

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TERHADAP MASSA DAN ENERGI YANG DIHASILKAN PIROLISIS SERBUK KAYU MAHONI (SWITENIA MACROPHYLLA) PADA ROTARY KILN

Ikhwanul Qiram¹, Denny Widhiyanuriyawan², Widya Wijayanti²

¹Mhs Program Magister Teknik Mesin Univ. Brawijaya Malang, Staf Pengajar Prodi Teknik Mesin Univ. PGRI Banyuwangi

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang

Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email : ikhwanulqiram@gmail.com

ABSTRACT

Pirolisis is thermochemical decomposition process of biomass into useful product. A method that can be used is a rotary kiln pirolizer which consist a heating cylinder that rotate with a certain rotation speed. This research is aimed to get the effet of temperature due to char product quantity of switenia macrophylla rotary kiln pirolisis. The research is done by pirolisis experiment with 200 gram of switenia macrophylla in dust form. Temperature heating is varied 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, dan 600°C. The heating temperature is provide by eletric heater with control system. Temperatur is measured with K type thermocouple. The heating process is taken for 180 minutes using stopwatch. The measurement is done for biomass and char volume using measuring cup. Mass is measured using scale. Low heating value is measured using bomb calorimeter. The result show that temperatur has effect due to char product of switenia macrophylla rotary kiln pirolisis. Char mass loss tend to increase due to temperature increasing. Low heating value and char porosity tend to increase due to mass loss percentage increasing. Shrinking factor and percentage of yield energy tend to decrease due to mass loss percentage increasing.

Keywords: pirolisis, rotary kiln, char, temperature

PENDAHULUAN

Semakin bertambahnya populasi manusia dan meningkatnya laju industrialisasi di berbagai negara di duniamenyebabkan tingkat pemakaian bahan bakar terutama bahan bakar fosil semakin meningkat. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya untuk meningkatkan pertumbuhan energi baru khususnyadari biomasasapadat dalam memenuhi kebutuhan energi yang selalubertambah seiring bertambahnya jumlah penduduk. Untuk dapat mengatasinya salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi pirolisis.

Pirolisis yang juga disebut termolisis akan mendekomposisi kimia bahan organik (*biomassa*) melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit O₂ atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Teknik ini adalah cara untuk memperoleh hasil hidrokarbon yang merupakan dasar bahan bakar. Teknologi pirolisis dikembangkan dengan variasi metode untuk teknologi bersih dan memiliki aspek pemanfaatan sumber daya alam [1]. Dalam proses pirolisis penggunaan energi sangat besar, dimana energi tersebut digunakan untuk memecah unsur kimia pada bahan pirolisis menjadi moleku-molekul kecil yang ringkas dan menjadi fase gas. Dengan adanya kelemahan tersebut maka perlu dilakukan optimasi penggunaan energi, untuk kepentingan ini, optimasi meliputi laju pemanasan, ukuran partikel bahan, tekanan dan juga identifikasi pirolisis utama dan pirolisis sekunder dalam proses yang berlangsung serta merancang desain reaktor [2].

Salah satu energi alternatif yang banyak dikembangkan adalah bahan organik (*biomassa*). Biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau pertanian, hutan, peternakan atau bahkan sampah. Karena kandungan hidrokarbon yang dimiliki senyawanya, biomassa dapat digunakan untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan membangkitkan listrik. Salah satu biomassa yang mudah kita temui adalah limbah dari serbuk mahoni yang berasal dari industri pengolahan kayu. Jenis kayu mahoni banyak ditanam di hutan-hutan Indonesia [3]. Limbah yang terjadi dari pohon yang ditebang, yaitu berupa kayu sampai dengan diameter 15 cm adalah sebesar 57%, sehingga yang dapat dimanfaatkan dari pohon yang ditebang tersebut hanya sebesar 43%. Volume bebas dahan sebesar 21,34 m³ akan dihasilkan kayu bulat sebanyak 73%, sisanya 27% merupakan limbah dan 71,5% dari limbah tersebut akan ditinggalkan di petak tebang [4].

Mahoni merupakan salah satu jenis kayu yang banyak digunakan dalam industri pengolahan kayu di Indonesia, pada saat ini terdapat 19 buah industri pembuatan papan partikel di Indonesia. Industri ini memanfaatkan limbah kayu dari industri pengolahan kayu sebagai bahan bakunya [5]. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2,6 juta m³ per tahun. Dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54,24 % dari produksi total maka dihasilkan limbah penggergajian sebanyak 1,4 juta m³ per tahun [6]. Hal ini turut mendorong untuk meningkatkan nilai tambah dari produksi kayu olahan dari sisi limbah serbuk gergaji yang dihasilkan menjadi sumber energi.

Energi baru dan terbarukan khususnya dari biomassa padat dengan metode pirolisis menggunakan bahan baku serbuk kayu telah banyak dilakukan. Dalam serbuk kayu mahoni terdapat zat-zat yang dapat di dekomposisi pada saat proses pirolisis. Zat-zat tersebut antara lain *cellulose*, *hemicellulose* dan *lignin* [7]. Untuk menghasilkan produk *char* serbuk kayu mahoni yang berkualitas tinggi metode yang diterapkan adalah *slow pirolisis*. Pada metode *slow pirolisis* proses laju pemanasan yang digunakan sangat lambat sehingga gas dan *tar* yang dihasilkan semakin rendah. Sebaliknya, proses hasil pengarangannya pada metode *slow pirolisis* sangat tinggi [8].

Salah satu parameter yang mempengaruhi kualitas produk *char* hasil pirolisis adalah temperatur. Jika temperatur dinaikkan, maka molekul pada biomassa memiliki tingkat energi yang meningkat [9]. Dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka massa dan volume *char* yang terbentuk akan semakin kecil pada setiap peningkatan variasi temperatur, sedangkan nilai kalornya akan semakin meningkat [1].

Pada penelitian ini jenis teknologi yang digunakan adalah *pirolisis rotary kiln*. Dimana rotary kiln merupakan dapur horisontal tubular dengan biomassa yang digerakkan dengan laju tertentu sepanjang dapur. Dalam segi mekanisme *pirolisis*, dilakukan penelitian dengan variasi kecepatan putar, temperatur peleburan dan ukuran butir konsentrat *zirkon* menggunakan *rotary kiln* [10]. Gerak partikel biomassa dalam rotary kiln terkonsentrasi pada dinding kiln dalam lapisan pasif (*passive layer*). Lapisan ini akan mencapai bagian permukaan dimana lapisan bergeser ke bawah dalam lapisan aktif (*active layer*). Mengacu pada sebuah partikel, proses berulang ini menyebabkan partikel bergerak ke arah aksial setiap kali bergerak ke arah lapisan aktif. Proses ini menjadi dasar bagi pemodelan gerak partikel di rotary kiln pada arah aksial. Model ini dapat menjadi prediksi lapisan pengisian (area bagian pada arah penampang lintang radial) sepanjang silinder rotary kiln sebagai sebuah fungsi laju masuknya bahan biomassa.

Pemberian perlakuan putaran pada tungku pirolisis diharapkan akan memberikan dampak pada partikel biomassa kayu mahoni. Dimana tumbukan antar partikel terjadi pada transfer momentum yang diakibatkan oleh putaran tungku, yang selanjutnya dapat menyebabkan partikel biomassa dengan massa tertentu bergerak dengan kecepatan tertentu [11]. Hal ini secara keseluruhan diduga akan memberikan pengaruh terhadap dekomposisi biomassa serta nilai produk *char* hasil pirolisis serbuk kayu mahoni.

Babu BV, Chaurasia AS, 2004, meneliti dampak penyusutan pada pirolisis partikel biomassa menggunakan model kinetik dan model perpindahan panas. Model numerik digunakan untuk menguji dampak penyusutan pada ukuran partikel, waktu pirolisis, hasil produk, kapasitas panas spesifik dan nomor Biot mempertimbangkan geometri silinder. Skema beda hingga implisit murni menggunakan

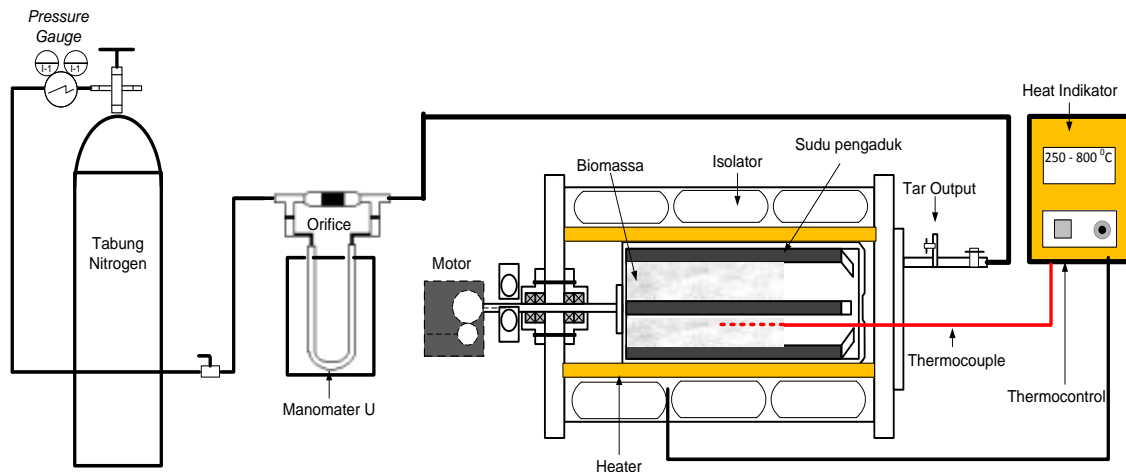
algoritma matriks tri-diagonal (TDMA) digunakan untuk memecahkan model persamaan perpindahan panas. Metode Runge-Kutta order keempat digunakan untuk persamaan kinetika Model kimia. Simulasi dilakukan untuk radius dari 0,0000125 sampai 0,05 m, suhu berkisar 303-900 K dan penyusutan faktor mulai 0,0-1,0. Hasil penelitian jauh lebih baik dari model sebelumnya dari studi literatur. Terjadi efek penyusutan pada pirolisis dalam beberapa cara. Ini termasuk pengurangan waktu tinggal gas dalam partikel, pendinginan lapisan arang untuk tarif fluks massa yang lebih tinggi dari produk pirolisis dan penipisan daerah reaksi pirolisis [11].

Klose dan Schinkel (2002) melakukan pemodelan pirolisis biomassa pada rotary kiln. Pemilihan model ini berdasarkan pengkondisian parameter pirolisis dan jenis biomassa yang akan dipirolisis. Penelitian ini menggunakan simulasi matematis, dengan data yang diperoleh pada fenomena transport serbuk biomassa, perpindahan panas serbuk biomassa, reaksi kimia pada biomassa dan fase gas biomassa. Hasil penelitian menunjukkan biomassa dapat dikonversi menjadi beberapa jenis padatan yang berbeda pada rotary kiln tergantung pada kondisi proses, yaitu biomassa dengan pemanasan tinggi atau produksi karbon aktif dari *char* dengan rasio O/C dan H/C yang rendah [12].

Penelitian Paulauskas, *et.al.*, 2014 bertujuan untuk mendapatkan eksperimental dan teoritis penyusutan kayu pelet selama pirolisis. Penelitian ini dilakukan dengan mengukur deformasi termal dari pelet kayu dalam reaktor listrik dengan suhu inert 300-1000°C. Perhitungan teoritis dilakukan oleh Matlab menggunakan model one-dimensional pirolisis kayu pelet yang meliputi data eksperimental dan pengamatan perluasan kayu pelet. Hasil simulasi dibandingkan dengan yang eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jari-jari pelet menurun sebesar 10% pada suhu 300-500°C, dan sebesar 20% pada suhu 500-1000°C. Hal ini juga menetapkan bahwa pelet kayu mengembang sampai 15% pada suhu 300-830°C pada awal deformasi termal bahan bakar. Hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan bahwa deformasi termal kayu nilai pelet berbeda 2-5% [13].

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah serbuk kayu mahoni dari wilayah selatan Kabupaten Malang, Jawa Timur. Instalasi pirolisis *rotary kiln* berfungsi untuk mendekomposisi bahan baku serbuk kayu mahoni seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian dilakukan pada laju pemanasan 8,6°C/menit, putaran tungku 10 Rpm, dan waktu pirolisis selama 180 menit. Adapun temperatur pirolisis dilakukan variasi: 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, dan 600°C, dan variabel dependen meliputi *massa char*, volume *char*, dan nilai kalor *char*.



Gambar 1. Instalasi Pirolisis

Prosedur Penelitian

A. Persiapan yaitu:

1. Menyaring serbuk kayu mahoni. Kotoran-kotoran serbuk kayu mahoni dibersihkan dengan cara disaring.
2. Mengeringkan serbuk kayu mahoni untuk mengurangi kadar air dengan oven pemanas pada temperatur 110-125°C selama 2-3 jam.
3. Pengujian kadar air dilakukan dengan sampel sebesar 1,5 gr. Kemudian dimasukkan ke alat uji *moisture* sampai kondisi kadar air 0-2%.
4. Penimbangan sampel sebesar 200 gr untuk di pirolisis.

B. Prosedur Pirolisis:

1. Spesimen uji dimasukkan ke dalam *pyrolyzer* dan *pyrolyzer* ditutup.
2. Buka katup untuk mengalirkan N₂ ke ruang pemanas *pyrolyzer* sampai kadar O₂ < 2,1% dari volume ruang pemanas dan buka juga katup buang pada *pyrolyzer* supaya O₂ dapat terdorong keluar akibat dorongan dari N₂ yang memenuhi tabung. Dengan rentang 1 menit dengan *flow rate* 3 liter per menit.
3. *Thermocontroller* diatur untuk variasi 250 °C.
4. Lakukan proses pirolisis rotary kiln sampai batas temperatur yang ditentukan, setelah itu tahan beberapa menit atau sampai kenaikan volume tidak ada perubahan.
5. Ukur massa dan volume akhir produk *char*.
 - a. Ulangi prosedur pirolisis dengan variasi temperatur 350°C, 450° C, 500° C, dan 600°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabell.HasilPengukuran Volume dan Massa Char

T (°C)	v _i (ml)	v _f (ml)	m _i (gr)	m _f (gr)
250	796	381,12	200	70,21
350	796	365,07	200	60,18
450	796	320,16	200	50,32
500	796	295,14	200	35,46
600	796	265,72	200	30,87

Tabel2.HasilPengukuranNilaiKalor Char

Temperatur (°C)	NilaiKalor (kJ/mol)
250	5763,941
350	5809,006
450	6627,617
500	6869,004
600	7592,524

LajuPemanasan

Lajupemanasandihitungdenganpersamaansebagaimana berikut:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta t}$$

Contohperhitungan:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{50 - 25}{3,48} = 7,18^\circ\text{C}/\text{menit}$$

Selanjutnyadihitungkanilai rata-rata lajupemanasansehinggadidapatnilai rata-rata sebesar 8,60°C/menitatau 0,14°C/dt.

Kehilangan Massa

Kehilangan massa dihitung dengan persamaan:

$$ML = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Contohperhitungan:

$$ML = \frac{200 - 70,21}{200} \times 100 = 64,90$$

FaktorPenyusutan

Faktorpenyusutandihitungdenganpersamaan sebagaiberikut:

$$\delta = \frac{(v_0 - v_f) / v_0}{(m_0 - m_f) / m_0}$$

Contohperhitungan:

$$\delta_m = \frac{(796 - 381,12) / 796}{(200 - 70,21) / 200} = 36,59$$

Porositas

Dihitung dengan persamaan:

$$\text{Porositas} = 1 - \frac{\rho_e}{\rho_s}$$

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Porositas} &= 1 - \frac{70,21/796}{70,21/381,12} \\ &= 52,12 \end{aligned}$$

Energi yang dihasilkan

Energi yang dihasilkan dihitung dengan persamaan:

$$E_y = \frac{M_f}{M_i} \times \frac{H_{c_f}}{H_{c_s}} \times 100$$

Dengan:

$$\begin{aligned} H_{c_s} &= \text{nilai kalor bahan baku (kJ/kg)} \\ &= 579,656 \text{ kal/gr} = 2426,904 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan:

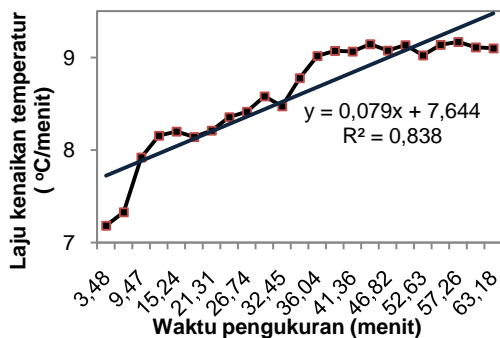
$$\begin{aligned} E_y &= \frac{70,21}{200} \times \frac{5763,941}{2426,904} \times 100 \\ &= 83,38\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan hasil pengolahan data sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data

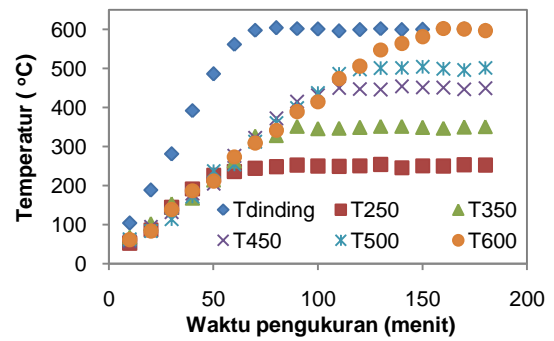
T (°C)	ML (%)	LHV (kJ/kg)	δ (%)	Por (%)	E _y (%)
250	64,90	5763,941	36,59	52,12	83,38
350	69,91	5809,006	32,58	54,14	72,02
450	74,84	6627,617	30,08	59,78	68,71
500	82,27	6869,004	22,31	62,92	50,18
600	84,57	7592,524	20,57	66,62	48,29

Grafik Hasil Penelitian



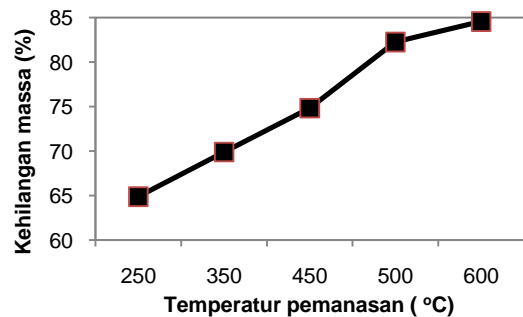
Gambar 2. Grafik Laju Pemanasan

Grafik di atas menunjukkan bahwa laju pemanasan cenderung naik sesuai dengan kenaikan waktu pengukuran. Hal ini sesuai dengan pertambahan temperatur dari suhu awal sebesar 25°C menjadi 50°C dan selanjutnya naik secara bertahap hingga mencapai suhu 600°C. Laju pemanasan naik dapat diregresikan secara linier dengan nilai R² = 0,8382.



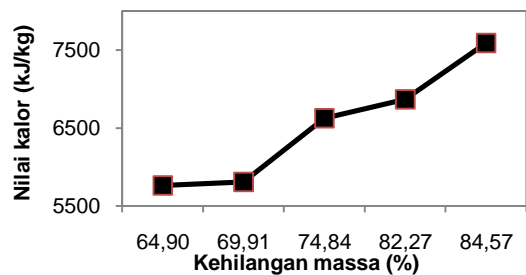
Gambar 3. Grafik temperatur dinding dan biomassa

Grafik di atas menunjukkan bahwa temperatur dinding dan suhu biomassa cenderung naik di menit-menit awal pengukuran. Temperatur ini selanjutnya cenderung stabil karena pengaturan temperatur sesuai dengan variabel penelitian.



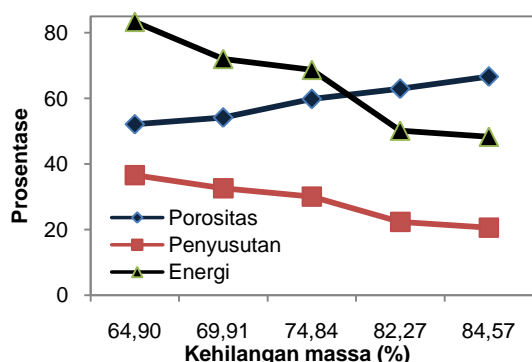
Gambar 4. Grafik hubungan temperatur dan prosentase kehilangan massa

Grafik di atas menunjukkan bahwa prosentase kehilangan massa cenderung bertambah sesuai dengan penambahan temperatur pemanasan. Prosentase kehilangan massa minimum terjadi pada variasi temperatur pemanasan 250°C yaitu sebesar 64,90%. Prosentase kehilangan massa maksimum terjadi pada variasi temperatur pemanasan 600°C yaitu sebesar 84,57%.



Gambar 5. Grafik hubungan prosentase kehilangan massa dan nilai kalor char

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai kalor char cenderung bertambah sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Nilai kalor char minimum terjadi pada kehilangan massa 64,90% yaitu sebesar 5763,941 kJ/kg. Nilai kalor maksimum terjadi pada prosentase kehilangan massa 84,57% yaitu sebesar 7592,524 kJ/kg.



Gambar 6. Grafik hubungan prosentase kehilangan massa dan porositas char

Grafik di atas menunjukkan bahwa porositas char cenderung bertambah sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Porositas char minimum terjadi pada nilai kehilangan massa 64,90% yaitu sebesar 52,12. Porositas maksimum terjadi pada prosentase kehilangan massa 84,57% yaitu sebesar 66,62.

Grafik juga menunjukkan bahwa faktor penyusutan char cenderung menurun sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Porositas char minimum terjadi pada kehilangan massa 84,57% yaitu sebesar 20,57. Porositas maksimum terjadi pada prosentase kehilangan massa 64,90% yaitu sebesar 36,59.

Grafik juga menunjukkan bahwa prosentase energi yang dihasilkan cenderung menurun sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Prosentase energi yang dihasilkan minimum terjadi pada kehilangan massa 84,57% yaitu sebesar 48,29. Prosentase energi yang dihasilkan maksimum terjadi pada prosentase kehilangan massa 64,90% yaitu sebesar 83,38.

Pembahasan Laju Pemanasan

Produk utama dari slow pirolisis adalah char (arang). Pada pirolisis rotary kiln ini laju pemanasan berjalan lambat, temperatur kecil, dan waktu pemanasan yang lama. Di mana dalam penelitian ini laju pemanasan yang digunakan adalah 0,14°C/detik.

Berdasarkan hasil pengujian, laju pemanasan menunjukkan kenaikan suhu secara linier, laju pemanasan cenderung naik sesuai dengan kenaikan waktu pengukuran. Hal ini sesuai dengan pertambahan temperatur dari suhu awal sebesar 25°C menjadi 50°C dan selanjutnya naik secara bertahap hingga mencapai suhu 600°C.

Pembahasan Temperatur Dinding dan Biomassa

Profil temperatur merupakan aspek paling penting dalam kendali operasional untuk proses-proses pirolisis. Pada grafik kenaikan temperature dinding dan biomassa, dapat digambarkan bahwa laju pemanasan akan cenderung naik secara bertahap sesuai dengan pertambahan temper

atur. Kenaikan temperatur secara bertahap dan linier ini telah sesuai dengan kondisi operasional *slow pirolisis*.

Temperatur dinding dan temperatur biomassa juga meningkat secara bertahap dan linier. Hal ini akan mempengaruhi proses pirolisis yang terjadi dalam tabung rotary kiln. Pada saat biomassa dipanaskan, beberapa komponen secara kimia menjadi tidak stabil dan terdegradasi secara termal atau diuapkan. Laju aliran material bahan baku dan aliran gas pemanas serta kontrol temperatur reactor menjadi parameter-parameter kunci dalam laju pemanasan, temperatur puncak, waktu sisa dari padatan dan waktu kontak antara padatan dan gas pemanas. Faktor-faktor ini mempengaruhi distribusi produk dan propertinya [13].

Pembahasan Nilai Kalor

Grafik hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor char cenderung bertambah sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Hal ini disebabkan karena proses pirolisis menyebabkan dekomposisi struktur biomassa. Proses ini menghasilkan pelepasan ikatan hidrokarbon dalam biomassa menjadi bentuk lain sehingga didapatkan kandungan karbon yang lebih murni.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai kalor cenderung naik sesuai dengan penambahan temperatur pirolisis. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian Zajec 2009. Hal ini dikarenakan temperatur yang lebih tinggi menyebabkan proses dekomposisi berlangsung lebih efektif [14].

Pembahasan Kehilangan Massa

Grafik hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan massa char cenderung bertambah sesuai dengan penambahan temperatur pirolisis. Hal ini disebabkan karena proses pirolisis merupakan proses pemanasan bahan sehingga terjadi proses penguapan kandungan air biomassa. Selain itu, temperatur pirolisis juga menyebabkan proses pelepasan gas dalam biomassa. Proses-proses ini menyebabkan biomassa kehilangan sebagian massanya.

Proses kehilangan massa ini sesuai dengan teori dalam *slow pirolisis*. Produk-produk non-combustible seperti CO₂, senyawa organik, dan uap air, dihilangkan pada temperatur antara 100°C dan 200°C. Di atas temperatur 200°C, terjadi pemecahan struktur komponen bahan organik menjadi gas dengan massa molekul yang rendah. Proses ini selanjutnya akan menyisakan bahan dalam bentuk char sehingga massa awal biomassa berkurang menjadi massa char.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kehilangan massa cenderung naik sesuai dengan penambahan temperatur pirolisis. Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian Paulauskas, *et al*, 2014. Hal ini disebabkan karena temperatur yang lebih tinggi menyebabkan proses

penguapan menjadi lebih besar. Proses ini selanjutnya akan menyebabkan massa akhir biomassa cenderung kecil sehingga kehilangan massa menjadi besar.

Pembahasan Faktor Penyusutan

Grafik hasil penelitian menunjuk-kan bahwa faktor penyusutan char cenderung menurun sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Hal ini disebabkan karena faktor penyusutan merupakan rasio massa dan rasio volume. Kenaikan temperatur pirolisis menyebabkan kehilangan massa semakin besar sehingga faktor penyusutan juga semakin besar.

Faktor penyusutan juga merupakan akibat proses dekomposisi thermal yang terjadi pada biomassa. Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian Paulauskas, *et al*, 2014. Kesesuaian ini terlihat pada perubahan diameter partikel biomassa cenderung meningkat sesuai penambahan temperatur pirolisis.

Pembahasan Porositas

Grafik hasil penelitian menunjuk-kan bahwa porositas cenderung naik sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Hal ini disebabkan karena porositas merupakan prosentase volume biomassa karena perbedaan densitas. Perubahan atau kehilangan massa karena proses pirolisis menyebabkan perubahan densitas sehingga porositas juga berubah.

Hasil penelitian menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian Brewer CE, *et al*, 2014. Kesesuaian terlihat pada porositas biomassa kayu yang cenderung naik sesuai dengan penambahan temperatur pirolisis. Porositas merupakan produk dari perubahan densitas biomassa akibat proses dekomposisi thermal yang terjadi pada proses pirolisis [15].

Pembahasan Energi yang Dihasilkan

Grafik hasil penelitian menunjuk-kan bahwa prosentase energi yang dihasilkan cenderung menurun sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa. Hal ini disebabkan karena energi yang dihasilkan merupakan rasio massa dan nilai kalor. Perubahan massa dan nilai kalor yang cenderung naik menyebabkan energi yang dihasilkan cenderung menurun.

Hasil penelitian menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian Carrasco JC, *et al*, 2014. Kesesuaian terlihat pada energi yang dihasilkan biomassa dalam proses pirolisis ini cenderung naik sesuai dengan penambahan kehilangan massa [16].

Pembahasan Pembahasan Umum

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia yang sangat kompleks karena dapat dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor ini meliputi bahan baku biomassa, metode pirolisis, peralatan yang digunakan dan kondisi operasinya.

Temperatur pemanasan biomassa dengan rotary kiln yang digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini berpengaruh terhadap perubahan volume dan massa serbuk kayu mahoni.

Perubahan volume dan massa serbuk kayu mahoni dalam bentuk char selanjutnya akan berpengaruh terhadap faktor-faktor yang lain yang menjadi bahan analisa data. Faktor-faktor ini antara lain adalah nilai kalor, kehilangan massa, penyusutan, porositas dan energi yang dihasilkan.

Berdasarkan grafik-grafik hasil penelitian dan analisa data dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur berpengaruh terhadap produk char pada proses pirolisis dengan rotary kiln. Pengaruh temperatur dapat terlihat pada perubahan nilai kalor, kehilangan massa, faktor penyusutan, porositas dan energi yang dihasilkan.

KESIMPULAN

1. Variasi temperatur berpengaruh terhadap char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni (*switenia macrophylla*) pada rotary kiln.
2. Kehilangan massa char cenderung bertambah sesuai dengan penambahan temperatur pirolisis.
3. Nilai kalor char cenderung bertambah sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa.
4. Faktor penyusutan char cenderung menurun sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa.
5. Porositas char cenderung naik sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa.
6. Prosentase energi yang dihasilkan cenderung menurun sesuai dengan penambahan prosentase kehilangan massa.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan cara:

1. Variasi rasio volume biomassa dan volume tabung rotary kiln.
2. Variasi sirip pengaduk pada tabung rotary kiln.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhdhor, R.H., Wijayanti, W., Anam, K. 2013. *Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas Dan Kinetik Rate Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni*. Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya;
- [2] Zanzi, R., Bai, X., Capdevila, P., Björnbom, E., 2001, *Pyrolysis Of Biomass In Presence Of Steam For Production Of Activated Carbon, Liquid And Gaseous Fuels*, The 6th World Congress Of Chemical Engineering;
- [3] Karlinasari, L., Baihaqi, H., Maddu, A., Mardikanto, T.R., 2012, *The Acoustical Properties of Indonesian Hardwood Species*, Makara Journal of Science Vol 16 No 2, pp. 110-114;

- [4] Sukadaryati, Dulsalam, Rachman, O., 2005, *Potensi Dan Biaya Pemungutan Limbah Penebangan Kayu Mangium Sebagai Bahan Baku Serpih (Potency and Harvesting Cost of Wastes from Mangium-Stand Felling as Raw Material for Wood Chip)*, <http://forda-mof.org>;
- [5] Ngadianto, A., Widyorini, L., Lukmandaru, G., *Ketahanan Papan Partikel Limbah Kayu Mahoni Dan Sengon Dengan Perlakuan Pengawetan Asap Cair Terhadap Serangan Rayap Kayu Kering Cryptotermes Cynocephalus Light*, Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) XIV, pp. 213-219;
- [6] Jamilatun, S., Shakti, D.K., Ferdiant, F., 2010, *Pembuatan Biocoal Sebagai Bahan Bakar Alternatif dari Batubara dengan Campuran Arang Serbuk Gergaji Kayu Jati, Glugu dan Sekam Padi*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Yogyakarta” : ISSN 1693 -4393, pp. DO4 1-6;
- [7] Mohan, D., Pittman, C.U., Steele, P.H., *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*, Energy & Fuels, 20(3), pp. 848-889;
- [8] Tanoue, K., Widy, W., Yamasaki, K., Kawanaka, T., Yoshida, A., Nishimura, T., Taniguchi, M., Sasauchi, K., 2010., *Numerical Simulation Of The Thermal Conduction Of Packed Bed Of Woody Biomass Particles Accompanying Volume Reduction Induced By Pyrolysis*, J. Jpn. Inst. Energy, 89 (10), 948;
- [9] Fatimah, I. 2004. *Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Komposisi Biofuel Hasil Pirolisis Serbuk Kayu*. Jurnal Logika, Vol 1, No. 1;
- [10] Sunardjo, S. 2012. *Optimasi Kondisi Operasi Peleburan Konsentrat Zirkon Menggunakan Rotary Kiln*. Heat Mass Transfer. DOI 10.1007/s00231-011-0764-1. Springer-Verlag;
- [11] Boateng, A.A., 2008, *Rotary Kilns Transport Phenomena and Transport Processes*, USA Elsevier Ltd;
- [12] Babu, B.V., Chaurasia, A.S., 2004, *Heat Transfer Andkinetics in The Pyrolysis of Shrinking Biomass Particle*, Chemical Engineering Science 59, pp. 1999-2012;
- [13] Klose, W., Schinkle, A., 2002, *Measurement And Modelling Of The Development Of Pore Size Distribution Of Wood During Pyrolysis*, Fuel Processing Technology, 77-78, 459-466
- [14] Paulauskas, R., Džiugys, A., Striūgas, N., Garšvinskaitė, L., Misiulis, E., 2014, *Experimental And Theoretical Investigation Of Wood Pellet Shrinkage During Pyrolysis*, Energetika. T. 60. Nr. 1, pp. 1–11;
- [15] Brownsort, P.A., 2009, *Biomass Pyrolysis Processes : Performance Parameters And Their Influence On Biochar System Benefits*, A dissertation presented for the degree of Master of Science University of Edinburgh;
- [16] Zajec, L., 2009, *Slow Pyrolysis In A Rotary Kiln Reactor: Optimization And Experiments*, Tesis, School for Renewable Energy Science, Akureyri, Iceland;
- [17] Brewer, C.E., Chuang, V.J., Masiello, C.A., Gonnermann, H., Gao, X., Dugan, B., Driver, L.E., Panzacchi, P., Zygourakis, K., Davies, C.A., 2014, *New Approaches to Measuring Biochar Density and Porosity*, Biomass and Bioenergy xxx, pp. 1-10;
- [18] Carrasco, J.C., Oporto, G.S., Zondlo, J., Wang, J., 2014, *Observed Kinetics Parameters During the Torrefaction of Red Oak (Quercus Rubra) in a Pilot Rotary Kiln Reactor*, BioResources Vol 9 No 3, pp. 5417-5437.