

PEMBENTUKAN ASAP CAIR DARI AMPAS NILAM DENGAN PROSES PIROLISIS

Nurul Widji Trianna, Bambang Wahyudi, Edi Mulyadi

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya-Gunung Anyar, Surabaya
e-mail: nurulwidjitriana@gmail.com

Abstrak

Asap cair adalah zat yang dihasilkan dari asap melewati sebuah tabung dari ruang pembakaran diisi dengan pilih limbah nilam ke kondensor. Dalam kondensor, asap mendingin dan membentuk cairan, dibantu dengan penambahan air. Pirolisis merupakan teknologi konversi termal yang menarik digunakan untuk menghasilkan bio-oil, char dan gas. Nilam Limbah pirolisis secara umum melibatkan satu set kompleks reaksi kimia. Secara keseluruhan, riset ini merupakan studi kinetik yang komprehensif dan menyeluruh Pogostemon cablin Benth pirolisis yang mendekati perilaku termal dengan mengakui hubungan antara fenomena kimia yang berbeda yang membentuk proses pirolitik. Dalam studi ini, kami meneliti pirolisis nilam Limbah bawah N_2 atmosfer pada berbagai suhu antara 250 sampai 500 °C dalam reaktor unggun tetap dilengkapi dengan pemanas, keseimbangan, siklon dan kondensor. Cairan tidur pyrolysers memberikan kinerja yang baik dan konsisten dengan hasil-hasil cairan yang tinggi biasanya 23 % wt .dari nilam Limbah secara pakan kering. Di sisi lain, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan korelasi untuk waktu tinggal (t) dengan gelar devolatilisasi atau nilai konversi zat terbang (x_s). Hasil konversi zat terbang juga telah menunjukkan kesepakatan yang baik antara prediksi nilai dengan model dan yang diperoleh secara eksperimental. Konversi zat terbang tertinggi dalam penelitian ini adalah 82 %, dan ini diperoleh pada kondisi proses suhu 450 °C, nilam Limbah partikel 10 mesh .

Kata Kunci: pirolisis , asap cair , kinetik , nilam Limbah

Abstract

Liquid smoke is a substance produced from smoke passed through a tube from a combustion chamber filled with select patchouly waste to a condenser. In the condenser, the smoke cools and forms a liquid, aided by the addition of water. Pyrolysis is an attractive thermal conversion technology used to produce bio-oil, char and gas. Patchouly Wastepyrolysis in general involves a complex set of chemical reactions. Overall, this research work represents a comprehensive and thorough thermo kinetic study of Pogostemon Cablin Benth pyrolysis that approaches the thermal behavior by recognizing the connections between different chemical phenomena making up the pyrolytic process. In this study, we investigated the pyrolysis of Patchouly Waste under N_2 atmosphere at various temperatures between 250 to 500°C in a fixed bed reactor completed with heater, balance, cyclone and condenser. Fluid bed pyrolysers give good and consistent performance with high liquid yields of typically 23%wt. from Patchouly Waste on a dry feed basis. On the other hand, this research was intended to produce correlations for residence time (t) with devolatilization degree or values of volatile matter conversion (x_s). The results of volatile matter conversion have also shown a good agreement between the values prediction by the model and those obtained experimentally. The highest volatile matter conversion in this research was 82%, and this was obtained at process conditions of temperature of 450°C, Patchouly Waste particles 10 mesh.

Key Words: pyrolysis, liquid smoke, kinetic, Patchouly Waste

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan eksportir minyak atsiri terbesar di dunia, terutama yang berasal dari tanaman nilam atau *Pogostemon cablin* Benth. Lebih dari 50 jenis kekayaan hayati di Indonesia merupakan sumber bahan baku minyak atsiri. Minyak nilam atau patchouly oil banyak dipergunakan dalam industri kosmetik, parfum, sabun, dan industri lainnya (Pujiyanto dkk, 2012). Manfaat lainnya, minyak nilam adalah sebagai pengikat minyak atsiri lainnya yang sampai sekarang belum bisa diganti oleh minyak lain. Tanaman nilam dipungut daun dan rantingnya. Proses produksi minyak atsiri dilakukan dengan cara penyulingan daun dan ranting yang sudah dikeringkan. Untuk memungut minyak atsiri dilakukan dengan cara distilasi dengan menggunakan cara rebus atau pengaliran uap. Dalam proses penyulingan dihasilkan limbah berupa ampas. Ampas ini pada umumnya dipakai sebagai umpan pembakaran awal dari tungku pembakaran. Limbah atau ampas penyulingan jumlahnya setara dengan kapasitas bahan baku yang diumpungkan (rendemen minyak 1,5% sisanya ampas). Pemanfaatan limbah yang relatif besar itu, sampai saat ini masih terbatas untuk bahan bakar langsung. Beberapa penelitian pemanfaatan ampas penyulingan yang pernah dilakukan yaitu untuk biobriket atau buat kompos. Penelitian ini dimaksudkan untuk memungut biooil (asap cair) dari ampas penyulingan nilam. Dengan begitu dapat menaikkan nilai tambah dari limbah penyulingan. Proses pirolisis merupakan teknologi konversi termokimia yang masih perlu dikembangkan. Apalagi kendala pengembangan proses pirolisis adalah keborosan energi dan konversi pembentukan tar (pyrolytic oil) masih rendah. Selain itu, keterbatasan data-data kinetik untuk penentuan persamaan kecepatan pirolisis secara menyeluruh. Padahal parameter itu amat diperlukan untuk rancang bangun reaktor pirolisis. Karena itulah penelitian ini dilakukan, dengan maksud mendapatkan kondisi operasi pirolisis yang optimum dengan menghasilkan asap cair yang maksimum, yaitu dengan menggunakan reaktor pirolisis model isian bergerak. Asap cair sebagai produk cair mengandung nafta dan komponen lain yang relatif potensial untuk diolah kembali menjadi fraksi yang dapat memberikan nilai tambah. Beberapa penelitian seputar pirolisis untuk memaksimalkan produk asap cair tidaklah mudah (Mulyadi, 2004). Untuk memaksimalkan produk

asap cair Trianna mulyadi (2012) menggunakan N_2 sebagai inert agar mempengaruhi tekanan partial uap hasil pirolisis dan mempersingkat waktu tinggal uap dalam reaktor.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai konversi pirolisis, mendapatkan hasil pengembunan asap cair yang maksimum dengan menggunakan multitube kondensor, serta merumuskan persamaan empirik pengaruh suhu, dan waktu terhadap nilai konversi pirolisis untuk optimasi produk asap cair. Ampas limbah penyulingan nilam selama ini hanya sebatas bahan bakar penyulingan. Sebagian kecil saja ampas dari penyulingan nilam yang dimanfaatkan untuk pupuk. Padahal dengan proses pirolisis ampas itu dapat ditingkatkan nilai tambahnya karena asap cair memiliki nilai guna yang lebih luas. Selain itu Pirolitor sebagai reaktor pembentuk asap cair masih perlu dikembangkan utamanya pencarian model-model reaktor pirolisis yang hemat energy. Tanaman nilam termasuk famili labiate dengan ketinggian sekitar 1 m dan merupakan penghasil atsiri. Indonesia merupakan produsen minyak nilam terbesar di dunia dengan kontribusi sekitar 90 %. Minyak nilam memiliki potensi strategis di pasar dunia sebagai bahan pengikat aroma wangi pada parfum dan kosmetika (Pujiyanto dkk 2012, Manoi, 2012). Limbah hasil prosesing minyak nilam banyak dijumpai di industri penyulingan minyak nilam. Besarnya volume ampas limbah penyulingan nilam belum dimanfaatkan secara optimal, dengan memanfaatkan limbah tersebut menjadi produk yang berguna dan mempunyai nilai tambah yang nyata. Beberapa peneliti terdahulu mencoba menggunakan limbah itu untuk bahan pembuat dupa, karena mempunyai aroma yang khas/harum, dengan menjemur ampas kemudian digiling dan siap digunakan sebagai bahan baku pembuat dupa berbentuk lidi. Ampas dicampur dengan bahan perekat, tepung ongok, tepung tempurung kelapa, pewarna dan pewangi lainnya. Semua bahan tersebut dicampur dibuat adonan dan selanjutnya dicetak berbentuk lidi (manoi, 2012). Salim dan Sriharti, (2008) meneliti ampas daun nilam sebagai kompos. Pengomposan dari ampas daun nilam dan pengaruh bahan aktivator (Agrisimba dan EM4) terhadap kualitas kompos yang dihasilkan. Kompos diproses secara aerobik selama 9 hari dan di keringkan selama 7 hari. Kompos nilam kering dari pemakaian Agrisimba mengalami penyusutan sekitar 65,42% sedangkan untuk pemakaian EM4 penyusutan 68,42%. Penelitian yang juga pernah dikerjakan oleh Usmiati dkk (2012) melalui pemanfaatan

limbah padat penyulingan minyak serih wangi sebagai bahan aktif yang dikombinasikan dengan limbah penyulingan minyak nilam dalam pembuatan penolak serangga mempengaruhi lama bakar, kadar air dan bobot, tetapi tidak berpengaruh terhadap tingkat kekerasan dari dupa. Kombinasi limbah penyulingan minyak serih wangi dengan limbah penyulingan minyak nilam berdasarkan perbandingan 4:4 dan 5:3 lebih efektif mengusir serangga alat rumah. Jika disinfektan dalam limbah nilam difraksinasi dalam wujud asap cair tentunya lebih efektif. Cara ini belum pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Pirolisis adalah peruraian bahan, karena panas yang berasal dari luar atau yang ditimbulkan oleh prosesnya dan sering pula diartikan sebagai proses devolatilisasi. Proses pirolisis berlangsung tanpa adanya oksigen atau udara. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda (Trianna dan Rochimoallah, 2002). Produk pirolisis selain dipengaruhi oleh suhu dan waktu, juga oleh laju pemanasan. Asap cair hasil pirolisis dan baunya menyengat. Untuk itu masih perlu pengolahan lanjut, yaitu dibuat jenuh dan stabil bila dipakai sebagai disinfektan

Faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis adalah :

a. Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung. produk asap cair makin naik. Kenaikan itu sampai dengan waktu tak hingga (τ) yaitu waktu yang diperlukan sampai hasil padatan residu, tar, dan gas mencapai konstan. Tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksige, menjadi karbondioksida dan abu. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangatlah penting. Kecepatan reaksi yang dinyatakan dalam fraksi massa per satuan waktu adalah

$$dw/dt = -k(w - w_{\infty})^n \quad (1)$$

dengan, w = fraksi massa ampas yang dinyatakan dengan $w = m_t / m_{t_0}$, bagian, w_{∞} = fraksi residu padat pada saat $t = \tau$, yang dinyatakan dengan $w_{\infty} = m_{\infty} / m_{t_0}$, bagian,

Pada saat (t), konversi mencapai (x_s), maka nilainya adalah:

$$x_s = [m_{t_0} - m_t] / [m_{t_0} - m_{\infty}] \quad (2)$$

b. Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan

Arrhenius, suhu makin tinggi nilai konstanta kecepatan reaksi. Berdasarkan persamaan Arrhenius hubungan konstante persamaan reaksi, adalah:

$$k = k_0 \cdot e^{(E/RT)} \quad (3)$$

maka persamaan (1) jika diselesaikan dapat dinyatakan dengan

$$\ln(w_1 - w_{\infty}) - \ln(w_2 - w_{\infty}) = k_0 e^{-E/RT} (t_2 - t_1) \quad (4)$$

Jika pirolisis terjadi pada permukaan partikel dan reaksi mengikuti *constant size particles*, dan berlangsung secara *unreacted-core model*, maka dengan luas permukaan butir (a) dan konstante kecepatan reaksi dekomposisi (k) persamaannya berwujud:

$$\begin{aligned} -(1/a)[(dC)/dt] &= k C_{\infty} \\ -(1/a)[(dm_t/m_{t_0})/dt] &= k C_{\infty} \\ -[1/a][dm_t/dt] &= k m_{t_0} C_{\infty} \end{aligned} \quad (5)$$

Dengan menganggap partikel padat berbentuk bola pejal, dan ukuranya relatif seragam, maka

$$\begin{aligned} dm_t &= (\rho) dV_s = (\rho) 4 \pi r^2 dr, \\ -dr/dt &= k(m_{t_0} / \rho) C_{\infty} \end{aligned} \quad (6)$$

$$t = [(r_0 \rho) / (m_{\infty} k)] (1 - r/r_0) \quad (7)$$

Ampas nilam yang belum terdekomposisi ($1-x_s$) dapat dihitung, yaitu:

$$\begin{aligned} (1-x_s) &= (\rho)(4/3)\pi r^3 / \{(\rho)(4/3)\pi r_0^3\} = (r/r_0)^3, \\ r/r_0 &= (1-x_s)^{1/3} \end{aligned} \quad (8)$$

Jadi

$$t = [(r_0 \rho) / (m_{\infty} k)] [1 - (1-x_s)^{1/3}] \quad (9)$$

Kalau waktu yang diperlukan untuk mencapai dekomposisi sempurna ($x_s=1$) adalah τ_r , maka

$$\tau_r = [(r_0 \rho) / (m_{\infty} k)] \quad (10)$$

sehingga :

$$[1 - (1-x_s)^{1/3}] = t / \tau_r \quad (11)$$

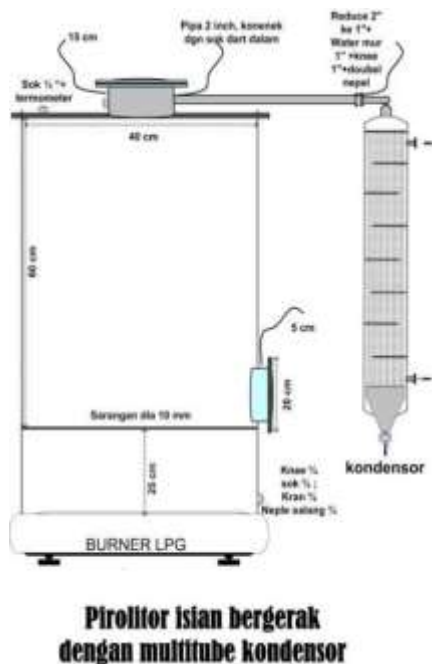
Menurut Mulyadi (2010) hubungan antara $[1 - (1-x_s)^{1/3}]$ dengan waktu t , berbentuk linear dengan tangen arah $[\tau_r]$ atau $[(r_0 \rho) / (m_{\infty} k)]$, maka hal ini merupakan bukti bahwa langkah reaksi kimia yang berperan.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan didalam penelitian ini adalah limbah penyulingan nilam desa mbelik trawas Mojokerto. Sebelum dipergunakan, limbah

penyulingan dijemur terlebih dahulu pada panas matahari. Selanjutnya dihancurkan dengan hamer-mill dengan menggunakan berbagai jenis ukuran saringan sesuai dengan ukuran yang akan digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya ampas yang sudah ditepung diambil untuk analisis bahan baku, yang meliputi kadar air, arang, dan kadar abu. Susunan alat terlukis pada Gambar 1 yang terdiri :

- Reaktor pirolisis : sebagai tempat proses pirolisis dengan spesifikasi diameter 40 cm, tinggi 50 cm, dari bahan baja tahan karat (SS-304) dilapisi isolator semen tahan panas
- Heater : sebagai pemanas reaktor dengan spesifikasi kompor burner dilengkapi selenoid buntut mengatur aliran gas LPG.
- Kondensor sebagai tempat pengembunan asap cair dari SS 304
- Penampung Asap cair : sebagai penampung untuk pengukur volume dan massa asap cair.



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Ampas limbah penyulingan nilam yang telah dikeringkan diumpukan ke dalam hamer-mill. Kemudian ditimbang dengan berat awal (m_0) 3000 gram. Ampas yang memiliki ukuran lolos 1, 4, 10, 20, dan 40 mm masing-masing sebagai variable yang dipelajari dan setiap ukuran dimasukkan ke

dalam tempat umpan reactor yang dihubungkan langsung dengan timbangan. Burner kompor LPG dinyalakan dan suhu di seting sesuai variasi yang dipelajari. Setelah mencapai suhu yang ditentukan, maka saat itu waktu mulai dihitung sebagai waktu awal dan dilakukan pembacaan timbangan untuk mengukur massa residu ampas. Kemudian setiap kisaran waktu 10 menit massa ampas diukur dan dicatat. Setelah massa ampas mencapai konstan proses dihentikan dan waktu dihitung sebagai waktu maximum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pepembentukan asap cair dari ampas limbah penyulingan nilam dengan proses pirolisis dilaksanakan secara batch. Variasi waktu, suhu, ukuran ampas dilakukan untuk menentukan mekanisme reaksi fraksinasi. Pada setiap variabel yang dikerjakan, waktu reaksi selalu divariasi. Data-data yang diambil dalam penelitian ini adalah perubahan massa ampas nilam dalam reaktor setiap saat dan diukur dengan penimbangan secara langsung. Selain itu, kapan waktu mencapai dekomposisi sempurna juga ditentukan.

Ampas nilam yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari wonosalam Jombang dan Trawas-Mojokerto. Sesudah dijemur, di crusher lalu dipilah-pilah dan diayak sesuai dengan ukuran yang akan digunakan dalam penelitian.

Ukuran sampah nilam terkecil yang dipakai adalah 1mm, sedangkan ayakan terbesar yang digunakan 4 Cm. Contoh perhitungan konversi *volatile matter* didefinisikan sebagai *devolatilization degree* yang nilainya adalah: $x_s = [m_{t_0} - m_t] / [m_{t_0} - m_{\infty}]$ (persamaan 2) dengan m_{t_0} = massa ampas nilam saat awal pada suhu isoterminya, gram, m_t = massa residu padat setiap saat, gram, m_{∞} = massa residu padat saat $t = \tau$ pada suhu isothermal, gram,

Sebagai contoh diambil data percobaan pada suhu 300 °C, dan $r = 10$ mm, massa ampas nilam mula-mula, $m_{t_0} = 3000$ gram, setelah waktu pirolisis 40 menit, nilai $m_t = 2380$ gram, massa nilam mencapai konstan setelah 85 menit, yaitu $m_{\infty} = 2288,6$ gram; sehingga nilai $x_s = (500 - 381) / (500 - 288.6) = 119 / 345 = 0,5629$

Hubungan Konversi dengan Suhu

Konversi pirolisis ampas nilam (x_s) dihitung berdasarkan nilai m_{t_0} , m_t , dan m_{∞} dengan mendefinisikan bahwa;

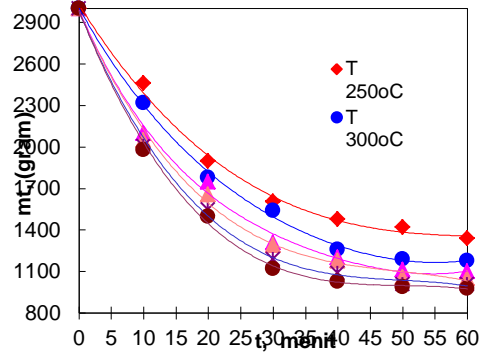
m_o = massa ampas nilam penimbangan awal = 3000 gram
 m_{t_0} = massa ampas nilam saat awal pada suhu isoterminya, gram,
 m_t = massa residu padat setiap saat, gram,
 m_{∞} = massa residu padat saat $t = \tau$ pada suhu isothermal, gram.

Untuk menghitung konversi, massa ampas nilam diukur pada berbagai variasi waktu dan suhu. Hasil percobaan pengaruh waktu dan suhu terhadap massa ampas nilam tiap saat dilukiskan dalam Gambar 2. Konversi volatile matter yang oleh beberapa peneliti juga sering diistilahkan sebagai *devolatilization degree* dihitung berdasarkan persamaan

$$x_s = [m_{t_0} - m_t] / [m_{t_0} - m_{\infty}]$$

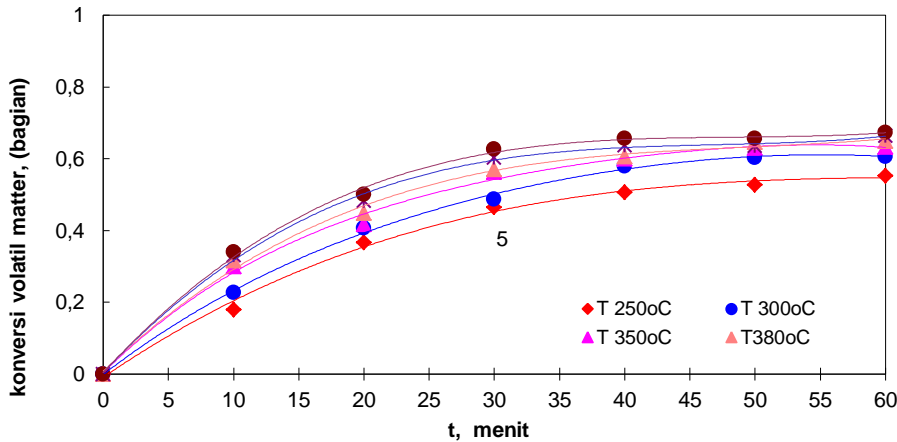
Nilai $(m_{t_0} - m_t)$ adalah massa yang ter volatilisasi pada ampas nilam tiap saat dan total massa yang bisa ter volatilisasi adalah $(m_{t_0} - m_{\infty})$. Konversi volatil matter dalam ampas nilam, x_s . Dari semua hasil percobaan yang ditunjukkan dalam gambar 2 dengan menggunakan persamaan itu nilai konversi dapat dihitung dan dilukis dalam Gambar 3. Dari data-data yang tersaji pada gambar 3 terlihat bahwa

konversi volatil matter dalam ampas nilam (x_s) sangat dipengaruhi oleh waktu proses.



Gambar 2. Hubungan massa residu dengan Waktu pada Berbagai Suhu

Gambar (3) melukiskan bahwa semakin lama waktu proses, maka kesempatan dari volatil matter melakukan dekomposisi lebih panjang, sehingga x_s naik. Tetapi kenaikan itu sudah tidak begitu nyata setelah waktu pirolisis mencapai 45 menit.



Gambar 3. Hubungan Konversi dengan Waktu

Gambar (3) melukiskan bahwa semakin lama waktu proses, maka kesempatan dari volatil matter melakukan dekomposisi lebih panjang, sehingga x_s naik. Tetapi kenaikan itu sudah tidak begitu nyata setelah waktu pirolisis mencapai 45 menit.

Waktu tak berhingga (τ_{data}) adalah waktu yang diperlukan sampai dengan hasil residu padat, tar, dan gas mencapai konstan. Nilai τ_{data} diukur mulai dari proses mencapai isothermal sampai massa ampas nilam dalam reaktor saat mencapai konstan nilai massa nilam saat itu dihitung sebagai m_{∞} .

Selanjutnya, data-data itu juga dipakai untuk menghitung

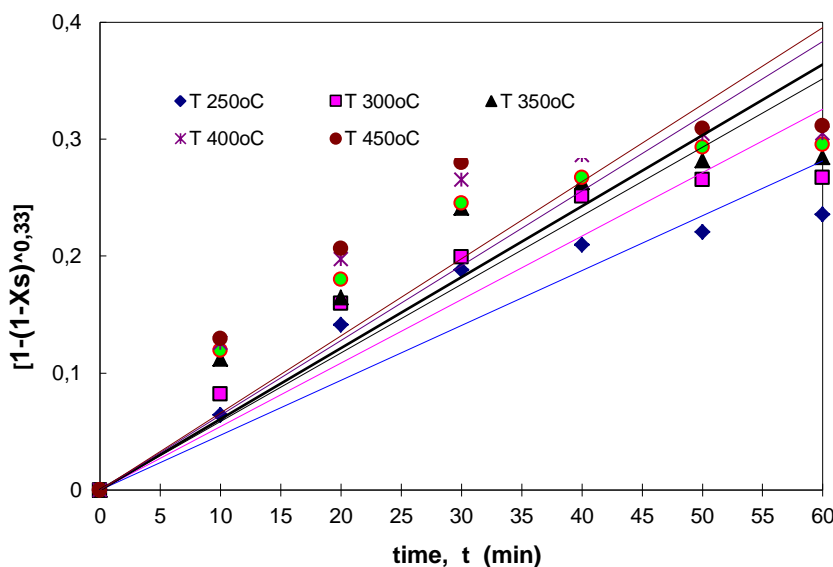
Nilai τ_r dengan persamaan;

$$[1 - (1 - x_s)^{1/3}] = t / \tau_r$$

Atau $X_1 = t / \tau_r$ dengan $x_1 = [1 - (1 - x_s)^{1/3}]$, Berdasarkan pengaruh t terhadap x_s , diperoleh hubungan t dengan x_1 yang disajikan dalam Tabel 1 dan dilukiskan dalam Gambar 4.

Tabel 5. Pengaruh Waktu Pirolisis terhadap Nilai X_1

Waktu (mnt)	Suhu pirolisis					
	250 °C	300 °C	350 °C	380 °C	400 °C	450 °C
0	0	0	0	0	0	0
10	0.06401	0.082114	0.112096	0.1192	0.125692	0.129341
20	0.141229	0.159703	0.16445	0.179852	0.197577	0.206299
30	0.188196	0.199306	0.241142	0.245216	0.265246	0.279945
40	0.209843	0.251113	0.263194	0.26731	0.286432	0.299773
50	0.220668	0.265246	0.281664	0.29304	0.304335	0.308958
60	0.235587	0.26731	0.284257	0.29527	0.304795	0.311292



Gambar 4. Hubungan Nilai $[1-(1-x_s)^{1/3}]$ dengan Waktu

Secara numerik dapat dihitung nilai τ_{hitung} (tabel1) Setelah nilai τ_{hitung} dapat ditentukan, lalu nilai konstante laju dekomposisi (k) yang terdapat pada persamaan :

$$\tau_r = [(r_o \rho)/(m_\infty k)] \quad \text{Atau } k = [(r_o \rho)/(m_\infty \tau_r)]$$

dapat dihitung.

Berdasarkan model kinetika reaksi heterogen ternyata semua data dapat dikorelasikan dengan baik terhadap model unreacted-core. Seperti halnya pengaruh waktu, kenaikan suhu pirolisis juga menyebabkan bahan yang terovolatilisasi semakin besar, sehingga fraksi yang terdekomposisi (x_s) naik. Kenaikan itu, terjadi karena gerakan molekul-molekul volatil matter bertambah. Hasil terbaik

yang dapat dicapai 65% dan terjadi pada waktu 35 menit dan suhu 400 °C.

KESIMPULAN

Hasil terbaik terjadi pada waktu 35menit, suhu 400 °C, dengan nilai x_s 65 %. Kinetika reaksi mengikuti model homogen semu dengan model un reacted core. Pengaruh waktu dan suhu terhadap konversi hasil dapat dinyatakan dalam hubungan $x_s = 6.2554 \cdot 10^{-4} \cdot t^{0,1117} \cdot T^{1,643}$

DAFTAR PUSTAKA

Manoi,F; (2012). Perkembangan teknologi pengolahan dan penggunaan minyak nilam serta pemanfaatan limbahnya, Balai penelitian tanaman obat dan aromatik
Mulyadi, E., Triana 2010 “ *Kinetika Reaksi Katalitik Dekomposisi Gambut*”, Semnas Hasil Penelitian Balitbang prov Jatim, ISBN 978-979-10-8

Pujianto, H, Ferichani, M, dan Barokah, U, 2012, *Analisis Usaha Penyulingan Nilam di Kecamatan Bantar Kawung Kabupaten Brebes*, e-Jurnal Agrista ISSN 2302-1713
Rodiansono, Trisunaryanti,W.,dan Triyono, (2007). Pembuatan, dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastic menjadi Fraksi Bensin, Berkala MIPA,17,2.
Trianna, N.,W. dan Rochimoellah,M, (2002). “Model Kinetika Reaksi Heterogen pada Pirolisis”,Prosiding Rekayasa Kimia dan Proses, ISSN 1411-4216, B-16, UNDIP.
Trianna, N.W.dan Mulyadi,E., (2012). Peran inert pada fraksinasi sampah plastik, Prosiding ; Pemanfaatan Hasil Riset untuk Menunjan Pemberdayaan Ekonomi Lokal dan Industri., ISBN 978-602-9372-496, SEMNAS LPPM UPNjatim,Surabaya
Umiati,S, Nurjanah,N, dan Yuliani,S; 2012, *Limbah Penyulingan Sereh Wangi dan Nilam Sebagai Insektisida Pengusir Lalat Rumah.* , J. Tek. Ind.Pert, Vol 15 (1) hal 10-16