



EKSERGI

Majalah Ilmiah Fakultas Teknologi Industri

ISSN 1410 – 394 X

Nomor 8 Tahun VII, Desember 2003

Proses Pemungutan Minyak Bumi Dari Reservoir

I Gusti S. Budiawan

Pemrograman Mesin CNC 2A Dengan Metode Inkremental (Suatu Tinjauan Pada Mesin CNC EMCO)

Sadi

Tinjauan Kinetika Polimerisasi Eugenol Menggunakan Pelarut n-Heksan

T. Christyadi

Dekolorisasi Lilin Parafin Secara Proses Kontak Dengan Adsorben Bauksit

Jaka Purwanta, dan Zubaidi Achmad

Rekonstruksi Citra Hasil Seismik Tomografi Menggunakan Metode ART (Studi Kasus Pada Zone Rekahan)

Herry Sofyan, dan Heru Cahya Rustamaji

Teknologi Multimedia Over Internet Protocol (MoIP) Untuk Membangun Aplikasi Multimedia Pada Jaringan Internet

Juwairiah

Koefisien Perpindahan Massa Volumetrik Ekstraksi Kurkumin Dari Kunyit Dengan Pelarut Etanol Secara Semi Batch

Mahreni dan Sri Mulyani

Hidrolisis Enzimatik Minyak Sawit Menggunakan Lipase

Sri Wahyu Murni dan Sri Sukadarti

Pengaruh Katalisator Basa Pada Hidrolisis Minyak Kelapa Sawit

Titik Mahargiani

Studi Kinetika Pirolisis Aspal (*The Study of Asphalt Pyrolysis Kinetics*)

Tunjung Wahyu Widayati, Bardi Murachman, dan Suryo Purwono

Mobile Computing Berbasis Agent

Hafsah

**DITERBITKAN OLEH
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA
Jl. Tambakbayan 2, Yogyakarta 55281**

Proses Pemungutan Minyak Bumi Dari Reservoir(103 – 112)

I Gusti S. Budiawan

Pemrograman Mesin CNC 2A Dengan Metode Inkremental (Suatu Tinjauan Pada Mesin CNC EMCO) (113 – 119)

Sadi

Tinjauan Kinetika Polimerisasi Eugenol Menggunakan Pelarut n-Heksan (120 – 130)

T. Christyadi

Dekolorisasi Lilin Parafin Secara Proses Kontak Dengan Adsorben Bauksit (131 – 139)

Jaka Purwanta, dan Zubaidi Achmad

Rekonstruksi Citra Hasil Seismik Tomografi Menggunakan Metode ART (Studi Kasus Pada Zone Rekahan) (140 – 146)

Herry Sofyan, dan Heru Cahya Rustamaji

Teknologi Multimedia Over Internet Protocol (MoIP) Untuk Membangun Aplikasi Multimedia Pada Jaringan Internet (147 – 154)

Juwairiah

Koefisien Perpindahan Massa Volumetrik Ekstraksi Kurkumin Dari Kunyit Dengan Pelarut Etanol Secara Semi Batch (155 – 166)

Mahreni dan Sri Mulyani

Hidrolisis Enzimatis Minyak Sawit Menggunakan Lipase (167 – 178)

Sri Wahyu Murni dan Sri Sukadarti

Pengaruh Katalisator Basa Pada Hidrolisis Minyak Kelapa Sawit (179 – 183)

Titik Mahargiani

Studi Kinetika Pirolisis Aspal (*The Study of Asphalt Pyrolysis Kinetics*) (184 – 197)

Tunjung Wahyu Widayati, Bardi Murachman, dan Suryo Purwono

Mobile Computing Berbasis Agent (198 – 202)

Hafsah

Studi Kinetika Pirolisis Aspal

The Study of Asphalt Pyrolysis Kinetics

Tanjung Wahyu Widayati¹, Bardi Murachman², Suryo Purwono³

ABSTRACT

Pyrolysis is one of thermal process methods used in utilization of asphalt. Asphalt thermally decomposed under an atmosphere and produced char, gas and tar. In this experiment, two models were used to predict char, gas and tar production. The variabel studied was pyrolysis temperature.

The experiment was carried out in a retort with 10.9 cm in diameter and 19.7 cm in height under atmospheric condition. The temperature was varied between 400-600 ° C. One hundred and fifty grams asphalt was fill in retort , after that condensor and heater were operated. After a desired temoerature was reached, which was assumed as initial reaction, every fifteen minutes liquid and gas samples were analyzed.

The experiment results show there was a corellation between reaction rate constant k_1 and temperature;

for the first model : $k_1 = 827,99 e^{-16038/RT}$ menit⁻¹

for the second model : $k_1 = 269,05 e^{-14394/RT}$ menit⁻¹

These two models valid for temperature between 400-600 ° C.

These model have k_2 and k_3 value;

for the first model : $k_2 = 3,9 \cdot 10^{-6}$ menit⁻¹ and $k_3 = 27,72$ menit⁻¹

for the second model : $k_2 = 3,4 \cdot 10^{-6}$ menit⁻¹ and $k_3 = 27,48$ menit⁻¹

Key Words : Kinetics - Pyrolysis

PENGANTAR

Aspal merupakan salah satu hasil pengilangan minyak bumi yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, sebagai contoh untuk perekat dalam pengerasan jalan, untuk saluran pipa sebagai bahan pelindung . Aspal alam kurang sekali dipakai karena terdapat kendala-kendala dalam pemakaiannya, seperti kandungan aspal yang rendah. Untuk itu perlu dilakukan pengolahan aspal sehingga akan lebih banyak bermanfaat, salah satu nya dengan proses pirolisis.

Tujuan penelitian ini untuk mempelajari mekanisme yang dapat digunakan untuk memprediksi hasil padat, cair dan gas pada proses pirolisis aspal.

Aspal merupakan bahan setengah padat berwarna hitam yang berasal dari minyak bumi. Aspal ada yang terdapat di alam sebagai bahan tambang, yaitu yang disebut aspal alam, seperti aspal alam Buton di pulau Buton Sulawesi Tenggara. Aspal terdiri dari partikel-partikel koloidal aspalten yang terdispersi dalam resin dan konstituen minyak. Perbandingan antara aspalten, resin dan konstituen minyak dalam aspal tergantung pada jenis minyak mentah dari mana berasal dan tergantung pada cara pengolahannya.

¹ Adalah Dosen Jurusan Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta

² dan ³ Adalah Dosen Jurusan Teknik Kimia UGM

Aspalten dapat dipisahkan dari resin dan konstituen minyak dengan jalan melarutkannya dalam naphtha. Aspalten yang tidak larut akan mengendap sebagai serbuk yang berwarna coklat sampai hitam. Komponen aspalten diperkirakan terdiri dari gugus-gugus hidrokarbon aromatis kompleks yang dihubungkan satu sama lain dengan gugus hidrokarbon atau atom belerang dan oksigen.

Konstituen minyak merupakan fraksi minyak pelumas yang mempunyai kekentalan tinggi, berwarna coklat tua atau kemerah-merahan.

Aspal mempunyai sifat adhesi (lengket) dan kohesi (melawan tarikan). Aspal juga mempunyai sifat tahan terhadap air dan mempunyai sifat kimia yang stabil, tidak terpengaruh oleh asam dan basa (Hardjono, 1987).

Proses pirolisis merupakan proses dekomposisi bahan organik dengan menggunakan panas (thermal decomposition) didalam lingkungan inert. Pada proses ini, bahan organik akan terdekomposisi menghasilkan gas, tar dan residu yang berupa arang (Tsai, 1982). Berdasarkan temperatur reaksinya, pirolisis dibedakan menjadi pirolisis temperatur rendah (<700^o C) dengan hasil utama berupa cairan (tar) dan pirolisis temperatur tinggi (>900^o C) dengan hasil utama adalah padatan (arang) (Edgar, 1983 ; Tsai, 1982).

Studi kinetika pirolisis bahan yang kompleks dan tidak homogen (seperti: biomassa dan hasil alam) tidaklah mudah, karena terjadi reaksi yang kompleks sehingga hasil yang diperoleh bermacam-macam. Oleh sebab itu, banyak peneliti yang menyederhanakannya dengan menganggap bahwa bahan baku yang kompleks terdiri dari beberapa penyusun semu (Vargas & Perlmutter, 1986) yang pada pirolisis terurai menjadi tiga kelompok hasil, yaitu gas, cairan (tar), arang, atau lebih dikenal dengan model *three lumps* (Agrawal, 1988; Font, dkk, 1990).

LANDASAN TEORI

Bahan alam mempunyai berat molekul yang kompleks dan tidak mudah ditentukan, maka beberapa alternatif dipakai untuk menggambarkan kecepatan pemecahan zat pereaksi dapat dilakukan dengan beberapa cara,, yakni: Berdasarkan atas berat atau massa bahan yang masih ada dan hasil dinyatakan terhadap bahan baku mula-mula. Karena penentuan berat bahan yang masih tersisa cukup sulit maka beberapa peneliti menggunakan alternatif lain, yakni: Berdasarkan pembentukan hasil dan konversi dihitung berdasarkan hasil maksimal yang dapat dicapai, yaitu hasil yang diperoleh pada waktu yang tak terhingga dan dalam praktek hal ini dicapai dengan melaksanakan pirolisis sampai tidak ada lagi hasil cair dan gas yang keluar (Font, dkk., 1990; Lu & Do, 1991). Pirolisis suatu bahan alam umumnya mengikuti reaksi orde satu (Lu & Do, 1991). Perhitungan parameter kinetika diselesaikan dengan mengganti konstanta kecepatan reaksi dengan persamaan Arrhenius;

$$k = A \exp \left[- \frac{E}{RT} \right] \quad (1)$$

Persamaan diatas dapat dinyatakan dalam bentuk logaritmik:

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT} \quad (2)$$

Persamaan (2) menggambarkan bahwa hubungan ($\ln k$) dengan ($1/T$) adalah linier. Untuk memperoleh harga parameter kinetika reaksi yakni frekuensi tumbukan (A) dan energi aktivasi (E), dibuat kurva hubungan ($\ln k$) dengan ($1/T$). Harga energi aktivasi (E) dihitung dari gradien arah (E/R) dan harga frekuensi tumbukan (A) dihitung dari intersep ($\ln A$).

Secara umum pirolisis hidrokarbon berlangsung melalui mekanisme radikal bebas, yang terdiri dari 3 tahapan (Albright, dkk, 1983):

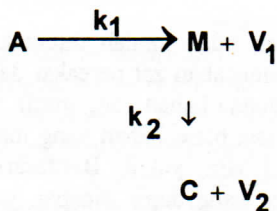
1. Reaksi inisiasi yaitu pemutusan ikatan kimia yang lemah membentuk radikal bebas.
2. Reaksi propagasi yaitu dekomposisi radikal bebas yang berukuran besar.
3. Reaksi terminasi yaitu reaksi radikal bebas membentuk hasil yang stabil.

Menurut Lu dan Do (1991) pirolisis ada 3 tahap dasar:

1. Reaksi depolymerisasi dimana terbentuk fase metaplast.
2. Cracking dimana tar menguap dan zat non aromatic terputus membentuk semi coke
3. Reaksi degasifikasi sekunder dimana semi coke bergabung melalui evolusi hidrogen dan hidrokarbon ringan menghasilkan arang (coke).

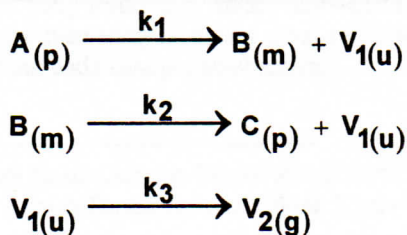
Reaksi pirolisis dapat disederhanakan menjadi 2 tahap yaitu softening dan pembentukan arang yang dibarengi dengan terlepasnya zat-zat volatil baik primer ataupun sekunder. Reaksi pirolisis diatas adalah reaksi orde satu.

Tahap ini dapat ditulis sebagai berikut:



Model I:

Pada penelitian ini, proses pirolisis dimodelkan dengan tahapan-tahapan:



1. Bahan baku padat (A) bereaksi membentuk hasil metaplast (B) dan uap (V_1), dimana uap yang terbentuk sebagian lepas ($1 - \alpha$) dan sebagian terperangkap (α).

2. Hasil metaplast (B) bereaksi membentuk hasil padat coke (C) dan uap (V_1), dimana uap yang terbentuk sebagian lepas ($1 - \beta$) dan sebagian terperangkap (β).
3. Hasil uap (V_1) yang terperangkap dari tahap 1 dan 2 bereaksi membentuk gas (V_2).
 Persamaan kecepatan konversi massa sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = -k_1 A \quad (3)$$

$$\frac{dB}{dt} = k_1 A - k_2 B \quad (4)$$

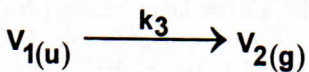
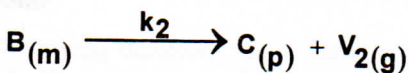
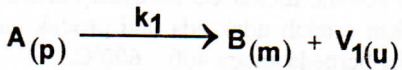
$$\frac{dv_{1out}}{dt} = k_1 A (1 - \alpha) + k_2 B (1 - \beta) \quad (5)$$

$$\frac{dV_{1in}}{dt} = k_1 A \alpha + k_2 B \beta - k_3 V_{1in} \quad (6)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = k_3 V_{1in} \quad (7)$$

Model II :

Model lain yang diajukan dalam penelitian ini berbentuk tahapan-tahapan sebagai berikut:



1. Bahan baku padat (A) bereaksi membentuk hasil metaplast (B) dan uap (V_1), dimana sebagian lepas ($1 - \alpha$) dan sebagian terperangkap (α).
2. Hasil metaplast (B) bereaksi membentuk hasil padat coke (C) dan hasil gas (V_2).
3. Hasil uap (V_1) yang terperangkap pada tahap 1 bereaksi membentuk hasil gas (V_2).

Persamaan kecepatan konversi massa sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = -k_1 A \quad (8)$$

$$\frac{dB}{dt} = k_1 A - k_2 B \quad (9)$$

$$\frac{dV_{1out}}{dt} = k_1 A (1 - \alpha) \quad (10)$$

$$\frac{dV_{1in}}{dt} = k_1 A \alpha - k_3 V_{1in} \quad (11)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = k_2 B + k_3 V_{1in} \quad (12)$$

CARA PENELITIAN

Aspal dengan berat tertentu (150 gr) dimasukkan dalam retort yang berdiameter 10,9 cm dan tinggi 19,7 cm. Selanjutnya air pendingin dialirkan dan mulai menghidupkan pemanas. Retort dipanaskan sampai suhu yang dikehendaki kemudian suhu dipertahankan konstan. Proses pirolisis dilakukan pada tekanan atmosferis. Setelah kondisi pirolisis yang diinginkan tercapai dianggap sebagai awal reaksi dan setiap 15 menit diambil produk cair untuk diukur volume nya dengan gelas ukur dan produk gas diambil dengan suntikan dan volume diukur berdasarkan volume tumpahan air dari bejana pengaman. Proses pirolisis dihentikan setelah tidak ada lagi produk cair dan gas yang terbentuk. Penelitian dilakukan dalam suhu yang berbeda antara 400 – 600°C.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diperoleh hasil cair, gas dan padat, karena keterbatasan peralatan maka hanya hasil cair yang dapat diketahui komposisinya. Komposisi hasil cair pada suhu 600 ° C dapat dilihat pada daftar I. Hasil reaksi kemudian di uji dengan model 1 dan model 2 yang diturunkan dari mekanisme reaksi yang diduga. Pada penelitian ini disusun 2 model mekanisme reaksi yang bisa memprediksi hasil pirolisis. Dari tahapan-tahapan reaksi pada model 1 dan model 2, maka hasil padat terdiri dari aspal sisa yang tidak bereaksi, metaplast dan uap (V1) yang terperangkap. Hasil cair yaitu V1 yang terlepas, untuk model 1 terjadi pada tahapan reaksi 1 dan 2, sedangkan model 2 terjadi pada tahapan reaksi ke 1. Hasil gas yaitu V2 yang terbentuk, untuk model 1 terjadi pada tahapan reaksi ke 3, sedangkan untuk model ke 2 terjadi pada tahapan reaksi ke 2 dan ke 3.

Daftar I. Komponen hasil cair pada suhu 600°C

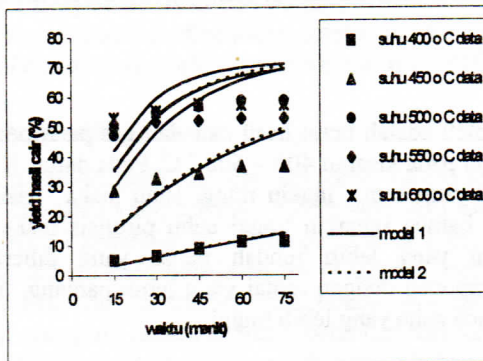
No	Komponen	Rms Mol	BM	Area	% Area
1	2-methyl Cyclohexanethiol	C ₇ H ₁₄ S	130	28067685	1,20
2	Toluene	C ₇ H ₈	92	91230319	3,92
3	Benzene	C ₆ H ₁₀	106	106275756	4,56
4	Xylene	C ₈ H ₁₀	106	45775234	1,96
5	Nonene	C ₉ H ₁₈	140	39081424	1,68
6	Heptene	C ₈ H ₁₄ O	126	128262433	5,51
7	1-methyl ethyl Benzene	C ₉ H ₁₂	120	66230629	2,84
8	1-ethyl,3-methyl Benzene	C ₉ H ₁₂	120	80514721	3,46
9	1Nonene	C ₉ H ₁₈	126	67101583	2,88
10	Decane	C ₁₀ H ₂₂	142	95024141	4,08
11	1,2-propadienyl Benzene	C ₉ H ₈	116	30786712	1,32
12	2,5-diethyl Thiopene	C ₈ H ₁₂ S	140	157272993	6,75
13	1 Decene	C ₁₀ H ₂₀	140	59261484	2,54
14	Undecane	C ₁₁ H ₂₄	156	90805548	3,90
15	1-ethenyl,4-ethyl Benzene	C ₁₀ H ₁₂	132	26184180	1,12
16	1,3-diethyl,5-methyl Benzene	C ₁₁ H ₁₆	148	115364469	4,95
17	Naphthalene	C ₁₀ H ₈	128	94430851	4,05
18	4 Dodecene	C ₁₂ H ₂₄	168	35570517	1,53
19	2-methyl Nonane	C ₁₀ H ₂₂	142	38940388	1,67
20	3-methyl butyl Cyclopentane	C ₁₀ H ₂₀	140	167118992	7,17
21	5-methyl Benzo β thiopene	C ₉ H ₈ S	148	57311305	2,46
22	4-methyl Benzo β thiopene	C ₉ H ₈ S	148	29478299	1,27
23	2-ethyl, 2-propyl Hexanol	C ₁₁ H ₂₄ O	172	52896026	2,27
24	2-methyl Dodecane	C ₁₃ H ₂₈	184	39564323	1,70
25	2,7-dimethyl Benzo β thiopene	C ₁₀ H ₁₀ S	162	67681552	2,91
26	7-ethyl Benzo β thiopene	C ₁₀ H ₁₀ S	162	63179703	2,71
27	3,6- dimethyl Benzo β thiopene	C ₁₀ H ₁₀ S	162	73006366	3,13
28	Undecane	C ₁₁ H ₂₄	156	44998801	1,93
29	2-ethyl,7-methyl Benzo β thiophene	C ₁₁ H ₁₂ S	176	165627344	7,11
30	Dodecane	C ₁₂ H ₂₆	170	149511573	6,42
31	2,6-dimethyl Heptadecane	C ₁₉ H ₄₀	268	15528265	0,67
32	2-methyl Tridecane	C ₁₄ H ₃₀	198	7730958	0,33

Pengaruh suhu

Data percobaan yang diperoleh adalah berat hasil cair dan gas pada berbagai suhu seperti terlihat pada daftar II. Pengaruh suhu pada kisaran 400 – 600 ° C. Pada daftar II dan gambar 2 & 3 terlihat bahwa untuk waktu reaksi yang sama, makin tinggi suhu maka hasil yang diperoleh semakin besar. Hal ini menegaskan bahwa semakin tinggi suhu pirolisis maka aspal akan lebih banyak terdekomposisi. Pada suhu yang lebih rendah panas yang diberikan tidak cukup untuk mendekomposisi semua komponen dengan rantai yang lebih panjang, masih ada komponen yang baru akan terdekomposisi pada suhu yang lebih tinggi.

Tabel IIa. Data hasil cair dan gas percobaan, hasil cairas model 1, hasil cair model 2 pada berbagai suhu

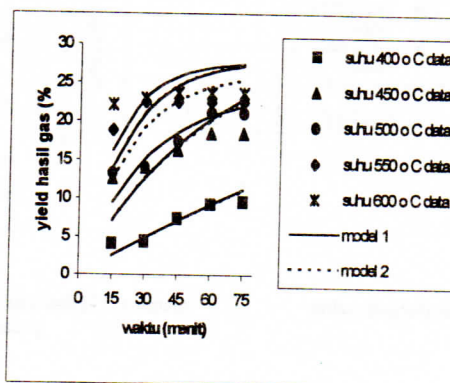
Suhu, °C	Wkt mnt	Berat hasil cair, gram			Yield hasil cair, %		
		Data	Model 1	Model 2	Data	Model 1	Model 2
400	15	5,5765	3,6418	3,6896	4,89	3,20	3,24
	30	7,4353	7,0538	7,1459	6,52	6,19	6,27
	45	10,2236	10,2725	10,4059	8,96	9,01	9,13
	60	13,0118	13,3088	13,4808	11,41	11,67	11,83
	75	13,0118	16,1732	16,3811	11,41	14,19	14,37
450	15	32,5296	17,2486	17,8056	28,53	15,13	15,62
	30	37,1767	30,5783	31,4857	32,61	26,82	27,62
	45	39,0355	40,9572	42,0759	34,24	35,93	36,91
	60	41,8237	49,0389	50,2739	36,69	43,02	44,10
	75	41,8237	55,3319	56,6202	36,69	48,54	49,67
500	15	53,9062	34,1814	39,8444	47,29	29,98	34,95
	30	62,7356	54,7871	60,6633	55,03	48,06	53,21
	45	65,0592	67,3158	71,6397	57,07	59,05	62,84
	60	66,9180	74,9349	77,4267	58,70	65,73	67,92
	75	66,9180	79,5699	80,4778	58,70	69,80	70,60
550	15	56,6944	40,6278	40,6927	49,73	35,64	35,70
	30	59,0179	61,0076	61,0690	51,77	53,51	53,57
	45	59,4827	71,3260	71,3662	52,18	62,57	62,60
	60	60,4121	76,5514	76,5699	52,99	67,15	67,17
	75	60,4121	79,1987	79,1996	52,99	69,47	69,47
600	15	60,1885	48,0459	40,6927	52,79	42,15	35,70
	30	62,9768	67,9737	61,0690	55,24	59,63	53,57
	45	65,7650	76,3242	71,3662	57,69	66,95	62,60
	60	65,7650	79,8259	76,5699	57,69	70,02	67,17
	75	65,7650	81,2968	79,1996	57,69	71,31	69,47



Gambar 2. Hubungan yield hasil cair dengan waktu pada berbagai suhu

Tabel IIb. Data hasil cair dan gas percobaan, gas model 1, hasil gas model 2 pada berbagai suhu

Suhu	Waktu	Berat hasil gas, gram			Yield hasil gas, %		
		Data	Model 1	Model 2	Data	Model 1	Model 2
400	15	4,6282	2,8712	2,8318	4,06	2,52	2,48
	30	5,0489	5,5627	5,4883	4,43	4,88	4,81
	45	8,4149	8,1023	7,9997	7,38	7,11	7,02
	60	10,5187	10,4981	10,3777	9,23	9,21	9,10
	75	10,9395	12,7579	12,6353	9,60	11,19	11,08
450	15	14,3054	8,1326	8,0813	12,55	7,13	7,09
	30	15,9884	14,4231	14,3062	14,03	12,65	12,55
	45	18,5129	19,3228	19,1284	16,24	16,95	16,78
	60	21,0374	23,1384	22,8639	18,45	20,30	20,06
	75	21,0374	26,1095	25,7578	18,45	22,90	22,60
500	15	15,1469	10,7376	14,2825	13,29	9,41	12,53
	30	15,9884	17,2294	21,7730	14,03	15,11	19,10
	45	19,7752	21,1754	25,7244	17,35	18,58	22,57
	60	23,9827	23,5739	27,8098	21,04	20,68	24,40
	75	23,9827	25,0319	28,9114	21,04	21,96	25,36
550	15	21,4582	15,9214	15,9482	18,82	13,97	13,99
	30	25,5815	23,9124	23,9419	22,44	20,98	21,00
	45	25,5815	27,9591	27,9842	22,44	24,53	24,55
	60	25,5815	30,0083	30,0281	22,44	26,32	26,34
	75	25,5815	31,0458	31,0616	22,44	27,23	27,25
600	15	25,2449	18,4820	15,9493	22,15	16,21	13,99
	30	26,0863	26,1490	23,9454	22,88	22,94	21,01
	45	26,9279	29,3612	27,9908	23,62	25,76	24,55
	60	26,9279	30,7070	30,0381	23,62	26,94	26,35
	75	26,9279	31,2708	31,0752	23,62	27,43	27,26



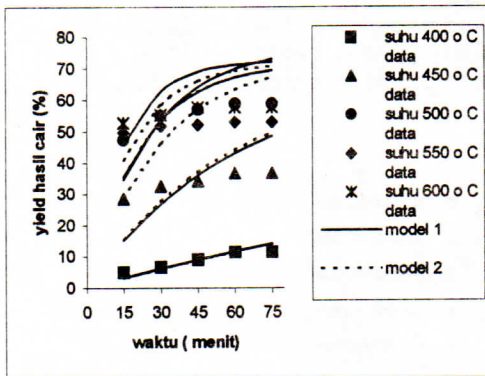
Gambar 3. Hubungan yield hasil gas dengan waktu pada berbagai suhu

Kinetika reaksi pirolisis

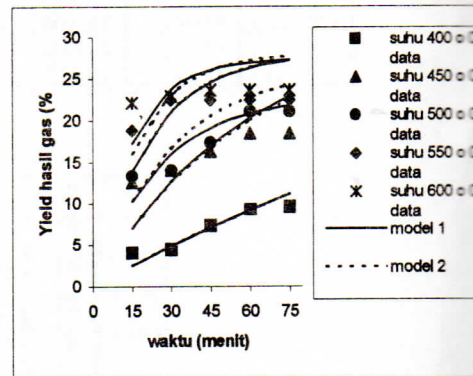
Harga konstanta kecepatan reaksi untuk model 1 dan model 2 terlihat pada daftar III. Dari daftar III menunjukkan bahwa ralat rerata antara 26,73 % - 57,96 % hal ini disebabkan pengambilan data sudah mencapai daerah konstan. Sedangkan nilai konstanta kecepatan reaksi k_1 untuk model 1 dan model 2 dipengaruhi suhu, semakin tinggi suhu nilai konstanta kecepatan reaksi semakin besar. Hal ini menggambarkan bahwa kecepatan reaksi relatif besar, karena padatan masih banyak mengandung komponen yang mudah terdekomposisi. Sedangkan untuk nilai konstanta kecepatan reaksi k_2, k_3 tidak begitu sensitif terhadap suhu, semakin tinggi suhu nilai konstanta kecepatan reaksi relatif konstan. Nilai k_2 relatif kecil, hal ini menunjukkan bahwa metaplast yang bereaksi menjadi hasil padat (coke) berjalan lambat, sedang nilai k_3 relatif besar, hal ini menunjukkan bahwa reaksi V1 yang terperangkap dalam metaplast menjadi gas berjalan cepat. Sehingga optimasi nilai k_1 diulang kembali dengan nilai k_2, k_3 tetap, hasil optimasi terlihat dalam daftar IV dan gambar 4 serta 5.

Daftar III. Nilai konstanta kecepatan reaksi k_1, k_2, k_3 dan α, β untuk model 1 dan model 2

Suhu, °C	Model 1						Model 2				
	$k_1, 1/mnt$	$k_2, 1/mnt$	$k_3, 1/mnt$	α	β	Ralat rerata, %	$k_1, 1/mnt$	$k_2, 1/mnt$	$k_3, 1/mnt$	α	Ralat rerata, %
400	0,0039	$4,8 \cdot 10^{-6}$	27,82	0,4420	0,0199	27,11	0,0039	$5,4 \cdot 10^{-6}$	27,87	0,4330	27,66
450	0,0167	$2,2 \cdot 10^{-6}$	27,81	0,3212	0,0194	42,12	0,0171	$5,9 \cdot 10^{-6}$	27,81	0,3120	42,48
500	0,0331	$5,9 \cdot 10^{-6}$	27,36	0,2389	0,0199	26,73	0,0428	$2,6 \cdot 10^{-6}$	26,13	0,2649	36,79
550	0,0454	$2,8 \cdot 10^{-6}$	27,81	0,2822	0,0176	37,94	0,0455	$4,9 \cdot 10^{-6}$	27,80	0,2871	57,96
600	0,0580	$4,3 \cdot 10^{-6}$	27,81	0,2773	0,0158	31,08	0,0455	$2,7 \cdot 10^{-6}$	27,80	0,2871	31,34



Gambar 4. Hubungan yield hasil cair dengan waktu pada berbagai suhu.



Gambar 5. Hubungan yield hasil gas dengan Waktu pada berbagai suhu.

Tabel IVa. Data hasil cair percobaan, hasil cair model 1, hasil cair model 2 pada berbagai suhu hasil pengulangan optimasi.

Suhu, ° C	Waktu, menit	Berat hasil cair, gram			Yield hasil cair, %		
		Data	Model 1	Model 2	Data	Model 1	Model 2
400	15	5,5765	3,6428	3,6412	4,89	3,20	3,19
	30	7,4353	7,0558	7,0521	6,52	6,19	6,19
	45	10,2236	10,2753	10,2692	8,97	9,01	9,01
	60	13,0118	13,3123	13,3034	11,41	11,68	11,67
	75	13,0118	16,1773	16,1653	11,41	14,19	14,18
450	15	32,5296	17,2961	17,8485	28,53	15,17	15,66
	30	37,1767	30,6565	31,5553	32,61	26,89	27,68
	45	39,0355	41,0549	42,1609	34,24	36,01	36,98
	60	41,8237	49,1483	50,3671	36,69	43,11	44,18
	75	41,8237	55,4479	56,7166	36,69	48,64	49,75
500	15	53,9062	39,4530	32,8485	47,29	34,61	28,82
	30	62,7356	61,0829	52,7170	55,03	53,58	46,24
	45	65,0592	73,0475	64,8364	57,07	64,08	56,87
	60	66,9180	79,6673	72,2288	58,70	69,88	63,36
	75	66,9180	83,3311	76,7379	58,70	73,10	67,31
550	15	56,6944	40,6052	40,6927	49,73	35,62	35,70
	30	59,0179	60,9939	61,0690	51,77	53,50	53,57
	45	59,4827	71,3273	71,3662	52,18	62,57	62,60
	60	60,4121	76,5661	76,5699	52,99	67,16	67,17
	75	60,4121	79,2238	79,1996	52,99	69,50	69,47
600	15	60,1885	52,7969	46,7139	52,80	45,73	40,98
	30	62,9768	71,3427	66,6940	55,24	62,58	58,50
	45	65,7650	78,5027	75,3241	57,69	68,86	66,07
	60	65,7650	81,1734	79,0518	57,69	71,20	69,34
	75	65,7650	82,1722	80,6619	57,69	72,08	70,76

Tabel IVb. Data hasil gas percobaan, hasil gas model 1, hasil gas model 2 pada berbagai suhu hasil pengulangan optimasi.

Suhu , ° C	Waktu, menit	Berat hasil gas, gram			Yield hasil gas, %		
		Data	Model 1	Model 2	Data	Model 1	Model 2
400	15	4,6282	2,8672	2,8718	4,06	2,52	2,52
	30	5,0489	5,5592	5,5691	4,43	4,88	4,89
	45	8,4149	8,0985	8,1133	7,38	7,10	7,12
	60	10,5187	10,4937	10,5134	9,23	9,21	9,22
	75	10,9395	12,7528	12,7774	9,60	11,19	11,21
450	15	14,3054	8,1233	8,0777	12,55	7,13	7,09
	30	15,9884	14,4127	14,2993	14,03	12,64	12,54
	45	18,5129	19,3077	19,1146	16,24	16,94	16,77
	60	21,0374	23,1171	22,8417	18,45	20,28	20,04
	75	21,0374	26,0815	25,7270	18,45	22,88	22,57
500	15	15,1469	11,7343	11,8225	13,29	10,30	10,37
	30	15,9884	18,1845	18,9977	14,03	15,95	16,67
	45	19,7752	21,7525	23,3766	17,35	19,08	20,51
	60	23,9827	23,7256	26,0499	21,04	20,81	22,85
	75	23,9827	24,8169	27,6828	21,04	21,77	24,83
550	15	21,4582	15,8745	15,9336	18,82	13,93	13,98
	30	25,5815	23,8670	23,9416	22,44	20,94	21,00
	45	25,5815	27,9176	27,9914	22,44	24,49	24,55
	60	25,5815	29,9701	30,0409	22,44	26,29	26,35
	75	25,5815	31,0101	31,0795	22,44	27,20	27,26
600	15	25,2449	19,6747	18,2939	22,15	17,26	16,04
	30	26,0863	26,9483	26,1497	22,88	23,64	22,94
	45	26,9279	29,6582	29,5463	23,62	26,02	25,92
	60	26,9279	30,6675	31,0167	23,62	26,90	27,21
	75	26,9279	31,0434	31,6552	23,62	27,23	27,77

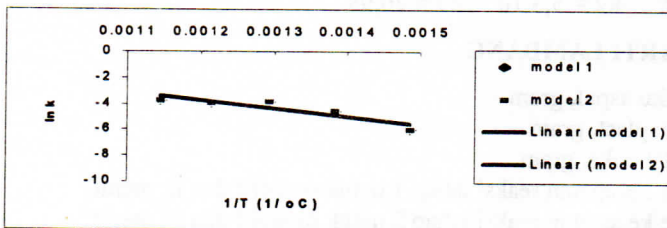
Parameter kinetika reaksi

Daftar V. Nilai $k_1, k_2, k_3, \alpha, \beta$ untuk model 1 dan model 2 hasil pengulangan optimasi.

Suhu, °C	Model 1					Ralat rerata, %
	k_1 , 1/mnt	k_2 , 1/mnt	k_3 , 1/mnt	α	β	
400	0,0039	$3,9 \cdot 10^{-6}$	27,72	0,4420	0,0208	27,13
450	0,0167	$3,9 \cdot 10^{-6}$	27,72	0,3210	0,0201	42,17
500	0,0395	$3,9 \cdot 10^{-6}$	27,72	0,2306	0,0059	27,22
550	0,0453	$3,9 \cdot 10^{-6}$	27,72	0,2824	0,0298	37,95
600	0,0659	$3,9 \cdot 10^{-6}$	27,72	0,2753	0,0169	31,82

Suhu °C	Model 2				Ralat rerata, %
	k_1 , 1/mnt	k_2 , 1/mnt	k_3 , 1/mnt	α	
400	0,0039	$5,4 \cdot 10^{-6}$	27,48	0,4415	27,09
450	0,0171	$5,4 \cdot 10^{-6}$	27,48	0,3120	42,50
500	0,0428	$5,4 \cdot 10^{-6}$	27,48	0,2650	32,20
550	0,0455	$5,4 \cdot 10^{-6}$	27,48	0,2817	58,01
600	0,0455	$5,4 \cdot 10^{-6}$	27,48	0,2817	31,18

Untuk mencari parameter kinetika reaksi dengan persamaan Arrhenius, dibuat kurva hubungan $\ln k_1$ dengan $1/T$ (gambar 6). Dengan metode beda kuadrat terkecil diperoleh harga energi aktivasi (E) dan faktor tumbukan (A_0) pada daftar VI.



Gambar 6. Hubungan $\ln k_1$ dengan $1/T$ untuk model 1 dan 2.

Daftar VI. Nilai energi aktivasi (E) dan faktor tumbukan (A_0) untuk Model 1 dan model 2.

Model	Energi aktivasi (E), kal/gmol	Faktor tumbukan, (A)
Model 1	16038	827,99
Model 2	14394	269,05

Perbandingan Dengan Penelitian Lain.

Daftar VII. menunjukkan perbandingan dengan hasil dari penelitian terdahulu. Dari daftar VII. terlihat bahwa pirolisis yang dilakukan peneliti ini menghasilkan parameter yang berbeda. Hal ini disebabkan perbedaan reaksi yang ditinjau dan kandungan karbon tetapnya. Reaksi gas akan berjalan cepat, nilai konstante kecepatan reaksi besar sehingga nilai parameter kinetiknya besar. Bahan baku yang kandungan karbon tetapnya besar maka energi yang digunakan untuk bereaksi akan besar.

Daftar VII. Perbandingan hasil penelitian

Peneliti	Bahan Baku	Reaksi yang ditinjau	Karbon tetap (% berat)	Suhu (°C)	A (menit ⁻¹)	Eo (kal/mol)
Vargas & Perlmutter 1986	Batubara bituminus	gas	73,84	200-500	$3,06 \cdot 10^{12}$	42065
Lu & Do, 1991	Batubara (reject)	metaplast	10,73	327-727	1720	15500
Penelitian, Model 1 Model 2	Aspal	metaplast	6,25	400-600	827,99 269,05	16038 14394

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Model 1 dan model 2 yang diajukan dapat digunakan untuk memprediksi hasil pirolisis. Korelasi konstanta kecepatan reaksi (k_1) pada suhu 400-600 °C:

untuk model 1 mengikuti persamaan: $k_1 = 33,8960 e^{-499,0855/RT}$ menit⁻¹ ; ralat 8,12%

untuk model 2 mengikuti persamaan: $k_1 = 32,8680 e^{-497,1328/RT}$ menit⁻¹ ; ralat 8,07%

Konstanta k_2 , k_3 untuk model 1 dan model 2 konstan, untuk model 1: $k_2 = 3,6 \cdot 10^{-6}$; $k_3 = 27,58$ dan untuk model 2: $k_2 = 5,3 \cdot 10^{-6}$; $k_3 = 26,98$

DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

A = Bahan baku aspal, gram

B = Hasil Metaplast, gram

C = Hasil padat coke, gram

k_1 = Konstante kecepatan reaksi tahap 1 untuk model I dan II, menit⁻¹

k_2 = Konstante kecepatan reaksi tahap 2 untuk model I dan II, menit⁻¹

k_3 = Konstante kecepatan reaksi tahap3 untuk model I dan II, menit⁻¹

V_1 = Hasil uap, gram

V_{1in} = Hasil uap yang terperangkap, gram

V_{1out} = Hasil uap yang terlepas, gram

V_2 = Hasil gas, gram

α = Bagian hasil uap terperangkap pada tahap 1 untuk model I dan II

β = Bagian hasil uap terperangkap pada tahap 2 untuk model I

DAFTAR PUSTAKA

- Albright, L.F., Crynes, B.I., Corcoran, W.H., 1983, "Pyrolysis Theory and Industrial Practice", ed, pp 69-75, Academic Press, New York.
- Agrawal, R. K., 1988, "Kinetics Involved in Pyrolysis of Cellulose I. The Three Reaction Model", *Can. J. Chem. Eng.*, 66, 403-412.
- Edgar, T. F., 1983, "Coal Processing and Pollution Control", pp 123-127, Gulf Publishing Co., Houston.
- Font, R., Marcilla, A., Verdu, E., and Devesa, J., 1990, "Kinetics of the Pyrolysis of Almond Shells and Almond Shells Impregnated with CoCl_2 in Fluidized Bed Reactor and in a Pyroprobe 100", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 1846 - 1855.
- Hardjono, 1987, "Teknologi Minyak Bumi I", 2 ed., hlm. 95-99, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lu, G. Q., and Do, D.D., 1991, 'A Kinetic Model for Coal Reject Pyrolysis at Low Heating Rates', *Fuel Processing Tech.*, 28, 35-48.
- Sediawan, W.B. dan Prasetya, A., 1977, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", hlm. 58-65, Andi, Yogyakarta.
- Tsai, S. C., 1982, "Fundamentals of Coal Beneficiation and Utilization", pp 119-120, Coal Science and Technology 2, Elsevier Publish. Comp., New York.
- Vargas, J.M., and Perlmutter, D.D., 1986, "Interpretation of Coal Kinetics", *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev.*, 25, 49-54.