
Pengembangan Reaktor *Fast Pyrolysis* Kontinyu Penghasil Bio-Oil Dari Limbah Biomassa Industri Sawit

Izarul Machdar*, Firmansyah**, M. Faisal*,
Umi Fatanah*, dan Hamdani***

*) Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala,
Darussalam, Banda Aceh

***) Politeknik Aceh

***) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala,
Darussalam, Banda Aceh
machdar20@yahoo.com

Abstrak

Artikel ini memberikan informasi mengenai tahapan rancangan reaktor penghasil bio-oil sistem *fast pyrolysis* kontinyu menggunakan bahan baku limbah biomassa cangkang sawit dari industri minyak kelapa sawit. Tahapan perancangan dimulai dengan membuat sistem *fast pyrolysis* skala lab yang terdiri dari reaktor pirolisis (sistem auger), unit rekoveri produk (cyclone, kondenser), dan unit penampung bio-oil dan juga bio-char. Laporan saat ini memberikan informasi tentang uji *cold flow*, yaitu pengujian yang dilakukan pada suhu ruang dan pengujian unjuk kerja reaktor yang dilakukan pada suhu 450°C. Uji dilakukan untuk melihat unjuk kerja dari reaktor auger (reaktor pirolisis) dan *reactor feeder* (sistem pengumpan reaktor). Hasil yang diperoleh menunjukkan alat yang dikembangkan dapat menghasilkan *yield* produksi bio-oil sekitar 60-70% atau lebih besar 3 kali lipat dari sistem konvensional biasa (sistem *batch*).

Kata kunci: *fast pyrolysis*, bio-oil, cangkang sawit, reaktor auger

1 Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara produsen karet alam di dunia di samping Malaysia dan Thailand. Ekspor karet Indonesia selama 25 tahun terakhir terus menunjukkan adanya peningkatan dari 1.0 juta ton pada tahun 1985 menjadi 1.3 juta ton pada tahun 1995 dan meningkat menjadi 2.0 juta ton pada tahun 2005. Selama 2011, produksi karet nasional mencapai 3,1 juta ton dengan volume ekspor mencapai 2,6 juta ton. Pendapatan devisa dari komoditi ini lebih dari USD 8 miliar. Konsumsi karet dunia dalam beberapa tahun terakhir terjadi peningkatan, jika pada tahun 2009 konsumsi karet dunia sebesar 9,277 juta ton, untuk tahun 2010 naik menjadi 10,664 juta ton (Gapkindo, 2012).

Dalam produksi karet mentah dari perkebunan, Sumatera adalah produsen terbesar di Indonesia dan masih memiliki peluang peningkatan produktivitas. Koridor ekonomi Sumatera menghasilkan sekitar 65 persen dari produksi karet nasional. Dari

jumlah tersebut, lebih dari 60 ribu ton per tahun dipasok dari Provinsi Aceh. Sentra komoditi karet dari Provinsi Aceh tersebar di Kabupaten Aceh Timur (13.480 ton), Aceh Barat (10.695 ton), Aceh Jaya (10.475 ton), dan kabupaten-kabupaten lain (rata-rata 4.000 ton) (BPS Aceh, 2010). Berdasarkan analisis pada dokumen MP3EI, teknologi pasca panen karet yang berkenaan dengan penyediaan bahan penggumpal karet menjadi salah satu fokus utama. Bahan penggumpal yang dipakai selama ini oleh petani karet di Aceh dan umumnya di Sumatera adalah asam formiat. Kebutuhan asam formiat di Indonesia sebagian besar diimpor dari China dengan besaran impor pertahunnya sekitar 5000 ton (BPS, 2012). Selain kehilangan devisa terhadap penggunaan asam formiat dari luar negeri, asam formiat juga tidak ramah lingkungan. Untuk itu perlu dikembangkan suatu inovasi teknologi yang dapat menghasilkan bahan pengganti asam formiat untuk memenuhi kebutuhan bahan penggumpal bagi petani karet

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu teknologi penghasil bahan penggumpal lateks (partikel karet). Produk (bio-oil) yang dihasilkan berasal dari limbah biomassa industri sawit (cangkang). Teknologi yang akan dikembangkan berupa modifikasi teknologi penghasil bio-oil (asap cair) konvensional (sistem *batch* dan pirolisis lambat) dengan menggunakan sistem *fast pyrolysis* dan sistem kontinyu. Inovasi yang dikembangkan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan bahan penggumpal lateks, mengurangi penggunaan bahan yang tidak ramah lingkungan (asam formiat), dan mengurangi akan kebutuhan bahan impor. Penelitian secara langsung bermanfaat kepada petani karet, peningkatan kuantitas dan kualitas produk karet, dan penggunaan limbah dari industri sawit menjadi bahan yang lebih bermanfaat.

2 Metodologi

2.1 Desain Sistem Reaktor *Fast Pyrolysis* Skala Lab

Prosedur desain sistem skala lab diutamakan pada pada sistem reaktor pirolisis dan sistem perpindahan panas. Secara umum, dalam sistem skala lab laju biomassa yang digunakan antara 0,5 kg/jam - 2,0 kg/jam (Bridgwater, 2011; Bridgwater, Czernik, Piskorz, 2001). Oleh karena itu, untuk memudahkan, di tahap awal desain laju umpan biomassa dipilih 1,0 kg/jam dan menjadi parameter tetap. Perhitungan desain awal sebagian besar didasarkan pada termodinamika. Setelah laju umpan ditentukan, maka geometri reaktor dan sub-sistem dapat ditetapkan. Sesuai dengan neraca massa sistem, reaktor dianggap sebagai sistem terbuka dengan biomassa sebagai aliran yang masuk dan padatan serta produk pirolisis sebagai aliran keluar sistem. Neraca massa untuk kondisi tunak digambarkan oleh persamaan-1.

$$\frac{dm}{dt} = m_B - (m_L + m_P + m_G) = 0 \quad (\text{pers-1})$$

Dimana:

$\frac{dm}{dt}$ = adalah perubahan massa per waktu (kg/jam)

m_B = laju alir biomassa (kg/jam)

m_L = laju alir bio-oil atau asap cair (kg/jam)

m_P = laju alir partikel (bio-char atau arang) (kg/jam)
 m_G = laju alir gas yang tidak terkondensasi (kg/jam)

Pada analisis ini diasumsi bahwa: 1) bahan yang masuk akan semua keluar dalam bentuk partikel, likuid, dan gas; 2) seluruh bahan yang masuk menerima panas dari dinding reaktor dengan kondisi yang sama; dan 3) tidak ada energi yang hilang. Untuk memastikan panas yang cukup tersedia untuk proses pirolisis, suhu keluar harus tetap di atas ambang suhu reaksi pirolisis minimum (500°C).

2.2 Uji *Cold Flow* dan *Unjuk Kerja Alat*

Uji *cold flow* dilakukan sebelum pengujian pada suhu pirolisis yang sebenarnya (500°C). Uji ini untuk menentukan parameter tetap yang berkaitan dengan laju alir, putaran auger, kecepatan linier biomassa cangkang sawit, dan fraksi densiti. Pengujian dilakukan menggunakan ukuran biomassa yang sesuai dengan ukuran biomassa pada uji pirolisis, yaitu 2-3 mm. Persiapan awal dilakukan dengan menghancurkan cangkang sawit menggunakan crusher mekanik dan melakukan penyaringan menggunakan peralatan mesh screen, sehingga didapat ukuran biomassa yang seragam. Unjuk kerja alat dilakukan dengan memasukkan sejumlah biomassa cangkang sawit, dilakukan pemanasan, dan penampungan produk. Unjuk kerja dilihat dari persentasi berat produk (bio-oil, tar, dan bio-char) terhadap jumlah biomassa yang dilakukan pirolisis.

3 Hasil Dan Pembahasan

3.1 Proses Desain Reaktor *Fast Pyrolysis*

Ukuran reaktor pirolisis kontinyu dikembangkan berdasarkan geometri auger dan konfigurasinya. Studi tentang proses pergerakan material padat di dalam sebuah conveyor telah dilakukan untuk menentukan standard praktis dan parameter desain (Colijn, 1985; Shamlou, 1988). Data ini menjadi referensi di dalam mengembangkan reaktor pirolisis berbasis auger. Reaktor auger dipilih dengan ukuran diameter 1 in (2,54 cm). Luas penampang reaktor berbentuk setengah lingkaran untuk memudahkan pengamatan pada saat dilakukan uji *cold flow* (uji awal reaktor pada saat belum dilakukan pemanasan). Perlu diberi catatan bahwa perhitungan waktu tinggal uap adalah waktu yang didasarkan pada beberapa asumsi. Hal ini cenderung memiliki tingkat kesalahan hingga di atas 25%. Analisis yang lebih akurat sangat sulit dilakukan (dibandingkan dengan reaktor fluidized, misalnya) mengingat jumlah referensi yang tersedia sangat terbatas.

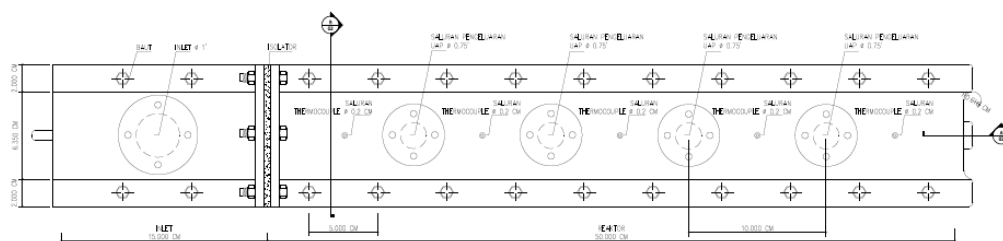
Volume internal reaktor yang ditempati oleh produk sangat sulit untuk ditentukan, sehingga luas permukaan reaktor juga menjadi tidak akurat. Asumsi yang digunakan bahwa biomassa yang masuk langsung terkonversi melalui reaksi pirolisis menjadi produk melalui panas konduksi, juga memiliki tingkat kesalahan tertentu. Selanjutnya, karena waktu dan mekanisme reaksi pembentukan biochar tidak diketahui, maka akan sangat sulit menentukan waktu tinggal padatan di dalam reaktor. Gambar 1 sampai Gambar 5 memperlihatkan proses pengembangan reaktor pirolisis skala lab.

Reaktor pirolisis dibuat dari bahan stainless steel (SS-304). Ukuran reaktor adalah panjang 50 cm, diameter 2 in (5 cm), penampang berbentuk “U” dengan tinggi 7,35 cm. Dimensi reaktor pirolisis diberikan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Reaktor digerakkan melalui poros terbuat dari stainless steel yang dihubungkan dengan dengan motor penggerak. Pada reaktor dipasang suatu konektor untuk memasukkan gas nitrogen agar udara di dalam reaktor dapat dihilangkan dan mencegah udara masuk ke dalam reaktor.

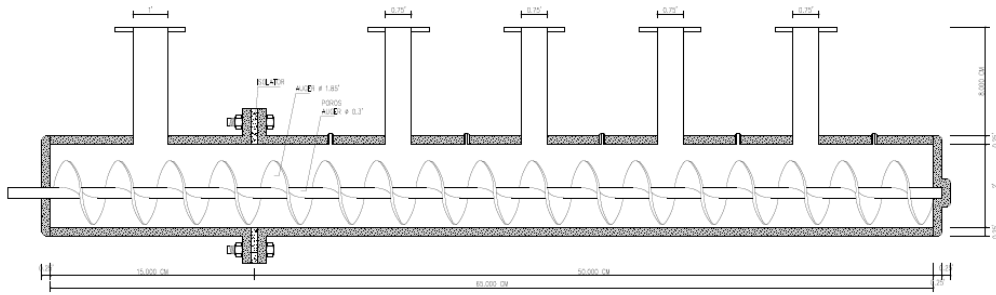
Laju alir volumetrik nitrogen pada sisi inlet biomassa masuk ke reaktor secara manual dikendalikan dengan rotometer 8 ml/menit, sedangkan laju aliran gas nitrogen pada ujung reaktor tidak dapat dikontrol (tetapi dapat diperiksa dengan flowmeter pada laju 5 ml/min). Penutup reaktor terbuat dari bahan stainless steel terhubung ke reaktor dengan 24 baut, dan digunakan gasket keramik sebagai bantalan. Reaktor dilengkapi dengan empat buah lubang pengeluaran di sepanjang dinding atas reaktor, masing-masing dengan jarak 10 cm. Ukuran lubang pengeluaran adalah 0,75 in yang terbuat dari stainless steel yang tingginya 8 cm. Reaktor dipasang 5 buah termokopel type-K untuk mengukur suhu di sepanjang dinding reaktor.

Sistem pengumpan biomassa cangkang sawit seperti ditunjukkan dalam Gambar 4 terdiri dari *hooper* (tangki penampung umpan reaktor) dan *screw feeder* (pembawa biomassa ke reaktor). Kapasitas tangki penampung dirancang dapat menampung umpan cangkang sawit yang berukuran 2-3 mm sekitar 5 kg. Biomassa di dalam tangki diaduk dan didorong keluar melalui screw yang berdiameter 2,5 cm. Tangki biomassa dilengkapi dengan tutup akrilik untuk dapat melihat kondisi biomassa selama pengujian serta dilengkapi dengan inlet gas nitrogen. Gas nitrogen berfungsi untuk “mengusir” kandungan oksigen dari udara dan menyediakan tekanan positif untuk mencegah aliran uap dari reaktor pirolisis masuk ke dalam tangki biomassa.

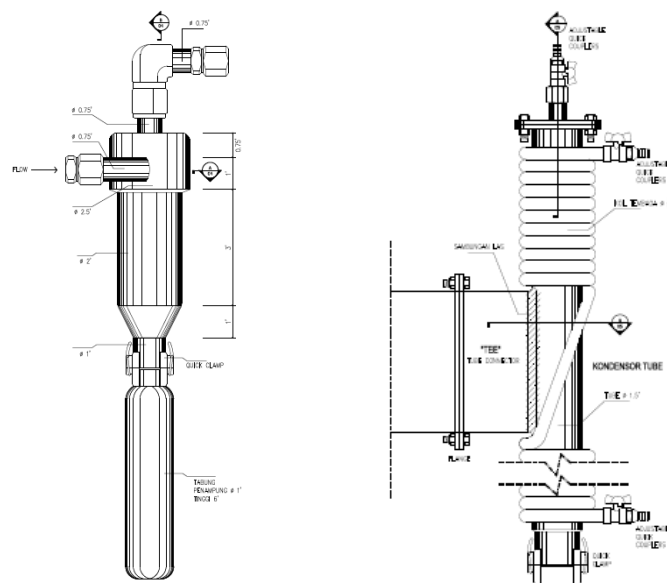
Saluran biomassa yang menuju reaktor dibungkus dengan lilitan pipa tembaga yang dialirkan air pendingin, yang berfungsi untuk menghilangkan panas dari reaktor yang merambat melalui pipa pemasukan biomassa. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa biomassa cangkang sawit tidak mengalami dekomposisi sebelum masuk ke dalam reaktor. Air pendingin yang digunakan pada suhu ruang. Kecepatannya diatur secara manual melalui rotameter.



Gambar 1. Tampak atas dari desain reaktor pirolisis



Gambar 2. Potongan samping reaktor pirolisis yang dilengkapi dengan unit auger



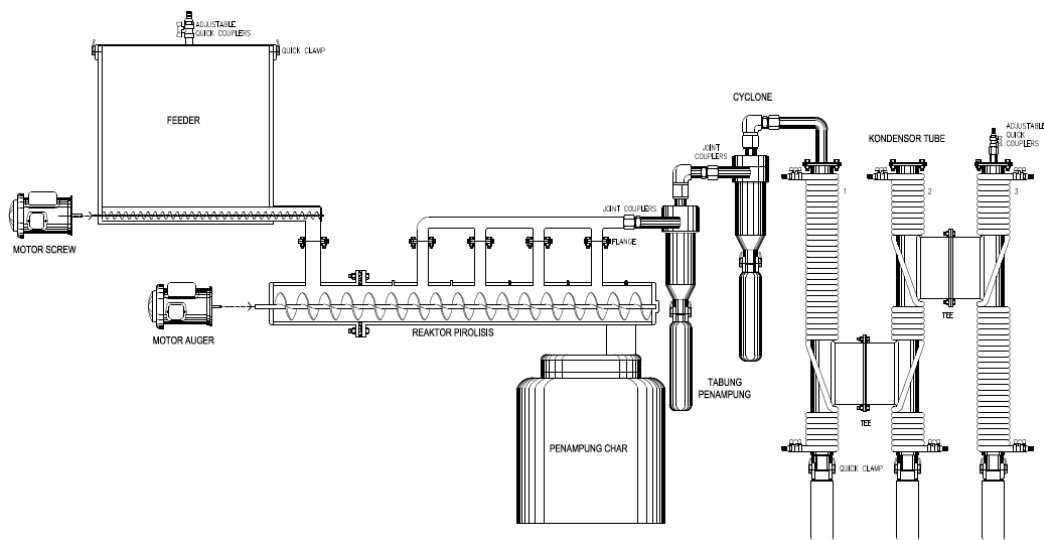
Gambar 3. Unit pendukung sistem *fast pyrolysis*, cyclone (kiri) dan kondensor (kanan)

Produk reaktor pirolisis keluar melalui pipa 0,75 in, yang diisolasi dengan bahan isolasi keramik untuk memastikan bahwa suhu proses cukup dipertahankan. Selanjutnya produk mengalir melalui dua buah cyclone seperator (Gambar 3, kiri). Peralatan cyclone digunakan untuk memisahkan partikel-partikel arang halus yang ada di dalam gas. Partikel arang halus yang terpisahkan dikumpulkan pada sebuah penampung. Pada bagian inlet dan outlet cyclone dipasang pengukur tekanan untuk mengukur kehilangan tekanan. Pada cyclone juga dipasang termokopel Type-K pada inlet dan outlet.

Setelah melalui *cyclone*, uap produk masuk ke kondensor (Gambar 3, kanan) yang menggunakan pendingin air. Kondenser didesain berupa single tube heat exchanger dengan ukuran diameter 1,5 in, tinggi 50 cm terbuat dari stainless steel 304. Jumlah kondensor 3 unit. Kondenser dililit dengan pipa tembaga yang dialirkan media pendingin air. Pada kondenser pertama, aliran uap dan air pendingin adalah

berlawanan arah (*counter current*). Uap yang tidak terkondensasi pada kondenser pertama selanjutnya dialirkan ke kondenser kedua, dan selanjutnya. Produk cairan (bio-oil atau asap cair) ditampung pada bagian bawah kondenser. Kondenser pertama didinginkan dengan menggunakan air pada suhu ruang dengan laju sekitar 80 L/jam yang diatur melalui rotameter. Kondenser kedua dan ketiga didinginkan menggunakan air dingin (di bawah suhu ruang) yang diatur lajunya dengan menggunakan rotameter. Setelah melalui kondenser ke tiga, uap yang belum terkondensasi dilewatkan ke pendingin coil yang ditempatkan dalam wadah yang berisi es. Diharapkan seluruh fraksi bio-oil dapat dikondensasi pada pendingin coil. Cairan yang terkondensasi dipisahkan gas yang tidak terkondensasi melalui pipa tee pada akhir kumpuran coil dan dikumpulkan melalui suatu penampung. Pada lokasi outlet kondenser coil dipasang alat pengukur suhu dan tekanan.

Produk yang tidak terkondensasi dialirkan ke tabung pengering gas yang berisi partikel desikan untuk menyerap kandungan air dan partikel yang tersisa. Untuk menghasilkan tekanan positif di seluruh sistem, pada bagian akhir saluran ini dilengkapi dengan sebuah pompa vakum.

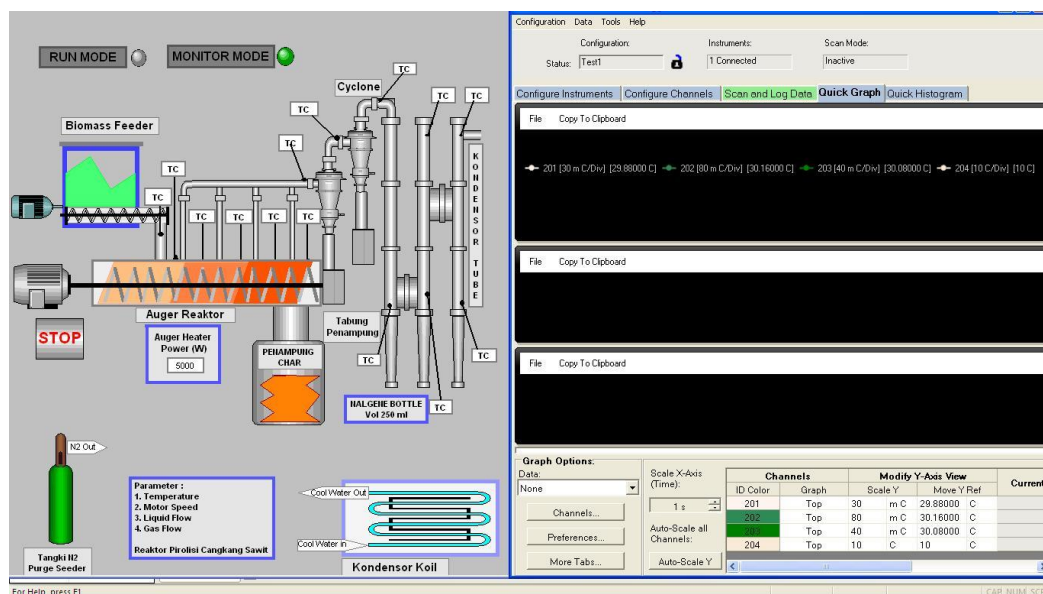


Gambar 4. Skema dari reaktor *fast pyrolysis* dan unit pendukungnya untuk menghasilkan bio-oil (asap cair) secara kontinu



Gambar 5. Foto reaktor *fast pyrolysis* skala lab, unit pendukungnya termasuk sistem data akuisisi menggunakan perangkat *agilent data acquisition 34970a*

Sistem akuisisi Data dan monitoring didasarkan dari sistem *Agilent Data Acquisition 34970A* memiliki 16-slot yang digunakan untuk mengukur temperatur menggunakan termokopel Type-K. Perangkat *Agilent Data Acquisition 34970A* terhubung (berkomunikasi) dengan PC melalui kabel tunggal USB dan perangkat lunak *LabVIEW 8.2*. Sebuah program berbasis *LabVIEW* dikembangkan untuk memonitor dan menyimpan data penting selama pengujian. Contoh *printscreen* dari program ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Printscreen* dari Program *labview* untuk sistem akuisisi data dan monitoring proses dari sistem Reaktor *Fast Pyrolysis* Skala Lab

3.2 Pengujian *Cold Flow* dan Unjuk Kerja

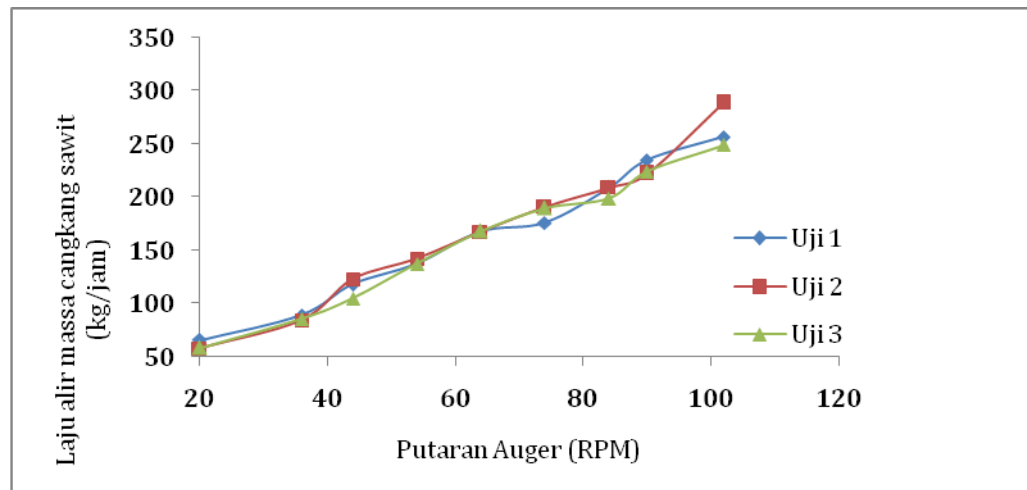
Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit cangkang buah sawit. Biomassa ini dipilih berdasarkan pada ketersediaan yang melimpah dan tergolong pada biomassa yang keras yang dapat menghasilkan produk pirolisis dengan kualitas tinggi. Cangkang sawit selama ini digunakan langsung sebagai bahan bakar pembangkit steam atau dikembalikan ke perkebunan sawit sebagai sumber kompos. Pada penelitian ini, cangkang sawit diolah dengan menggunakan *crusher* untuk memperkecil ukuran (salah satu kriteria pada proses *fast pyrolysis*) menjadi ukuran partikel 2 – 3 mm. Pemisahan partikel yang telah dihancurkan di dalam *crusher* menggunakan *mesh screen*. Selain pengecilan ukuran, tidak ada perlakuan lain diberikan kepada cangkang sawit sebelum dilakukan pengujian. Gambar 7 diperlihatkan aktifitas pengujian *cold flow*.



Gambar 7. Foto aktifitas pengujian *cold flow*

Hasil pengujian *cold flow* diperlihatkan pada Gambar 8 menunjukkan kondisi hubungan antara putaran auger reaktor versus laju alir biomassa yang dibawa oleh reaktor dan fraksi biomassa di dalam campuran terhadap nilai densitas campuran. Pada uji pertama (variasi putaran auger), kondisi di dalam reaktor auger diasumsi terisi 50% oleh biomassa. Kondisi ini juga dipertahankan pada saat dilakukan proses pirolisis sebenarnya pada suhu 500°C. Hal ini dilakukan untuk mengefisienkan laju perpindahan panas dari dinding reaktor kepada biomassa cangkang sawit. Pencampuran antara cangkang sawit dimaksudkan untuk menghindari terjadinya penggumpalan produk pirolisis (tar) di dalam poros, dinding auger, dan dinding reaktor. Penggumpalan dapat menghambat laju alir biomassa dan mengurangi laju perpindahan panas. Untuk sistem pirolisis skala besar (*full scale*) penggumpalan tar dapat berpotensi menyumbat uap hasil pirolisis yang dihasilkan dan berpotensi terjadinya *over pressure* di dalam reaktor.

Pengujian yield untuk menentukan fraksi dari cangkang sawit untuk menghasilkan produk asap cair, tar, dan arang. Proses dilakukan dengan memasukkan cangkang yang berukuran 1-2 mm ke dalam reaktor pirolisis. Reaktor dilengkapi dengan sebuah heater listrik. Suhu reaktor diatur pada suhu antara 450-600°C dengan sistem kontroler. Laju cangkang diatur pada 1 kg/jam. Uap yang dihasilkan didinginkan dengan menggunakan serial cooler menggunakan air es sebagai media pendingin. Uap yang terkondensasi ditampung pada bagian bawah cooler. Arang ditampung di dalam canister. Produk yang dihasilkan selanjutnya ditimbang. Diperoleh yield proses untuk asap cair sekitar 60-70%, arang 30%, dan sisanya adalah tar.



Gambar 8. Laju alir biomassa cangkang sawit vs kecepatan putaran reaktor auger selama uji *cold flow*

4 Kesimpulan

Berdasarkan pengembangan sistem *fast pyrolysis* kontinyu menggunakan reaktor auger dan pengujian *cold flow*, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang menyangkut dengan proses desain dan pengujian *cold flow*. Reaktor auger dapat digunakan dalam inovasi proses produksi asap cair yang mengubah dari sistem *batch* menjadi sistem kontinyu. Sistem kontinyu diharapkan menghasilkan produk dengan kuantitas yang diinginkan. Walaupun kapasitas reaktor auger dapat diatur pada kondisi laju biomassa yang relatif besar, hal ini perlu dipertimbangkan berkenaan dengan transfer perpindahan panas di dalam reaktor dan juga *vapour residence time*. Waktu tinggal uap yang relatif lebih lama akan menyebabkan reaksi akan berlanjut dari uap yang dihasilkan yang pada akhirnya akan mengurangi liquid (bio-oil atau asap cair) yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak, sehingga penelitian ini dapat dilakukan, khususnya seluruh staf dari Lembaga Penelitian Universitas Syiah Kuala. Penelitian ini dibiayai melalui skenario Program Penelitian Prioritas Nasional Materplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) tahun anggaran 2012, dengan nomor kontrak: 217/SP2H/PL/Dit.Litabmas/V/2012 tanggal 23 Maret 2012.

Daftar Pustaka

- BPS. 2012. <http://www.bps.go.id/>. April, 2012.
BPS Aceh. 2010. Aceh Dalam Angka. (<http://aceh.bps.go.id/>. April 2012).
Bridgwater A.V. 2011. "Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading", Biomass and Bioenergy, 38, 68-94.

-
- Bridgwater A.V., Czernik S., Piskorz J. 2001. An overview of fast pyrolysis. In Progress in Thermochemical Biomass ConVersion, Volume 2; Bridgwater, A. V., Ed.; Blackwell Science: London, pp 977-997.
- Gapkindo. 2012. Natural Rubber Statistic in Indonesia. (<http://www.gapkindo.org/>. April, 2012.
- Colijn, H. 1985. Mechanical Conveyor for Bulk Solids. Elsevier Science Publishers B.V.: New York. Vol. 4.
- Shamlou, P.A. 1988. Handling of bulk solids: Theory and Practice. Butterworth & Co.: London,UK.

