



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i	
HALAMAN PERSETUJUAN	ii	
PERNYATAAN	vi	
PRAKATA	vii	
DAFTAR GAMBAR	x	
DAFTAR TABEL	xvi	
DAFTAR LAMPIRAN	xix	
DAFTAR NOTASI	xx	
INTISARI	xxi	
ABSTRACT	xxii	
BAB 1	PENDAHULUAN	1
	1.1. Latar Belakang	1
	1.2. Perumusan Masalah	5
	1.3. Keaslian dan Kedalaman Penelitian	7
	1.4. Tujuan Penelitian	10
	1.5. Manfaat Penelitian	10
BAB 2	TINJAUAN PUSTAKA	12
	2.1 Batubara	12
	2.2. Gasifikasi Batubara	15
	2.3. Katalis pada Gasifikasi	21
	2.4. Zeolite Alam sebagai Katalis	22
BAB 3	LANDASAN TEORI	30
	3.1. Model Gasifikasi pada Partikel Arang Karbon	30
	3.2. Kinetika Reaksi Gasifikasi Arang	33
	3.3 Model Random Pori (Random Pore Model-RPM)	40
	3.4. Model Volumetri (Volumetric Model-VM)	43
	3.5. Model Simulasi Optimasi Gasifikasi	44
	3.6. Hipotesis	46
BAB 4	METODE PENELITIAN	47
	4.1. Tahap Persiapan Bahan Baku	48
	4.2. Tahap Pengambilan Data	49
	4.3. Tahap Pengolahan Data Penelitian	51
BAB 5	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	52
	5.1 Struktur dan Karakter Zeolit Alam Klaten	52



5.2.	Karakter Arang Hasil Pirolisis	56
5.3.	Pengaruh Suhu terhadap Volume Gas Hasil	56
5.4.	Pengaruh Suhu terhadap <i>Yield</i> Gas	60
5.5.	Pengaruh Suhu terhadap Komposisi Gas	61
5.6.	Pengaruh Suhu terhadap Konversi	66
5.7.	Evaluasi Model Kinetika Gasifikasi	70
	5.7.1. Pendekatan <i>RPM</i>	71
	5.7.2. Pendekatan <i>VM</i>	80
	5.7.3. Model optimasi	88
BAB 6	KESIMPULAN	117
	DAFTAR PUSTAKA	119
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Hal
1.1. Penyebaran batubara di Indonesia	2
1.2. Produksi batubara Indonesia	3
2.1. <i>Seyler's Coal Chart</i>	13
2.2. Pengaruh suhu gasifikasi terhadap komposisi gas yang terbentuk	17
2.3. Pengaruh suhu terhadap kecepatan konversi pada 3 rejim	19
2.4. Kebutuhan waktu pada tiap tahap dalam proses gasifikasi	20
2.5. Analisa <i>SEM</i> dan <i>XRD</i> zeolite alam (mordenite) asal Klaten	29
3.1. Profil konsentrasi agen gasifikasi pada partikel arang	30
3.2. Diagram alir perhitungan nilai k pada model rpm	39
4.1. Diagram alir penelitian	43
4.2. Rangkaian alat penelitian	47
4.3. Reaktor gasifikasi jenis <i>fixed bed</i>	48
5.1. <i>XRD</i> zeolite alam klaten	52
5.2. Struktur mikro arang batubara (perbesaran 350 kali)	56
5.3. Peningkatan volume gas tiap waktu pada suhu berbeda	57
5.4. Peningkatan volume gas tiap waktu dan penambahan zeolite	58
5.5. Berat arang yang terpakai pada saat gasifikasi	59
5.6. <i>Yield</i> gas yang terbentuk pada masing-masing suhu	60
5.7. Pengaruh suhu terhadap fraksi mol gas (rasio 1:0)	61



5.8. Fraksi mol gas pada rasio arang-zeolite 1:0,5	62
5.9. Fraksi mol gas pada rasio arang-zeolite 1:1	63
5.10. Fraksi mol gas pada rasio arang-zeolite 1:1,5	64
5.11. Pengaruh penambahan zeolite pada beberapa perbandingan terhadap peningkatan nilai rasio mol gas H ₂ :CO	65
5.12. Profil konversi arang tanpa penambahan zeolite	67
5.13. Profil konversi arang dengan penambahan zeolite rasio 1:0,5	68
5.14. Profil konversi arang dengan penambahan zeolite rasio 1:1	68
5.15. Profil konversi arang dengan penambahan zeolite rasio 1:1,5	69
5.16. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>RPM</i> (tanpa zeolite)	71
5.17. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada kondisi tanpa penambahan zeolite	75
5.18. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>RPM</i> (rasio 1:0,5)	73
5.19. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada kondisi rasio 1:0,5	75
5.20. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>RPM</i> (rasio 1:1)	75
5.21. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada kondisi rasio 1:1	76
5.22. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>RPM</i> (rasio 1:1,5)	77
5.23. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada kondisi rasio 1:1,5	78
5.24. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>VM</i> (tanpa zeolite)	79
5.25. Konversi arang dengan penambahan rasio 1:1,5 model <i>RPM</i>	81



5.26. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>VM</i> (rasio 1:0,5)	81
5.27. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada kondisi rasio 1:0,5	82
5.28. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>VM</i> (rasio 1:1)	83
5.29. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada kondisi rasio 1:1	84
5.30. Perbandingan konversi arang dari data percobaan terhadap konversi hitung dengan model <i>VM</i> (rasio 1:1,5)	84
5.31. Optimasi nilai konversi pada suhu 600°C tanpa zeolite	89
5.32. Optimasi nilai CO pada suhu 600°C tanpa zeolite	90
5.33. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 600°C tanpa zeolite	90
5.34. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 600°C tanpa zeolite	90
5.35. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 600°C tanpa zeolite	90
5.36. Optimasi nilai konversi pada suhu 700°C tanpa zeolite	91
5.37. Optimasi nilai CO pada suhu 700°C tanpa zeolite	92
5.38. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 700°C tanpa zeolite	92
5.39. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 700 °C tanpa zeolite	92
5.40. Optimasi nilai CH ₂ pada suhu 700°C tanpa zeolite	92
5.41. Optimasi nilai konversi pada suhu 800 °C tanpa zeolite	93
5.42. Optimasi nilai CO pada suhu 800 °C tanpa zeolite	94
5.43. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 800°C tanpa zeolite	94
5.44. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 800 °C tanpa zeolite	94



5.45. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 800°C tanpa zeolite	94
5.46. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada optimasi k_1 (tanpa zeolite)	95
5.47. Optimasi nilai konversi pada suhu 600°C rasio 1:0,5	96
5.48. Optimasi nilai CO pada suhu 600°C rasio 1:0,5	97
5.49. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 600°C rasio 1:0,5	97
5.50. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 600°C rasio 1:0,5	97
5.51. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 600°C rasio 1:0,5	97
5.52. Optimasi nilai konversi pada suhu 700°C rasio 1:0,5	97
5.53. Optimasi nilai CO pada suhu 700°C dengan rasio 1:0,5	97
5.54. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 700°C dengan rasio 1:0,5	97
5.55. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 700°C dengan rasio 1:0,5	97
5.56. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 700°C dengan rasio 1:0,5	97
5.57. Optimasi nilai konversi pada suhu 800°C dengan rasio 1:0,5	100
5.58. Optimasi nilai CO pada suhu 800°C dengan rasio 1:0,5	101
5.59. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:0,5	101
5.60. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:0,5	101
5.61. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 800°C dengan rasio 1:0,5	101
5.62. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada optimasi k_1 rasio 1:0,5	102
5.66. Optimasi nilai konversi pada suhu 600°C dengan rasio 1:1	103
5.67. Optimasi nilai CO pada suhu 600°C dengan rasio 1:1	104
5.68. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 600°C dengan rasio 1:1	104



5.69. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 600°C dengan rasio 1:1	104
5.70. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 600°C dengan rasio 1:1	104
5.71. Optimasi nilai konversi pada suhu 700°C dengan rasio 1:1	105
5.72. Optimasi nilai CO pada suhu 700 °C dengan rasio 1:1	106
5.73. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 700°C dengan rasio 1:1	106
5.74. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 700°C dengan rasio 1:1	106
5.75. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 700°C dengan rasio 1:1	106
5.76. Optimasi nilai konversi pada suhu 800°C dengan rasio 1:1	107
5.77. Optimasi nilai CO pada suhu 800°C dengan rasio 1:1	108
5.78. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1	108
5.79. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1	108
5.80. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1	108
5.81. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ pada optimasi k ₁ rasio 1:1	109
5.82. Optimasi nilai konversi pada suhu 600°C dengan rasio 1:1,5	110
5.83. Optimasi nilai CO pada suhu 600°C dengan rasio 1:1,5	111
5.84. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 600°C dengan rasio 1:1,5	111
5.85. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 600°C dengan rasio 1:1,5	111
5.86. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 600°C dengan rasio 1:1,5	111
5.87. Optimasi nilai konversi pada suhu 700°C rasio 1:1,5	112
5.88. Optimasi nilai CO pada suhu 700°C dengan rasio 1:1,5	113
5.89. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 700°C dengan rasio 1:1,5	113



5.90. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 700°C dengan rasio 1:1,5	113
5.91. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 700°C dengan rasio 1:1,5	113
5.92. Optimasi nilai konversi pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	113
5.93. Optimasi nilai CO pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	114
5.94. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	115
5.95. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	115
5.96. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	115
5.97. Hubungan ln k terhadap 1/T pada optimasi k ₁ rasio 1:1,5	116
5.94. Optimasi nilai CO pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	129
5.95. Optimasi nilai CO ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	130
5.96. Optimasi nilai H ₂ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	130
5.97. Optimasi nilai CH ₄ pada suhu 800°C dengan rasio 1:1,5	130
5.98. Grafik Arrhenius pada optimasi rasio 1:1,5	131

DAFTAR TABEL

	Hal
1.1.Sumberdaya dan cadangan batubara Indonesia	1
1.2.Penggunaan jenis-jenis katalis dalam proses termokimia	8
1.3.Eksperimen gasifikasi yang menggunakan steam, udara CO ₂	10
2.1. Klasifikasi batubara berdasarkan ASTM D 338	15
2.2. Hubungan ukuran pori terhadap <i>rank</i> batubara	16
2.3. Jenis-jenis reaktor gasifikasi	19
2.4. Karakteristik struktur zeolite alam Klaten	29
3.1. Model-model empirik pada kinetika gasifikasi	36
4.1. Analisis proksimat dan ultimat batubara	44
5.1. Analisis zeolite alam sebelum aktivasi	53
5.2. Analisis zeolite alam setelah diaktivasi dengan HCl 1M	54
5.3. Hasil pengujian <i>BET</i> pada zeolite aktif	54
5.4. Analisis proksimat dan ultimat arang	55
5.5. Analisis <i>BET</i> arang batubara	55
5.6. Rasio H ₂ /CO dengan menggunakan udara dan oksigen	66
5.7. Ralat nilai konversi arang tanpa zeolite model <i>RPM</i>	72
5.8. Parameter Arrhenius arang tanpa zeolite pada model <i>RPM</i>	72
5.9. Nilai ralat konversi arang rasio 1:0,5 model <i>RPM</i>	74
5.10. Parameter Arrhenius arang rasio 1:0,5 model <i>RPM</i>	75



5.11. Nilai ralat konversi arang rasio 1:1 model <i>RPM</i>	76
5.12. Parameter Arrhenius arang rasio 1:1 model <i>RPM</i>	77
5.16. Nilai ralat konversi arang+rasio 1:1,5 model <i>RPM</i>	78
5.17. Parameter Arrhenius arang+rasio 1:1,5 model <i>RPM</i>	78
5.18. nilai ralat konversi arang dengan model <i>VM</i>	81
5.19. Parameter Arrhenius arang tanpa zeolite pada model <i>VM</i>	81
5.20. Nilai ralat konversi arang rasio 1:0,5 model <i>VM</i>	83
5.21. Parameter Arrhenius arang rasio 1:0,5 model <i>VM</i>	83
5.22. Nilai ralat konversi arang rasio 1:1 model <i>VM</i>	85
5.23. Parameter Arrhenius arang rasio 1:1 model <i>VM</i>	85
5.24. Nilai ralat konversi arang rasio 1:1,5 model <i>VM</i>	87
5.25. Parameter Arrhenius arang rasio 1:1,5 model <i>VM</i>	87
5.26. Nilai ralat optimasi pada suhu 600°C tanpa zeolite	89
5.28. Nilai ralat optimasi pada suhu 700°C tanpa zeolite	91
5.30. Nilai ralat optimasi pada suhu 800°C tanpa zeolite	93
5.31. Parameter Arrhenius nilai k_1 pada optimasi tanpa zeolite	95
5.33. Nilai ralat optimasi pada suhu 600°C rasio 1:0,5	96
5.35. Nilai ralat optimasi pada suhu 700°C rasio 1:0,5	98
5.36. Nilai ralat optimasi pada suhu 800°, rasio 1:0,5	100
5.37. Parameter Arrhenius nilai k_1 pada optimasi rasio 1:0,5	102
5.40. Nilai ralat optimasi pada suhu 600°C, rasio 1:1	103



5.42. Nilai ralat optimasi pada suhu 700°C rasio 1:1	105
5.44. Nilai ralat optimasi pada suhu 800°C rasio 1:1	107
5.46. Parameter Arrhenius nilai k_1 pada optimasi rasio 1:1	109
5.47. Nilai ralat optimasi pada suhu 600°C rasio 1:1,5	110
5.48. Nilai ralat optimasi pada suhu 700°C rasio 1:1,5	112
5.49. Nilai ralat optimasi pada suhu 800°C rasio 1:1,5	114
5.50. Parameter Arrhenius nilai k_1 pada optimasi rasio 1:1,5	116



DAFTAR LAMPIRAN

- A. Hasil analisis laboratorium
- B. Data massa arang dan volume gas
- C. Data analisis komposisi gas hasil gasifikasi
- D. Data perhitungan volume fraksi gas
- E. Data perhitungan mol fraksi gas
- F. Algoritma model random pori
- G. Algoritma model volumetri
- H. Algoritma model optimasi

DAFTAR NOTASI

A	= faktor frekuensi tumbukan, 1/menit
E	= energi aktivasi, kJ/mol
k	= tetapan laju reaksi kimia, 1/menit
k_1	= tetapan laju reaksi kimia pada <i>water gas reaction</i> , 1/menit
k_2	= tetapan laju reaksi kimia pada <i>water gas shift</i> kearah produk, 1/menit
k_3	= tetapan laju reaksi kimia pada <i>water gas shift</i> kearah reaktan, 1/menit
k_4	= tetapan laju reaksi kimia pada pembentukan metan, 1/menit
k_5	= tetapan laju reaksi kimia pada reaksi <i>boudouard</i> , 1/menit
k_{rpm}	= tetapan laju reaksi kimia pada <i>random pore model</i> , 1/menit
k_{vm}	= tetapan laju reaksi kimia pada <i>volumetric model</i> , 1/menit
N_C	= jumlah mol karbon dalam arang, mol
n_{CO}	= jumlah mol CO, mol
n_{CO_2}	= jumlah mol CO ₂ , mol
n_{CH_4}	= jumlah mol CH ₄ , mol
R	= tetapan gas ideal, J/mol/K
r	= laju reaksi, mol/detik
r_1	= laju reaksi gasifikasi, mol/detik
r_2	= laju reaksi <i>water gas shift</i> , mol/detik
r_3	= laju reaksi pembentukan metan. mol/detik
r_4	= laju reaksi <i>boudouard</i> , mol/detik
t	= waktu, menit
T	= suhu, K
w	= masa karbon pada waktu t, mol
w_0	= masa karbon mula-mula, mol
X	= konversi, %
X_c	= konversi karbon, %



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

GASIFIKASI ARANG BATUBARA LIGNITE MENGGUNAKAN UAP AIR DAN KATALIS ZEOLITE ALAM
JUSUF RUMBINO, Prof.Ir. Suryo Purwono, M.A.Sc., Ph.D ; Ir. Hary Sulisty, S.U., Ph.D ; Muslikhin Hidayat, S.T.,M.T
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Ψ = parameter pori