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, derivat fenol, dan karbonil. Komponen asap yang berperan dan termasuk dalam kelompok phenol

adalah guaicol dan 1,3-dimethyl pyragallol, yang berfungsi sebagai anti oksidan, cita rasa produk asap (Pearson and Tauber, 1984; Maga, 1987; Burt, 1988; Girard, 1992). Asap cair seperti asap dalam fasa uap mengandung senyawa fenol yang selain menyumbang cita rasa asap, juga mempunyai aksi sebagai antioksidan dan bakterisidal pada makanan yang diasap. Fenol merupakan anti oksidan utama dalam asap cair. Peran anti oksidatif dari asap air ditunjukkan oleh senyawa fenol bertitik didih tinggi terutama 2,6- dimetoksifenol; 2,6 dimetoksi-4-metilfenol dan 2,6- dimetoksi-4-etilfenol yang bertindak sebagai donor hidrogen terhadap radikal bebas dan menghambat reaksi rantai. Asap cair pada umumnya dapat digunakan sebagai bahan pengawet karena memiliki derajat keasaman (pH) dengan nilai 2,8-3,1 sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Asap cair terbukti menekan tumbuhnya bakteri pembusuk dan patogen seperti *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* dan *Salmonella* (Darmadji, 2005).

Berikut proses pengawetan dengan menggunakan asap cair yaitu :

- 1) Dalam asap cair mengandung senyawa fenol yang bersifat sebagai antioksidan, sehingga menghambat kerusakan pangan dengan cara mendonorkan hidrogen.
- 2) Dalam jumlah sangat kecil, asap cair efektif untuk menghambat autooksidasi lemak, sehingga dapat mengurangi kerusakan pangan karena oksidasi lemak oleh oksigen.
- 3) Kandungan asam pada asap cair juga efektif dalam mematikan dan menghambat pertumbuhan mikroba pada produk makanan dengan cara senyawa asam itu menembus dinding sel mikroorganisme yang menyebabkan sel mikroorganisme menjadi lisis kemudian mati. Dengan menurunnya jumlah bakteri dalam produk makanan, kerusakan pangan oleh

mikroorganisme dapat dihambat sehingga meningkatkan umur simpan produk pangan.

- 4) Asap cair grade 3 tak dapat digunakan untuk pengawet makanan, karena masih banyak mengandung tar yang karsinogenik. Asap cair grade 3 tidak digunakan untuk pengawet bahan pangan, tapi dipakai pada pengolahan karet penghilang bau dan pengawet kayu biar tahan terhadap rayap. Cara penggunaan asap cair grade 3 untuk pengawet kayu agar tahan rayap dan karet tidak bau adalah 1 cc asap cair grade 3 dilarutkan dalam 300 mL air, kemudian disemprotkan atau merendam kayu ke dalam larutan.
- 5) Asap cair grade 2 dipakai untuk pengawet makanan sebagai pengganti formalin dengan taste asap (daging asap, ikan asap/bandeng asap) berwarna kecoklatan transparan, rasa asam sedang, aroma asap lemah. Cara penggunaan asap cair grade 2 untuk pengawet ikan adalah celupkan ikan yang telah dibersihkan ke dalam 25 persen asap cair dan tambahkan garam. Biasanya ikan yang diawetkan dengan menggunakan asap cair grade 2 bisa tahan selama tiga hari.
- 6) Asap cair grade 1 digunakan sebagai pengawet makanan siap saji seperti bakso, mie, tahu, bumbu-bumbu barbaque. Asap cair grade 1 ini berwarna bening, rasa sedikit asam, aroma netral dan merupakan asap cair paling bagus kualitasnya serta tidak mengandung senyawa yang berbahaya untuk diaplikasikan ke produk makanan. Cara menggunakan asap cair grade 1 untuk pengawet makanan siap saji adalah 15 cc asap cair dilarutkan dalam 1 liter air, kemudian campurkan larutan tersebut ke dalam 1 kg adonan bakso, mie atau tahu. Saat perebusan juga digunakan larutan asap cair dengan kadar yang sama dilarutkan dalam adonan makanan. Biasanya bakso

yang memakai pengawet asap cair grade 1 bisa tahan penyimpanan selama enam hari.

c. Pembuatan Asap Cair

Pembuatan Asap Cair Sampel dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dan ditutup rapat. Destilat yang keluar dari reaktor ditampung dalam dua wadah. Wadah pertama untuk menampung fraksi berat, sedangkan wadah kedua untuk menampung fraksi ringan. Fraksi ringan ini diperoleh setelah dilewatkan tungku pendingin yang dilengkapi pipa berbentuk spiral. Hasil pirolisis berupa asap cair, gas-gas seperti metan dan tempurung kelapa yang bisa dijadikan briket, bila dilanjutkan ke tahap kerja selanjutnya bisa menjadi arang aktif. Namun, asap cair ini belum bisa digunakan, karena dimungkinkan masih mengandung banyak tar (senyawa hidrokarbon polisiklis aromatik (PAH) yang ada seperti benzo (a) pirena bersifat karsinogenik).

Jadi perlu pemurnian lebih lanjut yang dinamakan tahap destilasi. pirolisis tempurung kelapa menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa fenol 4,13%, karbonil 11,3 % dan asam 10,2 %. Pada proses pirolisis terjadi dekomposisi dari senyawa selulosa, hemi selulosa dan lignin yang terdapat pada bahan baku tersebut, pirolisis tersebut pada umumnya menghasilkan asap cair, ter, arang, minyak nabati dan lain-lain. Adapun pada proses pirolisis tersebut yang terjadi adalah dekomposisi senyawa-senyawa penyusunnya, yaitu seperti :

- 1) Metode Pirolisis merupakan proses reaksi penguraian senyawa-senyawa penyusun kayu keras menjadi beberapa senyawa organik melalui reaksi pembakaran kering pembakaran tanpa oksigen. Reaksi ini berlangsung pada reaktor pirolisator yang bekerja pada temperatur 300-650°C selama 8 jam pembakaran.

2) Pirolisis selulosa.

Selulosa adalah makromolekul yang dihasilkan dari kondensasi linear struktur heterosiklis molekul glukosa. Selulosa terdiri dari 100-1000 unit glukosa. Selulosa terdekomposisi pada temperatur 280°C dan berakhir pada 300°C-350°C. Girard (1992), menyatakan bahwa pirolisis selulosa berlangsung dalam dua tahap, yaitu :

- a) Tahap pertama adalah reaksi hidrolisis menghasilkan glukosa.
- b) Tahap kedua merupakan reaksi yang menghasilkan asam asetat dan homolognya, bersama-sama air dan sejumlah kecil furan dan fenol.

3) Pirolisis hemiselulosa.

Hemiselulosa merupakan polimer dari beberapa monosakarida seperti pentosan ($C_5H_8O_4$) dan heksosan ($C_6H_{10}O_5$). Pirolisis pentosan menghasilkan furfural, furan dan derivatnya beserta satu seri panjang asam-asam karboksilat. Pirolisis heksosan terutama menghasilkan asam asetat dan homolognya. Hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur 200°C-250°C

4) Pirolisis lignin C.

Lignin merupakan sebuah polimer kompleks yang mempunyai berat molekul tinggi dan tersusun atas unit-unit fenil propana. Senyawa-senyawa yang diperoleh dari pirolisis struktur dasar lignin berperan penting dalam memberikan aroma asap produk asapan. Senyawa ini adalah fenol, eter fenol seperti guaikol, siringol dan homolog serta derivatnya (Girard, 1992). Lignin mulai mengalami dekomposisi pada temperatur 300-350°C dan berakhir pada 400-450°C

- 5) Pemisahan Tar, pada saluran pipa asap cair ini tar berupa larutan hitam pekat yang mirip dengan oli di tangkap melalui separator kemudian ditampung pada bak penampungan tar. Yang dibuka 5 - 10 menit setiap satu jam proses.
- 6) Proses Recycle Gas Metan, dari tangki penampung asap cair terdapat asap yang mengembun menjadi cairan dan gas yang masih belum terkondensasi berupa gas metan yang selanjutnya masih dapat dimanfaatkan dengan cara dibakar dan disalurkan kembali ke bawah reaktor untuk membantu bahan bakar pirolisis.
- 7) Proses Pemurnian Asap Cair, untuk mendapatkan asap cair yang tidak mengandung bahan berbahaya sehingga aman bagi bahan pengawet makanan. Asap cair yang diperoleh dari kondensasi asap pada proses pirolisis diendapkan selama seminggu.
- 8) Kemudian cairannya diambil dan dimasukkan ke dalam alat destilasi. Suhu destilasi sekitar 150°C , hasil destilat ditampung. Destilat ini masih belum bisa digunakan sebagai pengawet makanan karena ada lagi proses lain yang harus dilewati.
- 9) Proses Filtrasi Destilat dengan Zeolit Aktif ditujukan untuk mendapatkan zat aktif yang benar-benar aman dari zat berbahaya. Caranya, zat destilat asap cair dialirkan ke dalam kolom zeolit aktif dan diperoleh filtrat asap cair yang aman dari bahan berbahaya dan bisa dipakai untuk pengawet makanan non karsinogenik.
- 10) Proses Filtrasi Filtrat Zeolit Aktif dengan Karbon Aktif
Proses filtrasi filtrat zeolit aktif dengan karbon aktif dimaksudkan untuk mendapatkan filtrat asap cair dengan bau asap yang ringan dan tidak menyengat. Caranya, filtrat

dari filtrasi zeolit aktif itu dialirkan ke dalam kolom yang berisi karbon aktif sehingga filtrat yang diperoleh berupa asap cair dengan bau asap ringan dan tak menyengat. Maka sempurna lah asap cair sebagai bahan pengawet makanan yang aman, efektif dan alami.

- 11) Pemisahan Asap Cair Grade 3, dengan tar asap cair ditampung pada tabung pemurnian untuk diproses menjadi asap cair murni grade 1 dan 2 (tidak mengandung gas metan dan tar). Hal ini dapat dilakukan melalui proses pengendapan asap cair grade 3 selama minimal satu minggu, untuk mengendapkan tar. Asap cair yang telah terpisah oleh tar disaring dengan zeolit aktif, proses selanjutnya asap cair grade 3 dilakukan destilasi untuk pemurnian.
- 12) Pemurnian Asap Cair Grade 3 menjadi Grade 1 dan 2 (proses destilasi) Pada proses destilasi diusahakan suhu awal mencapai 250°C selama 3 jam (grade 2) dengan warna agak kecoklatan dan kadar PHA yg masih cukup tinggi. Kemudian perlahan lahan diturunkan sampai dengan 120°C. Selama suhu 120°C proses destilasi sebaiknya dipertahankan selama 5 jam (grade 1) dengan warna coklat muda agak bening dengan kadar PHA yang sangat sedikit. Pada penurunan temperatur hasil asap cair akan semakin baik dimana larutan asap cair akan semakin bening dan kadar tar sudah habis begitu juga dengan kadar benzoapyrene/Polycyclic Hidrocarbon Aromatic (PHA).

d. Warna Asap cair

Asap cair sebelum didestilasi memiliki warna coklat kemerahan, ini disebabkan karena masih mengandung tar yang pada dasarnya berwarna hitam dan mengandung komponen dengan berat

molekul tinggi. Asap cair tanpa destilasi ini jika diaplikasikan pada bahan pangan akan menghasilkan bahan pangan dengan warna yang gelap. Sedangkan konsumen biasanya lebih menyukai bahan pangan dengan warna yang tidak gelap, oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan destilasi terhadap asap cair agar menghasilkan warna asap cair yang lebih jernih, sehingga jika diaplikasikan pada bahan pangan akan menghasilkan warna produk asapan yang lebih menarik.

Asap cair yang telah mengalami destilasi cenderung memiliki warna yang berbeda tiap fraksinya. Perbedaan warna pada tiap fraksi dipengaruhi adanya tar. Warna pada fraksi 1 adalah kuning kehijauan jernih, fraksi 2 berwarna kuning muda jernih sedangkan fraksi 3 berwarna kuning keputihan jernih dan fraksi 4 berwarna coklat karena pada temperatur destilasi yang tinggi kemungkinan tar akan ikut terdestilasi semakin besar.

e. Aroma asap cair

Aroma pada asap cair yang dihasilkan setelah proses destilasi ini berbeda tiap fraksinya. Aroma asap cair pada berbagai temperatur pirolisis hasil destilasi dapat menyebabkan aroma berbeda. Asap cair pada berbagai fraksi menghasilkan aroma yang berbeda. Asap cair yang memiliki aroma paling lemah adalah asap cair fraksi 2, disusul dengan asap cair fraksi 3 dan fraksi 4. Asap cair fraksi 1 memiliki aroma yang sangat kuat (menyengat). Dapat disimpulkan bahwa asap cair hasil destilasi dengan urutan aroma asap dari yang kuat hingga yang lembut adalah sebagai berikut : Asap cair fraksi 1 > fraksi 4 > Fraksi 3 > fraksi 2

f. Analisis dengan kromatografi gas

Analisis dengan menggunakan instrumen kromatografi gas ini bertujuan untuk mengetahui apakah fraksi satu dan fraksi lainnya mengandung komponen-komponen yang sama atau berbeda, bila

fraksi-fraksi tersebut mengandung komponen yang sama, maka pemisahan dengan destilasi belum sempurna. Selain itu kromatogram juga dapat digunakan untuk menentukan jumlah komponen penyusun asap cair. Penentuan jumlah komponen penyusun asap cair dilakukan dengan menghitung jumlah puncak yang muncul pada kromatogram setelah waktu retensi 3,44 menit yang dianggap sebagai air.

g. Keuntungan Menggunakan Asap Cair

Keuntungan penggunaan asap cair menurut Maga (1987) antara lain lebih intensif dalam pemberian citarasa, kontrol hilangnya cita rasa lebih mudah, dapat diaplikasikan pada berbagai jenis bahan pangan, lebih hemat dalam pemakaian kayu sebagai bahan asap, polusi lingkungan dapat diperkecil dan dapat diaplikasikan ke dalam bahan dengan berbagai cara seperti penyemprotan, pencelupan, atau dicampur langsung ke dalam makanan. Selain itu keuntungan lain yang diperoleh dari asap cair, adalah sebagai berikut :

- 1) Keamanan produk asapan penggunaan asap cair yang diproses dengan baik dapat mengeliminasi komponen asap berbahaya yang berupa hidrokarbon polisiklis aromatis. Komponen ini tidak diharapkan karena beberapa di antaranya terbukti bersifat karsinogen pada dosis tinggi. Melalui pembakaran terkontrol, aging, dan teknik pengolahan yang semakin baik, tar dan fraksi minyak berat dapat dipisahkan sehingga produk asapan yang dihasilkan mendekati bebas poli aromatik hidrokarbon (PAH) (Pszczola, 1995).
- 2) Aktivitas Antioksidan Adanya senyawa fenol dalam asap cair memberikan sifat anti oksidan terhadap fraksi minyak dalam produk asapan, dimana senyawa fenolat ini dapat berperan sebagai donor hidrogen dan efektif dalam jumlah yang sangat kecil untuk menghambat auto oksidasi lemak (Prananta, 2007).

- 3) Pengawet makanan termasuk dalam kelompok zat tambahan makanan yang bersifat inert secara farmakologik (efektif dalam jumlah kecil dan tidak toksis). Pemakaian pengawet sangat luas. Hampir seluruh industri mempergunakannya, termasuk industri farmasi, kosmetik, dan makanan.

Peran bakteriostatik dari asap cair semula hanya disebabkan karena adanya formaldehid saja tetapi aktivitas dari senyawa ini saja tidak cukup sebagai penyebab semua efek yang diamati. Kombinasi antara komponen fungsional fenol dan kandungan asam organik yang cukup tinggi bekerja secara sinergis mencegah dan mengontrol pertumbuhan mikrobia. Kandungan kadar asam yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikrobia karena mikrobia hanya bisa tumbuh pada kadar asam yang rendah (Pszczola, 1995). Adanya fenol dengan titik didih tinggi dalam asap juga merupakan zat anti bakteri yang tinggi (Prananta, 2005 pada Endah 2010).

BAB V

REAKTOR PIROLISIS

5.1. Reaktor Pirolisis

Reaktor Pirolisis adalah alat pengurai senyawa-senyawa organik yang dilakukan dengan proses pemanasan tanpa berhubungan langsung dengan udara luar dengan suhu 300-600°C. Reaktor pirolisis dibalut dengan selimut dari bata dan tanah untuk menghindari panas keluar berlebih, memakai bahan bakar kompor minyak tanah atau gas. Menurut Hadi (2014) Instalasi dengan ceret dapat menghasilkan biochar dengan biaya sangat murah, efisiensi rendah, kualitas biochar rendah. Sedangkan instalasi wajan dan drum menghasilkan efisiensi tinggi, biaya murah, asap cair tidak dapat ditampung. Dan desain instalasi kombinasi drum-wajan mempunyai rendement tinggi, biaya murah, asap bisa ditampung.

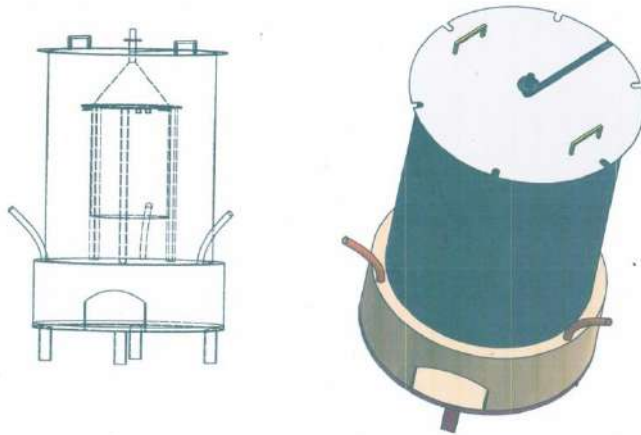
Perubahan suhu pada proses pemanasan reaktor mengikuti persamaan polynomial dan pada proses pendinginan perubahan suhu berlangsung secara logaritmik. Kecepatan reaksi dikendalikan oleh langkah reaksi kimia, berorde satu, mengikuti model *unreacted-core*. Penelitian Caturwati (2015) bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis yang diberikan maka produk padatan (*Char*) yang dihasilkan semakin sedikit. Setiap kenaikan temperatur pada proses pirolisis akan disertai dengan penurunan massa padatan (*Char*) biomassa, kenaikan temperatur pirolisis mengakibatkan meningkatnya energi panas untuk mendekomposisi biomassa terutama kandungan zat mudah terbangnya (*volatilematter*).

Berbagai metoda dan teknik yang digunakan untuk menentukan jumlah kehilangan dari tungku dan metoda untuk

melakukan pengkajian kinerja tungku. Kehilangan panas yang mempengaruhi kinerja tungku Idealnya, seluruh panas yang dimasukkan ke tungku harus digunakan untuk memanaskan muatan atau stok. Namun demikian dalam prakteknya banyak panas yang hilang dalam beberapa cara. Kehilangan panas dalam tungku meliputi, yaitu :

- a. *Kehilangan gas buang*: merupakan bagian dari panas yang tinggal dalam gas pembakaran dibagian dalam tungku. Kehilangan ini juga dikenal dengan kehilangan limbah gas atau kehilangan cerobong.
- b. *Kehilangan dari kadar air dalam bahan bakar*: bahan bakar yang biasanya mengandung kadar air dan panas digunakan untuk menguapkan kadar air dibagian dalam tungku.
- c. *Kehilangan dikarenakan hidrogen dalam bahan bakar* yang mengakibatkan terjadinya pembentukan air
- d. *Kehilangan melalui pembukaan dalam tungku*: kehilangan radiasi terjadi bilamana terdapat bukaan dalam penutup tungku dan kehilangan tersebut dapat menjadi cukup berarti terutama untuk tungku yang beroperasi pada suhu diatas 540°C. Kehilangan yang kedua adalah melalui penyusupan udara sebab draft tungku/ cerobong menyebabkan tekanan negatif dibagian dalam tungku, menarik udara melalui kebocoran atau retakan atau ketika pintu tungku terbuka.
- e. *Kehilangan dinding tungku/permukaan*, juga disebut kehilangan dinding: sementara suhu dibagiandalam tungku cukup tinggi, panas dihantarkan melalui atap, lantai dan dinding dan dipancarkan ke udara ambien begitu mencapai kulit atau permukaan tungku.
- f. *Kehilangan lainnya*: terdapat beberapa cara lain dimana panas hilang dari tungku, walaupun menentukan jumlah tersebut seringkali sulit. Beberapa diantaranya adalah:

- 1) Kehilangan panas tersimpan: bila tungku mulai dinyalakan maka struktur dan isolasi tungku juga dipanaskan, dan panas ini hanya akan meninggalkan struktur lagi jika tungku dimatikan. Oleh karena itu kehilangan panas jenis ini akan meningkat dengan jumlah waktu tungku dihidup-matikan.
- 2) Kehilangan selama penanganan bahan: peralatan yang digunakan untuk memindahkan stok melalui tungku, seperti belt conveyor, balok berjalan, bogies, dll. juga menyerap panas. Setiap kali peralatan meninggalkan tungku mereka akan kehilangan panasnya, oleh karena itu kehilangan panas meningkat dengan sejumlah peralatan dan frekuensi dimana mereka masuk dan keluar tungku
- 3) Kehilangan panas media pendingin: air dan udara digunakan untuk mendinginkan peralatan, rolls, bantalan dan rolls, dan panas hilang karena media tersebut menyerap panas. - Kehilangan dari pembakaran yang tidak sempurna: panas hilang jika pembakaran berlangsung tidak sempurna sebab bahan bakar atau partikel yang tidak terbakar menyerap panas akan tetapi panas ini tidak disimpan untuk digunakan.
- 4) Kehilangan dikarenakan terjadinya pembentukan kerak. Kerak yang terbentuk pada dinding reaktor dan pipa penghubung serta pipa aliran pada kondensor akibat dari asap cair yang mengering dan tidak ikut mengembun sehingga akan menghambat aliran asap cair yang lain untuk mengembun, sehingga produksi asap cair akan menurun. Pada akhirnya akan mengganggu kemampuan kerja alat pirolisis.



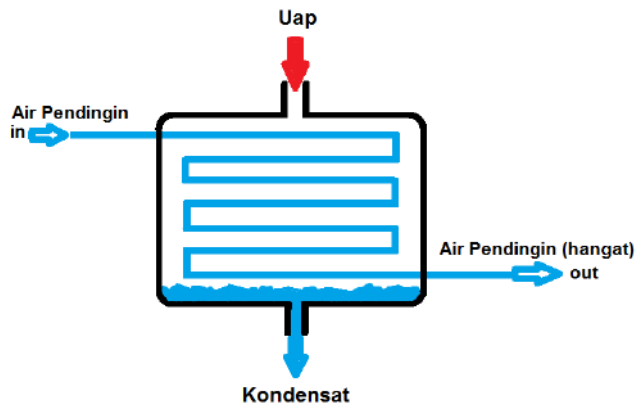
Gambar 5.1. Reaktor pirolisis

5.2. Kondensor

Kondensasi adalah proses untuk mengubah suatu gas/uap menjadi cairan. Gas dapat berubah menjadi cairan dengan menurunkan temperaturnya melalui alat yang disebut kondensor. Kondensor berfungsi menurunkan temperatur gas dengan cara dilewatkan pada media pendingin air atau udara. Kondensor terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida. Dalam penggunaannya kondensor diletakkan diluar ruangan yang sedang didinginkan supaya panas yang keluar saat pengoperasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan.

Distilasi merupakan suatu proses yang di dalamnya terdapat suatu cairan atau uap campuran dari dua atau lebih substansi yang dipisahkan ke dalam fraksi-fraksi komponennya dengan pemurnian yang diinginkan melalui pemakaian atau pelepasan kalor. Pemisahan komponen dari campuran cairan melalui distilasi tergantung atas perbedaan titik didih masing-masing komponen. Juga, tergantung atas konsentrasi komponen yang ada, campuran cairan akan memiliki

karakteristik titik didih yang berbeda. Karenanya, proses distilasi tergantung atas karakteristik tekanan uap campuran cairan. Tekanan uap suatu cairan pada suhu tertentu merupakan tekanan kesetimbangan yang dilakukan oleh molekul-molekul yang keluar dan masuk permukaan cairan.



Gambar 5.2. Alat kondensor

Pada dasarnya kondensor dapat diklafikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

a. Air cooled condensor (kondensor berpendingin udara)

Merupakan kondensor yang membawa kalor dengan menggunakan udara sebagai mediumnya. Kondensor ini banyak dipakai untuk AC (air conditioner) dan biasanya digunakan pada sistem AC berskala rendah dan sedang dengan kapasitas hingga 20 ton refrigerasi. Air Cooled Condenser merupakan peralatan AC (Air Conditioner) standard untuk keperluan rumah tinggal (residential) atau digunakan di suatu lokasi di mana pengadaan air bersih susah diperoleh atau mahal. Untuk melayani kebutuhan kapasitas yang lebih besar biasanya digunakan multiple air colled condenser. Udara sebagai pendingin kondensor dapat mengalir secara alamiah atau dialiri

paksa oleh fan. Kulkas pada umumnya menggunakan kondensor berpendingin udara secara alamiah (konveksi natural) yang umum disebut sebagai kondensor statis. Fan dapat meniupkan udara ke arah kondensor dalam jumlah yang lebih besar, sehingga dapat memperbesar kapasitas pelepasan panas oleh kondensor.

b. Water cooled condensor (kondensor berpendingin air)

Merupakan kondensor yang membawa kalor dengan menggunakan air sebagai medium. Kondensor jenis ini digunakan pada system yang berskala besar untuk keperluan komersil di lokasi yang mudah memperoleh air bersih. Kondensor jenis ini menjadi pilihan yang ekonomis bila terdapat suplai air bersih mudah dan murah. Pada umumnya kondensor seperti ini berbentuk tabung yang di dalamnya berisi pipa (tubes) tempat mengalirnya air pendingin. Kondensor seperti ini disebut shell and tube water cooled condenser. Air yang menjadi panas, akibat kalor yang dilepas oleh refrigeran yang mengembun, kemudian air yang telah menjadi panas ini didinginkan di dalam alat yang disebut menara pendingin (cooling tower). Setelah keluar dari cooling tower, air menjadi dingin kembali dan disalurkan dengan pompa kembali ke kondensor. Dengan cara inilah pendingin disirkulasikan. Kondensor jenis ini biasanya digunakan pada sistem berkapasitas besar.

Kondensor berpendingin air ini terdiri dari 3 tipe, yaitu

- 1) Kondensor jenis pipa ganda
- 2) Shell and coil condensor
- 3) Shell and tube condensor

a. Water and air cooled condensor (kondensor berpendingin air dan udara) Merupakan kondensor yang membawa kalor dengan menggunakan air dan udara sebagai medium. Kondensor jenis

ini merupakan kombinasi dari kondensor berpendingin udara dan kondensor berpendingin air. Koil kondensor ini diletakkan berdekatan dengan media pendinginnya yang berupa udara tekan dan air yang disemprotkan melalui suatu lubang nozzle. Kondensor jenis ini disebut juga evaporative condenser. Kondensornya sendiri berbentuk seperti kondensor dengan pendingin air, namun diletakkan di dalam menara pendingin. Percikan air dari atas menara akan membasahi muka kondensor jadi kalor dari refrigeran yang mengembun diterima oleh air dan kemudian diberi pada aliran udara yang mengalir dari bagian bawah ke bagian atas menara. Sebagai akibatnya air yang telah menjadi panas tersebut diatas, didinginkan oleh aliran udara, sehingga pada saat air mencapai bagian bawah menara, air ini sudah menjadi dingin kembali. Selanjutnya air dingin ini dipompakan ke bagian atas menara demikian seterusnya. Dalam Negara yang bemusim empat, pada musim dingin sering kali tidak dibutuhkan percikan air dari atas menara, karena udara sudah cukup dingin dan mampu secara langsung menerima beban kondensor. Dalam keadaan seperti ini, dikatakan bahwa evaporative condenser dioperasikan secara kering. Dengan cara ini maka evaporative condenser dioperasikan secara kering. Maka evaporative condenser ini akan berfungsi seperti kondensor berpendingin udara.

Prinsip kerja kondensor tergantung dari jenis kondensor tersebut, secara umum terdapat dua jenis kondensor yaitu

a. Surface condenser

Prinsip kerja surface condenser Steam masuk ke dalam shell kondensor melalui steam inlet connection pada bagian atas kondensor. Steam kemudian bersinggungan dengan tube kondensor yang bertemperatur rendah sehingga temperatur

steam turun dan terkondensasi, menghasilkan kondensat yang terkumpul pada hotwell. Temperatur rendah pada tube dijaga dengan cara mensirkulasikan air yang menyerap kalor dari steam pada proses kondensasi. Kalor yang dimaksud disini disebut kalor laten penguapan dan terkadang disebut juga kalor kondensasi (heat of condensation) dalam lingkup bahasan kondensor. Kondensat yang terkumpul di hotwell kemudian dipindahkan dari kondensor dengan menggunakan pompa kondensat ke exhaust kondensat. Ketika meninggalkan kondensor, hampir keseluruhan steam telah terkondensasi kecuali bagian yang jenuh dari udara yang ada di dalam sistem. Udara yang ada di dalam sistem secara umum timbul akibat adanya kebocoran pada perpipaan, shaft seal, katup-katup, dan sebagainya. Udara ini masuk ke dalam kondensor bersama dengan steam. Udara dijenuhkan oleh uap air, kemudian melewati air cooling section dimana campuran antara uap dan udara didinginkan untuk selanjutnya dibuang dari kondensor dengan menggunakan air ejectors yang berfungsi untuk mempertahankan vacuum di kondensor.

Untuk menghilangkan udara yang terlarut dalam kondensat akibat adanya udara di kondensor, dilakukan de-aeration. De-aeration dilakukan di kondensor dengan memanaskan kondensat dengan steam agar udara yang terlarut pada kondensat akan menguap. Udara kemudian ditarik ke air cooling section dengan memanfaatkan tekanan rendah yang terjadi pada air cooling section. Air ejector kemudian akan memindahkan udara dari sistem.

- 1) Tipe Horizontal Kondensor, Air pendingin masuk kondensator melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas Sedangkan arus panas masuk lewat bagian tengah

kondenser dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensor.

- 2) Tipe Vertikal Kondensor, Air pendingin masuk kondensator melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa-pipa pendingin dan keluar pada bagian atas. Sedangkan arus panas masuk lewat bagian atas kondensator dan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah kondensator.

b. Direct-Contact Condenser

Direct-contact condenser mengkondensasikan steam dengan mencampurnya langsung dengan air pendingin. Direct-contact atau open condenser digunakan pada beberapa kasus khusus, seperti :

- 1) Geothermal powerplant
- 2) Pada powerplant yang menggunakan perbedaan temperatur di air laut (OTEC)

c. Spray Condenser

Pada spray condenser, pencampuran steam dengan air pendingin dilakukan dengan jalan menyemprotkan air ke steam. Sehingga steam yang keluar dari exhaust turbin pada bagian bawah bercampur dengan air pendingin pada bagian tengah menghasilkan kondensat yang mendekati fase saturated. Kemudian dipompakan kembali ke cooling Tower . Sebagian dari kondensat dikembalikan ke boiler sebagai feedwater. Sisanya didinginkan, biasanya didalam dry- (closed-) cooling tower. Air yang didinginkan pada Cooling tower disemprotkan ke exhaust turbin dan proses berulang.

Proses kondensator atau destilasi merupakan suatu proses yang di dalamnya suatu cairan atau uap campuran dari dua atau lebih substansi dipisahkan ke dalam fraksi-fraksi komponennya dengan kemurnian yang diinginkan melalui pemakaian atau pelepasan kalor.

Pemisahan komponen dari campuran cairan melalui distilasi tergantung atas perbedaan titik didih masing-masing komponen. Juga, tergantung atas konsentrasi komponen yang ada, campuran cairan akan memiliki karakteristik titik didih yang berbeda. Karenanya, proses distilasi tergantung atas karakteristik tekanan uap campuran cairan.

Tekanan uap suatu cairan pada suhu tertentu merupakan tekanan kesetimbangan yang dilakukan oleh molekul-molekul yang keluar dan masuk permukaan cairan. Berikut beberapa butir penting melihat tekanan uap, yaitu :

- c. Masukan energi menaikkan tekanan uap
- d. Tekanan uap terkait dengan pendidihan.
- e. Suatu cairan dikatakan “ mendidih” bilamana tekanan uapnya sama dengan tekanan sekitarnya
- f. Kemudahan suatu cairan mendidih tergantung atas volatilitasnya
- g. Cairan dengan tekanan uap tinggi (cairan volatil) akan mendidih pada suhu lebih rendah
- h. Tekanan uap dan titik didih campuran cairan tergantung atas jumlah relatif komponen di dalam campuran tersebut.
- i. Distilasi terjadi dikarenakan beda volatilitas komponen di dalam cairan campuran.

Proses transfer panas terjadi dari gas panas ke media pendingin. Dengan demikian proses kondensasi dapat disebut proses transfer panas atau pertukaran panas. Pada prinsipnya desain kondensor sama dengan desain heat exchanger. Bentuk dari kondensor ini sangat berpengaruh terhadap kapasitas hasil pirolisis. Bentuk yang optimal tentu mempunyai efisiensi yang tinggi. Efisiensi kondensor sangat tergantung pada luas permukaan pendinginan, debit air pendingin, dan perbedaan temperatur antara air pendingin dan gas/asap.

Kondensor dengan perencanaan yang baik harus dapat membuat cairan dingin lanjut (sub cooling) dari bahan pendingin cairan sebelum meninggalkan kondensor tersebut. Tekanan yang rendah di dalam kondensor adalah baik dan ekonomis, tetapi tekanan yang uap atau gas meninggalkan kondensor harus masih cukup tinggi untuk mengatasi gesekan pipa dan tahanan dari alat ekspansi. Pemilihan macam dan ukurankondensor untuk suatu sistem, terutama didasarkan pada pertimbangan yang paling ekonomis, seperti harga dari kondensor, jumlah energi yang diperlukan, harga dan keadaan zat yang akan dipakai untuk mendinginkan kondensor. Selain tempat atau ruangan yang diperlukan oleh kondensor juga harus diperhitungkan.

Uap mengalir di luar pipa-pipa (*shell side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe surface (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah turbin sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin untuk masuk kondensor karena gravitasi.

Laju perpindahan panas tergantung pada aliran air pendingin, kebersihan pipa-pipa dan perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin. Proses perubahan uap menjadi air terjadi pada tekanan dan temperatur jenuh, dalam hal ini kondensor berada pada kondisi vakum. Karena temperatur air pendingin sama dengan temperatur udara luar, maka temperatur air kondensatnya maksimum mendekati temperatur udara luar. Apabila laju perpindahan panas terganggu, maka akan berpengaruh terhadap tekanan dan temperatur.

Kondensor merupakan suatu alat untuk terjadinya kondensasi refrigeran uap dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kondensor sebagai alat penukar kalor berguna untuk membuang kalor

dan mengubah wujud refrigeran dari uap menjadi cair. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas kondensor adalah :

- a. Luas muka perpindahan panasnya meliputi diameter pipa kondensor, panjang pipa kondensor dan karakteristik pipa kondensor
- b. Aliran udara pendinginnya secara konveksi natural atau aliran paksa oleh fan
- c. Perbedaan suhu antara refrigeran dengan udara luar
- d. Sifat dan karakteristik refrigeran di dalam sistem.

Destilasi Asap Cair Asap cair yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan bahan baku tempurung kelapa masih mengandung tar dengan warna kecoklatan dan pekat, selanjutnya asap cair ini dinamakan asap cair dengan grade 3 yang masih perlu dimurnikan lagi untuk mendapatkan grade 2 dan 1. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

a. Penangkapan Asap Cair

Pada saat proses pembakaran tempurung kelapa dengan menggunakan tungku pirolisis berlangsung sekitar 4-6 jam, asap cair akan keluar dan masih mengandung gas metan dan tar, disalurkan melalui pipa diameter 3 cm ke tangki penampung asap. Asap akan mulai mengembun menjadi cairan pada drum kondensor. Jadilah asap cair sebanyak 50% berat tempurung terbakar atau sebanyak 55 - 60 liter. Asap cair yang dihasilkan masih berupa asap cair grade 3 (masih mengandung tar dengan warna coklat pekat) dengan kadar pH 4-5.

b. Pemisahan Tar

Pada saluran pipa asap cair ini tar berupa larutan hitam pekat yang mirip dengan oli di tangkap melalui separator kemudian ditampung pada bak penampungan tar. Yang dibuka 5 - 10 menit setiap satu jam proses.

c. Proses Recycle Gas Metan

Dari tangki penampung asap cair terdapat asap yang mengembun menjadi cairan dan gas yang masih belum terkondensasi berupa gas metan yang selanjutnya masih dapat dimanfaatkan dengan cara dibakar dan disalurkan kembali ke bawah reaktor untuk menambah bahan bakar pirolisis.

d. Pemisahan Asap Cair Grade 3 dengan tar

Asap cair ditampung pada tabung pemurnian untuk diproses menjadi asap cair murni grade 1 dan 2 (tidak mengandung gas metan dan tar). Hal ini dapat dilakukan melalui proses pengendapan asap cair grade 3 selama minimal satu minggu, untuk mengendapkan tar. Asap cair yang telah terpisah dengan tar disaring menggunakan Zeolit aktif, proses selanjutnya asap cair grade 3 dilakukan proses destilasi untuk pemurnian.

e. Pemurnian Asap Cair Grade 3 menjadi Grade 1 dan 2 (proses destilasi).

Pada proses destilasi diusahakan suhu awal mencapai 250°C selama 3 jam (grade 2) dengan warna agak kecoklatan dan kadar PHA yg masih cukup tinggi. Kemudian perlahan lahan diturunkan sampai dengan 120°C. Selama suhu 120°C proses destilasi sebaiknya dipertahankan selama 5 jam (grade 1) dengan warna coklat muda agak bening dengan kadar PHA yang sangat sedikit. Kedua proses diatas dilakukan untuk volume asap cair sebanyak 55 liter, pada penurunan temperatur hasil asap cair akan semakin baik dimana larutan asap cair akan semakin bening dan kadar tar sudah habis begitu juga dengan kadar benzoapyrene/Polycyclic Hidrocarbon Aromatic (PHA). Untuk menghasilkan asap cair grade 2 dilakukan melalui proses dehidrasi dan destilasi. Proses dehidrasi dilakukan dengan menggunakan zeolit yang diaduk secara manual kemudian didiamkan selama seminggu untuk memisahkan dari tar.

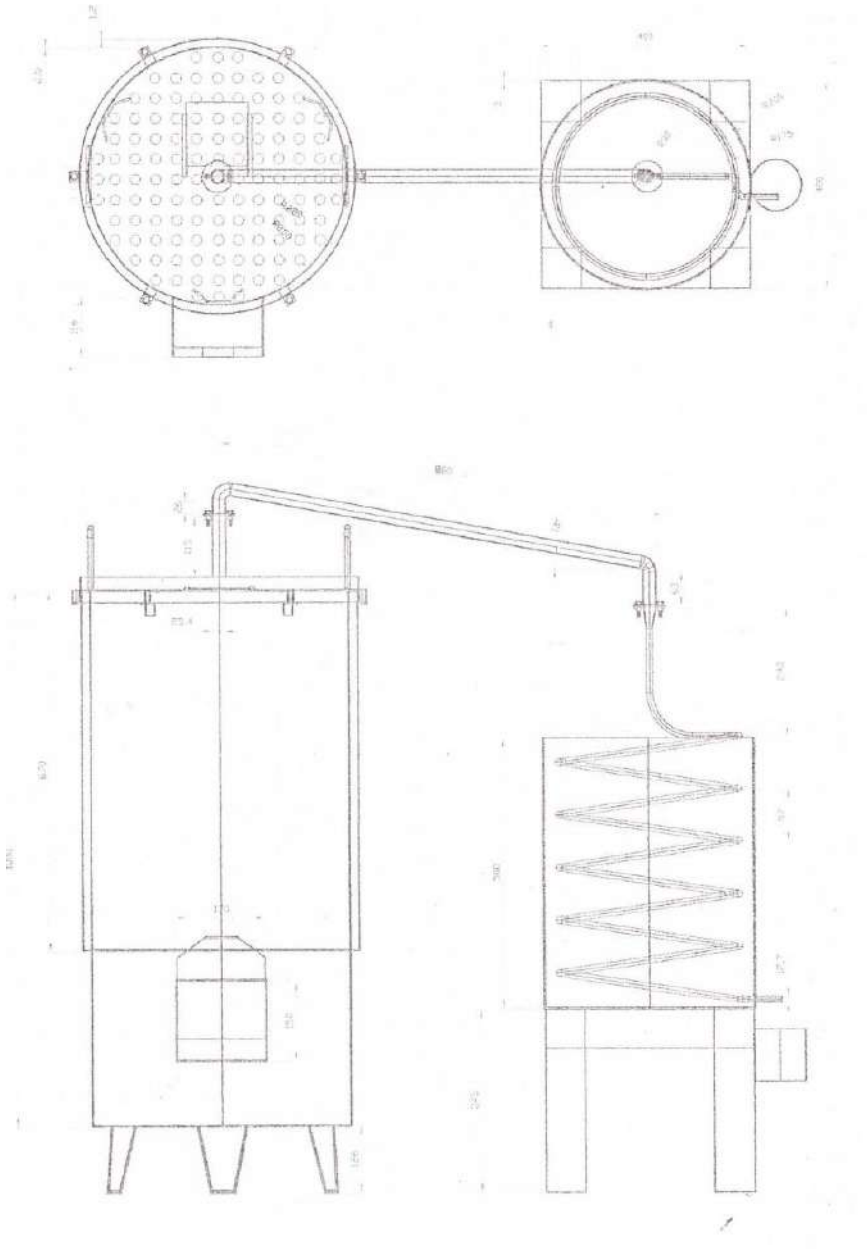
DAFTAR PUSTAKA

- Arief Tajalli, Arief,. 2015, Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Indonesia, Penerbit Penabulu Alliance.
- Aries, Dwi Himawanto, 2013. Penentuan Energi Aktivasi Pembakaran Briket Char Sampah Kota Dengan Menggunakan Metoda Thermogravimetry Dan Isothermal Furnace, Jurnal Rotasi – Vol. 15, No. 3, Hlm. 35–42.
- Caturwati NK, Suhendi Endang,. Prasetyo, Eko,. 2015,. Alat Pirolisis Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Briket Biomassa,. Jurnal Teknik Mesin Flywheel,. Volume I Nomor 1.
- Champagne, Elaine T. 2004. RICE : Chemistery and Technology. American Asociation of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota,USA.
- Darmadji, P. 1995. Produksi asap cair dan sifat fungsionalnya [Laporan Penelitian]. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Demirbas, A. 2002a. Gaseous products from biomass by pyrolysis and gasification: effects of catalyst on hydrogen yield. Energy Convers. Mgmt. 43:897–909.
- Demirbas, A. 2004. Combustion characteristics of different biomassfuels. ProgressEnergyCombust. Sci. 30:219–230.
- Djarmiko, B., S. Ketaren, dan S. Tetyahartini. 1985. Pengolahan Arang dan Kegunaannya. Bogor: Agro Industri Press.
- Fadillah, Haris,. Alfiarty, Alivia,. 2015, The Influence Of Pyrolysis Temperature And Time To The Yield And Quality of Rubber Fruit (Hevea brasiliensis) Shell Liquid Smoke, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” ISSN 1693-4393, Yogyakarta.
- Fengel, Wegener. 1984. Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi. Cetakan pertama. Sastrohamidjojo, H (penerjemah). Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Girard, J. P., 1992. Smoking dalam Technology of Meat and Meat Products, Clermont Ferrand Ellis Horwood, New York.P : 165-205
- Hadi, Abdul. Gafur. Udiantoro. Mukhlis, 2014. Desain Instalasi Pirolisis Limbah Pertanian Dalam Rangka Minimalisasi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Lahan Basah, Prosiding SNST

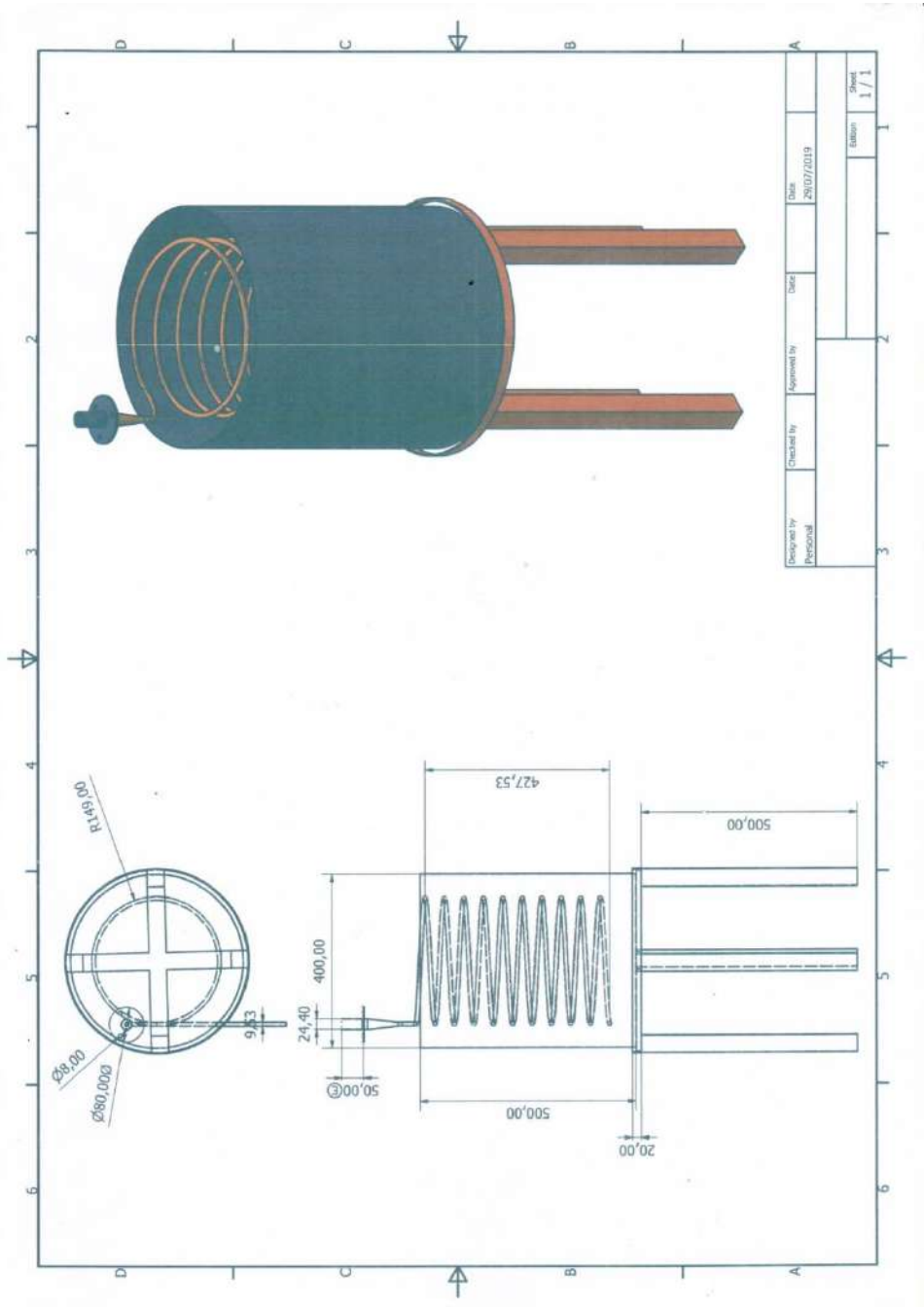
- Ke-5, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, ISBN: 978-602-99334-3-7. Hlm.1-9.
- Hasan, Erzam S., Jahiding, Muhammad, 2017, Analisis Proximate Dan Nilai Kalor Briket Hybrid (Brown Coal – Kulit Durian) Dengan Perikat Liquid Volatile Matter (Lvm) Yang Di Preparasi Dengan Metode Pirolisis, Jurnal Aplikasi Fisika Volume 13 Nomor 1.
- Haryadi. 2006. Teknologi Pengolahan Beras. Gadjah Mada University Press.
- Houston, D.F. 1972. Rice Chemistry and Technologi. St. Paul. Minnesota, American association of Cereal Chemists Inc.
- Jaya, Jaka Darma, Nuryati, 2015, Optimasi Proses Pirolisis Asap Cair Dari Tempurung Kelapa Dan Aplikasinya Sebagai Koagulan Lateks, Jurnal Teknologi Agro-Industri, Vol. 2 No.1
- Kusairi, Samla, Achmad,. 2017, Teknik Pembakaran, Buku ajar Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat.
- Maga, J. A., 1987. Smoke in Food Processing, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, p : 1-3; 113-138
- Mappiratu, 2009. Kajian Teknologi Produksi Asap Cair Dari Sabut Kelapa, Media Litbang Sulteng 2 (2), ISSN: 1979-5971. Hlm. 104–109
- Misdarpon, Deddy,. Prasetyo, Hadi,. 2014, Mtbahan Baku Dan Pemrosesan Biobriket Dan Asap Cair, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Mesin dan Teknik Industri/ TEDC Bandung
- Murfihenni, Weni,. Hermawan, Dedy,.2014, Pengelolaan Bahan Baku Biobriket Dan Asap Cair, ETC Foundation the Netherlands serta Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Pusat Pengembangan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Mesin dan Teknik Industri/ TEDC Bandung.
- M. Nur, Syukri,. Jusuf, Jusri, 2014, Biomassa Bahan Baku dan Teknologi Konversi Untuk Energi Terbarukan, PT. Insan Fajar Mandiri Nusantara, Bogor
- Palungkun,1993. Aneka produk Olahan kelapa. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Pari dalam Esih Susi Safitri. 2003. Komposisi kimia cangkang buah karet. Jurnal Penelitian Karbon Aktif. Skripsi tidak diterbitkan. Indralaya: Universitas Sriwijaya.

- Pambayun, Gilar S., Yulianto, Remigius Y.E., 2013, Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator $ZnCl_2$ Dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah, Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 1, ISSN: 2337-3539, e2301-9271 Print.
- Pranata, J. 2007. Pemanfaatan Sabut dan tempurung Kelapa serta Cangkang SAWIT untuk Pembuatan Asap Cair. Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikkussaleh: Lhokseumawe.
- Pszezola, D. E. 1995. Tour highlights production and uses of smoke-based flavors. Liquid smoke a natural aqueous condensate of wood smoke provides various advantages in addition to flavors and aroma. *J Food Tech* 1:70-74.
- Ratnawati, Hartanto, Singgih, 2010, Pengaruh Suhu Pirolisis Cangkang Sawit Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Asap Cair, Indonesian Journal Of Materials Science, Vol. 12, No. 1, Hal : 7 – 11 Issn : 1411-1098.
- Ridhuan, Kemas. Arya, Septi. 2015. Karakteristik Pembakaran berbagai Jenis Bahan Limbah Biomassa dengan Menggunakan Proses Nonkarbonisasi. *Jurnal Teknik Mesin “Turbo”*. Volume 4 Nomor 1. ISSN: 2301 6663
- Tim PPPPTK Bidang Mesin dan Teknik Industri, 2015, Konversi Energi Biomassa, Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Guru Dan Tenaga Kependidikan
- Tranggono, Suhardi, Setiaji, B., 1997. Produksi Asap Cair dan Penggunaannya pada Pengolahan Beberapa Bahan Makanan Khas Indonesia. Laporan RUT III.
- Violet, Hatta,. 2007, Manfaat Kulit Durian Selezat Buahnya. *Jurnal. Universitas Lambung Mangkurat*.
- Winaprilani, A., 2003. Pemanfaatan asap cair Hasil Pirolisis Kayu Randu Alas (*Gossamphus hepta phyla*) untuk Pengawetan Ikan Kembung (*Scomber negletus*). UGM, Yogyakarta.

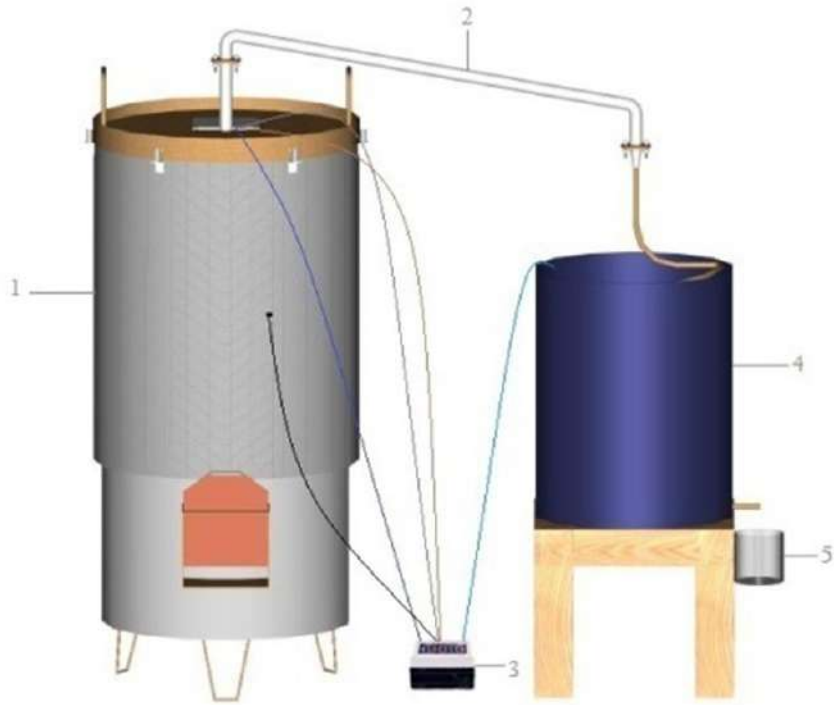
LAMPIRAN – LAMPIRAN



Lampiran 1. Gambar Reaktor Pirolisis



Lampiran 2. Gambar Kondensor Pendingin



Lampiran 3. Gambar Rangkaian Reaktor Pirolisis dan Condensor