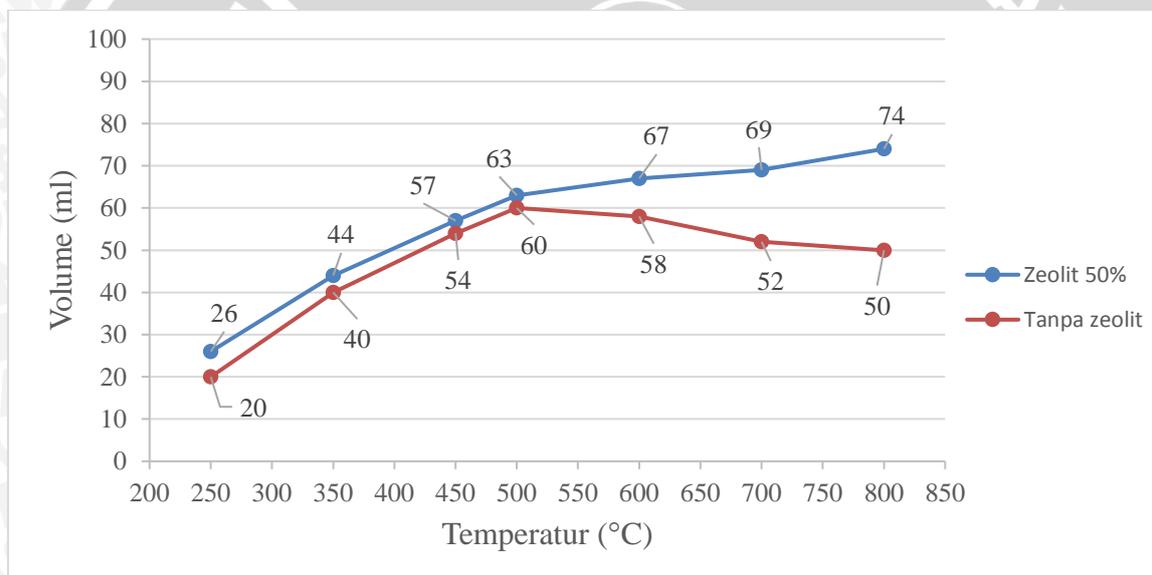


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Volume Tar

Semakin tinggi temperatur maka volume tar hasil pirolisis akan semakin meningkat dikarenakan semakin tinggi temperatur maka semakin banyak pula biomassa yang terdekomposisi termal menjadi produk pirolisis. Produksi tar hasil pirolisis akan terus meningkat sampai pada titik optimum kemudian selanjutnya akan cenderung menurun dikarenakan biomassa telah seluruhnya terdekomposisi.



Gambar 4.1 Hubungan temperatur pirolisis terhadap volume tar

Gambar 4.1 adalah hubungan temperatur terhadap volume tar pirolisis serbuk kayu mahoni zeolit dan dengan zeolit, dimana data hubungan volume dan temperatur untuk tar pirolisis serbuk kayu mahoni tanpa penambahan zeolit didapatkan dari Azis, 2016.

Dapat dilihat pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa produksi tar hasil pirolisis serbuk kayu mahoni dengan zeolit cenderung lebih tinggi jumlahnya dibandingkan dengan tar hasil pirolisis tanpa penambahan zeolit. Hal ini diakibatkan karena pada pirolisis tanpa menggunakan zeolit dekomposisi biomassa hanya dilakukan oleh proses *thermal cracking* yaitu pemecahan struktur kimia akibat kalor. Sedangkan pada pirolisis dengan menggunakan zeolit terdapat dua proses dekomposisi sekaligus yaitu *thermal cracking* dan *catalytic*

cracking. Zeolit sebagai katalis akan membantu pemutusan rantai hidrokarbon melalui mekanisme *catalytic cracking* seperti yang dijelaskan pada dasar teori di bab 2 melalui proses reaksi asam-basa bronsted-lowry dan asam-basa lewis.

Pada temperatur 250°C dihasilkan volume *tar* yang paling sedikit jumlahnya dibandingkan dengan temperatur lainnya karena pada temperatur 250°C kandungan dari serbuk kayu mahoni yang mulai terdekomposisi hanyalah hemiselulosa saja (Basu, 2010). Jumlah volume *tar* yang dihasilkan oleh pirolisis tanpa zeolit adalah sebesar 20 ml sedangkan volume *tar* yang dihasilkan oleh pirolisis dengan zeolit adalah 26 ml.

Pada temperatur 350°C volume *tar* meningkat menjadi 40 ml untuk pirolisis tanpa zeolit dan menjadi 44 ml pada pirolisis dengan zeolit. Hal ini dikarenakan pada temperatur 350°C kandungan hemiselulosa dan selulosa dari serbuk kayu mahoni sudah terdekomposisi namun kandungan lignin masih terdekomposisi sebagian karena akan terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur 500°C (Basu, 2010)

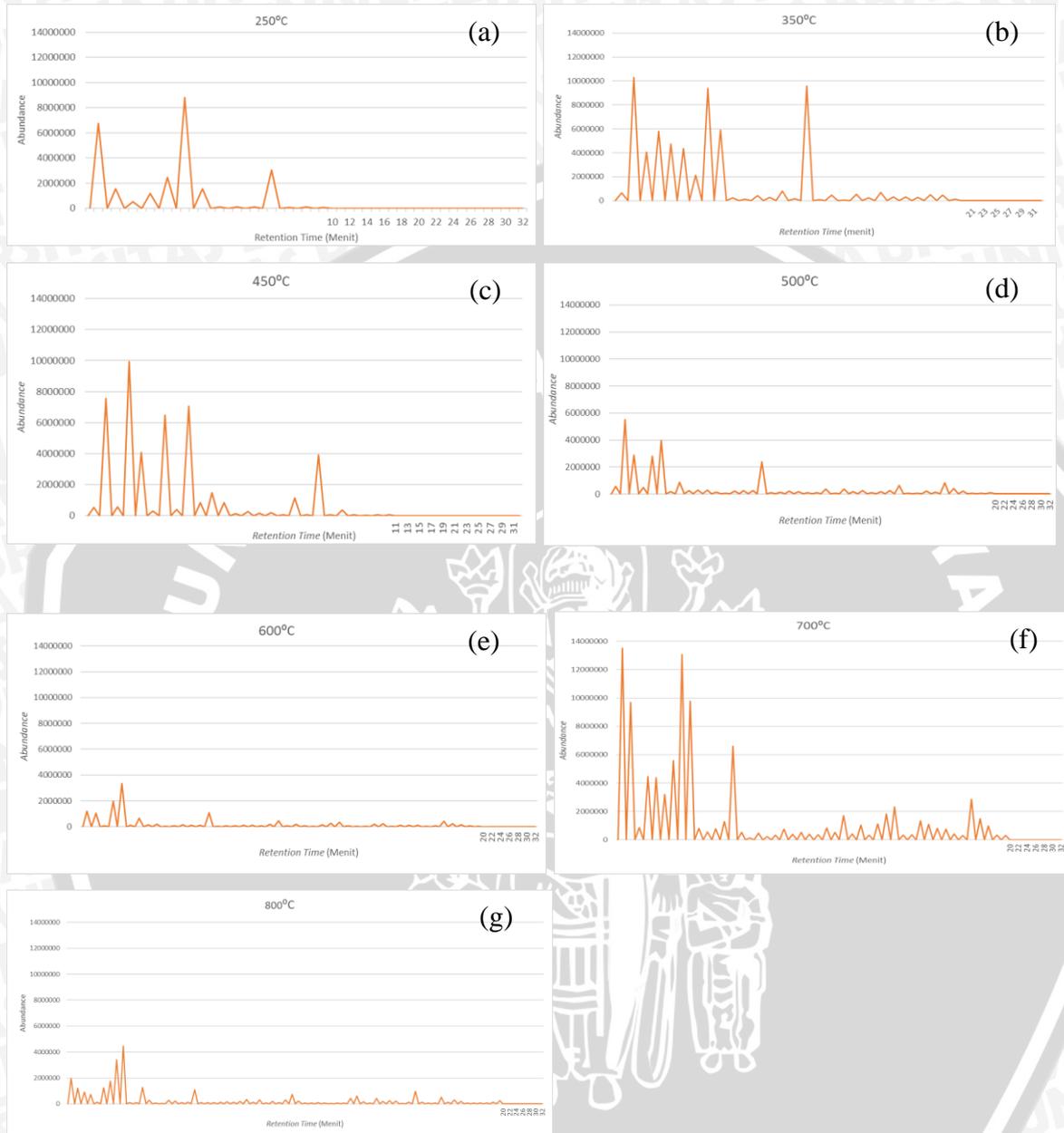
Pada temperatur 450°C volume *tar* terus meningkat menjadi sebanyak 54 ml untuk pirolisis tanpa zeolit dan 57 ml pada pirolisis dengan zeolit. Hal ini disebabkan oleh terdekomposisinya hemiselulosa dan selulosa serta bertambahnya jumlah lignin yang terdekomposisi dari pada di temperatur 350°C meskipun lignin masih belum terdekomposisi secara keseluruhan.

Pada temperatur 500°C volume *tar* yang dihasilkan sebanyak 60 ml untuk pirolisis tanpa zeolit dan 63 ml pada pirolisis dengan zeolit . Hal ini disebabkan karena pada temperatur 500°C kandungan hemiselulosa, selulosa dan lignin pada serbuk kayu mahoni sudah terdekomposisi seluruhnya sehingga menghasilkan volume *tar* yang lebih banyak dari temperatur yang sebelumnya.

Pada temperatur diatas 500°C volume *tar* pada pirolisis tanpa zeolit terus menurun yaitu menjadi 58 ml, 52 ml dan 50ml pada temperatur 600°C, 700°C dan 800°C. Namun pada pirolisis dengan zeolit volume *tar* terus bertambah menjadi 67 ml, 69 ml dan 74 ml pada temperatur 600°C, 700°C dan 800°C. Hal ini disebabkan karena zeolit akan mengoptimalkan proses pirolisis sekunder dan tersier yang terjadi diatas temperatur 500°C dengan metode *catalytic cracking* bahkan sampai temperatur tinggi karena sifat zeolit yang tahan panas sampai dengan 1000°C (Chris, 2009). Reaksi sekunder pirolisis terjadi diatas temperatur 500°C dan menghasilkan produk pirolisis sekunder seperti *phenol* dan senyawa alkena C_nH_{2n} (Basu, 2010). Sedangkan pada temperatur 750°C sampai 1000°C terjadi proses pirolisis tersier dan terbentuk senyawa *tar* tersier seperti *benzene*, *naphthalene*, *acenaphthylene*, *anthracene* atau *phenanthrene*, and *pyrene* (Basu, 2010).

4.2 Hasil Kromatogram Pada Senyawa Tar

Berikut adalah gambar gas *chromatogram* dari sampel senyawa *tar* pada range temperatur 250°C - 800°C.



Gambar 4.2 Kromatogram GC-MS tar dengan penambahan zeolit 50 wt% pada temperatur pirolisis (a) 250°C, (b) 350°C, (c) 450°C, (d) 500°C, (e) 600°C, (f) 700, dan (g) 800°C.

Sampel *tar* yang diuji menggunakan pengujian GC-MS akan menghasilkan kromatogram. Sumbu-x pada kromatogram adalah *retention time* (RT) yaitu lamanya waktu sebuah senyawa pada sampel untuk berjalan melalui kolom sampai menuju pada detektor. Semakin besar nilainya atau semakin lama *retention time* sebuah senyawa, maka ukuran molekulnya semakin besar dan panjang rantainya semakin panjang, begitu juga sebaliknya.

Sedangkan Sumbu-y pada kromatogram adalah kelimpahan relatif yang tak berdimensi, menunjukkan banyaknya ion yang terdeteksi pada detektor di RT tertentu.

Pada gambar 4.2 (a) adalah kromatogram tar pirolisis pada temperatur 250°C. Pada kromatogram tersebut dapat dilihat bahwa *retention time* terlamanya adalah 9,03 menit dan kelimpahan tertingginya diatas 9.000.000 namun dibawah 10.000.000. Nilai *retention time* dan kelimpahan ini relatif rendah apabila dibandingkan dengan kromatogram pada temperatur lainnya. Kelimpahan senyawa yang kecil disebabkan karena pada temperatur 250°C hanya hemiselulosa yang mulai terdekomposisi sementara selulosa dan lignin masih belum terdekomposisi. Sementara rendahnya *retention time* disebabkan karena hemiselulosa yang bersifat paling lunak dan ikatannya lemah jika dibandingkan dengan lignin dan selulosa (Basu, 2010), sehingga senyawa hidrokarbon mudah terdekomposisi secara *thermal* maupun secara *catalytic cracking*.

Pada gambar 4.2 (b) adalah kromatogram tar pada temperatur 350°C. Pada kromatogram ini dapat dilihat bahwa *retention time* terlama adalah 18,17 menit dan kelimpahan tertingginya hampir mencapai 11.000.000. Nilai *retention time* dan kelimpahan ini meningkat apabila dibandingkan dengan hasil pada temperatur 250°C. Peningkatan kelimpahan dapat disebabkan karena pada temperatur 350°C hemiselulosa dan selulosa sudah terdekomposisi secara keseluruhan dan lignin sudah mulai terdekomposisi sebagian. Sementara meningkatnya *retention time* disebabkan karena selulosa juga sudah terdekomposisi secara keseluruhan di temperatur 350°C, mengingat selulosa memiliki kandungan polimer dengan rantai panjang dan berat molekul yang besar (Basu, 2010).

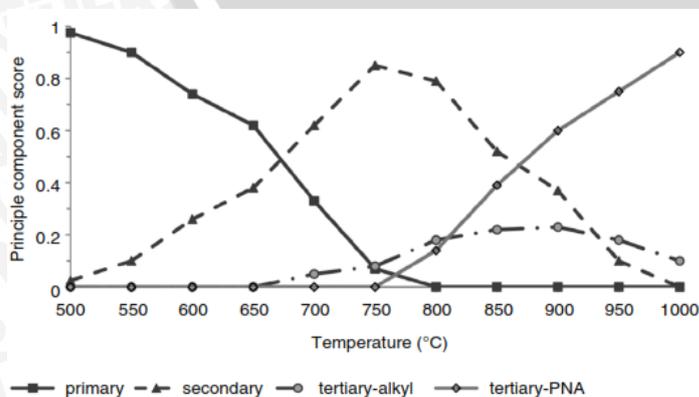
Pada gambar 4.2 (c) adalah kromatogram tar pada temperatur 450°C. Pada kromatogram ini dapat dilihat bahwa *retention time* terlamanya adalah 10,83 menit dan kelimpahan tertingginya sedikit diatas 10.000.000. Nilai *retention time* dan kelimpahan ini menurun apabila dibandingkan dengan hasil pada temperatur 350°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 450°C lignin yang mulai terdekomposisi sebagian terus mengalami dekomposisi secara *thermal* dan juga mengalami *catalytic cracking* oleh zeolit, sehingga rantai hidrokarbon panjang dari lignin dipecah menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan sederhana. Akibat terbentuknya senyawa hidrokarbon yang lebih pendek dan sederhana, maka *retention time* juga akan menjadi lebih singkat.

Pada gambar 4.2 (d) adalah kromatogram tar pada temperatur 500°C. Pada kromatogram ini dapat dilihat bahwa *retention time* terlamanya adalah 19,1 menit dan kelimpahan tertingginya sedikit diatas 5.500.000. Nilai *retention time* ini meningkat namun kelimpahan tertingginya menurun apabila dibandingkan dengan hasil pada temperatur

450°C. Meningkatnya *retention time* disebabkan oleh lignin pada temperatur 500°C sudah terdekomposisi seluruhnya, mengingat lignin adalah komposisi serbuk kayu mahoni yang paling kompleks sehingga membutuhkan temperatur yang lebih tinggi agar lignin terpecah menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana.

Pada gambar 4.2 (e) terlihat kromatogram *tar* pada temperatur 600°C memiliki *retention time* terlamanya adalah 19,09 menit dan kelimpahan tertingginya sekitar 3.500.000. Nilai *retention time* dan kelimpahan tertingginya ini menurun apabila dibandingkan dengan hasil pada temperatur 500°C. Menurunnya *retention time* dan kelimpahan tertinggi ini disebabkan karena pada temperatur 600°C lignin masih dapat tersisa dan akan terus mengalami dekomposisi secara *thermal cracking* dan juga *catalytic cracking* dengan zeolit. Kemudian apabila dibandingkan dengan kromatogram *tar* pada temperatur 500°C terlihat bahwa distribusi senyawa pada *retention time* 8-14 lebih rapat pada kromatogram *tar* temperatur 600°C, hal ini disebabkan karena pada temperatur 600°C telah terbentuk hasil *tar* sekunder yang terbentuk dari pembentukan ulang atau *reforming* dari *tar primer* (Basu, 2010).

Pada gambar 4.2 (f) dan (g) adalah kromatogram *tar* pada temperatur 700°C dan 800°C. Dua hasil kromatogram ini memiliki kecenderungan yang hampir sama pada distribusi *retention timenya* yaitu sangat tinggi kelimpahannya pada *retention time* rendah 0-4 menit, rendah kelimpahannya pada 4-9 menit dan tinggi kembali kelimpahannya pada *retention time* 10 dan 14 menit, namun pada temperatur 800°C distribusi senyawa pada *retention time* 8-19 menit lebih rapat dibandingkan dengan temperatur 700°C. Sedangkan, kelimpahan tertinggi pada *tar* di temperatur 800°C juga lebih rendah dibandingkan dengan di temperatur 700°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 800°C *tar* hasil pirolisis sekunder sudah mulai terpecah menjadi *tar* tersier sehingga menyebabkan produksi senyawa hidrokarbon rantai sedang akan semakin banyak (Basu, 2010).

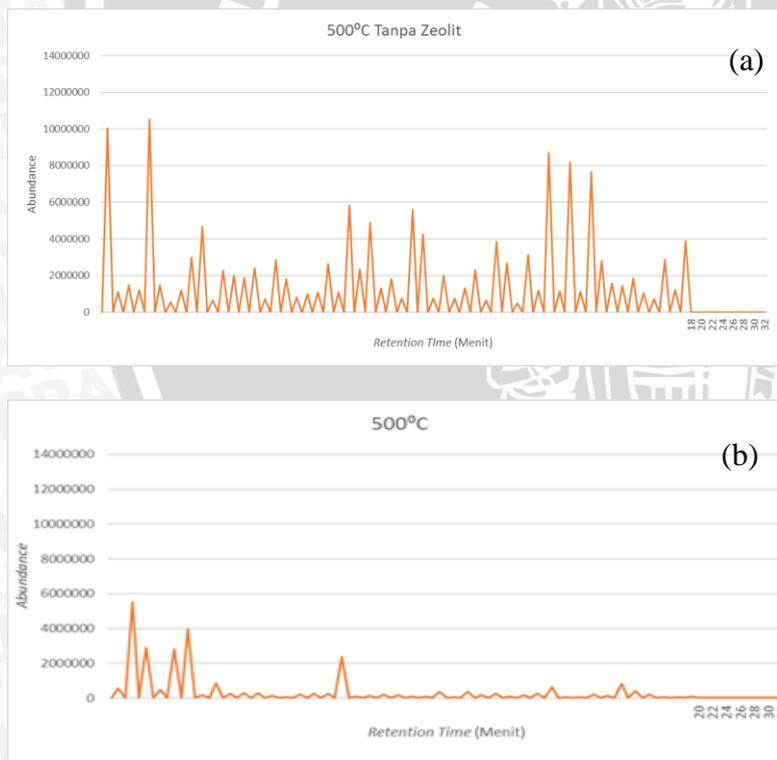


Gambar 4.3 Hubungan temperatur terhadap hasil pirolisis primer, sekunder, tersier
Sumber : Basu, (2010)

4.2.1 Pengaruh Zeolit Terhadap Hasil Kromatogram

Penambahan zeolit sebagai katalis akan membantu mengoptimalkan pemecahan rantai hidrokarbon melalui proses *catalytic cracking*. Kami mengambil contoh *tar* di temperatur 500°C, pada gambar 4.4 (a) terlihat bahwa pada *tar* tanpa zeolit memiliki senyawa dengan kelimpahan yang sama relatif sama banyak dari dari *retention time* 2-18 menit, hal ini menandakan bahwa jumlah senyawa hidrokarbon rantai pendek dan rantai sedang dari *tar* tanpa zeolit relatif sama.

Sedangkan pada gambar 4.4 (b) yaitu *tar* dengan penambahan zeolit 50 wt% memiliki jumlah senyawa yang lebih banyak pada *retention time* rendah dan sedikit pada *retention time* sedang, ini menandakan bahwa pada *tar* dengan penambahan zeolit 50 wt% lebih dominan senyawa hidrokarbon rantai pendek dibandingkan dengan hidrokarbon rantai sedang atau panjang. Hal ini sebabkan karena zeolit akan membantu proses dekomposisi dengan metode *catalytic cracking* seperti yang dijelaskan pada tinjauan pustaka, sehingga membantu memecah hidrokarbon rantai sedang menjadi hidrokarbon rantai pendek.



Gambar 4.4 Kromatogram GC-MS *tar* serbuk kayu mahoni temperatur 500°C (a) tanpa zeolit, (b) dengan zeolit 50 wt%.

4.3 Identifikasi Senyawa Kimia Pada *Tar* Hasil Pirolisis

Melalui pengujian GC-MS kita dapat mengetahui senyawa apa saja yang terkandung pada suatu sampel. Termasuk pada *tar* hasil pirolisis, dapat diuji kandungannya melalui GC-MS. Hasil yang ditunjukkan pada GC-MS adalah kromatogram dan tabel komposisi senyawa pada suatu sampel yang diuji. Berikut adalah identifikasi senyawa pada *tar* kami, dimana data pada tabel dengan warna biru menunjukkan senyawa hidrokarbon rantai karbon pendek, warna kuning rantai karbon sedang, dan warna hijau adalah rantai karbon panjang.

Tabel 4.1
Senyawa *tar* pada temperatur 250°C dengan zeolit 50 wt%

250°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	1-Propanol, 2-amino-,	C ₃ H ₉ NO	9.55	8	Hydrazine, propyl	C ₃ H ₁₀ N ₂	0.37
2	Ethanol	C ₂ H ₆ O	1.84	9	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	0.44
3	Acetone	C ₃ H ₆ O	0.55	10	1-Hydroxy-2-butanone	C ₄ H ₈ O ₂	0.55
4	Acetic Acid, methyl ester	C ₃ H ₆ O ₂	1.65	11	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	18.08
5	2,3-Butanedione	C ₄ H ₆ O ₂	4.96	12	2-propanone, 1-(acetyloxy)-	C ₅ H ₈ O ₃	0.65
6	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	57.28	13	2-cyclopenten-1-one, 2-methyl-	C ₆ H ₈ O	0.55
7	2-Propanone, 1-hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	3.03	14	Borinic acid, diethyl-, methyl ester	C ₅ H ₁₂ BO	0.49

Pada tabel 4.1 adalah daftar senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 250°C. Pada tabel ini dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₂ sampai C₅. Panjang rantai karbon pada hidrokarbon dikelompokkan menjadi rantai pendek, sedang dan panjang. Rantai karbon pendek adalah pada rentang C₁-C₃, rantai sedang C₄-C₆ sedangkan rantai panjang adalah pada rentang C₇-C₁₉ (Rahimi, 2011). Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebesar 73,06% sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ adalah sebesar 26,94% .

Banyaknya persentase rantai karbon pendek ini disebabkan karena pada temperatur 250°C hanya hemiselulosa yang baru terdekomposisi sementara selulosa dan lignin masih belum terdekomposisi, mengingat hemiselulosa adalah senyawa penyusun serbuk kayu mahoni bersifat paling lunak dan ikatannya paling lemah jika dibandingkan dengan lignin dan selulosa, sehingga senyawa hemiselulosa menjadi mudah untuk dipecah menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek oleh proses *thermal cracking* pada pirolisis dan dibantu dengan *catalytic cracking* oleh zeolit.

Tabel 4.2
Senyawa *tar* pada temperatur 350°C dengan zeolit 50 wt %

350°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	Carbon dioxide	CO ₂	0.41	15	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	0.35
2	Acetone	C ₃ H ₆ O	6.99	16	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	22.6
3	Ethanol	C ₂ H ₆ O	2.5	17	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	C ₅ H ₈ O ₃	0.2
4	Acetone	C ₃ H ₆ O	3.53	18	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	C ₆ H ₈ O	0.94
5	Acetic acid, methyl ester	C ₃ H ₆ O ₂	3.05	19	Ethanone 1-(2-furanyl)-	C ₆ H ₆ O ₂	1.18
6	2,3-Butanedione	C ₄ H ₆ O ₂	2.82	20	Furfural, 5-methyl-	C ₆ H ₆ O ₂	2.25
7	Furan, tetrahydro-	C ₄ H ₈ O	1.46	21	3,4-Dimethylpent-2-en-1-ol	C ₇ H ₁₄ O	0.62
8	Acetic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	35.2	22	Phenol, 2-methoxy-	C ₇ H ₈ O ₂	2.23
9	2-Propanone, 1-hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	2.02	23	Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.92
10	Hydrazine, propyl-, ethanedioate (1:1)	C ₅ H ₁₂ N ₂ O ₄	0.44	24	Benzeneethanol, 2-methoxy-	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.98
11	2-Pentene, 4-methyl-	C ₆ H ₁₂	0.19	25	Phenol, 2,6-dimethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₃	0.26
12	2-methoxytetrahydrofuran	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.4	26	4,5-Dimethoxy-2-methylphenol	C ₉ H ₁₂ O ₃	2.05
13	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	0.57	27	2,4-Dimethyl-3-(methoxycarbonyl)-5-ethylfuran	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	2.81
14	Cyclopentanone	C ₅ H ₈ O	0.92	28	4-ethyl-DPM	C ₈ H ₁₀ O	0.38

Pada tabel 4.2 adalah nama-nama senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 350°C. Pada tabel ini dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₁ sampai C₁₀. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 350°C ini adalah C₁₀, lebih panjang dari pada rantai terpanjang senyawa *tar* pada temperatur 250°C yaitu C₆. Kemudian pada tabel 4.2 dapat dilihat pula bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 53,74% sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 33,76% dan kandungan rantai panjangnya C₇-C₁₀ hanya sebesar 12,5%.

Terdapat penurunan persentase kandungan hidrokarbon rantai pendek dan terdapat peningkatan kandungan hidrokarbon rantai sedang dan panjang apabila dibandingkan dari temperatur 250°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 350°C selain kandungan hemiselulosa, kandungan selulosa pada serbuk kayu mahoni sudah terdekomposisi seluruhnya mengingat selulosa memiliki senyawa dengan rantai yang panjang dan berat molekul yang tinggi (Basu, 2010). Selain itu penambahan persentase pada hidrokarbon dengan rantai karbon sedang dan panjang diakibatkan pada temperatur 350 °C kandungan lignin pada serbuk kayu mahoni juga sudah mulai terdekomposisi sebagian.

Tabel 4.3

Senyawa *tar* pada temperatur 450°C dengan zeolit 50 wt %

450°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	Carbon dioxide	CO ₂	0.55	14	Ethylidene acetone	C ₅ H ₈ O	0.81
2	Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	9.01	15	2-methoxytetrahydrofuran	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.21
3	Ethanol	C ₂ H ₆ O	0.5	16	Toluene 1,3,5-Cycloheptatriene	C ₇ H ₈	0.81
4	Acetone	C ₃ H ₆ O	11.08	17	Acetic acid, ethyl ester	C ₄ H ₈ O ₂	0.21
5	Acetic acid, methyl ester	C ₃ H ₆ O ₂	4.45	18	Cyclopentanone	C ₅ H ₈ O	2.79
6	1-Propen-2-ol, acetate	C ₅ H ₈ O ₂	0.33	19	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	0.21
7	2-butanone	C ₄ H ₈ O	14.59	20	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	14.56
8	Furan, tetrahydro-	C ₄ H ₈ O	0.9	21	2H-pyran-2-one	C ₅ H ₄ O ₂	0.26
9	Acetic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	30.37	22	2-Cyclopentene-1-one, 2-methyl-	C ₆ H ₈ O	1.62
10	3-buten-2-one, 3-methyl-	C ₅ H ₈ O	1.16	23	4,4-dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O	0.24
11	2-Propanone, 1-Hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	2.64	24	Furfural, 5-methyl-	C ₆ H ₆ O ₂	0.33
12	2-Pentanone, 4-methyl-	C ₆ H ₁₂ O	1.34	25	Butanoic acid, ethyl ester	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.25
13	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	0.31	26	Mequinol	C ₇ H ₈ O ₂	0.47

Pada tabel 4.3 adalah nama-nama senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 450°C. Pada tabel ini dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₁ sampai C₇. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 450°C ini adalah C₇, lebih pendek dari pada rantai terpanjang senyawa *tar* pada temperatur 350°C yaitu C₁₀. Kemudian pada tabel 4.3 dapat dilihat pula bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 58,91% sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 39,57% dan kandungan rantai panjangnya C₇ hanya sebesar 1,57%.

Terjadi peningkatan persentase kandungan hidrokarbon rantai pendek dan sedang serta terdapat penurunan kandungan hidrokarbon rantai panjang apabila dibandingkan dari temperatur 350°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 450°C lignin yang mulai terdekomposisi sebagian akan terus mengalami dekomposisi secara *thermal* dan juga mengalami *catalytic cracking* oleh zeolit, sehingga rantai hidrokarbon panjang dari lignin dipecah menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan sederhana, yang berakibat terbentuknya senyawa dengan rantai hidrokarbon yang lebih pendek dibandingkan dengan senyawa yang terbentuk pada temperatur 350°C.

Tabel 4.4
Senyawa *tar* pada temperatur 500°C dengan zeolit 50 wt %

500°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	Methanamine	CH ₅ N	1.04	22	2(3H)-Furanone, dihydro-	C ₅ H ₈ O ₂	0.43
2	Methanol	CH ₃ OH	7.31	23	1,3-Cyclopentanedione	C ₅ H ₆ O ₂	0.6
3	Acetone	C ₃ H ₆ O	5.04	24	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	1.75
4	Acetic acid, methyl ester	C ₃ H ₆ O ₂	0.83	25	3-pentanone, 2-methyl-	C ₆ H ₁₂ O	0.29
5	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	16.95	26	Phenol	C ₆ H ₆ O	2.08
6	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	26.13	27	Propanoic acid, 2-methyl-	C ₄ H ₈ O ₂	0.68
7	2-butenal	C ₄ H ₆ O	0.47	28	2-cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	C ₆ H ₈ O ₂	1.16
8	2-Propanone, 1-hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	2.24	29	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O	0.43
9	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	0.94	30	Phenol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O	0.83
10	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	0.94	31	Phenol, 4-methyl-	C ₇ H ₈ O	1.78
11	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	0.96	32	Phenol, 2-methoxy	C ₇ H ₈ O ₂	2.28
12	3-penten-2-one,	C ₅ H ₈ O	0.36	33	Phenol, 2,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	2.28
13	Propanoic acid, 2-methyl-	C ₄ H ₈ O ₂	0.31	34	Phenol, 2,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.35
14	1-hydroxy-2-butanone	C ₄ H ₈ O ₂	1.36	35	Phenol, 2-methoxy-4-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.92
15	Ethanamine, N,N-dimethyl-	C ₄ H ₁₁ N	1.31	36	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.59
16	Cyclopentanone	C ₅ H ₈ O	0.98	37	Phenol, 2,6-dimethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₃	2.31
17	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	9.74	38	2H-pyran-2,4(3H)-dione, 3-acetyl-6-methyl-	C ₈ H ₈ O ₄	1.24
18	2-Butanone	C ₄ H ₈ O	0.63	39	2,3,5-Trimethoxytoluene	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	0.7
19	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	C ₅ H ₈ O ₃	1.01	40	Homovanillyl alcohol	C ₉ H ₁₂ O ₃	0.29
20	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	C ₆ H ₈ O	1.13	41	Tetraethylthiophene	C ₉ H ₁₂	0.29
21	Ethanone, 1-(2-furanyl)-	C ₆ H ₆ O ₂	0.58	42	Desaspidinol	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	0.39

Pada tabel 4.4 adalah nama-nama senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 500°C. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₁ sampai C₁₁. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 500°C ini adalah C₁₁, lebih panjang dari pada rantai terpanjang senyawa *tar* pada temperatur 450°C yaitu C₇. Kemudian pada tabel 4.4 dapat dilihat pula bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 62,38% sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 24,87% dan kandungan rantai panjangnya C₇-C₁₁ sebesar 12,75%.

Terjadi peningkatan persentase kandungan hidrokarbon rantai pendek dan panjang namun terdapat penurunan kandungan hidrokarbon rantai sedang apabila dibandingkan dari temperatur 450°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 500°C lignin sudah terdekomposisi seluruhnya, mengingat lignin adalah komposisi serbuk kayu mahoni yang paling kompleks sehingga menghasilkan senyawa hidrokarbon dengan rantai

karbon panjang. Sedangkan penambahan persentase pada hidrokarbon rantai pendek adalah hasil dari dekomposisi senyawa hidrokarbon rantai sedang yang terus terjadi oleh proses *thermal* dan *catalytic cracking* sehingga persentase senyawa hidrokarbon rantai sedang menurun dan hidrokarbon rantai pendek meningkat.

Tabel 4.5
Senyawa *tar* pada temperatur 600°C dengan zeolit 50 wt %

600°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	Acetic acid, hydroxy	C ₂ H ₄ O ₃	6.82	24	Butanoic Acid	C ₄ H ₈ O ₂	0.58
2	Acetone	C ₃ H ₆ O	5.54	25	2-Cyclopentene-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	C ₆ H ₈ O ₂	1.31
3	Acetic acid, methyl ester	C ₃ H ₆ O ₂	0.32	26	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O	0.35
4	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	14.29	27	Oxirane, (1,1-dimethylbutyl)-	C ₈ H ₁₆ O	0.29
5	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	25.13	28	Phenol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O	1.09
6	2-Butenal	C ₄ H ₆ O	1.54	29	Phenol, 4-methyl	C ₇ H ₈ O	2.19
7	2-Propanone, 1-hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	3.39	30	Phenol, 2-methoxy	C ₇ H ₈ O ₂	1.86
8	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	1.03	31	1,3-Propanediamine, N-methyl-	C ₇ H ₁₉ N ₃	0.47
9	Propanoic acid, anhydride	C ₆ H ₁₀ O ₃	0.98	32	Phenol, 3-ethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.26
10	2-Butanone, 3-hydroxy-	C ₄ H ₈ O ₂	0.32	33	Phenol, 3-ethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.36
11	3-Penten-2-one	C ₅ H ₈ O	0.4	34	Benzene, 1,4-dimethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.97
12	1-Hydroxy-2-butanone	C ₄ H ₈ O ₂	1.52	35	1,2-Benzenediol	C ₆ H ₆ O ₂	1.33
13	Butanoic acid	C ₄ H ₈ O ₂	1.48	36	Ethyl cyclopropanecarboxylate	C ₆ H ₁₀ O ₂	0.36
14	Cyclopentanone	C ₅ H ₈ O	0.96	37	1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	C ₇ H ₈ O ₃	0.62
15	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	8.52	38	1,4-Benzenediol	C ₆ H ₆ O ₂	0.77
16	2-Furanmethanol	C ₅ H ₆ O ₂	0.31	39	Benzeneethanol, 2-methoxy-	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.79
17	2-Butanone	C ₄ H ₈ O	0.49	40	Benzeneethanol, 4-methyl-	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.33
18	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	C ₅ H ₈ O ₃	0.88	41	1,4-Benzenediol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O ₂	0.65
19	2-Cyclopentene-1-one, 2-methyl-	C ₅ H ₆ O	1.03	42	Phenol, 2,6-dimethoxy	C ₈ H ₁₀ O ₃	2.16
20	2(3H)-Furanone, dihydro-	C ₅ H ₈ O ₂	1.8	43	Dehydroacetic acid	C ₈ H ₈ O ₄	1.18
21	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	C ₅ H ₆ O ₂	0.63	44	Methylphloracetophenone	C ₉ H ₁₀ O ₄	0.71
22	Furfural, 5-methyl	C ₆ H ₆ O ₂	1.51	45	Guaiacylacetone	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	0.33
23	Phenol	C ₆ H ₆ O	2.94	46	1-Butanone, 1-(2,4,6-trihydroxy-3-methylphenyl)	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	0.3

Pada tabel 4.5 adalah nama-nama senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 600°C. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₂ sampai C₁₁. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 600°C ini adalah C₁₁, yaitu sama dengan rantai terpanjang senyawa *tar* pada temperatur 500°C. Kemudian pada tabel 4.5 dapat dilihat pula bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 56,52% sedangkan

kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 29,66% dan kandungan rantai panjangnya C₇-C₁₁ sebesar 13,82%.

Terjadi peningkatan persentase kandungan hidrokarbon rantai sedang dan panjang namun terdapat penurunan kandungan hidrokarbon rantai pendek apabila dibandingkan dari temperatur 500°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 600°C *tar* mulai terbentuk produk *tar* sekunder yang menghasilkan senyawa dengan molekul yang besar, (Basu, 2010). Senyawa dengan berat molekul yang besar cenderung memiliki rantai yang panjang karena semakin panjang rantai karbon senyawa hidrokarbon maka berat molekulnya juga akan semakin besar.

Tabel 4.6
Senyawa *tar* pada temperatur 700°C dengan zeolit 50 wt %

700°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	Methanol	CH ₃ OH	6.08	24	1,2-Cyclopentanedione	C ₅ H ₆ O ₂	0.48
2	Acetone	C ₃ H ₆ O	3.34	25	Furfural, 5-methyl-	C ₆ H ₆ O ₂	0.84
3	Acetic acid, methyl ester	C ₃ H ₆ O ₂	0.27	26	2-cyclopenten-1-one, 3-methyl-	C ₆ H ₈ O	0.72
4	Ethanone, 1-oxiranyl-	C ₄ H ₆ O ₂	2.7	27	Phenol	C ₆ H ₆ O	2.33
5	Propanal, 2-methyl-	C ₄ H ₈ O	2.38	28	Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	C ₈ H ₁₄ O ₃	0.6
6	Acetic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	2.64	29	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	C ₆ H ₈ O ₂	1.47
7	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	14.16	30	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O	0.41
8	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	24.55	31	Phenol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O	1.1
9	2-propanone, 1-hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	3.71	32	Phenol, 3-methyl-	C ₇ H ₈ O	2.34
10	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	0.66	33	Phenol, 2-methoxy-	C ₇ H ₈ O ₂	2.07
11	3-Penten-2-one, (E)-	C ₅ H ₈ O	0.31	34	Phenol, 2,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.5
12	1-Hydroxy-2-butanone	C ₄ H ₈ O ₂	0.48	35	Phenol, 3,5-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.3
13	Cyclopentanone	C ₅ H ₈ O	1.08	36	Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	C ₈ H ₁₀ O ₂	1.16
14	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	8.3	37	1,2-benzenediol	C ₆ H ₆ O ₂	1.8
15	2-Cyclopenten-1-one	C ₅ H ₆ O	0.82	38	1,2-benzenediol, 3-methoxy-	C ₇ H ₈ O ₃	1.02
16	Butanoic acid, 3-hydroxy-, methyl ester	C ₅ H ₁₀ O ₃	0.33	39	Benzeneethanol, 2-methoxy-	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.63
17	2-Butanone	C ₄ H ₈ O	0.48	40	1,2-benzenediol, 4-methyl-	C ₇ H ₈ O ₂	0.56
18	2-Furanmethanol	C ₅ H ₆ O ₂	0.31	41	1,4-benzenediol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O ₂	0.45
19	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	C ₅ H ₈ O ₃	0.47	42	Phenol, 2,6-dimethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₃	2.28
20	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	C ₆ H ₈ O	1.07	43	2H-Pyran-2,4 (3H)-dione, 3-acetyl-6-methyl	C ₈ H ₈ O ₄	1.44
21	Ethanone, 1-(2-furanyl)-	C ₆ H ₆ O ₂	0.6	44	7,8-dimethylbenzocyclooctene	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	0.78
22	2(3H)-Furanone, dihydro-	C ₅ H ₈ O ₂	0.95	45	Homovanillic acid	C ₉ H ₁₀ O ₄	0.29
23	2(5H)-furanone	C ₄ H ₄ O ₂	0.34	46	Homosyringic acid	C ₁₀ H ₁₂ O ₅	0.35

Pada tabel 4.6 adalah nama-nama senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 700°C. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₁ sampai C₁₀. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 700°C ini adalah C₁₀. Kemudian pada tabel 4.6 dapat dilihat pula bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 55,41%

sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 28,26% dan kandungan rantai panjangnya C₇-C₁₀ sebesar 16,33%.

Terjadi peningkatan persentase kandungan hidrokarbon rantai panjang dan terdapat penurunan kandungan hidrokarbon rantai pendek dan sedang apabila dibandingkan dari temperatur 600°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 700°C produksi *tar* sekunder terus meningkat dan mulai terbentuk *tar tersier* sehingga menghasilkan lebih banyak senyawa dengan molekul yang besar, (Basu, 2010). Senyawa dengan berat molekul yang besar cenderung memiliki rantai yang panjang karena semakin panjang rantai karbon senyawa hidrokarbon maka berat molekulnya juga akan semakin besar.

Tabel 4.7

Senyawa *tar* pada temperatur 800°C dengan zeolit 50 wt %

800°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	Methyl Alcohol	CH ₄ O	3.03	35	Phenol, 2-methoxy	C ₇ H ₈ O ₂	2.37
2	Acetic Acid, hydroxy-	C ₂ H ₄ O ₃	2.47	36	Cyclobutanol	C ₄ H ₈ O	1.05
3	Acetone	C ₃ H ₆ O	1.35	37	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy	C ₇ H ₁₀ O ₂	0.27
4	Acetone	C ₃ H ₆ O	1.67	38	phenol, 2,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.27
5	Acetic acid, methyl ester	C ₃ H ₆ O ₂	0.21	39	phenol, 2,5-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.52
6	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	3.99	40	phenol, 2,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.3
7	Acetic acid, anhydride	C ₄ H ₆ O ₃	3.74	41	2-methoxy-4-methylphenol	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.24
8	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	13.2	42	Cyclopentane, ethyl-	C ₇ H ₁₄	0.3
9	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	14.6	43	4-Methyl-1,6-heptadien-4-ol	C ₈ H ₁₄ O	0.27
10	2-Butenal	C ₄ H ₆ O	0.18	44	2-Methoxy-5-methylphenol	C ₈ H ₁₀ O ₂	1.4
11	2-Butenal	C ₄ H ₆ O	0.18	45	1,2-Benzenediol	C ₆ H ₆ O ₂	2.4
12	2-Propanone, 1-hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	4.43	46	1-Pentene, 3-ethyl-	C ₇ H ₁₄	0.6
13	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	2.05	47	Furfural, 5-(hydroxymethyl)-	C ₆ H ₆ O ₃	0.26
14	Lacthydrazide	C ₃ H ₈ N ₂ O ₂	0.39	48	1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	C ₇ H ₈ O ₃	1.68
15	Ethylidene acetone	C ₅ H ₈ O	0.26	49	1,4-Benzenediol	C ₆ H ₆ O ₂	0.78
16	2-Propanone, 1-hydroxy-	C ₃ H ₆ O ₂	1.77	50	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.96
17	Butanedial	C ₄ H ₆ O ₂	1.2	51	1,2-Benzenediol, 4-methyl-	C ₇ H ₈ O ₂	0.82
18	Butanoic acid	C ₄ H ₈ O ₂	0.33	52	4-vinyl-2-methoxy-phenol	C ₉ H ₁₀ O ₂	0.17
19	Cyanic acid, 2,2-dimethylpropyl ester	C ₆ H ₁₁ NO	0.77	53	1,4-Benzenediol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O ₂	0.7
20	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	5.64	54	Phenol, 2,6-dimethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₃	3.01
21	2-Furanmethanol	C ₅ H ₆ O ₂	0.44	55	Phenol, 3,4-dimethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₃	0.61
22	butanal 2-ethyl-	C ₆ H ₁₂ O	0.58	56	4-ethylcatechol	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.38
23	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	C ₅ H ₈ O ₃	0.84	57	2-ethoxy-4-methylphenol	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.29
24	2-cyclopenten-1-one, 2-methyl-	C ₆ H ₈ O	0.74	58	1,2,4-Trimethoxybenzene	C ₉ H ₁₂ O ₃	2.02
25	Butyrolactone	C ₄ H ₆ O ₂	1.65	59	Acetovanillone	C ₉ H ₁₀ O ₃	0.8
26	1,2-Cyclopentanedione	C ₅ H ₆ O ₂	0.69	60	2,3,5-Trimethoxytoluene	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	0.98
27	Furfural, 5-methyl-	C ₆ H ₆ O ₂	0.91	61	Homovanillic acid	C ₉ H ₁₀ O ₄	0.66
28	Phenol	C ₆ H ₆ O	1.41	62	n-Octanoic acid isopropyl ester	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.38
29	Imidazole	C ₃ H ₄ N ₂	0.48	63	Carbazole	C ₁₂ H ₉ N	0.2
30	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	C ₆ H ₈ O ₂	1.2	64	Syringaldehyde	C ₉ H ₁₀ O ₄	0.23
31	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O	0.22	65	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	0.21
32	Phenol, 2-methyl-	C ₇ H ₈ O	0.81	66	Acetosyringone	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	0.44
33	2-Furanmethanol, tetrahydro-	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.62	67	3,5-dimethoxy-4-hydroxyphenylacetic acid	C ₁₀ H ₁₂ O ₅	0.81
34	Phenol, 4-methyl-	C ₇ H ₈ O	1.55				

Pada tabel 4.7 adalah nama-nama senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 800°C. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₁ sampai C₁₁. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 800°C ini adalah C₁₁, lebih panjang dari pada rantai terpanjang senyawa *tar* pada temperatur 700°C yaitu C₁₀. Kemudian pada tabel 4.7 dapat dilihat pula bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 49,63% sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 21,08% dan kandungan rantai panjangnya C₇-C₁₁ sebesar 29,29%.

Terjadi peningkatan persentase kandungan hidrokarbon rantai panjang dan terdapat penurunan kandungan hidrokarbon rantai pendek dan sedang apabila dibandingkan dari temperatur 700°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 800°C produksi *tar* sekunder masih sangat tinggi dan *tar tersier* terus meningkat sehingga menghasilkan lebih banyak senyawa dengan molekul yang besar, (Basu, 2010).

4.3.1 Pengaruh Zeolit Terhadap Senyawa Pada *Tar*

Penambahan zeolit sebagai katalis akan membantu mengoptimalkan pemecahan rantai hidrokarbon pada pirolisis melalui proses *catalytic cracking*. Kami mengambil contoh pada tabel 4.8 adalah komposisi senyawa *tar* temperatur 500°C yang didapatkan dari Azis, 2016. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₁ sampai C₁₁. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 500°C ini adalah C₁₁. Kemudian pada tabel 4.8 dapat dilihat pula bahwa kandungannya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 25,77% sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 32,68% dan kandungan rantai panjangnya C₇-C₁₁ sebesar 41,55%.

Sedangkan pada Pada tabel 4.4 adalah senyawa yang terkandung dalam *tar* pada temperatur 500°C dengan penambahan zeolit 50 wt%. Pada tabel 4.4 tersebut dapat dilihat bahwa senyawa yang terbentuk memiliki rantai karbon mulai dari C₁ sampai C₁₁. Rantai terpanjang dari senyawa *tar* pada temperatur 500°C ini adalah C₁₁, sama panjang dengan rantai terpanjang senyawa *tar* pada temperatur 500°C tanpa zeolit. Kemudian pada tabel 4.4 dapat dilihat pula bahwa mayoritas senyawanya adalah hidrokarbon dengan rantai karbon pendek C₁-C₃ yaitu sebanyak 62,38% sedangkan kandungan hidrokarbon dengan rantai sedangnya C₄-C₆ sebanyak 24,87% dan kandungan rantai panjangnya C₇-C₁₁ yaitu 12,75%.

Terdapat perbedaan yang signifikan antara persentase senyawa *tar* tanpa zeolit dibandingkan dengan persentase senyawa *tar* dengan penambahan zeolit 50 wt% yaitu pada

kandungan hidrokarbon rantai pendek *tar* tanpa zeolit hanya 25,77% namun pada *tar* dengan zeolit meningkat sampai dengan 62,38%. Selain itu perbedaan yang signifikan juga terjadi pada persentase hidrokarbon rantai panjang, yaitu pada *tar* tanpa zeolit sebesar 41,55% dan pada *tar* dengan penambahan zeolit 50 wt% berkurang menjadi 12,75%. Hal ini disebabkan karena zeolit membantu proses dekomposisi *thermal* pada pirolisis dengan metode *catalytic cracking*. Sehingga membantu memecah hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek dan menghasilkan lebih banyak senyawa yang lebih sederhana.

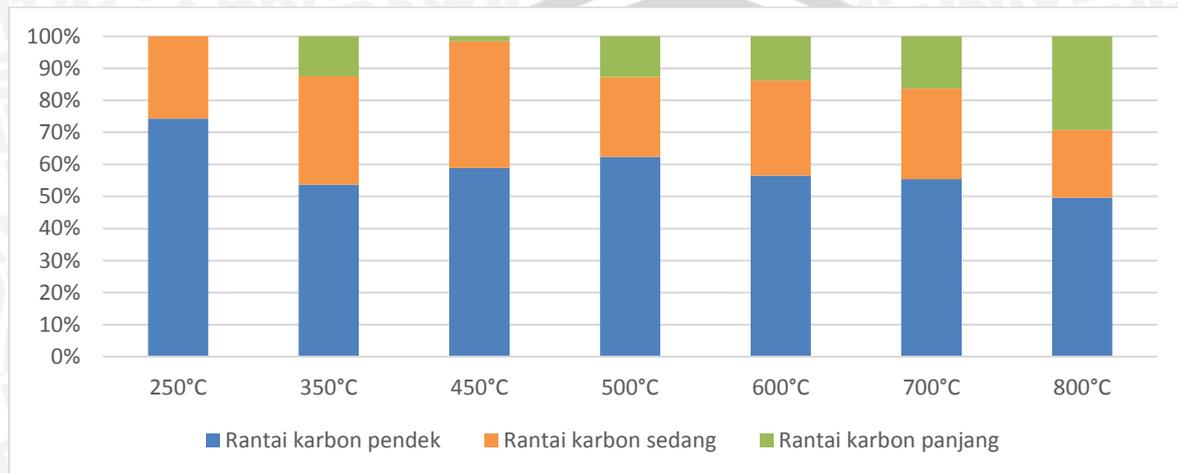
Tabel 4.8
Senyawa *tar* pada temperatur 500°C tanpa zeolit

500°C							
No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)	No	Komponen	Rumus Molekul	Area (%)
1	Methanamine	CH ₅ N	4.8	29	Phenol, 3-methyl-	C ₇ H ₈ O	0.28
2	Methanamine	CH ₅ N	2.88	30	Phenol, 3-methyl-	C ₇ H ₈ O	4.54
3	2-pentanone	C ₅ H ₁₀ O	0.8	31	Phenol, 2-methoxy-	C ₇ H ₈ O ₂	1.32
4	Formic acid	CH ₂ O ₂	0.38	32	Pentanal	C ₅ H ₁₀ O	0.83
5	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	17.46	33	2-cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	C ₇ H ₁₀ O ₂	0.81
6	2-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	0.6	34	Phenol, 2,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.28
7	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	0.25	35	Phenol, 2,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.46
8	Pyridine	C ₅ H ₅ N	0.37	36	Phenol, 3,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	1.08
9	3-butene-1,2-diol	C ₄ H ₈ O ₂	1.78	37	Phenol, 2,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀ O	0.3
10	2-furancarboxaldehyde	C ₅ H ₄ O ₂	5.88	38	2-methoxy-4-methylphenol	C ₈ H ₁₀ O ₂	1.95
11	Pyridine, 2-methyl-	C ₆ H ₇ N	0.21	39	1,2-benzenediol	C ₆ H ₆ O ₂	4.03
12	2-cyclopenten-1-one	C ₅ H ₆ O	1.16	40	Phenol, 2-ethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.29
13	2-pentanone, 3-ethyl	C ₇ H ₁₄ O	0.81	41	Benzeneethanol, 2-methoxy-	C ₉ H ₁₂ O ₂	1.38
14	2-furanmethanol	C ₅ H ₆ O ₂	1.07	42	2-methoxy-4-vinylphenol	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.48
15	2-propanone, 1-(acetyloxy)-	C ₅ H ₈ O ₃	0.63	43	Phenol, 2,6-dimethoxy-	C ₈ H ₁₀ O ₃	7.43
16	n,n-diethylformamide	C ₅ H ₁₁ NO	0.39	44	Benzaldehyde, 4-hydroxy-3-methoxy	C ₈ H ₈ O ₃	0.63
17	2(5H)-furanone	C ₄ H ₄ O ₂	2.58	45	Vanillic acid	C ₈ H ₈ O ₄	5.09
18	2(3H)-furanone, 5-methyl	C ₅ H ₆ O ₂	1.21	46	Acetovanillone	C ₉ H ₁₀ O ₃	0.53
19	Methyl-2-thiophene carboxylate	C ₆ H ₆ O ₂ S	0.4	47	2,3,5-trimethoxytoluene	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	3.5
20	5 methyl furfural	C ₆ H ₆ O ₂	0.7	48	Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	0.98
21	2-butanone, 3,3-dimethyl-	C ₆ H ₁₂ O	0.45	49	2,6-dimethyl-p-benzoquinon	C ₈ H ₈ O ₂	1.08
22	2-cyclopenten-1-one, 3-methyl	C ₆ H ₈ O	0.84	50	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2propenyl)-	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	0.44
23	PHENOL	C ₆ H ₆ O	0.43	51	2(1h)-pyrimidinone	C ₅ H ₅ NO	0.46
24	Phenol	C ₆ H ₆ O	3.38	52	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2propenyl)-	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	0.47
25	Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	C ₈ H ₁₄ O ₃	0.85	53	Benzaldehyde, 4-hydroxy-3,5-dimethoxy	C ₉ H ₁₀ O ₄	0.49
26	2-cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	C ₆ H ₈ O ₂	4.88	54	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2propenyl)-	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	1.02
27	Phenol, 2-methyl	C ₇ H ₈ O	0.66	55	Acetophenone	C ₈ H ₈ O	0.82
28	Phenol, 2-methyl	C ₇ H ₈ O	1.2	56	Butyrophenone	C ₁₀ H ₁₂ O	2.02

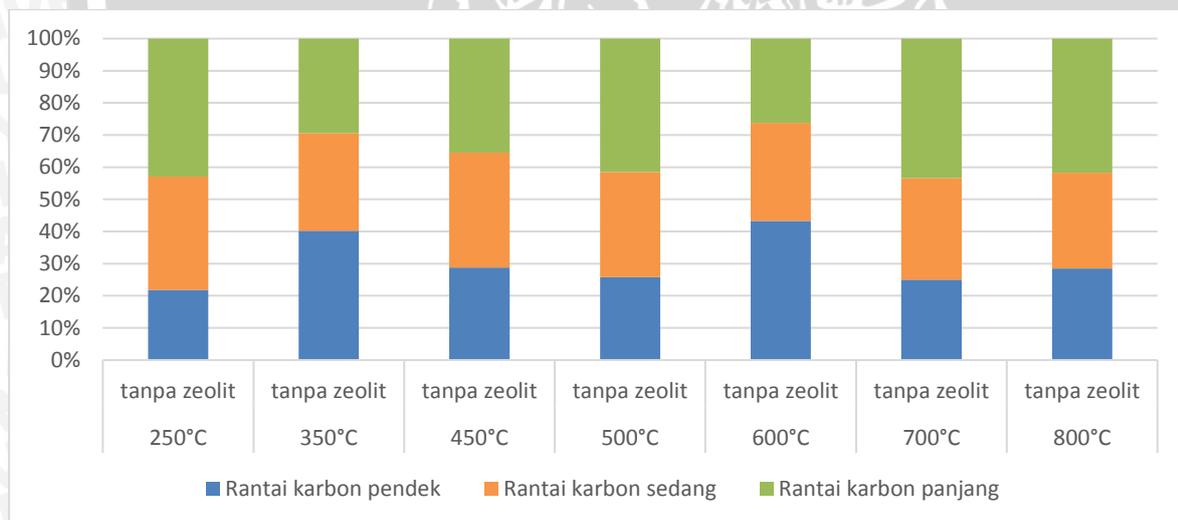
Sumber : Azis, (2016)

4.4 Perbandingan Panjang Rantai Karbon Pada Senyawa Tar

Titik didih senyawa dipengaruhi oleh 3 hal yaitu gaya tarik-menarik antar molekul, panjang rantai karbon, dan percabangan. Semakin panjang rantai karbon maka semakin tinggi pula titik didihnya, sedangkan semakin pendek rantai karbon maka semakin rendah pula titik didihnya. Zeolit ditambahkan sebagai katalis pada proses pirolisis ini untuk membantu pemecahan rantai karbon dan menghasilkan senyawa dengan titik didih rendah.



(a)

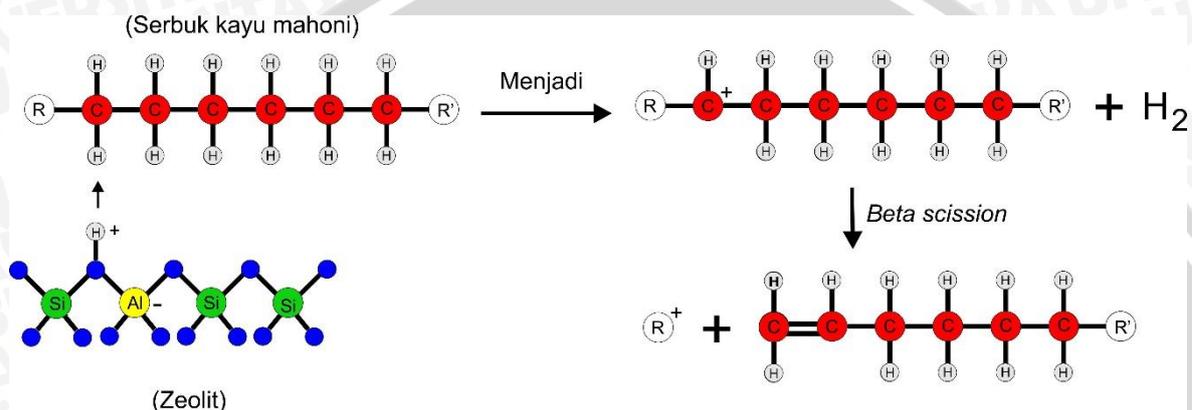


(b)

Gambar 4.5 Perbandingan panjang rantai karbon pada tar (a) dengan zeolit 50 wt%, (b) tanpa penambahan zeolit

Pada gambar 4.5 (a) dan (b) dapat dilihat perbandingan persentase panjang rantai karbon antara tar tanpa zeolit dengan tar yang menggunakan zeolit 50 wt% pada rentang temperatur 250°C - 800°C. Dari gambar tersebut dapat dilihat kecenderungan yang sama yaitu tar dengan penambahan zeolit 50 wt% akan menghasilkan senyawa hidrokarbon rantai

pendek lebih banyak dibandingkan dengan *tar* tanpa penambahan zeolit. Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa *tar* dengan penambahan zeolit selalu memiliki rantai karbon pendek dengan jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan *tar* tanpa zeolit di setiap temperturnya. Hal ini disebabkan karena penambahan zeolit akan membantu proses pemutusan rantai karbon dengan kemampuan *catalytic cracking* seperti pada gambar 4.6, sehingga menghasilkan senyawa hidrokarbon yang lebih sederhana dan rantai lebih pendek dibandingkan dengan *tar* tanpa zeolit.



Gambar 4.6 Mekanisme *catalytic cracking* pada serbuk kayu mahoni

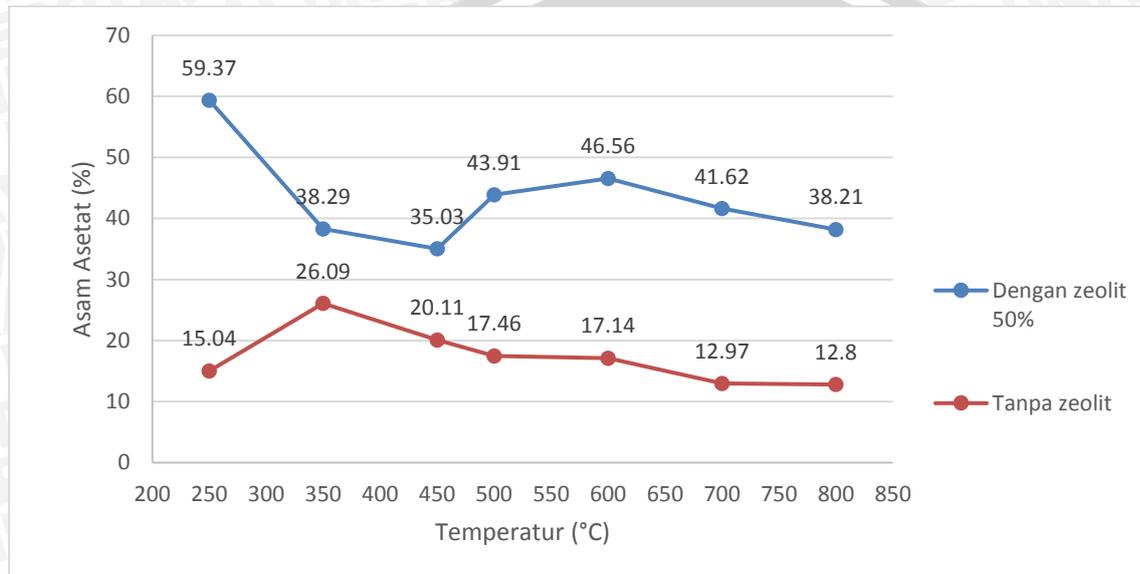
Selain itu dari gambar 4.5 (a) dan (b) efek dari zeolit pada panjang rantai karbon juga terlihat jelas pada temperatur 250°C, 450°C, 700°C dan 800°C, yaitu *tar* tanpa zeolit menghasilkan senyawa dengan rantai yang lebih panjang dibandingkan dengan *tar* dengan zeolit. Apabila dibandingkan dengan data pada tabel 4.1 – 4.7 pada *tar* di temperatur 250°C tanpa zeolit rantai terpanjangnya adalah C₁₁ sedangkan dengan zeolit hanya C₆, pada temperatur 450°C tanpa zeolit rantai terpanjangnya adalah C₁₁ sedangkan dengan zeolit hanya C₇, pada temperatur 700°C tanpa zeolit rantai terpanjangnya adalah C₁₅ sedangkan dengan zeolit hanya C₁₀, serta pada temperatur 800°C tanpa zeolit rantai terpanjangnya adalah C₁₈ sedangkan dengan zeolit hanya C₁₂. Hal juga ini disebabkan karena zeolit mampu memecah rantai karbon panjang menjadi rantai karbon yang lebih pendek dan sederhana melalui proses *catalytic cracking*.

4.5 Pengaruh Temperatur Terhadap Produksi Asam Asetat

Salah satu senyawa mayoritas pada hasil pirolisis serbuk kayu mahoni ini adalah asam asetat. Asam asetat atau sering disebut juga asam cuka atau asam etanoat (C₂H₄O₂) adalah senyawa kimia asam organik yang tidak berwarna, berbau menyengat, memiliki rasa asam,

mampu larut dalam air, alkohol, gliserol, dan eter (Hardoyo, et al 2007). Asam asetat ini bersifat korosif dan memiliki titik nyala 39°C, termasuk senyawa yang mudah terbakar (Stephenson et al., 1987).

Kami menganalisa pengaruh temperatur terhadap volume asam asetat karena asam asetat adalah senyawa yang paling banyak persentasenya pada *tar* hasil pirolisis serbuk kayu mahoni dan juga karena asam asetat termasuk senyawa yang mudah terbakar yaitu dengan titik nyala 39°C.



Gambar 4.7 Hubungan temperatur pirolisis terhadap presentase asam asetat.

Dari gambar 4.7 dapat dilihat secara umum bahwa persentase asam asetat pada *tar* hasil pirolisis dengan menggunakan zeolit 50 wt% lebih tinggi dibandingkan dengan persentase asam asetat pada *tar* hasil pirolisis tanpa menggunakan zeolit. Hal ini disebabkan karena pada pirolisis dengan menggunakan katalis zeolit terdapat dua proses *cracking* yang terjadi yaitu *thermal cracking* oleh kenaikan temperatur dan juga *catalytic cracking* oleh zeolit, sedangkan pada pirolisis tanpa penambahan zeolit hanya terjadi proses *thermal cracking* saja.

Pada temperatur 250°C dapat dilihat pada pirolisis dengan zeolit menghasilkan asam asetat sebesar 59,37%, nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan persentase asam asetat pada pirolisis tanpa zeolit yang hanya menghasilkan asam asetat sebesar 15,04%. Tingginya persentase asam asetat pada pirolisis dengan zeolit pada temperatur 250°C disebabkan karena sinergi antara *thermal cracking* dan *catalytic cracking* dalam memecah struktur biomassa. Faktor lain yang menyebabkan tingginya hasil pada pirolisis dengan zeolit adalah pada temperatur 250°C hanya hemiselulosa yang baru terdekomposisi sementara selulosa

dan lignin masih belum terdekomposisi, dan juga hemiselulosa adalah senyawa penyusun serbuk kayu mahoni bersifat paling lunak dibandingkan dengan lignin dan selulosa (Basu, 2010).

Pada temperatur 350°C dapat dilihat pada pirolisis dengan zeolit menghasilkan asam asetat sebesar 38,29%, hasil ini menurun apabila dibandingkan dengan temperatur 250°C. Penurunan hasil asam asetat ini dapat disebabkan karena pada temperatur 350°C kandungan hemiselulosa dan juga selulosa pada serbuk kayu mahoni sudah terdekomposisi seluruhnya mengingat selulosa memiliki senyawa dengan rantai yang panjang dan berat molekul yang tinggi (Basu, 2010). Disisi lain persentase asam asetat pada pirolisis tanpa zeolit menghasilkan asam asetat sebesar 26,09%, lebih tinggi dari pada temperatur 250 °C namun tetap lebih rendah dibandingkan dengan persentase asam asetat pada pirolisis dengan zeolit. Peningkatan nilai asam asetat ini dapat disebabkan karena hemiselulosa yang masih tersisa dari temperatur 250°C baru terdekomposisi secara sempurna di temperatur 350°C, mengingat pada pirolisis tanpa zeolit proses *cracking* hanya dilakukan melalui *thermal cracking* saja.

Pada temperatur 450°C dapat dilihat pada pirolisis dengan zeolit menghasilkan asam asetat sebesar 35,03%, hasil ini menurun apabila dibandingkan dengan temperatur 350°C. Penurunan hasil asam asetat ini dapat disebabkan karena pada temperatur 450°C kandungan lignin mulai terdekomposisi mengingat lignin adalah senyawa penyusun serbuk kayu mahoni yang paling kompleks (Basu, 2010). Disisi lain persentase asam asetat pada pirolisis tanpa zeolit menghasilkan asam asetat sebesar 20,11%, hasil ini lebih rendah dari pada temperatur 250 °C dan juga lebih rendah dibandingkan dengan persentase asam asetat pada pirolisis dengan zeolit. Penurunan nilai asam asetat ini dapat juga disebabkan oleh terdekomposisinya lignin yang memiliki struktur paling kompleks dibandingkan dengan hemiselulosa dan selulosa.

Pada temperatur 500°C dapat dilihat pada pirolisis dengan zeolit menghasilkan asam asetat sebesar 43,91%, hasil ini meningkat apabila dibandingkan dengan temperatur 450°C. Peningkatan hasil asam asetat ini dapat disebabkan karena pada temperatur 500°C lignin sudah terdekomposisi seluruhnya dan juga senyawa lain dari biomassa terus terdekomposisi sehingga menghasilkan senyawa hidrokarbon dengan rantai karbon yang lebih pendek. Disisi lain persentase asam asetat pada pirolisis tanpa zeolit menghasilkan asam asetat sebesar 17,46%, hasil ini lebih rendah dari pada temperatur 450 °C dan juga lebih rendah dibandingkan dengan persentase asam asetat pada pirolisis dengan zeolit. Penurunan nilai asam asetat ini dapat juga disebabkan oleh terdekomposisinya lignin secara keseluruhan

yang berakibat bertambahnya persentase senyawa hidrokarbon dengan rantai panjang dan berkurangnya hidrokarbon dengan rantai pendek termasuk asam asetat.

Pada temperatur 600°C, 700°C dan 800°C terjadi kecenderungan yang sama antara persentase asam asetat pada pirolisis menggunakan zeolit dengan pirolisis tanpa menggunakan zeolit yaitu persentase asam asetat akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya temperatur. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 600°C-700°C terbentuk *tar* sekunder yang didominasi oleh hidrokarbon rantai panjang, sehingga persentase hidrokarbon rantai pendek termasuk asam asetat menjadi berkurang. Sedangkan pada temperatur 800°C juga terdapat senyawa *tar* sekunder dan juga mulai terbentuk senyawa *tar* tersier yang menyebabkan semakin berkurangnya senyawa hidrokarbon rantai pendek dan juga berkurangnya asam asetat (Basu, 2010).

