



Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kinetik Rate dan Volume Tar pada Limbah Serbuk Kayu Mahoni

Effect of Pyrolysis Temperature on Kinetic Rate and Volume of Tar in Mahogany Wood Waste Powder

Purbo Suwandono ^{*}, ¹⁾, Andy Hardianto ²⁾

¹⁾Teknik Mesin, Universitas Widyagama, Indonesia

²⁾Teknik Industri, Universitas Widyagama, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: purbo@widyagama.ac.id

Abstrak. Pirolisis merupakan salah satu teknologi alternatif yang merupakan metode untuk mendapatkan sumber energi hidrokarbon. Teknologi ini adalah teknologi pembakaran tanpa melibatkan O_2 dalam proses pembakarannya. Sumber bahan bakar dari pirolisis ini berasal dari sumber daya yang terbarukan seperti biomass/tumbuhan. Serbuk kayu sendiri dapat diperoleh dari limbah kayu disekitar kita, maka serbuk kayu yang merupakan biomass juga bisa digunakan sebagai bahan baku dalam proses pirolisis. Selama ini limbah kayu hanya dimanfaatkan sebagai media penanaman jamur dan penghara. Padahal pemanfaatan limbah kayu pada pembuatan asap cair dan arang telah mendapat perhatian pada beberapa tahun belakangan ini, yang dapat diproduksi dengan metode pirolisis. Hipotesa dari penelitian adalah semakin tinggi temperatur maka kinetik rate dan volume tar juga semakin tinggi. hal ini dikarenakan energi yang diberikan kepada biomassa juga semakin tinggi. Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan mempirolisis bahan ke dalam mesin piroliser dengan dilakukan variasi temperatur, dan nantinya akan dihitung kinetik rate reaksi dari tar yang terbentuk. Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal yaitu: Semakin tinggi temperatur volume tar yang dihasilkan akan semakin banyak dimana volume maksimal didapatkan pada temperatur $500^\circ C$ sebesar 72 ml, tetapi pada temperatur yang sangat tinggi volume tar menurun karena banyak gas yang terbentuk. Semakin tinggi temperatur pemanasan, maka kinetik rate yang terjadi pada dekomposisi kayu mahoni juga akan semakin cepat, hal ini sudah divalidasi keakuratan kinetik rate yang terjadi dengan cara membandingkan volume aktual dengan volume hasil perhitungan. Semakin tinggi temperatur pemanasan, energi aktivasi (E_a) dan eksponensial faktor (A) akan semakin kecil.

Keywords- Tar; Pirolisis; Kayu Mahoni; Kinetic Rate; Temperatur

Abstract. Pyrolysis is an alternative technology that is a method for obtaining hydrocarbon energy sources. This technology is a combustion technology without involving O_2 in the combustion process. The source of fuel from pyrolysis comes from renewable resources such as biomass / plants. Wood powder itself can be obtained from wood waste around us, so wood powder which is a biomass can also be used as raw material in the pyrolysis process. So far wood waste has only been used as a medium for planting mushrooms and fires. Whereas the use of wood waste in the manufacture of liquid smoke and charcoal has received attention in recent years, which can be produced by the pyrolysis method. The hypothesis of the study is that the higher the temperature, the higher the kinetic rate and volume of tar. this is because the energy given to biomass is also higher. The research method is to pyrolyze the material into the pyrolyzer machine with temperature variations, and later the reaction rate kinetic of the formed tar will be calculated. From this study we can conclude a number of things, namely: The higher the temperature of the volume of tar produced will be more numerous where the maximum volume obtained at a temperature of $500^\circ C$ is 72 ml, but at very high temperatures the tar volume decreases because a lot of gas is formed. The higher the heating temperature, the kinetic rate that occurs in the decomposition of mahogany wood will also be faster, this has been validated the accuracy of the kinetic rate that occurs by comparing the actual volume with the volume of calculation results. The higher the heating temperature, the activation energy (E_a) and the exponential factor (A) will be smaller.

Keywords- Tar; Pyrolysis; Kayu Mahoni; Kinetic Rate; Temperatur

How to cite: Suwandono Purbo, Hardianto Andy (2019) Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kinetik Rate dan Volume Tar pada Limbah Serbuk Kayu Mahoni . R.E.M (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal 4 (1). doi: 10.21070/r.e.m.v4i1.1782

PENDAHULUAN

Pirolisis merupakan salah satu teknologi alternatif yang merupakan metode untuk mendapatkan sumber energi hidrokarbon. Teknologi ini adalah teknologi pembakaran tanpa melibatkan O_2 dalam proses pembakarannya [1]. Sumber bahan bakar dari pirolisis ini berasal dari sumber daya yang terbarukan seperti biomass/tumbuhan [2, 3]. Disamping sumber daya yang terbarukan, hasil dari pirolisis ini menghasilkan zat yang ramah lingkungan namun memiliki manfaat yang banyak, seperti tar, char dan gas. Karena serbuk kayu sendiri dapat diperoleh dari limbah kayu disekitar kita, maka serbuk kayu yang merupakan biomass juga bisa digunakan sebagai bahan baku dalam proses pirolisis. Limbah kayu sendiri tersedia dalam jumlah yang banyak sekitar 38-43% dari penebangan pohon, antara lain berupa serbuk kayu, potongan kayu dan sisa ketaman kayu [4-7]. Selama ini limbah kayu hanya dimanfaatkan sebagai media penanaman jamur dan penghara [8]. Padahal pemanfaatan limbah kayu pada pembuatan asap cair dan arang telah mendapat perhatian pada beberapa tahun belakangan ini, yang dapat diproduksi dengan metode pirolisis. [9-12]

Biomassa atau kayu sendiri merupakan sebuah material ligno-cellulosic. Biomassa ini terdiri dari beberapa komponen berbeda dengan sifat thermal yang berbeda-beda pula. Adapun komponen utama penyusunnya adalah cellulose, hemicellulose dan lignin [4, 13]. Pada proses pirolisis, karbohidrat (cellulose, hemicellulose) rusak ikatannya dan menghasilkan produk dengan berat molekul rendah yang mudah menguap.

METODE

Dalam penelitian ini digunakan metode penelitian nyata (true experimental research) yang dilakukan di laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang. Variabel bebas merupakan salah satu variabel dalam penelitian, dimana nilainya ditentukan sendiri dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur pemanasan pada saat proses pirolisis yaitu $250^{\circ}C$, $350^{\circ}C$, $400^{\circ}C$, $500^{\circ}C$ dan $600^{\circ}C$. Sedangkan variabel terikat nilainya tidak dapat ditentukan langsung tetapi merupakan hasil yang tergantung dari variabel bebas dan proses perhitungan data. Dalam penelitian ini variabel terikat yang dianalisis adalah volume tar dan perhitungan kinetic rate dari tar yang terbentuk selama proses pirolisis yang dilakukan dalam waktu 2 jam.

Instalasi ini berfungsi untuk melakukan proses pirolisis dimana bahan baku dengan bahan utama berupa limbah serbuk kayu mahoni. Bahan ini dimasukkan ke dalam piroliser dan kemudian suhu pemanasannya diatur, Gambar 1.

[Figure 1 about here.]

Penjelasan gambar:

1. Tabung nitrogen
2. Flowmeter untuk mengatur masuknya nitrogen
3. Heater
4. Tempat biomassa /
5. Thermo controller atau panel untuk mengatur temperatur piroliser
6. Es batu untuk pendinginan supaya terjadi kondensasi
7. Tar yang terbentuk dari proses kondensasi
8. Kamera untuk meneliti volume yang terbentuk
9. Thermocouple

Prosedur Penelitian

- Tahap persiapan spesimen

1. Membersihkan
2. Menyeragamkan butiran dengan ukuran yang sudah ditentukan
3. Mengambil 100 gram

- Tahap proses pirolisis

1. Selanjutnya
2. Katup nitrogen dibuka untuk mengalirkan nitrogen kedalam ruang pemanas piroliser selama lima menit dengan flow rate tiga liter per menit.
3. Kemudian katup nitrogen ditutup dan selanjutnya menyetting temperature sesuai variable penelitian pada temperatur control lalu heater pada piroliser dihidupkan selama dua jam.
4. Selama proses pirolisis berlangsung selama dua jam, mengamati volume tar yang terjadi rate dengan cara merekam dengan kamera digital. Menghitung kinetic rate dari limbah plastik berdasarkan hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume dan Temperatur Pirolisis

[Figure 2 about here.]

Setelah dilakukan proses pirolisis, dapat dilihat pada Gambar 2 di atas bahwa semakin tinggi temperatur maka tar yang dihasilkan juga semakin tinggi. Pada temperatur rendah yaitu pada temperatur 250°C dimana pada grafik berwarna biru muda dapat dilihat bahwa tar terbentuk pertama kali pada menit 69 dan terus naik hingga pada menit 120 sebesar 20 ml. Setelah menit 180 hingga proses pirolisis berakhir pada menit 180 tidak ada penambahan volume lagi, hal ini dikarenakan pada temperatur ini tidak cukup energi untuk memecah ikatan pada kayu mahoni.

Pada temperatur 350°C dimana pada grafik berwarna orange, dapat dilihat bahwa tar sudah mulai terbentuk pada menit 42 dan terus meningkat sampai menit 105 dengan volume tar sebesar 55 ml. Setelah menit 105 tidak ada lagi penambahan tar yang terjadi. Dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan tar yang signifikan apabila dibandingkan dengan temperatur tar sebelumnya. Hal ini dikarenakan energi yang dibutuhkan untuk memecah ikatan kimia sudah tercukupi dan pada temperatur inilah proses pirolisis dapat terjadi dengan baik, sehingga volume tar yang terbentuk sudah sesuai dengan dasar teori.

Pada temperatur 400°C dimana pada grafik berwarna abu-abu, dapat dilihat bahwa tar sudah mulai terbentuk pada menit 33 dan terus meningkat sampai menit 93 dengan volume tar sebesar 68 ml. Setelah menit 93 tidak ada lagi penambahan tar yang terjadi. Pada temperatur 500°C dimana pada grafik berwarna kuning adalah temperatur optimal untuk menghasilkan tar yang paling banyak. Pada menit 18 tar sudah mulai terbentuk dan akan terus meningkat sampai menit 90 sebesar 72 ml. Setelah menit 90 sampai 180 tidak ada lagi penambahan tar karena semua biomassa kayu mahoni sudah terdekomposisi. Pada temperatur 500°C didapatkan volume tar yang paling banyak karena tar yang didapatkan dari gas yang terkondensasi ini mampu terkondensasi secara baik.

Pada temperatur 600°C dimana pada grafik berwarna biru, dapat dilihat bahwa tar malah menurun. Pada menit 27 tar mulai terbentuk dan terus meningkat sampai pada menit 72 sebesar 70 ml. Setelah menit 72 hingga 180 tar sudah tidak terbentuk lagi. Ada fenomena yang menarik untuk dibahas disini yaitu pada temperatur 500°C tar yang terbentuk sebesar 72 ml dan pada temperatur 600°C tar yang terbentuk sebesar 70 ml. Terjadi penurunan jumlah tar seiring dengan kenaikan temperatur, hal ini disebabkan pada temperatur tinggi energi yang diberikan kepada biomassa untuk melakukan dekomposisi juga tinggi, sehingga pada waktu yang singkat biomassa akan terpecah langsung menjadi non-kondensabel gas. Karena temperatur yang tinggi ini maka non-kondensabel gas yang terbentuk juga akan meningkat sehingga gas yang terbentuk semakin banyak dengan konsekuensi volume tar yang terbentuk semakin kecil.

Kinetik Rate

[Figure 3 about here.]

Dari data volume dan temperatur gambar Gambar 3 diatas bisa didapatkan suatu persamaan kinetik rate atau laju reaksi. Ambil contoh data pada menit 84 dan 87 pada temperatur 250°C. Didapatkan volume tar pada menit 84 sebesar 8 ml dan pada menit 87 sebesar 10 ml. Maka dengan menggunakan persamaan Gambar 4 .

[Figure 4 about here.]

Dimana: dv = perubahan volume dalam interval tertentu

dt = selang waktu pengambilan data

V = volume pada waktu tertentu

V_0 = Volume awal

V_{\sim} = Volume akhir

[Figure 5 about here.]

Gambar 5 merupakan contoh untuk mendapatkan nilai k pada perbedaan menit 84 ke 87, karena penelitian dilakukan selama 3 jam, maka perlu dicari nilai k dengan cara yang sama untuk menit 0 sampai menit 180. Setelah didapatkan semua nilai k maka perlu dicari nilai dari $\ln k$ yang nantinya dibuat grafik dimana $\ln k$ berada pada sumbu y dan $1/T$ pada sumbu x . Cara ini juga dilakukan untuk variasi temperatur yang lain.

Kinetik Rate Temperatur 250°C

[Figure 6 about here.]

Dari persamaan $y = -28400x + 53,128$ pada Gambar 6 didapatkan persamaan kinetik rate tar dan beberapa konstanta lain seperti energi aktivasi (E_a) dan eksponensial faktor, yang merupakan persamaan linier. Dengan menggunakan konstanta gas universal 8.314 J/molK, maka dengan persamaan $-28400 \times 8.314 = -236117,6$ (kJ/mol) didapatkan energi aktivasi. Laju pemanasan atau heating rate dalam penelitian ini adalah 1073K/60 menit sehingga β (laju pemanasan per menit) adalah 17,88333 K/min (yang digunakan untuk menentukan pre eksponensial faktor. Persamaan kinetik ini merupakan persamaan eksponensial sehingga harus dicari nilai dari $\ln \beta = 2,883869$. Dengan nilai $\ln A = \ln \beta + 53,128 = 56,00387$. Setelah didapatkan nilai $\ln A = 56,000387$ dari perhitungan di atas didapatkan nilai $A = e^{56,000387} = 2.1E+24$.

Nilai yang menyatakan seberapa sering terjadi tumbukan pada suatu molekul tiap menit adalah eksponensial faktor yang dapat diekspresikan sebagai $A/\beta = 1,17415E+23$ menit⁻¹. Dari nilai ini dapat dibentuk suatu persamaan kinetik rate untuk temperatur 250°C yaitu: $k = 1,17415E+23 e^{-28400/T}$.

Untuk mengetahui seberapa akurat hasil kinetik rate yang sudah didapatkan maka hasil dari kinetik rate dikembalikan ke bentuk volume. Langkah ini juga untuk mengoreksi hasil kinetik rate yang sudah didapatkan betul atau salah.

[Figure 7 about here.]

Gambar 7 menunjukkan bahwa volume hitung sudah mendekati nilai volume aktual, ini menunjukkan bahwa nilai kinetik rate sudah valid.

Kinetik Rate Temperatur 350°C

[Figure 8 about here.]

Dari persamaan $y = -17584x + 29,748$, pada Gambar 8 yang merupakan persamaan linier, didapatkan persamaan kinetik rate tar dan juga beberapa konstanta lain seperti energi aktivasi (E_a) dan eksponensial faktor. Dengan menggunakan konstanta gas universal 8,314 J/molK, maka dengan $-17584 \times 8,314 = -146193,376$ (kJ/mol) energi aktivasi didapatkan. Laju pemanasan atau heating rate dalam penelitian ini yaitu 1073K/60 menit sehingga β (laju pemanasan per menit) adalah 17,88333 K/min, yang digunakan untuk menentukan pre eksponensial faktor. Persamaan kinetik rate ini merupakan persamaan eksponensial sehingga harus dicari nilai $\ln \beta = 2,88386918$. Dan nilai $\ln A = \ln \beta + 29,748 = 32,62386918$. Setelah diketahui nilai $\ln A = 32,62386918$ didapatkan nilai $A = e^{32,62386918} = 1.34E+08$.

ilai yang menyatakan seberapa sering terjadi tumbukan pada suatu molekul tiap menit adalah eksponensial faktor, $A/\beta = 8,23982E+12 \text{ menit}^{-1}$. Sehingga dapat didapatkan persamaan kinetik rate untuk temperatur 250°C yaitu: $k = 8,23982.10^{12} e^{-17584/T}$.

Untuk mengetahui seberapa akurat hasil kinetik rate yang sudah didapatkan maka hasil dari kinetik rate dikembalikan ke bentuk volume. Langkah ini juga untuk mengoreksi hasil kinetik rate yang sudah didapatkan betul atau salah.

[Figure 9 about here.]

Dari Gambar 9 di atas dapat dilihat bahwa volume hitung sudah mendekati dengan volume aktual yang artinya bahwa nilai kinetik rate sudah valid.

Kinetik Rate Temperatur 600°C

[Figure 10 about here.]

Dari persamaan $y = -7230.3 + 10,555$, pada Gambar 10 yang merupakan persamaan linier, persamaan kinetik rate tar dan juga beberapa konstanta lain seperti energi aktivasi (E_a) dan eksponensial faktor didapatkan. Dengan menggunakan konstanta gas universal 8,314 J/molK, maka energi aktivasi didapatkan dengan persamaan $-7230 \times 8,314 = -60110,22$ (kJ/mol). Laju pemanasan atau heating rate pada penelitian ini sebesar 1073K/60 menit sehingga β (laju pemanasan per menit) adalah 17,88333333 (K/min) dan berpengaruh terhadap pre eksponensial faktor. Persamaan kinetik rate ini merupakan persamaan eksponensial sehingga dihitung nilai dari $\ln \beta = 2,88386918$. Dimana nilai $\ln A = \ln \beta + 16.296 = 13,43386918$. Setelah didapatkan nilai $\ln A = 13,43386918$ didapatkan nilai $A = e^{13,433} = 682739,9$

Nilai yang menyatakan seberapa sering terjadi tumbukan pada suatu molekul tiap menit adalah eksponensial faktor yaitu $A/\beta = 38177,43831 \text{ menit}^{-1}$. Sehingga persamaan kinetik rate untuk temperatur 600°C yaitu: $k = 38177,43831 e^{-7230/T}$

Untuk mengetahui seberapa akurat hasil kinetik rate yang sudah didapatkan maka hasil dari kinetik rate dikembalikan ke bentuk volume. Langkah ini juga untuk mengoreksi hasil kinetik rate yang sudah didapatkan betul atau salah.

[Figure 11 about here.]

Dari Gambar 11 terlihat bahwa volume perhitungan yang didapatkan dari kinetik rate sudah berhimpit dengan nilai volume aktual, ini menunjukkan bahwa proses perhitungan kinetik rate sudah cukup akurat.

Dari uraian dari variasi temperatur didapatkan kinetik rate yang berbeda, dimana kinetik rate ini adalah persamaan laju reaksi dari suatu pembentukan tar [14].

[Table 1 about here.]

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur maka kinetik rate juga semakin tinggi, yang berbanding terbalik dengan energi aktivasi dan eksponensial faktor yang terjadi. Energi aktivasi akan semakin menurun dengan semakin tingginya temperatur maksudnya adalah energi yang dibutuhkan untuk melakukan dekomposisi sudah cukup untuk menghasilkan tar tertentu.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa dari penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi temperatur terhadap volume tar dan kinetik rate hasil pirolisis serbuk kayu mahoni sebagai berikut:

1. Semakin tinggi temperatur volume tar yang dihasilkan akan semakin banyak dimana volume maksimal didapatkan pada temperatur 500°C sebesar 72ml, tetapi pada temperatur yang sangat tinggi volume tar menurun karena banyak gas yang terbentuk.
2. Semakin tinggi temperatur pemanasan, maka kinetik rate yang terjadi pada dekomposisi.
3. Semakin tinggi temperatur pemanasan, energi aktivasi (E_a) dan eksponensial faktor (A) akan semakin kecil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih terhadap LPPM Universitas Widyagama yang telah memberikan dana penelitian dan kepada teman-teman peneliti yang telah berkontribusi terhadap penelitian ini, penelitian ini masih banyak kekurangan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

REFERENCES

- [1] J. Rath, "Heat of Wood Pyrolysis," *Fuel*, vol. 82, pp. 81–91, 2002.
- [2] P. Basu, "Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory," and others, Ed. Elsevier, 2010.
- [3] B. V. Babu and A. S. Chaurasia, "Pyrolysis of biomass: improved models for simultaneous kinetics and transport of heat, mass and momentum," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 9, pp. 1297–1327, 2004.
- [4] Brebu, "Thermal Degradation of Lignin." Romania: Petru Poni Institute of Macromolecular Chemistry, 2009, pp. 700 487–700 487.
- [5] I. Fatimah, "Pengaruh Laju Pemanasan terhadap Komposisi Biofuel Hasil Pirolisis Serbuk Kayu," *Jurnal Logika*, vol. 1, no. 1, 2004.
- [6] D. L. Klass, "Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals," and others, Ed., vol. 30. Academic Press, 1998, pp. 30, 233, 239, 276–277.
- [7] J. Piskorz, D. S. Scott, and D. Radlien, "Composition of oils obtained by fast pyrolysis of different woods," and others, Ed. American Chemical Society, 1988, pp. 167–178.
- [8] Isroi *et al.*, "Biological Pretreatment of Lignocelluloses With White-Rot Fungi and Its Applications: A Review," *Bioresources*, 2011.
- [9] A. V. Bridgwater, "Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids," *Journal of Analytical and Applied Physics*, vol. 51, no. 1-2, pp. 3–22, 1999.
- [10] H. Saptoadi *et al.*, "Utilization of Plastics Waste Oil as Partial Substitute for Kerosene in Pressurized Cookstoves," *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 6, no. 5, 2015.
- [11] R. F. Probstein and R. E. Hicks, "Synthetic Fuels," and others, Ed., vol. 63. Dover Publications, 2006, pp. 63, 98–99.
- [12] J. D. Rocha, S. D. Brown, G. D. Love, and C. E. Snape, "Hydropyrolysis: a versatile technique for solid fuel liquefaction, sulphur speciation and biomarker release," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 40, pp. 91–103, 1997.
- [13] K. Kudo and E. Yoshida, "The decomposition process of wood constituents in the course of carbonization I: the decomposition of carbohydrate and lignin in Mizunara," *Journal of the Japan Wood Research Society*, vol. 3, no. 4, pp. 125–127, 1957.
- [14] A. Broido, "Kinetics. Kinetic of Solid – Phase Cellulose Pyrolysis. Thermal User and Properties of Carbohydrates and Lignin," pp. 19–35, 1976.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Article History:

Received: 11 Desember 2018 | Accepted: 5 Juni 2019
| Published: 30 Juni 2019

LIST OF TABLES

1 **Persamaan Kinetik Rate dan Nilai Kinetik Rate** 79

Table 1. Persamaan Kinetik Rate dan Nilai Kinetik Rate

T (oC)	Persmaan Kinetik Rate	A/β	1/T	A	Ea	Kinetik Rate (min ⁻¹)
250	$k = 1,174.1023 e^{-28400/T}$	1,174E+23	0,001912	2,1E+24	-236117,6	0,306593407
350	$k = 3,272.10^{12} e^{-17584/T}$	3,272E+12	0,001605	1,47E+14	- 146193,376	1,80706079
450	$k = 62457694 e^{-11742/T}$	62457694	0,001383	1120000	- 997622,988	5,525286295
500	$k = 52575,21027 e^{-7050/T}$	52575,21027	0,001294	9404200	-58613,7	5,752812961
600	$k = 38177,43831 e^{-7230/T}$	38177,43831	0,001145	682739,9	-60110,22	9,662114685

LIST OF FIGURES

1	Instalasi Pirolisis	81
2	Pengaruh Temperatur terhadap Volume Tar	82
3	Grafik Hubungan antara Temperatur dan Waktu	83
4	Persamaan kinetic rate	84
5	Contoh perhitungan nilai k	85
6	Grafik Hubungan antara $\ln K$ dengan $1/T$ pada Temperatur 250°C	86
7	Grafik Hubungan antara Volume Aktual dan Volume Perhitungan terhadap Waktu pada Temperatur 250°C	87
8	Grafik Hubungan antara $\ln K$ dengan $1/T$ pada Temperatur 350°C	88
9	Grafik Hubungan antara Volume Aktual dan Volume Perhitungan terhadap Waktu pada Temperatur 350°C	89
10	Grafik Hubungan antara $\ln K$ dengan $1/T$ pada Temperatur 600°C	90
11	Grafik Hubungan antara Volume Aktual dan Volume Perhitungan terhadap Waktu pada Temperatur 600°C	91

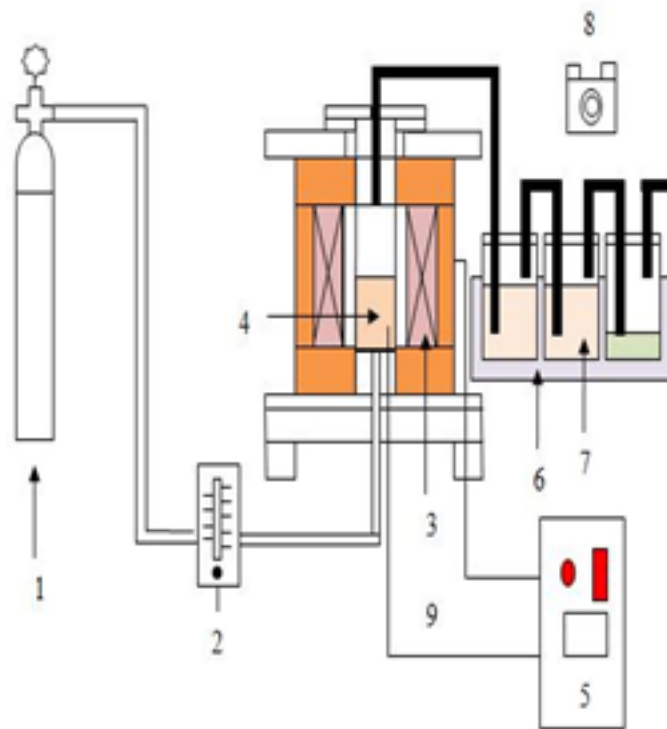


Figure 1. Instalasi Pirolisis

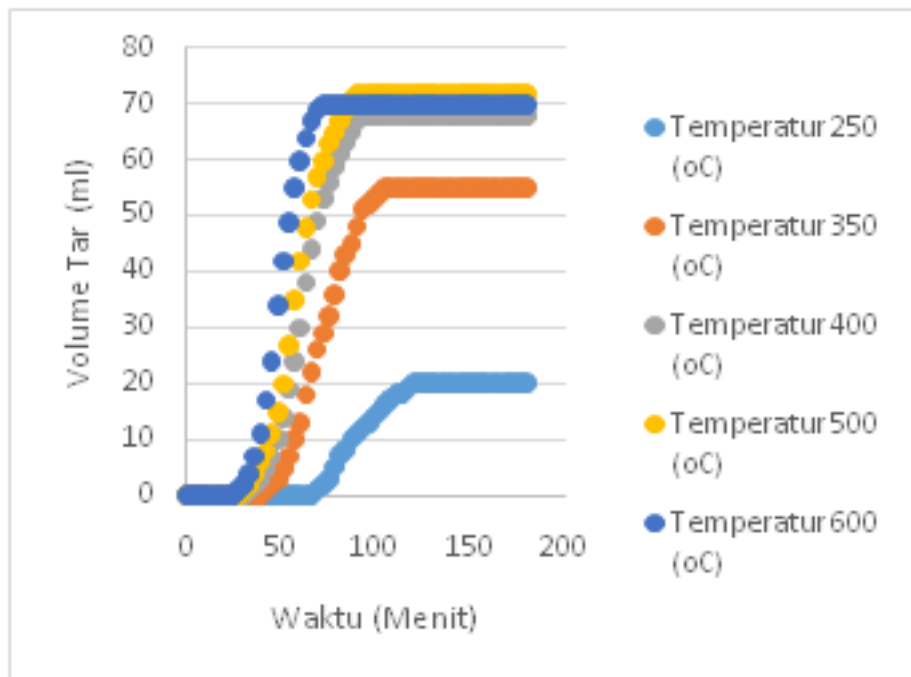


Figure 2. Pengaruh Temperatur terhadap Volume Tar

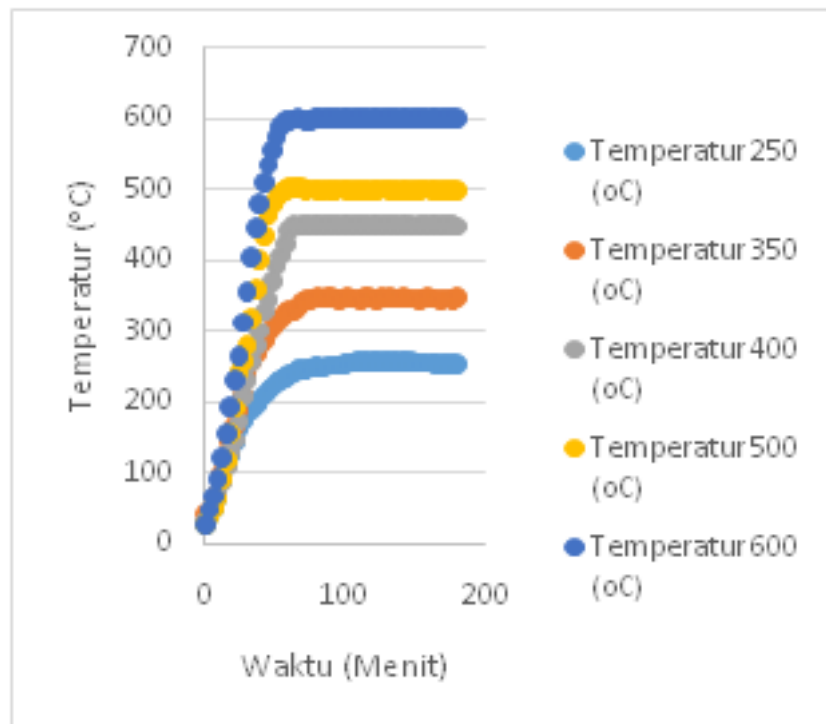


Figure 3. Grafik Hubungan antara Temperatur dan Waktu

$$\frac{dv}{dt} = k_f \left(\frac{V - V_\infty}{V_0 - V_\infty} \right)$$

Figure 4. Persamaan kinetic rate

$$\frac{10 - 8}{3} = k \left(\frac{10 - 20}{0 - 20} \right), k = 1,33$$

Figure 5. Contoh perhitungan nilai k

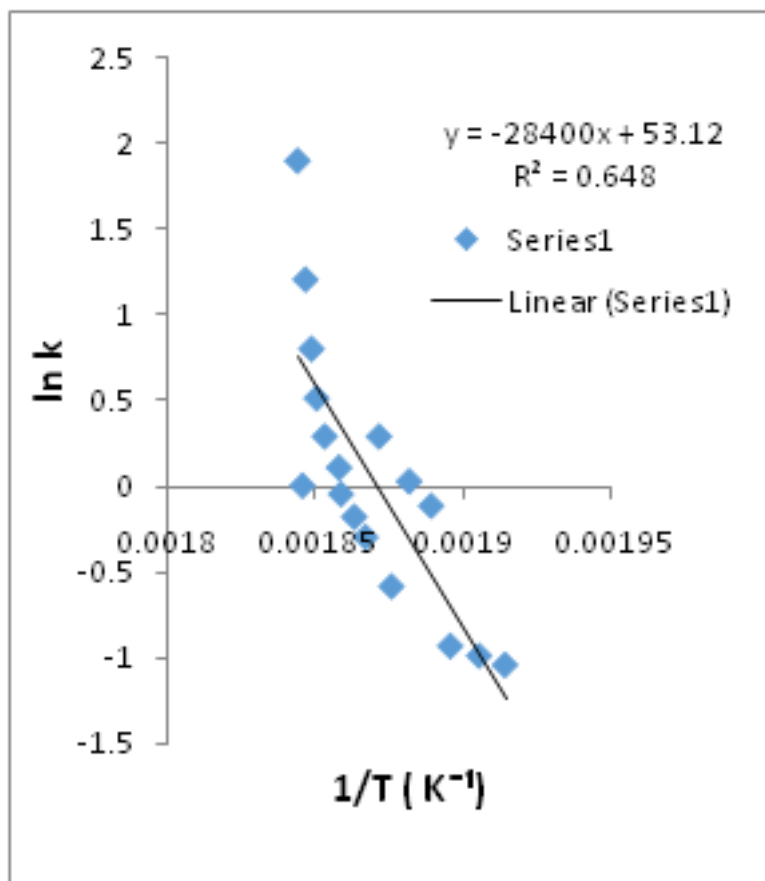


Figure 6. Grafik Hubungan antara $\ln k$ dengan $1/T$ pada Temperatur 250°C

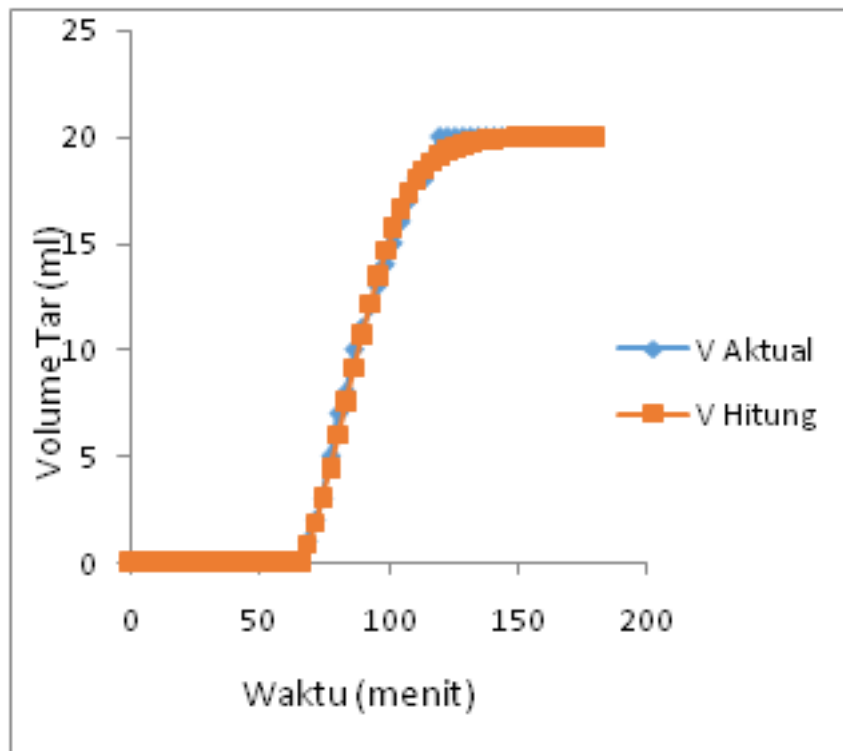


Figure 7. Grafik Hubungan antara Volume Aktual dan Volume Perhitungan terhadap Waktu pada Temperatur 250°C

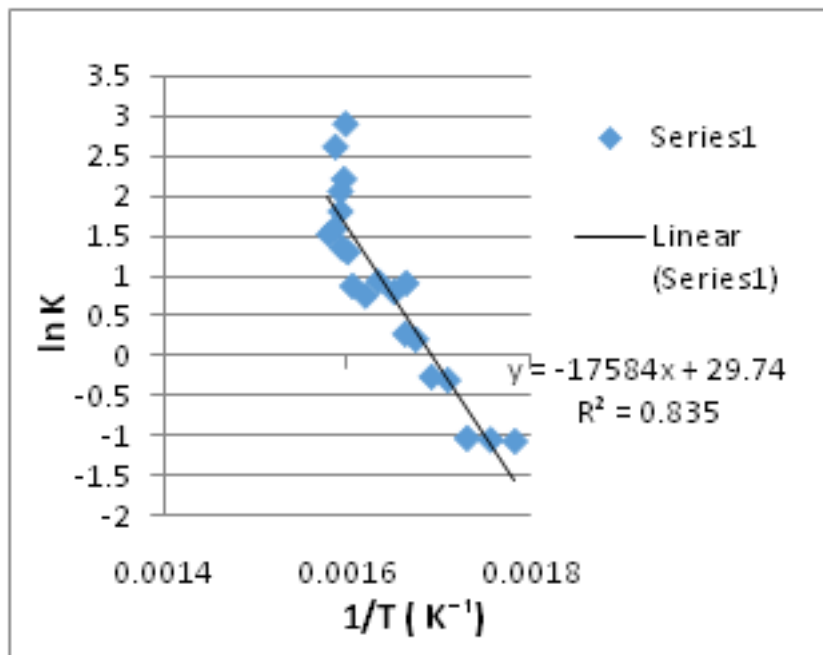


Figure 8. Grafik Hubungan antara ln K dengan 1/T pada Temperatur 350°C

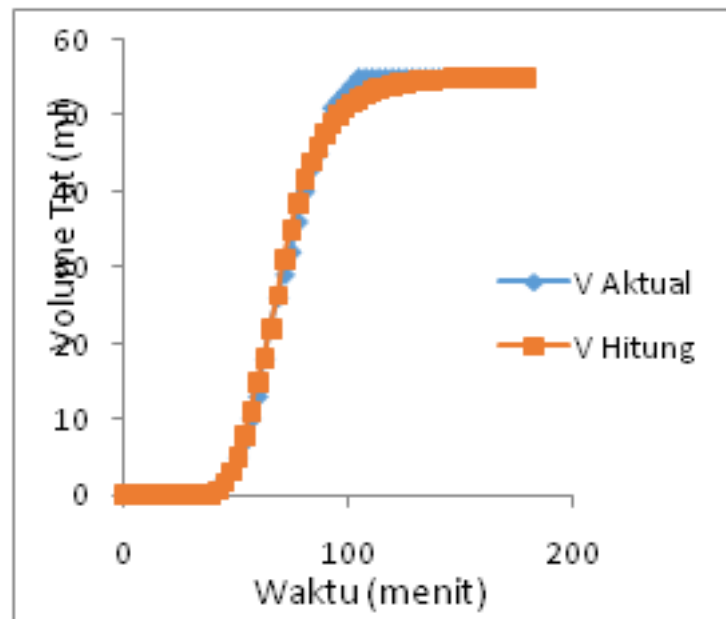


Figure 9. Grafik Hubungan antara Volume Aktual dan Volume Perhitungan terhadap Waktu pada Temperatur 350°C

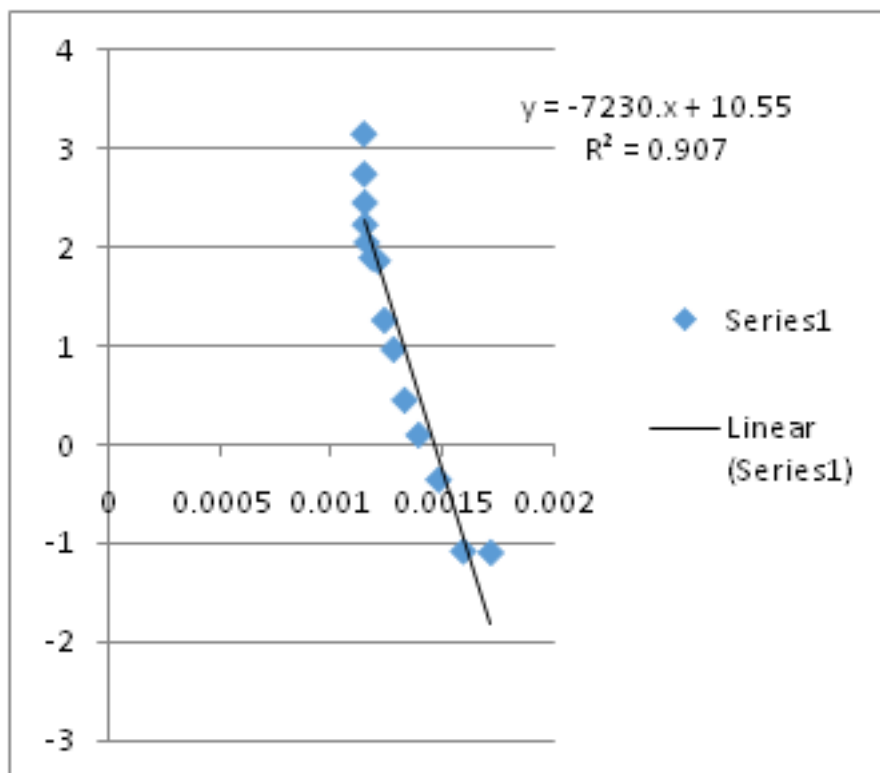


Figure 10. Grafik Hubungan antara $\ln K$ dengan $1/T$ pada Temperatur 600°C

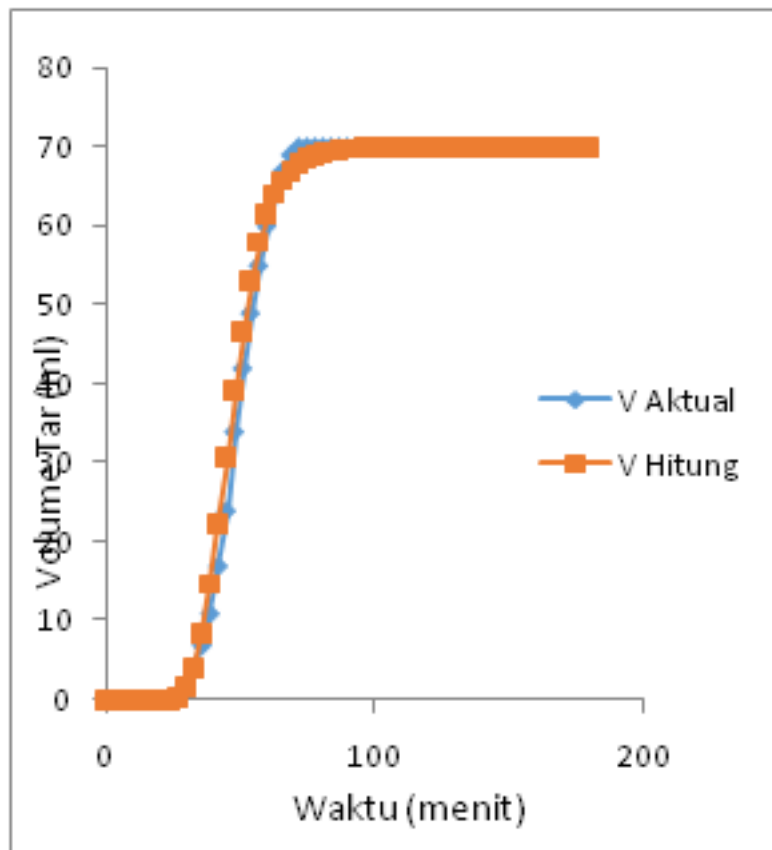


Figure 11. Grafik Hubungan antara Volume Aktual dan Volume Perhitungan terhadap Waktu pada Temperatur 600 °C