

**KESAN PENAMBAHAN AIR DALAM REAKTOR
HABA BERMANGKIN BAGI PENYINGKIRAN
TAR GAS PENGELUAR**

ARIS WARSITA

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2016

**KESAN PENAMBAHAN AIR DALAM REAKTOR HABA
BERMANGKIN BAGI PENYINGKIRAN TAR GAS PENGELUAR**

oleh

ARIS WARSITA

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Doktor Falsafah**

Desember 2016

PENGHARGAAN

Alhamdulillah rabbil 'alamin. Semua puji-pujian kepada Allah SWT kerana memberi saya peluang dan kekuatan untuk menyiapkan tesis ini. Pertama sekali, saya ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada ibu bapa saya, Dahlani dan Rubiyem, atas sokongan yang tidak berkesudahan dan galakan untuk menyelesaikan ijazah PhD saya. penghargaan kepada isteri tercinta saya, Sumartinah untuk menjaga dan menyokong saya tanpa syarat. Kepada anak-anak tercinta kami, Ian Aditya Warsita, Ichlas Ardiansyah Warsita, dan Firda Resea Warsita, terima kasih kerana memberi inspirasi dan memahami saya. Saya juga menghormati ibu bapa saya dalam undang-undang, alm. Hadi Wijono dan Ratijah. Saya ingin merakamkan penghargaan yang tidak terhingga kepada penyelia saya, Prof. Dr. Hj. Zainal Alimuddin Zainal Alauddin yang telah secara berterusan dan meyakinkan disampaikan semangat, sokongan, kesabaran, bimbingan dan pertimbangan. Ia adalah nasib terbesar saya untuk meneruskan pengajian saya di bawah seliaan mereka.

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada kumpulan penyelidikan tenaga biomass bagi perkongsian pengetahuan cemerlang mereka dan bimbingan sepanjang kajian saya. Penghargaan saya juga kepada semua kakitangan di Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanikal untuk sokongan, bantuan, dan kebaikan sepanjang pengajian saya. Terima kasih sebanyak-banyaknya Saya juga menyampaikan kepada institusi saya, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta, atas sokongan dan peluang untuk meneruskan pengajian saya. Geran E-ScienceFund daripada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI) Malaysia, dan RU-I memberikan dari

Universiti Sains Malaysia juga ingin merakamkan setinggi dihargai. Tidak lupa juga terima kasih kepada Universiti Sains Malaysia bagi pemberian PRGS itu.

Kepada semua kawan saya di bawah Kampus Kejuruteraan PPI-USM, terima kasih kerana bergelut dengan saya. Akhir kata, saya ingin merakamkan rasa saya rasa terima kasih kepada satu dan semua yang, secara langsung atau tidak langsung, telah meminjamkan tangan membantu mereka dalam kajian ini.

JADUAL KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	x
SENARAI	RAJAH
xiv	
SENARAI SIMBOL	
xxiii	
SENARAI SINGKATAN	
xxviii	
ABSTRAK	
xxxii	
ABSTRACT	
xxxiv	
BAB SATU PENGENALAN	
1.1 Latar Belakang Kajian	1
1.2 Kaedah Penyingkiran Tar	5
1.3 Rawatan Haba Bermangkin	8
1.4 Kenyataan Masalah	10
1.5 Kajian Objektif	13
1.6 Ruang Lingkup Tesis	14
1.7 Rangka Tesis	15

BAB DUA KAJIAN LITERATUR

2.1	Biojisim Penggasan	17
	2.1.1 Penggas aliran bawah	22
	2.1.2 Prestasi Penggas	23
2.2	Penyingkiran Tar Haba Bermangkin	33
	2.2.1 Pengolahan Haba	35
	2.2.2 Keretakan Bermangkin	49
2.3	Rawatan Air	82
	2.3.1 Pengolahan Haba dengan Penambahan Air	85
	2.3.2 Rawatan Bermangkin Guna Agen Perubahan Penambahan Air	86
2.4	Tindak Balas Kinetik Penyingkiran Tar Model	87
2.5	Haba Gelombang Mikro	92
	2.5.1 Gelombang Mikro/Bahan Interaksinya	93
	2.5.2 Peranti Gelombang Mikro	96
2.6	Kesimpulan Kajian Literatur	98

BAB TIGA METODOLOGI

3.1	Gelombang Mikro Sistem penyingkiran Tar	100
	3.1.1 TMG Penjana	103
	3.1.2 Penggasan	108
	3.1.3 Rawatan Tar dengan Reaktor Gelombang Mikro	110
	3.1.4 Persampelan Keluaran	114
3.2	Kajian Berparameter	115
	3.2.1 Ciri-ciri Reaktor Gelombang Mikro	116

3.2.2	Penyingkiran Tar Model Gas (TMG)	117
3.2.3	Penyingkiran Tar Gas Pengeluar (TGP)	119
3.3	Analisa Keluaran	120
3.4	Kinetik Penyingkiran Tar	123
3.5	Penilaian Keseimbangan Jisim dan Tenaga	124
3.5.1	Keseimbangan Jisim	124
3.5.2	Keseimbangan Tenaga	125
BAB EMPAT KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN		
4.1	Ciri-ciri Pemanas Haba Reaktor Gelombang Mikro	126
4.2	Kesan Penyingkiran Tar Dengan Penambahan Air	137
4.3	Rawatan Haba Bermangkin Sebatian Model Tar	146
4.4	Reaksi Model Kinetik Sebatian Model Tar	164
4.4.1	Model Kinetik Penyingkiran Toluena	165
4.4.2	Model Kinetik Penyingkiran Naftalena	180
4.4.3	Kajian Reaksi Model Kinetik Sebatian Model Tar	195
4.5	Rawatan Haba Bermangkin Tar Pengeluar Gas	195
4.6	Reaksi Model Kinetik Tar Gas Pengeluar	220
4.6.1	Pengesahan Model Kinetik	222
4.6.2	Anggaran Kecekapan Penyingkiran	223
4.6.3	Perbandingan Model Kinetik	226
4.7	Keseimbangan Jisim Dan Tenaga Dalam Gelombang Mikro Reaktor	229
4.7.1	Keseimbangan Jisim	229
4.7.2	Keseimbangan Tenaga	234
4.7.3	Skala dan Penilaian Pengeluaran Tenaga	239

BAB LIMA KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 Kesimpulan	244
5.2 Cadangan	252

RUJUKAN

LAMPIRAN

- Lampiran A - Penilaian Hilang Haba dari Reaktor Gelombang Mikro
- Lampiran B - Pengiraan Tindak balas Model Kinetik
- Lampiran C - Penilaian Jisim Imbangan Penutup Reaktor Gelombang Mikro
- Lampiran D - Penilaian Tenaga Imbangan di Seluruh Reaktor Gelombang Mikro
- Lampiran E - Graf Maklumat Profil Mengikut Suhu Kawalan
- Lampiran G - Senarai Penerbitan

SENARAI JADUAL

		Muka Surat
Jadual 1.1.	Pembentukan tar dan sebatian compaun biojisim	7
Jadual 2.1.	Nisbah kelebihan dan kekurangan berbagai penggasan	21
Jadual 2.2.	Ciri-ciri pelbagai jenis penggas	24
Jadual 2.3.	Katogori tar sebatian pada pelbagai kelas	29
Jadual 2.4.	Senarai sebatian tar dari pelbagai jenis penggas (Paasen et al., 2002)	29
Jadual 2.5.	Keperluan kualiti gas sintesis penggasan biojisim (Milne 1998)	32
Jadual 2.6.	Keseimbangan karbon dalam percubaan bukan metana (Houben et al., 2005)	45
Jadual 2.7.	Penyingkiran tar dengan rawatan haba pada agen penggasan, suhu, dan masa tunggu	46
Jadual 2.8.	Studi penggunaan bermangkin berbahan dasar nikel	53
Jadual 2.9.	Studi penyingkiran tar dengan bermangkin berasaskan logam bukan nikel	60
Jadual 2.10.	Penyingkiran tar dengan pemangkin berbahan karbon aktif	66
Jadual 2.11.	Penyingkiran tar dan sifat aktifitas bermangkin dolomit	74

Jadual 2.12.	Penyingkiran tar dengan pemangkin Y-zeolit	79
Jadual 2.13.	Data kinetik penyingkiran haba sebatian tar model	89
Jadual 2.14.	Kekurangan sebatian dielektrik pada frekuensi 2.45 GHz	95
Jadual 3.1.	Sifat bermangkin	106
Jadual 3.2.	Analisis proksimat dan unsur kayu pellet	109
Jadual 3.3.	Spesifikasi teknikal dari gelombang mikro	110
Jadual 3.4.	Berat jenis bulk dan pengedaran saiz butir jisim SiC	113
Jadual 4.1.	Parameter kinetik penyingkiran toluena di bawah rawatan haba bermangkin	169
Jadual 4.2.	Parameter kinetik produk semasa rawatan haba bermangkin toluena	173
Jadual 4.3.	Nisbah urutan pertama parameter kinetik rawatan haba bermangkin toluena (dihitung ulang pada faktor pra-eksponensial tetap, k_0 dari 3.16×10^{15} saat ⁻¹)	181
Jadual 4.4.	Parameter kinetik Penyingkiran naftalena bawah rawatan haba bermangkin	183
Jadual 4.5.	Parameter kinetik produk semasa rawatan haba bermangkin naftalena	188
Jadual 4.6.	Nisbah urutan pertama parameter kinetik rawatan haba bermangkin naftalena (dihitung ulang pada faktor pra-eksponensial tetap, k_0 dari 10^{16} saat ⁻¹)	196
Jadual 4.7.	Taburan produk khas dan komposisi gas penggas aliran bawah berleher	199
Jadual 4.8.	Peratus zon relatif sebatian tar utama dihasilkan dari rawatan tar dari gas pengeluar	202
Jadual 4.9.	Peratus sebatian tar utama dihasilkan dari rawatan tar dalam gas pengeluar menggunakan Bermangkin dolomit	206
Jadual 4.10.	Peratus sebatian tar utama dihasilkan dari rawatan tar dalam gas pengeluar menggunakan bermangkin Y-zeolit	210

Jadual 4.11.	Peratus sebatian tar utama dihasilkan dari rawatan tar dalam gas pengeluar menggunakan bermangkin nikel	213
Jadual 4.12.	Peratus sebatian tar utama dihasilkan dari rawatan tar dalam gas pengeluar menggunakan bermangkin ruthenium	216
Jadual 4.13.	Peratus sebatian tar utama dihasilkan dari rawatan tar dalam gas pengeluar menggunakan bermangkin rhodium	218
Jadual 4.14.	Perbandingan kecekapan penyingkiran tar dan nilai kalor gas peneluar di bawah kaedah rawatan berbeza	220
Jadual 4.15.	Parameter kinetik penyingkiran tar dari gas pengeluar di bawah rawatan haba bermangkin	223
Jadual 4.16.	Perbandingan tempahan pertama parameter kinetik daripada rawatan bermangkin tar gas pengeluar	229
Jadual 4.17.	Perbandingan tenaga pengaktifan dihitung ulang dari rawatan bermangkin tar gas pengeluar (faktor pre-eksponensial, $k_0 = 3.16 \times 10^{15} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ jam}^{-1}$, temperatur, $T = 700^\circ\text{C}$)	230
Jadual 4.18.	Ringkasan dari neraca jisim dalam rawatan haba tar dari gas pengeluar	232
Jadual 4.19.	Ringkasan dari neraca jisim dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan Y-zeolit	234
Jadual 4.20.	Ringkasan dari neraca jisim dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan dolomit	234
Jadual 4.21.	Ringkasan dari neraca jisim dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan nikel	235
Jadual 4.22.	Ringkasan dari neraca jisim dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan ruthenium	235
Jadual 4.23.	Ringkasan dari neraca jisim dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan rhodium	235

Jadual 4.24.	Kesan pada perbezaan suhu rawatan	238
Jadual 4.25.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan Y-zeolit (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	240
Jadual 4.26.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan dolomit (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	240
Jadual 4.27.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan nikel (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	241
Jadual 4.28.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan ruthenium (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	241
Jadual 4.29.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan rhodium (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	241
Jadual 4.30.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan haba tar dari gas pengeluar (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	244
Jadual 4.31.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan Y-zeolit (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	244
Jadual 4.32.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan dolomit (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	244
Jadual 4.33.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan nikel (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	246
Jadual 4.34.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan bermangkin tar dari gas pengeluar menggunakan ruthenium (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	246
Jadual 4.35.	Keseimbangan tenaga secara keseluruhan dalam rawatan pemangkin tar dari gas pengeluar menggunakan rhodium (kemampuan 3,37 Nm ³ jam ⁻¹)	251

SENARAI RAJAH

	Muka Surat
Rajah 1.1. Peratus penggunaan tenaga boleh diperbaharui pada 2011 (REN21 2013)	2
Rajah 1.2. Proses haba-kimia ialah penukaran berkesan biojisim kepada tenaga	3
Rajah 1.3. Proses yang terlibat dalam penggasan biojisim (Ajay Kumar 1 2009)	4
Rajah 1.4. Teknologi sel-sel bahan api. Bahagian atas: bahan api dan bahan api jenis sel (Research N° 42 - August 2004)	5
Rajah 1.5. Peratusan sebatian dari tar biojisim	6
(Shen and Yoshikawa 2013)	
Rajah 1.6. Penggunaan bermangkin mempercepat tindak balas dan jimat tenaga (Hepburn 1992)	9
Rajah 1.7. Nisbah keperluan tenaga pemanasan konvensional dan pemanasan gelombang mikro (Shinji Yamada 2013)	11
Rajah 1.8. Reaktor gelombang mikro dengan beberapa pengubahsuaian	12
Rajah 1.9. Penyingkiran campuran tar-air dengan rawatan haba bermangkin menghasilkan gas bermanfaat	13
Rajah 2.1. Proses aliran penggasan biojisim (Sierra and Klose, 2008)	19
Rajah 2.2. Penggas berleher dan tidak berleher aliran bawah dengan arah aliran gas/biojisim dan zon tindak balas	23
Rajah 2.3. Skema proses biojisim kepada gas bermanfaat (Basu 2010)	26
Rajah 2.4. Pembentukan tar seperti fungsi suhu (Milne 1998)	27

Rajah 2.5.	Komposisi sebatian tar boijisim penggas (Abu El.Rub, Bramer et al. 2004)	28
Rajah 2.6.	Hubungan antara tar titik embun dan kepekatan (Bergman 2003)	32
Rajah 2.7.	Sebuah reaktor haba bermangkin pemisah sebatian kepada sebatian baru	33
Rajah 2.8.	Proses rawatan haba dan pembentukan radikal bebas	35
Rajah 2.9.	Mekanisme pergeseran sebatian tar dengan hidrogen semasa penyingkiran haba (der Hoeven van, 2007)	37
Rajah 2.10.	Penyingkiran tar dengan peretakan bermangkin menghasilkan gas-gas bermanfaat	49
Rajah 2.11.	Penyingkiran kandunga tar gas sintesis dengan bermangkin Dolomit menggunakan dua agen penggasan: (a) penggasan guna campuran H ₂ O + O ₂ , (b) penggasan guna udara (Corella et al., 1999a)	71
Rajah 2.12.	Kecekapan penyingkiran tar dari dolomit yang berbeza diplot berbanding suhu penggasan (Yu, Brage et al. 2009)	73
Rajah 2.13.	Penyingkiran gas-gas dengan rawatan haba dan bermangkin menghasilkan Gas H ₂ dan CO	84
Rajah 2.14.	Tindak balas eletrolisa dan pemisahan air	85
Rajah 2.15.	Tindak balas pengurang air-hidrogen	86
Rajah 2.16.	Mekanisme tindak balas penyingkiran sebatian tar model	87
Rajah 2.17.	Skim tindak balas Jess pada pembentukan jelaga/arang (Jess 1996)	90
Rajah 2.18.	Skim tindak balas Namioka pada penyingkiran haba biojisim gravimetri tar (Namioka, Naruse et al. 2011)	91
Rajah 2.19.	Tabung Magnetron (a) dan rajah skematik magnetron (b)	96
Rajah 3.1.	Alur carta penyingkiran produk sampingan gas dari penggasan sampai kepada pengguna akhir	101
Rajah 3.2.	Skema sistem penyingkiran tar haba bermangkin model dan tar sebenar dari gas pengeluar	102
Rajah 3.3.	Skema peralatan eksperimen pada penyingkiran TMG	104

Rajah 3.4.	Fotograf radas uji kaji untuk penyingkiran model tar	105
Rajah 3.5.	Skematik peralatan eksperimen penyingkiran tar dari gas pengeluar penggasan biojisim	108
Rajah 3.6.	Gelombang mikro bikar digunakan seperti reaktor pada kajian ini	110
Rajah 3.7.	Pengubahsuaian gelombang mikro seperti reaktor untuk penyingkiran tar	112
Rajah 3.8.	Skema peralatan pengambilan sampel tar dan jisim	114
Rajah 3.9.	Keadaan dalam reaktor, profil suhu, dan suhu rujukan pada proses rawatan bermangkin tar	118
Rajah 4.1.	Profil Suhu di dalam reaktor gelombang mikro pada kuasa yang berbeza (saiz zarah bahan penyerap: F10, ketinggian lapisan: 120 mm, dan kadar aliran gas: 10 LPM)	125
Rajah 4.2.	Kecekapan kuasa penyerapan gelombang mikro pada kuasa yang berbeza (saiz zarah bahan penyerap: F10, ketinggian lapisan: 120 mm, dan kadar aliran gas: 10 LPM)	126
Rajah 4.3.	Profil Suhu di dalam reaktor bagi ketinggian lapisan yang berbeza (saiz zarah bahan penyerap: F10, kuasa gelombang mikro: 700 W, dan kadar aliran gas: 10 LPM)	127
Rajah 4.4.	Kecekapan kuasa penyerapan bawah ketinggian tempat lapisan berbeza (saiz zarah bahan penyerap: F10, gelombang mikro kuasa: 700 W, dan kadar aliran gas: 10 LPM)	128
Rajah 4.5.	Profil Suhu di dalam reaktor bagi saiz zarah yang berbeza dari bahan penyerap (tinggi tempat lapisan: 120 mm, kuasa gelombang mikro: 700 W, kadar aliran gas: 10 LPM)	130
Rajah 4.6.	Kecekapan kuasa penyerapan bagi pelbagai saiz zarah bahan penyerap (tinggi tempat lapisan: 120 mm, gelombang mikro kuasa: 700 W, dan kadar aliran gas: 10 LPM)	132
Rajah 4.7.	Profil Suhu di dalam reaktor bagi kadar aliran gas yang berbeza (saiz zarah bahan penyerap: F10, ketinggian lapisan: 120 mm, dan kuasa gelombang mikro: 700 W)	133

Rajah 4.8.	Kecekapan penyerapan kuasa bagi kadar aliran gas yang berbeza (saiz zarah bahan penyerap: F10, ketinggian lapisan: 120 mm, dan gelombang mikro kuasa: 700 W)	134
Rajah 4.9.	Kecekapan penyingkiran pada nisbah tar-air: 0.3 pada rawatan baha dan bermangkin	134
Rajah 4.10.	Titik optimum nisbah kecekapan air-tar untuk penyingkiran dengan rawatan haba model tar toluena	138
Rajah 4.11.	Titik optimum nisbah kecekapan air- tar penyingkiran dengan rawatan haba model tar naftalena	139
Rajah 4.12.	Kecekapan penyingkiran model tar dengan rawatan haba pada suhu 100 ⁰⁰ C dan dari masa mastautin 0,24 s	140
Rajah 4.13.	Kecekapan penyingkiran pada nisbah tar-air: 0.3 untuk rawatan haba pada tiap-tiap model tar pada suhu 950 ⁰⁰ C untuk toluena dan 1100 ⁰⁰ C naftalena	141
Rajah 4.14.	Titik optimum nisbah kecekapan air-toluena mengambil penyingkiran dengan rawatan bermangkin model tar toluena	142
Rajah 4.15.	Titik optimum nisbah kecekapan air tar mengambil penyingkiran dengan rawatan bermangkin model tar naftalena	143
Rajah 4.16.	Kecekapan penghapuan dari rawatan bermangkin dari model tar sebagai fungsi masa mastautin pada suhu 950 ⁰⁰ C dari untuk toluena dan 1100 ⁰⁰ C untuk naftalena	145
Rajah 4.17.	Kecekapan penghapuan dan produk dihasilkan dari rawatan pemangkin toluena sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.5 s	146
Rajah 4.18.	Kecekapan penghapuan dan produk dihasilkan dari rawatan haba dari naftalena sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.5 s	147
Rajah 4.19.	Sebatian tar terkandung dalam produk-produk kental dari rawatan haba dari toluena pada suhu berbeza	148
Rajah 4.20.	Sebatian tar terkandung dalam produk-produk kental dari rawatan haba dari naftalena pada suhu berbeza	148
Rajah 4.21.	Skema tindak balas garis rawatan haba sebatian model tar	149
Rajah 4.22.	Kecekapan penyingkiran model tar dengan rawatan haba	150

	dan bermangkin pada suhu 700 ⁰ C dan dari masa mastautin 0.24 s	
Rajah 4.23.	Kecekapan penyingkiran dan hasil produk dihasilkan dari rawatan penyingkiran toluena menggunakan bermangkin dolomit sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	151
Rajah 4.24.	Kecekapan penyingkiran dan hasil produk dari rawatan penyingkiran naftalena menggunakan bermangkin dolomit sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	152
Rajah 4.25.	Kecekapan penyingkiran dan haasil produk dari rawatan penyingkiran toluena menggunakan bermangkin Y-zeolit sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.2	153
Rajah 4.26.	Kecekapan penyingkiran dan hasil produk dari rawatan penyingkiran naftalena menggunakan bermangkin Y-zeolit sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	154
Rajah 4.27.	Kecekapan penyingkiran dan hasil produk dihasilkan dari rawatan penyingkiran toluena menggunakan bermangkin nikel sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	156
Rajah 4.28.	Kecekapan penyingkiran dan hasil produk dihasilkan dari rawatan penyingkiran naftalena menggunakan bermangkin nikel sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	157
Rajah 4.29.	Kecekapan Penyingkiran dan hasil produk dihasilkan dari rawatan penyingkiran toluena menggunakan bermangkin ruthenium sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	158
Rajah 4.30.	Kecekapan Penyingkiran dan hasil produk dihasilkan dari rawatan penyingkiran naftalena menggunakan bermangkin ruthenium sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	159
Rajah 4.31.	Kecekapan penyingkiran dan hasil produk dihasilkan dari rawatan penyingkiran toluena menggunakan pemangkin rhodium sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	160
Rajah 4.32.	Kecekapan penyingkiran dan hasil produk dihasilkan dari rawatan penyingkiran naftalena menggunakan bermangkin rhodium sebagai fungsi suhu pada masa mastautin 0.24 s	161

Rajah 4.33.	Mekanisme tindak balas sebatian model tar dengan air	163
Rajah 4.34.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan faktor pre-eksponen pengiraan penyingkiran toluena	164
Rajah 4.35.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari Y-zeolit sebagai rawatan bermangkin termasuk model tar toluena	166
Rajah 4.36.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari dolomit sebagai rawatan bermangkin termasuk model tar toluena	167
Rajah 4.37.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan faktor pre-eksponen perhitungan produk dari rawatan haba termasuk model tar toluena	167
Rajah 4.38.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari nikel sebagai rawatan bermangkin termasuk model tar toluena	168
Rajah 4.39.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari ruthenium sebagai rawatan bermangkin termasuk model tar toluena	168
Rajah 4.40.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari rhodium sebagai rawatan bermangkin termasuk model tar toluena	169
Rajah 4.41.	Jangkaan hasil melawan hasil percubaan produk dari rawatan haba bermangkin model tar toluena	171
Rajah 4.42.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji (simbol) dari kecekapan penyingkiran dari rawatan haba bermangkin toluena	173
Rajah 4.43.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan penyingkiran Y-zeolit daripada toluena	174
Rajah 4.45.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan haba dari toluena	174
Rajah 4.46.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari nikel rawatan penyingkiran toluena	175
Rajah 4.47.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari ruthenium rawatan penyingkiran toluene	176

Rajah 4.48.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rhodium rawatan penyingkiran toluena	176
Rajah 4.49.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan faktor pre-eksponen pengiraan penyingkiran naftalena	180
Rajah 4.50.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari Y-zeolit rawatan naftalena menggunakan pemangkin Y-zeolit	181
Rajah 4.51.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari dolomit rawatan naftalena menggunakan bermangkin dolomit	182
Rajah 4.52.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan faktor pre-eksponen perhitungan produk dari rawatan haba naftalena	182
Rajah 4.53.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari nikel rawatan naftalena menggunakan bermangkin nikel	183
Rajah 4.54.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari ruthenium rawatan naftalena menggunakan bermangkin ruthenium	184
Rajah 4.55.	Plot Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan perhitungan faktor pre-eksponen produk dari rhodium rawatan naftalena menggunakan bermangkin rhodium	184
Rajah 4.56.	Jangkaan hasil produk daripada hasil uji kaji dari rawatan haba bermangkin naftalena	187
Rajah 4.57.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji (simbol) dari kecekapan penyingkiran dari rawatan haba bermangkin naftalena	188
Rajah 4.58.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan naftalena menggunakan bermangkin Y-zeolit	189
Rajah 4.59.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan naftalena menggunakan bermangkin dolomit	189
Rajah 4.60.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan haba naftalena	190

Rajah 4.61.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan naftalena menggunakan bermangkin nikel	190
Rajah 4.62.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan naftalena menggunakan bermangkin ruthenium	191
Rajah 4.63.	Ramalan model (baris) berbanding dengan hasil uji kaji dari produk hasil (simbol) dari rawatan naftalena menggunakan bermangkin rhodium	191
Rajah 4.64.	Profil hasil LHV gas pengeluar sebagai fungsi masa berjalan dari pengelasan kayu pelet di penghisap cerobong aliran bawah	195
Rajah 4.65.	Komposisi gas dan LHV dengan rawatan haba dari gas pengeluar	197
Rajah 4.66.	Kepekatan tar dan zarah dengan rawatan bermangkin gas pengeluar	187
Rajah 4.67.	Komposisi Gas dan LHV dengan rawatan penyingkiran gas pengeluar menggunakan bermangkin dolomit	201
Rajah 4.68.	Kepekatan tar dan zarah dengan rawatan penyingkiran gas pengeluar menggunakan bermangkin dolomit	201
Rajah 4.69.	Komposisi gas dan LHV rawatan gas pengeluar menggunakan bermangkin Y-zeolit	204
Rajah 4.70.	Kepekatan tar dan zarah dengan rawatan penyingkiran gas pengeluar menggunakan bermangkin Y-zeolit	205
Rajah 4.71.	Komposisi gas dan LHV rawatan gas pengeluar menggunakan bermangkin nikel	208
Rajah 4.72.	Tar dan zarah kepekatan dengan rawatan penyingkiran gas pengeluar menggunakan nikel	209
Rajah 4.73.	Komposisi gas dan LHV rawatan gas pengeluar menggunakan bermangkin Ruthenium	211
Rajah 4.74.	Tar dan zarah kepekatan dengan rawatan penyingkiran gas pengeluar menggunakan ruthenium	212
Rajah 4.75.	Komposisi gas dan LHV rawatan gas pengeluar menggunakan bermangkin rhodium	214
Rajah 4.76.	Tar dan zarah kepekatan dengan rawatan penyingkiran	214

	gas pengeluar menggunakan rhodium	
Rajah 4.77.	Ploy Arrhenius untuk tenaga pengaktifan dan faktor pre-eksponen pengiraan penyingkiran toluena	220
Rajah 4.78.	Jangkaan hasil produk daripada hasil uji kaji dari rawatan haba bermangkin naftalena	220
Rajah 4.79.	Ramalan model (garis solid) berbanding dengan hasil uji kaji (simbol) dari kecekapan penyisihan dari rawatan haba bermangkin dari tar gas pengeluar	223
Rajah 4.80.	Anggaran penyingkiran tar gas pengeluar dengan rawatan haba bermangkin sebagai fungsi masa tinggal	224
Rajah 4.81.	Carta alir keseimbangan jisim untuk perawatan haba	229
Rajah 4.82.	Carta alir keseimbangan jisim untuk rawatan bermangkin	230
Rajah 4.83.	Carta alir keseimbangan tenaga pada reaktor gelombang mikro untuk perawatan haba penutupan saldo	334
Rajah 4.84.	Carta alir keseimbangan di reaktor gelombang mikro untuk rawatan penyingkiran masukan	236

SENARAI SIMBOL

A	luas keratan reaktor (m^2)
B	keseimbangan mass tertutup (%)
c_p	kapasiti haba ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
C_{fp}	kepekatan zarah lembut ($g\ Nm^{-3}$)
C_i	Kepekatan spesies bahan tindak balas ($g\ Nm^{-3}$)
C_{masuk}	kepekatan tar masukan ($g\ Nm^{-3}$)
C_{keluar}	kepekatan tar keluaran ($g\ Nm^{-3}$)
C_T	kepekatan tar ($g\ Nm^{-3}$)
C_W	kepekatan air ($g\ Nm^{-3}$)
d_T	Jumlah diameter reaktor penebat (m)
D_P	kedalaman penembusan kuasa gelombang mikro (m)
E	tenaga Pengaktifan ($kJ\ mol^{-1}$)
E_{rms}	bidang Electric ($V\ m^{-1}$)
f	Kekerapan (Hz)
$F_{exp,i}$	kadar hasil produk yang diperolehi oleh eksperimen
$F_{mod,i}$	hasil produk dianggarkan oleh model kinetik
F_H	jumlah hidrogen (g)
F_O	jumlah hidrokarbon organik (g)
F_S	jumlah kok / jelaga (g)
F_T	jisim tar pekat baki (g)
$F_{T,0}$	jisim awal model tar (g)

F_{fp}	masukan jisim / keluaran zarah halus (kg jam^{-1})
F_{PG}	Pengeluar kadar aliran jisim gas (kg jam^{-1})
F_S	masukan jisim / keluaran jelaga (kg jam^{-1})
F_T	masukan jisim / keluaran tar (kg jam^{-1})
F_w	masukan jisim / keluaran air (kg jam^{-1})
h_i	Perolakan pekali pemindahan haba di dalam reaktor ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
h_o	perolakan pekali pemindahan haba di luar reaktor ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
H	tenaga kiraan penutupan (%)
$H_{C(fp)}$	haba pembakaran zarah (MJ jam^{-1})
$H_{C(PG)}$	tenaga kimia gas pengeluar kering yang bersih (MJ jam^{-1})
$H_{C(S)}$	haba pembakaran kok (MJ jam^{-1})
$H_{C(T)}$	haba pembakaran tar (MJ jam^{-1})
H_{FP}	tenaga dalam zarah halus (MJ jam^{-1})
H_i	jumlah input tenaga (MJ jam^{-1})
H_o	jumlah output tenaga (MJ jam^{-1})
H_{PG}	tenaga dalam gas pengeluar (MJ jam^{-1})
H_S	tenaga dalam kok (MJ jam^{-1})
H_T	tenaga dalam tar (MJ jam^{-1})
H_w	tenaga dalam air (MJ jam^{-1})
$H_{w(wap)}$	tenaga dalam air di dalam keadaan wap (MJ jam^{-1})
D_{Hfp}	haba deria zarah (MJ jam^{-1})
D_{HPG}	haba deria gas pengeluar kering yang bersih (MJ jam^{-1})
D_{HS}	haba deria kok (MJ jam^{-1})
D_{HT}	haba deria tar (MJ jam^{-1})
D_{HW}	haba deria air (MJ jam^{-1})

k	pemalar kadar Kinetik (saat^{-1})
k_0	Pre-eksponen / faktor kekerapan (saat^{-1}) atau ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{jam}^{-1}$)
k_{penebat}	kekonduksian haba bahan penebat ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)
k_{pip}	kekonduksian haba bahan reaktor ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)
L_i	tinggian reaktor zon (m)
M_b	kadar aliran jisim bahan api biojisim (kg jam^{-1})
M_i	jumlah masukan jisim (kg jam^{-1})
M_o	jumlah keluaran besar-besaran (kg jam^{-1})
MW_{PG}	kering berat molekul gas pengeluar (kg mol^{-1})
n	bilangan sampel
P	tekanan gas pengeluar di cawangan kereta api persampelan tar (kPa)
P_{ABS}	diserap kuasa gelombang mikro (W)
P_{MW}	kuasa keluaran ketuhar gelombang mikro (W)
P_o	kuasa gelombang mikro insiden di permukaan bahan (W)
$P_{(z)}$	kuasa microwave pada jarak z (W)
Q	kadar aliran gas ($\text{m}^3 \text{jam}^{-1}$)
Q_{cond}	pengaliran Q_{cond} haba (W)
Q_{conv}	perolakan Q_{conv} haba (W)
Q_{PG}	isipadu kadar aliran gas pengeluar ($\text{Nm}^3 \text{jam}^{-1}$)
Q_{rad}	radiasi Q_{rad} haba (W)
r_H	pada kadar Pembentukan hidrogen ($\text{g Nm}^{-3} \text{saat}^{-1}$) atau (g saat^{-1})
R_o	Kadar Pembentukan hidrokarbon organik ($\text{g Nm}^{-3} \text{saat}^{-1}$)
R_s	Kadar Pembentukan coke / jelaga ($\text{g Nm}^{-3} \text{saat}^{-1}$) atau (g saat^{-1})
r_T	Kadar Penukaran tar ($\text{g Nm}^{-3} \text{saat}^{-1}$) atau (g saat^{-1})
R_u	pemalar gas Universal ($0.008314 \text{ kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$)