

PROSES PEMANFAATAN LIMBAH BIOMASSA KULIT DURIAN (*Durio zibethinus*) MENJADI *ALTERNATIVE FUEL* SEBAGAI LANGKAH DIVERSIFIKASI ENERGI

Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T
Rahmatullah, S.T., M.T



**PROSES PEMANFAATAN LIMBAH BIOMASSA
KULIT DURIAN (*Durio zibethinus*)
MENJADI *ALTERNATIVE FUEL* SEBAGAI
LANGKAH DIVERSIFIKASI ENERGI**

**Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T
Rahmatullah, S.T., M.T**

**Proses Pemanfaatan Limbah Biomassa Kulit Durian (Durio Zibethinus)
Menjadi Alternative Fuel Sebagai Langkah Diversifikasi Energi**
copyright © Februari 2023

Penulis : Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T
Rahmatullah, S.T., M.T
Setting Dan Layout : Ardatia Murty, S.Pd
Desain Cover : Sri Antika Ramadani

Hak Penerbitan ada pada © Bening media Publishing 2023
Anggota IKAPI No. 019/SMS/20

Hakcipta © 2023 pada penulis
Isi diluar tanggung jawab percetakan

Ukuran 16,25 cm x 25 cm
Halaman : ix + 77 hlm

Hak cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip, memperbanyak dan menerjemahkan sebagian
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Bening media
Publishing

Cetakan I, Februari 2023



Jl. Padat Karya
Palembang – Indonesia
Telp. 0823 7200 8910
E-mail : bening.mediapublishing@gmail.com
Website: www.bening-mediapublishing.com

ISBN : 978-623-8006-73-1

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wa rahmatullahi wa barakatuh

Alhamdulillah atas segala rahmat dan kesempatan yang telah Allah berikan kepada kami untuk menuliskan buku referensi dari perjalanan penelitian kami selama 3 tahun ini. Buku ini merupakan rangkuman serta kilas balik dari sepak terjang kami meneliti kulit durian dengan segala macam jenis produk bahan bakar dalam bentuk padat, cair maupun gas.

Kulit durian sebagai sampah domestik yang sering kita jumpai di pasar tradisional kini menjelma menjadi sesuatu yang dapat dimanfaatkan yaitu bahan bakar alternatif. Hal ini selaras dengan program pemerintah untuk melakukan program diversifikasi energi dari sumber energi tak terbarukan menjadi sumber energi terbarukan.

Harapan kami selaku penulis adalah buku ini dapat dijadikan referensi atau rujukan para peneliti dalam berbagai penelitian sejenis dan juga dapat dijadikan buku ajar yang berkaitan dengan proses pemanfaatan biomassa sehingga bermanfaat untuk mahasiswa.

Palembang, 2023

Tim penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| KATA PENGANTAR..... | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR..... | vii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| BAB II BIOMASSA | 3 |
| BAB III POTENSI DURIAN SEBAGAI BAHAN BAKU | |
| <i>ALTERNATIVE FUEL</i> | 5 |
| 3.1. Ketersediaan Tanaman Durian di Indonesia | 5 |
| 3.2. Kandungan Lignoselulosa Biomassa Kulit Durian | 9 |
| BAB IV PROSES KONVERSI TERMOKIMIA BIOMASSA | 13 |
| 4.1. Pembakaran..... | 13 |
| 4.2. Torefaksi | 14 |
| 4.3. Gasifikasi | 14 |
| 4.4. Pirolisis | 15 |
| BAB V KULIT DURIAN MENJADI BAHAN BAKAR PADAT | |
| (BIOBRIKET) MELALUI PROSES TOREFAKSI | 17 |
| 5.1. Analisis Nilai Kalor Briket Kulit Durian Campuran Ampas Debu | 22 |
| 5.2. Analisis Laju Keterbakaran Biobriket..... | 23 |
| BAB VI KULIT DURIAN MENJADI BAHAN BAKAR CAIR | |
| (<i>BIO-FUEL</i>) DAN <i>CHEMICAL (BIO-OIL)</i> MELALUI | |
| <i>PROSES PYROLISIS</i>..... | 27 |
| 6.1. Produk Pirolisis Biomassa..... | 28 |
| 6.2. Proses Produksi Bio-Fuel dengan Proses Pirolisis | 33 |
| 6.3. Proses Produksi Bio-Oil dengan Pirolisis Lambat..... | 37 |
| 6.3.1 Pengaruh Temperatur dan Ukuran Partikel Biomassa Terhadap Yield Bio-Oil | 38 |
| 6.3.2 Analisa Komposisi Bio-Oil | 40 |
| 6.4. Separasi Kandungan Fenol Dengan Metode Ekstraksi..... | 42 |
| 6.4.1 Fenol | 42 |
| 6.4.2 Metode Ekstraksi Senyawa <i>Phenolic</i> | 44 |
| 6.4.3. Proses Separasi Fenol dari bio-oil..... | 46 |
| 6.4.4. Hasil Analisa Produk Pirolisis Bio-oil Kulit Durian .. | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 6.4.5. Hasil Analisa Produk Ekstraksi Bio-oil Kulit | |
| Durian | 52 |
| BAB VII KULIT DURIAN MENJADI <i>SYNTHETIC NATURAL</i> | |
| GAS (SNG) MELALUI PROSES GASIFIKASI KATALITIK..... | 57 |
| 7.1. Synthetic Natural Gas (SNG)..... | 57 |
| 7.2. Proses Gasifikasi Katalitik | 58 |
| 7.3. Katalis Zeolit Basis Si/Al ₂ O ₃ | 60 |
| 7.4. Synthetic Natural Gas (SNG)..... | 61 |
| 7.4.1 Proses Preparasi Katalis dan Proses Gasifikasi | 61 |
| 7.4.2 Pengaruh temperature terhadap yield produk | |
| (gas, padat, char) | 63 |
| 7.4.3 Pengaruh jumlah katalis terhadap yield produk | |
| (gas, padat, char) | 64 |
| RANGKUMAN | 68 |
| DAFTAR PUSTAKA | 70 |
| BIODATA PENULIS | 75 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 1. Sampah Kulit Durian | 8 |
| Gambar 3. 2. Komponen Penyusun Biomassa..... | 9 |
| Gambar 5.1 Grafik Pengaruh variasi waktu terhadap temperatur torefaksi briket limbah ampas tebu | 20 |
| Gambar 5. 2. Grafik Pengaruh variasi waktu terhadap massa produk yang dihasilkan dari limbah ampas tebu | 20 |
| Gambar 5. 3. Pengaruh temperatur torefaksi terhadap nilai kalor biobriket limbah ampas tebu, dan kulit durian | 22 |
| Gambar 5. 4. Pengaruh Temperatur pada saat torefaksi biobriket dari limbah ampas tebu, dan limbah kulit durian terhadap waktu pembakaran biobriket | 24 |
| Gambar 5. 5. Laju bakar biobriket dari limbah ampas tebu, dan limbah kulit durian | 25 |
| Gambar 6. 1. Unit Pirolisis | 34 |
| Gambar 6. 2. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-fuel kulit dan biji durian sampel | 35 |
| Gambar 6. 3. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-fuel kulit dan biji durian sampel 2..... | 35 |
| Gambar 6. 4. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-fuel kulit dan biji durian sampel | 36 |
| Gambar 6. 5. Tar dan Cairan hasil kondensari (Biofuel) untuk masing-masing variable temperature: (a) 250oC; (b) 300oC; dan (c) 350oC | 37 |
| Gambar 6.6. Hasil konversi limbah kulit durian menjadi produk berupa bio-arang, gas, dan bio-oil. | 37 |
| Gambar 6. 7. Pengaruh Temperatur terhadap produk hasil pirolisis lambat pada ukuran partikel bahan baku 10 mesh.... | 39 |
| Gambar 6. 8. Pengaruh Temperatur terhadap produk hasil pirolisis lambat pada ukuran partikel bahan baku 10 mesh | 40 |
| Gambar 6.9. Analisa Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS) Komposisi Bio-oil | 41 |
| Gambar 6. 10. Hasil Konversi Limbah Kulit Durian Menjadi Bio-oil pada berbagai ukuran dan temperatur reaksi | 42 |
| Gambar 6. 11. Struktur Molekul Fenol..... | 43 |
| Gambar 6. 12. Proses pemanasan campuran bio-oil dan pelarut metanol pada temperatur 50 oC..... | 47 |

| | |
|--|----|
| Gambar 6. 13. Campuran didiamkan selama 2 jam | 47 |
| Gambar 6. 14. Proses evaporasi campuran bio-oil..... | 48 |
| Gambar 6. 15. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian sebelum diekstraksi | 49 |
| Gambar 6.16. Spektogram fraksinasi massa senyawa puncak 1..... | 49 |
| Gambar 6.17. Spektogram fraksinasi massa senyawa puncak 2..... | 50 |
| Gambar 6.18. Spektogram fraksinasi massa senyawa puncak 3..... | 50 |
| Gambar 6.19. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian setelah diekstraksi dengan rasio pelarut (3:1) pada temperatur 30 oC..... | 52 |
| Gambar 6.20. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian sebelum setelah diekstraksi dengan rasio pelarut (3:1) pada temperatur 40 oC..... | 53 |
| Gambar 6.21. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian sebelum setelah diekstraksi dengan rasio pelarut (3:1) pada temperatur 50 Oc..... | 54 |
| Gambar 7.1. Ilustrasi Konversi Biomasa dengan Proses Gasifikasi | 58 |
| Gambar 7.2. Flowsheet proses produksi SNG (sumber: Heyne dan Harvey 2009) | 59 |
| Gambar 7.3. Tipe-tipe reaktor gasifier (Sumber: Rauch, Hrbek, dan Hofbauer 2014) | 59 |
| Gambar 7. 4. Pengeringan zeolit dalam oven suhu 110 C | 62 |
| Gambar 7. 5. Presipitasi Zeolit dengan larutan KOH 1 N | 62 |
| Gambar 7. 6. Kalsinasi Katalis Zeolit dengan Furnace..... | 62 |
| Gambar 7.7. Perbandingan yield produk gas, padat dan char hasil gasifikasi dengan 20 gr (a) dan 40 gr (b) katalis zeolite.. | 64 |
| Gambar 7. 8. Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Persen Berat Yield Gas | 65 |
| Gambar 7. 9. Kandungan gas CH ₄ pada variasi temperature 250 – 400 C, (a) 10 menit (b) 40 menit | 66 |

Gambar 7. 10. Kandungan gas CO pada variasi temperature 250 – 400 oC, (a) 10 menit (b) 40 menit..... 66

Gambar 7.11. Kandungan gas CO2 pada variasi temperature 250 – 400 C, (a) 10 menit (b) 40 menit 67

Gambar 7. 12. Kandungan gas H2 pada variasi temperature 250 – 400 oC, (a) 10 menit (b) 40 menit..... 67

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1. Produksi Durian Menurut BPS berdasarkan Provinsi, Tahun 2015-2021 | 5 |
| Tabel 5. 1. Standar kualitas mutu briket | 17 |
| Tabel 6. 1. Komposisi Asap cair | 31 |
| Tabel 6. 2. Sifat-Sifat Fisik Asap Cair | 31 |
| Tabel 6. 3. Perbandingan Nilai Panas Pembakaran Berbagai Asap Cair | 32 |
| Tabel 6. 4. Perbedaan Sifat-Sifat Bio-Oil dengan Solar | 32 |
| Tabel 6. 5. Sifat-Sifat Bio-Oil, Light Fuel Oil, dan Heavy Fuel Oil | 33 |
| Tabel 6. 6. Rendemen/Yield Hasil Pirolisis Lambat Biomassa Kulit Durian | 38 |
| Tabel 6. 7. Hasil Analisa Komposisi Bio-oil | 41 |
| Tabel 6. 8. Senyawa-senyawa dalam bio-oil kulit durian hasil pirolisis | 51 |
| Tabel 6. 9. Analisis komposisi kimia senyawa bio-oil kulit durian setelah diekstraksi | 54 |
| Tabel 7. 1. Hasil analisa GC pada produk gasifikasi pada suhu 250 – 400 oC | 65 |

Beberapa isu di bidang energi dan lingkungan telah banyak berkembang di masa ini. Kelangkaan sumber bahan bakar yang berbanding terbalik dengan peningkatan mobilitas manusia dengan jumlah kendaraan yang tinggi cukup meresahkan banyak pihak. Ketersediaan sumber energi fosil berupa bahan bakar minyak yang semakin menurun tiap tahunnya, pada tahun 2016, produksi minyak tercatat sebanyak 831.000 barel per hari dan menurun hingga 660.000 barel per hari pada tahun 2021, sedangkan konsumsi bahan bakar minyak semakin meningkat, dari konsumsi bahan bakar minyak (BBM) nasional yang sebanyak 1,4 juta barel per hari, maka Indonesia perlu mengimpor minyak mentah dan BBM sekitar 800.000 barel per hari (SKK Migas 2021). Hal ini mendorong peneliti untuk mendukung program di Indonesia mengenai diversifikasi dari bahan bakar minyak fosil (*non renewable energy*) ke bahan bakar terbarukan (*renewable energy*). Bahan bakar terbarukan (*renewable energy*) merupakan bahan bakar yang bersumber dari bahan bakar atau energi yang berasal dari sumber-sumber alami yang tidak terbatas dan dapat diperoleh kembali dalam waktu singkat. Contoh dari sumber energi alamiah seperti angin, sinar matahari, geothermal, air dan biomassa. Biomassa disebut juga sebagai "fittomassa" dan sering kali diterjemahkan sebagai bioresource atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya meliputi ratusan dan ribuan spesies tanaman, daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan dan limbah residu dan limbah industri, limbah dan kotoran hewan.

Tanaman energi yang membuat perkebunan energi menjadi salah satu biomassa menjanjikan walaupun belum dikomersialkan pada skala besar akan saat ini. Sumber daya biomassa dapat digunakan berulang kali dan bersifat tidak terbatas berdasarkan

siklus dasar karbon melalui proses fotosintesis (Yokoyama dan Matsumura 2008).

Biomassa yang berbasis limbah pertanian dan perkebunan memiliki dua sisi mata uang. Di satu sisi limbah atau sampah biomassa memiliki dampak negatif untuk lingkungan seperti dapat menyebabkan banjir, menimbulkan bau dan merusak atau mengurangi nilai estetika kebersihan lingkungan. Namun disisi lain, sampah biomassa memiliki potensi sebagai salah satu sumber daya hayati untuk menjadi energi atau bahan bakar.

Kembali ke definisi sampah, yaitu sisa-sisa bahan yang telah mengalami perlakuan seperti telah diambil bagian utamanya, telah mengalami pengolahan, dan sudah tidak bermanfaat, dari segi ekonomi sudah tidak ada harganya serta dari segi lingkungan dapat menyebabkan pencemaran atau gangguan kelestarian alam. Permasalahan sampah inilah yang harus ditanggulangi untuk diolah menjadi sesuatu yang tepat guna. Khususnya sampah komersial dari pasar berupa kulit durian yang tak dimanfaatkan menjadi berbagai jenis bahan bakar. Oleh karena itu, sampah kulit durian ini sangat berpotensi untuk dimanfaatkan dan diolah untuk *added value* sampah tersebut menjadi produk tepat guna.

Biomassa adalah material yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tumbuh-tumbuhan, hewan dan produk sampingnya seperti sampah kebun, hasil panen dan sebagainya. Tidak seperti sumber-sumber alamiah lain seperti petroleum, batubara dan bahan bakar nuklir, biomassa adalah sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang berbasis pada siklus karbon. Biomassa bisa digunakan secara langsung maupun tidak langsung sebagai bahan bakar. Briket arang, briket sekam padi, briket ranting dan daun kering adalah contoh bahan bakar biomassa yang dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar pemanas atau sumber tenaga. Nilai kalor bakar biomassa bervariasi tergantung kepada sumbernya. Pemakaian biomassa dapat memberi kontribusi yang signifikan kepada manajemen sampah, ketahanan bahan bakar dan perubahan iklim. Di pedesaan, utamanya di negara-negara berkembang, biomassa dari kayu, daun, sekam padi dan jerami merupakan bahan bakar utama untuk pemanasan dan memasak. Catatan dari *International Energy Agency* menunjukkan bahwa energi biomassa menyediakan 30% dari suplai energi utama di beberapa berkembang.

Saat ini lebih dari 2 juta penduduk dunia masih tergantung kepada bahan bakar biomassa sebagai sumber energi primer. Pemakaian biomassa secara langsung dapat menghemat bahan bakar fosil, tetapi disisi lain jika dipakai dalam ruang tanpa ventilasi yang memadai bahan bakar biomassa yang digunakan secara langsung dapat membahayakan kesehatan. *International Energy Agency* menyebutkan bahwa 1.3 juta orang di seluruh dunia meninggal karena pemakaian biomassa secara langsung. Selain penggunaan secara langsung sebagai bahan bakar padat, biomassa dapat diolah melalui proses kimia menjadi berbagai jenis biofuel cair dan gas (IEA 2006).

Limbah biomassa dan sampah bisa menjadi salah satu pilihan sumber energi alternatif. Contoh nyata pemanfaatan biomassa yang berasal dari produk limbah aktivitas kehutanan dan perkebunan dan telah dilaksanakan yaitu briket dan arang.

Bahan baku biomassa yang dapat digunakan untuk pembuatan briket berasal dari :

1. Limbah pengolahan kayu seperti : *logging residues, bark, sawdusk, shavings, waste timber.*
2. Limbah pertanian seperti; jerami, sekam padi, ampas tebu, daun kering, kulit buah.
3. Limbah bahan berserat seperti; serat kelapa, goni, sabut kelapa.
4. Limbah pengolahan pangan seperti kulit kacang-kacangan, biji-bijian.
5. Selulosa seperti, limbah kertas, karton. (Bossel 1999)

Sektor agraris umumnya menghasilkan limbah pertanian menghasilkan limbah pertanian yang kurang dimanfaatkan. Limbah pertanian yang merupakan biomassa tersebut merupakan sumber energi alternatif yang melimpah, dengan kandungan energi yang relatif besar. Limbah pertanian tersebut apabila diolah akan menjadi suatu bahan bakar padat buatan yang lebih luas penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif. Di samping itu sumber energi biomassa mempunyai keuntungan pemanfaatan antara lain: dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang *renewable resources*, tidak mengandung unsur sulfur yang menyebabkan polusi udara pada penggunaan bahan bakar fosil, dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah pertanian.

3.1. Ketersediaan Tanaman Durian di Indonesia

Buah durian yang berasal dari pohon durian (*Durio zibethinus Murr*) banyak tumbuh di hutan maupun di kebun milik penduduk. Ciri buahnya, bentuknya besar bulat/oval dengan aroma rasa, baunya khas dan menjadi buah primadona yang banyak disukai masyarakat Indonesia, tak terkecuali masyarakat Sumatera Selatan, Palembang dan sekitarnya. Ketersediaan tanaman durian di Indonesia sangat melimpah, hal ini ditunjukkan pada data Badan Pusat Statistik Indonesia dari tahun 2015 -2021 pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. 1. Produksi Durian Menurut BPS berdasarkan Provinsi, Tahun 2015-2021

| Provinsi | Produksi Tanaman Buah-buahan | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------|
| | Durian (Ton) | | | | | | |
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| ACEH | 16999 | 23887 | 21241 | 24149 | 23953 | 28018 | 45915 |
| SUMATERA UTARA | 65529 | 74811 | 64659 | 82873 | 90105 | 74675 | 119632 |
| SUMATERA BARAT | 52503 | 43885 | 74540 | 57670 | 62564 | 131430 | 170707 |
| RIAU | 12366 | 6912 | 12369 | 27443 | 23010 | 15168 | 30114 |
| JAMBI | 16140 | 13704 | 21372 | 20392 | 20780 | 16063 | 26209 |
| SUMATERA SELATAN | 32561 | 14205 | 19930 | 56843 | 42048 | 30334 | 46309 |
| BENGKULU | 17951 | 12999 | 11555 | 15058 | 11395 | 9260 | 18639 |
| LAMPUNG | 46957 | 28481 | 33019 | 29684 | 16218 | 14620 | 20394 |
| KEP. BANGKA BELITUNG | 5042 | 1760 | 3195 | 7189 | 7247 | 4312 | 6212 |

| | | | | | | | |
|---------------------------|------------|------------|------------|--------|--------|--------|--------------------|
| KEP. RIAU | 5460 | 2965 | 2190 | 4582 | 2584 | 3556 | 2714 |
| DKI JAKARTA | 100 | 36 | 44 | 73 | 68 | 87 | 223 |
| JAWA BARAT | 10711 0 | 56662 | 66314 | 95056 | 94183 | 73017 | 86785 |
| JAWA TENGAH | 10245 2 | 74968 | 91385 | 143227 | 172939 | 138100 | 15919 9 |
| DI YOGYAKAR TA | 8356 | 8327 | 6767 | 6596 | 6265 | 6771 | 9258 |
| JAWA TIMUR | 23371 5 | 20168 7 | 22795 2 | 276426 | 289334 | 275795 | 27531 9 |
| BANTEN | 48546 | 6890 | 22628 | 77629 | 46436 | 32488 | 29456 |
| BALI | 15254 | 11158 | 8435 | 24585 | 21915 | 26479 | 25743 |
| NUSA TENGGARA BARAT | 14206 | 13064 | 11948 | 13491 | 17179 | 30578 | 40084 |
| NUSA TENGGARA TIMUR | 1817 | 1690 | 1089 | 2008 | 1574 | 1753 | 3714 |
| KALIMANT AN BARAT | 19041 | 11677 | 15022 | 25282 | 27209 | 14673 | 37188 |
| KALIMANT AN TENGAH | 13191 | 7365 | 4098 | 11233 | 12149 | 6234 | 8239 |
| KALIMANT AN SELATAN | 15418 | 12548 | 6954 | 25292 | 27422 | 17890 | 28825 |
| KALIMANT AN TIMUR | 10173 | 9079 | 7166 | 9194 | 13994 | 10497 | 13440 |
| KALIMANT AN UTARA | 3333 | 4364 | 5359 | 15517 | 10017 | 9577 | 8436 |
| SULAWESI UTARA | 7464 | 8561 | 4317 | 9355 | 11635 | 6849 | 18327 |
| SULAWESI TENGAH | 19962 | 17667 | 13770 | 13944 | 25288 | 19382 | 41273 |
| SULAWESI SELATAN | 58518 | 37139 | 17068 | 35808 | 45729 | 73910 | 34070 |
| SULAWESI TENGGARA | 9376 | 3061 | 2622 | 6861 | 10265 | 11738 | 12886 |
| GORONTAL O | 3079 | 1298 | 4034 | 4410 | 6026 | 5667 | 4381 |

| | | | | | | | |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SULAWESI BARAT | 13109 | 16146 | 5954 | 9575 | 11580 | 16394 | 14653 |
| MALUKU | 15941 | 5915 | 6479 | 9303 | 13369 | 21974 | 8091 |
| MALUKU UTARA | 2004 | 2119 | 1278 | 266 | 2383 | 2764 | 4686 |
| PAPUA BARAT | 1581 | 155 | 158 | 424 | 2813 | 2370 | 1425 |
| PAPUA | 481 | 238 | 293 | 664 | 128 | 773 | 491 |
| INDONESIA | 99573 5 | 73542 3 | 79520 4 | 114210 2 | 116980 4 | 113319 5 | 135303 7 |

(Badan Pusat Statistik Indonesia 2022)

Saat ini durian semakin banyak dilirik orang untuk dikebunkan. Buah ini memang layak untuk dikebunkan secara komersial, mengingat permintaan dan harganya yang tinggi dibandingkan dengan buah-buahan yang lain. Apalagi pasokan dari tanaman milik rakyat dan hutan pun belum memenuhi permintaan.

Berdasarkan data tabel 3.1 tentang produksi durian di Indonesia, pada tahun 2021 produksi buah durian setiap provinsi per tahun yang tertinggi adalah Provinsi Jawa Timur dengan jumlah produksi 275.319 ton diikuti Provinsi Sumatera Barat, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Jawa Barat, dan Sumatera Selatan masing-masing dengan jumlah produksi 170.707 ton, 159.199 ton, 119.632 ton, 86.785 ton dan 46.309 ton . Provinsi Sumatera Selatan menempati urutan ke-6 provinsi yang menghasilkan produksi durian yang terbesar. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa sebagai daerah yang banyak memproduksi buah durian, berarti banyak pula sampah biji dan kulit durian yang dihasilkan.

Ketenaran buah durian sebagai buah primadona di Indonesia juga membawa dampak negatif. Selain menghasilkan buah yang bisa dinikmati isi daging buahnya, durian juga menghasilkan limbah yang berupa biji dan kulit durian. Kedua limbah ini tergolong dalam limbah organik. Buah durian memiliki kulit buah yang keras dan tebal yang mencapai hampir seperempat bagian dari buahnya tersebut merupakan bagian yang dibuang begitu saja sampai akhirnya menjadi busuk. Hal ini dapat menimbulkan banyak permasalahan lingkungan baik dari segi estetika,

menyebabkan banjir, menumpuk sehingga menimbulkan bau, dan mengganggu kesehatan. Menurut data Dinas Lingkungan Hidup dan Pertanahan (DLHP), pihak DLHP setiap hari mengangkut 2 ton sampah kulit durian ke tempat penampungan sampah (TPS), hal ini dapat meningkatkan volume sampah di TPS yang tiap hari, sehingga lahan TPS lama kelamaan semakin berkurang dan membludak.



Gambar 3. 1. Sampah Kulit Durian

Sampah kulit durian yang selama ini tidak dimanfaatkan dengan baik, karena karakternya yang sukar terurai sehingga berpotensi salah satu sampah hayati yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Selama ini buah durian hanya dapat dimanfaatkan dagingnya saja atau sekitar 20-35 persen dari seluruh bagian durian. Sementara sisanya sekitar 65-80 persennya terbuang sebagai sampah yang memiliki karakteristik yang sukar terurai sehingga berpotensi menjadi salah satu limbah hayati yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Rinaldi et al. 2015).

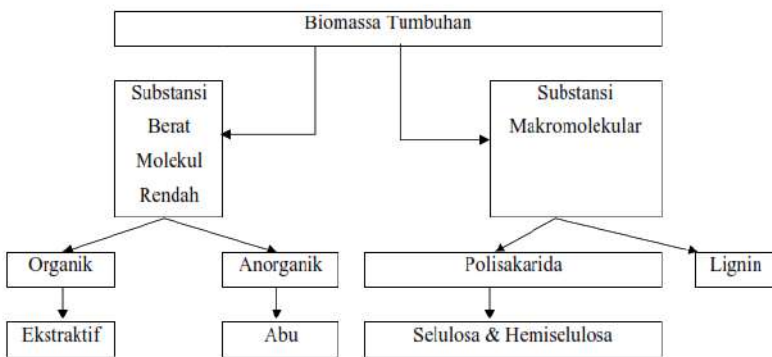
Berdasarkan penelitian, kulit durian mengandung bahan yang tersusun dari selulosa yang tinggi (50% - 60 %) dan lignin (5%) serta pati yang rendah (5%). Bahan-bahan ini merupakan bahan yang mudah terbakar. Apabila dilihat dari karakteristik bentuk dan sifat-sifat kulitnya, sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk bahan campuran papan partikel, papan semen, arang briket, arang aktif, filler, campuran untuk bahan baku obat nyamuk dan lain-lain. Selain itu, limbah kulit durian tersebut sebagai produk bakar

mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan bioenergi berupa bio-oil maupun bio-syngas yang menjadi bahan bakar alternatif (Prabowo 2009).

3.2. Kandungan Lignoselulosa Biomassa Kulit Durian

Buah durian terdiri atas daging buah sebanyak 20,92 % sedangkan sisanya sebanyak 79,08% merupakan limbah berupa biji dan kulit durian yang sering dibuang begitu saja atau tidak dimanfaatkan (Nuriana, Anisa, dan Martana 2013). Bila ditinjau dari komposisi dari kulit durian, sebenarnya banyak manfaat yang akan didapat misalnya sebagai bahan campuran papan partikel, karbon aktif, filler, bahan baku biogas, campuran bahan baku obat nyamuk dan lain sebagainya.

Secara umum, komposisi kimia dari biomassa terdiri dari komponen massa molar tinggi karbohidrat polimer dan oligomer dan lignin. Selain itu, komponen bermassa molar kecil seperti ekstraktif organik dan mineral anorganik juga terkandung dalam biomassa. Bagian terbesar terdiri dari selulosa (glukosa polimer), hemiselulosa (juga disebut *Polycose*), lignin, ekstrak organik, dan mineral anorganik. Gambaran secara garis besar atau umum komponen dalam biomassa tanaman diberikan dalam Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2. Komponen Penyusun Biomassa

Kulit durian terdiri dari tiga komponen utama, yaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa. Berdasarkan hasil analisa penelitian sebelumnya kulit durian kering memiliki komposisi yang terdiri

dari serat kasar (62,46 %), pati (36,8 %), protein (19,9 %), lignin (10,53 %), air (10,93 %), lemak (8,06 %), dan gula reduksi (1,56 %). Kandungan lignin dan selulosa yang tinggi inilah yang memiliki potensi untuk dikonversi menjadi bahan bakar alternatif (Haryati, Rahmatullah, dan Putri 2018).

Selain kandungan tiga komponen utama, yaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa, kulit durian juga mengandung polimer fenolik yang berfungsi sebagai perekat antar serat dalam tumbuhan dan memberi nilai kekuatan pada batang. Berdasarkan hasil analisa penelitian sebelumnya kulit durian kering memiliki komposisi yang terdiri dari serat kasar (62,46 %), pati (36,8 %), protein (19,9 %), lignin (10,53 %), air (10,93 %), lemak (8,06 %), dan gula reduksi (1,56 %) (Haryati, Rahmatullah, dan Putri 2018).

Adapun kandungan tersebut dapat diproses menjadi berbagai macam jenis produk seperti bahan bakar padat (biobriket), bio-oil dan *synthesis natural gas* (SNG).

Biomassa kulit durian dapat dijadikan sebagai bahan bakar padat. Sebagai bahan bakar padat diharapkan kerapatan potensi energi (banyaknya potensi energi per satuan volume biomassa) tinggi dan nilai bakarnya juga tinggi. Sifat lain yang diinginkan dari bahan bakar adalah tidak mengeluarkan asap (emisi) apabila dibakar dan laju keterbakaran bahan bakar padat diharapkan rendah (bahan bakar tidak cepat habis terbakar tetapi energi yang dihasilkan tinggi). Pengolahan limbah ampas tebu dan limbah kulit durian untuk memperoleh nilai manfaat yang lebih tinggi dapat ditempuh dengan metoda termokimia antara lain dengan torefaksi (*torefaction*).

Limbah kulit durian dapat diubah menjadi bio-oil dengan proses pirolisis. Bio-oil hasil pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang lebih mudah disimpan dan didistribusikan dari pada biomassa dalam bentuk padatan. Komponen organik terbesar dalam bio-oil adalah turunan lignin yaitu fenol, alkohol, asam organik dan senyawa karbonil seperti keton, aldehyd dan ester (Wang 2013). Sifat asam tersebut disebabkan akibat kandungan senyawa fenol yang dominan. Dari penelitian yang dilakukan oleh rahmatullah dkk pada tahun 2017,

komposisi bio-oil dari hasil pirolisis kulit durian kandungan senyawa fenol dan turunannya paling dominan dari komponen-komponen lainnya.

Pengolahan sampah kulit durian yang kaya lignoselulosa juga dapat dikonversi menjadi synthetic natural gas (SNG) dengan proses gasifikasi. Kebanyakan beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk produksi *synthetic natural gas* (SNG) melalui proses integrasi pengeringan dan gasifikasi, namun ada beberapa penelitian memproduksi *synthetic natural gas* (SNG) dengan proses gasifikasi dengan bantuan katalis atau sering disebut gasifikasi katalitik.

Metode termokimia merupakan sebuah metode konversi untuk memproduksi bahan bakar dari biomassa dimana metode ini mengkonversikan biomassa secara termal (McKendry 2002). Dalam konversi termokimia, biomassa dirubah menjadi dalam bentuk padat, cair, dan gas yang kemudian disintetis melalui proses kimia ataupun dimanfaatkan langsung.

Berdasarkan produk bahan bakar yang diinginkan, konversi thermokimia dapat diklasifikasikan menjadi 3 metode yaitu metode pembakaran yang mengkonversi biomassa menjadi energi panas yang kemudian digunakan sebagai sumber energi pada pembangkit listrik, metode gasifikasi untuk mengkonversikan biomassa menjadi sintetik gas, dan metode pirolisis untuk mengkonversi biomassa menjadi bio-oil, gas, dan bio-arang (McKendry 2002).

4.1. Pembakaran

Pembakaran adalah proses kimia dengan kehadiran banyak oksigen (*Air Fuel Ratio* lebih besar sama dengan 1) yang menghasilkan panas yang besar dan merupakan fenomena reaksi dapat berkelanjutan secara spontan melalui panas yang dihasilkan dari reaksi tersebut (Knoef 2005). Metode pembakaran merupakan sebuah metode yang cukup efektif dan sudah terbukti dalam penanganan biomassa yang dilakukan di dalam tungku bakar (*combustor*). Bila biomassa digunakan sebagai bahan bakar, reaksi oksidasi yang menghasilkan panas, dimana karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan unsur mudah terbakar (*combustible*) lainnya yang ada dalam biomassa bereaksi dengan oksigen maka akan terjadi proses pembangkitan panas, karbondioksida dan air melalui reaksi oksidasi atau reaksi kimia eksotermis. Panas hasil

pembakaran dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam siklus pembangkit uap yang dapat mengkonversikan energi panas menjadi energi kinetik menuju turbin yang kemudian dikonversi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran dan energi listrik dengan emisi polutan yang rendah (Gallagher 2001). Alur proses pembakaran meliputi proses pengeringan, pirolisis, gasifikasi, pembakaran char, dan pembakaran gas hasil gasifikasi.

4.2. Torefaksi

Torefaksi adalah proses pengolahan secara termokimia untuk bahan baku yang mengandung karbon seperti biomassa. Torefaksi berlangsung pada tekanan atmosfer dengan rentang temperatur 200-350°C (Bergman dan Veringa 2005). Dengan temperatur akhir torefaksi meningkat akan berakibat gas volatil yang dihasilkan akan bertambah dari hasil dekomposisi hemiselulosa, lignin, dan selulosa. Hemiselulosa akan terdekomposisi terlebih dahulu dan dilanjutkan dengan dekomposisi lignin dan selulosa (Chen dan Kuo 2010). Dengan proses torefaksi maka kandungan karbon tetap akan meningkat dan kandungan zat-zat terbang akan menurun sehingga kualitas biomassa akan meningkat (Chen dan Kuo 2011). Dalam proses ini hemiselulosa terdegradasi sedangkan kandungan lignin dan selulosanya tetap. Biomassa yang telah mengalami proses torefaksi akan memberikan beberapa keuntungan antara lain kandungan airnya menjadi rendah, sedikit mengeluarkan asap, dan nilai panasnya juga meningkat. Kemudian, keuntungan lain dari proses torefaksi adalah kandungan air dari produk makin menurun serta sifat makin sulit menyerap air dari udara (Li et al. 2012).

4.3. Gasifikasi

Gasifikasi merupakan proses termokimia untuk mengkonversi bahan baku biomassa padat menjadi bahan bakar gas mampu bakar dan bahan baku gas kimia (Knoef 2005). Proses gasifikasi terjadi dalam sebuah *gasifier* dengan jumlah oksigen yang dikontrol (20 % - 40 % udara stoikiometri) dimana komponen karbon yang ada dalam biomassa dikonversikan menjadi sintetik gas yang terdiri dari sebagian besar karbon monoksida dan hidrogen

serta sebagian kecil metan (CH_4) (Shen dan Yoshikawa 2013). Selain itu, proses gasifikasi juga menghasilkan produk karbondioksida, tar dan senyawa hidrokarbon lainnya. Komposisi gas hasil gasifikasi sangat bergantung pada komposisi unsur dalam biomassa, bentuk dan partikel biomassa, serta kondisi-kondisi proses gasifikasi. Pada proses gasifikasi, mekanisme melalui beberapa tahapan proses antara lain:

- a. Proses pengeringan atau proses penguapan air yang terkandung dalam sampah pada temperatur antara $100 - 200^\circ \text{C}$,
- b. Proses pirolisis pada temperatur $200-800^\circ \text{C}$,
- c. Reaksi oksidasi pada $1.100 - 1.200^\circ \text{C}$
- d. Reaksi reduksi pada $600-700^\circ \text{C}$.

Sebagai ilustrasi, komposisi gas hasil gasifikasi sekam padi bentuk jarum ukuran 1 cm adalah CO 20,1 %, H_2 11,3 %, CH_4 1,8 %, CO_2 %, N_2 55,4%, dan panas pembakaran 435 KJ/kg (Syarif dan Riyanto 2018).

4.4. Pirolisis

Pirolisis merupakan metode konversi biomassa padat menjadi beberapa jenis bahan bakar yaitu cair, padat dan gas. Dalam proses pirolisis, biomassa padat dipanaskan dalam sebuah reaktor pada temperatur operasi dengan tanpa kehadiran oksigen. Hasil produk pirolisis sangat bersih sehingga merupakan alternatif energi fosil yang perlu adanya pengembangan lebih lanjut.

KULIT DURIAN MENJADI BAHAN BAKAR PADAT (BIOBRIKET) MELALUI PROSES TOREFAKSI

Briket merupakan bahan bakar padat yang terbuat dari limbah organik, limbah pabrik maupun dari limbah perkotaan. Bahan bakar padat ini merupakan bahan bakar alternatif atau merupakan pengganti bahan bakar minyak yang paling murah dan dimungkinkan untuk dikembangkan secara masal dalam waktu yang relatif singkat mengingat teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana (Kementrian Negara Riset dan Teknologi ristek.go.id). Standar kualitas mutu briket dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut :

Tabel 5. 1. Standar kualitas mutu briket

| Sifat Briket | Kualifikasi Briket | | | |
|-----------------------|--------------------|---------|---------|-----------|
| | Jepang | Inggris | Amerika | Indonesia |
| Kadar air | -8 | 3-4 | 6 | 7,75 |
| (%) | 3-6 | 8-10 | 18 | 5,51 |
| Kadar abu | 5-30 | 16 | 19 | 16,14 |
| (%) | | | | |
| Kadar zat | 60-80 | 5 | 58 | 78,35 |
| menguap | | | | |
| (%) | 1-2 | 0,84 | 1 | 0,44007 |
| Kadar | | | | |
| karbon | 60 | 12,7 | 62 | 0,4 |
| terikat (%) | | | | |
| Kerapatan | 0-7000 | 6500 | 7000 | 6814,11 |
| (g/cm ²) | | | | |
| Keteguhan | | | | |
| tekan | | | | |
| (kg/cm ²) | | | | |
| Nilai Kalor | | | | |
| (kal/g) | | | | |

(Rindayatno, Sari, dan Wagiman 2017)

Biomassa yang hendak diubah menjadi briket bahan bakar harus terlebih dahulu diperkecil ukurannya agar dalam proses pembriketan bisa menjadi lebih rapat dan mudah dalam pelaksanaannya. Torefaksi dapat dilakukan pada berbagai macam biomassa seperti jerami, kayu, bambu (Chen, Peng, dan Bi 2015). Kualitas produk torefaksi sangat ditentukan oleh karakteristik biomassa, temperatur dan lama proses torefaksi. Makin lama proses torefaksi dapat menyebabkan komponen-komponen energi hilang sehingga kandungan energi akan menurun (Irawan, Riadz, dan Nurmalisa 2015).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat bahan bakar padat dari biomassa dengan proses torefaksi. Penelitian pembuatan bahan bakar padat dari biomassa bambu dengan proses torefaksi dan densifikasi berhasil dilakukan pada suhu 200-300°C dan diperoleh produk arang yang, memiliki sifat getas, hidrofobik dan kandungan air yang menurun. Proses torefaksi dan densifikasi dapat meningkatkan persentase kandungan karbon dan nilai bakar bambu sekitar 19-20% pada suhu 200-300°C (Azhar dan Rustamaji 2009). Kemudian pada tahun 2010 telah dilakukan penelitian torefaksi pada biomassa dari sampah kota (sampah organik, daun; kayu; nasi; kulit jeruk, kulit pisang; plastik dan campuran) dimana hasilnya adalah bahan bakar padat dengan kualitas setara dengan batubara Subbituminous C bernilai kalor (HHV) 4.900-6.800 kcal/kg. (Hardianto et al. 2010). Pada tahun 2011 juga telah melakukan penelitian proses torefaksi pada kulit buah kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan kulit keras yang membungkus biji kelapa sawit (kernel shell). Pada penelitian tersebut, yield energi paling besar dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit sekitar 96% dan kernel shell 100%, sedangkan pada kulit kelapa sawit yield energi sebesar 56% (Uemura et al. 2011).

Tahun 2015, telah dilakukan penelitian tentang proses torefaksi tandan kosong kelapa sawit untuk kandungan hemiselulosa dan uji kemampuan penyerapan air dengan variasi dalam penelitian ini yaitu temperatur antara 250-350 °C serta waktu tahan torefaksi antara 15-60 menit. Kondisi terbaik diunjukkan pada temperatur 300 °C waktu torefaksi 30 menit. Pada

kondisi tersebut didapatkan nilai kalor sebesar 4660 kkal/kg serta jumlah massa yang hilang sekitar 32%, kandungan hemiselulosa 7,64% dan sifat hidrofobik TKKS dilihat dari jumlah air yang terserap (Irawan, Riadz, dan Nurmalisa 2015).

Pada penelitian Rahmatullah, dkk (2016) dilakukan proses torefaksi dari limbah kulit durian dan limbah ampas tebu untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu reaksi proses terhadap kualitas biobriket yang dihasilkan. Dalam penelitian tersebut, dikembangkan metode torefaksi dengan bahan baku yang digunakan adalah limbah padat ampas tebu dari pabrik gula PT. PSMI Lampung dan limbah padat kulit durian dari pasar kuto Palembang.

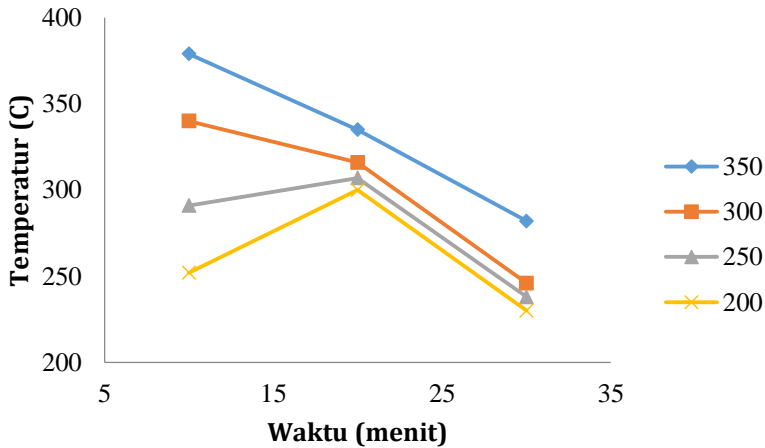
Peralatan yang digunakan untuk proses torefaksi merupakan peralatan yang dibuat sendiri berupa reaktor dengan elemen pemanas yang dialirkan arus listrik, sementara elemen pemanasnya diposisikan disekeliling dinding reaktor dan terhubung dengan *thermocouple* yang dapat memonitor temperatur reaksi pada reaktor.

Limbah padat yang sudah diambil kemudian dipotong kecil dengan ukuran 5 cm dan dijemur di terik matahari selama 1 minggu (sampai kering). Bahan baku yang sudah kering kemudian ditimbang sebanyak 250 gram, kemudian dimasukkan ke dalam torefaktor dan dipanaskan dengan kuat arus sebesar 8,5 A. Variasi temperatur 200, 250, 300 dan 350 °C dan waktu 10;20;30 menit. Waktu dihitung setelah mencapai temperatur yang diinginkan dengan menggunakan stopwatch kemudian dicatat perubahan temperatur setelahnya dengan termocouple.

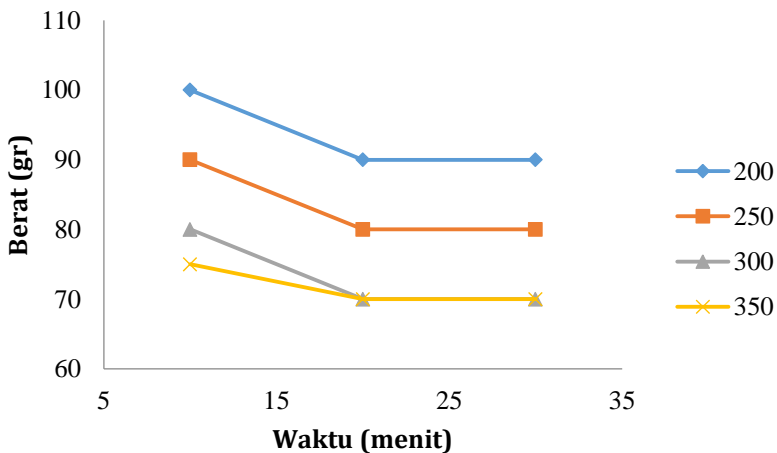
Sebelum membuat biobriket, terlebih dahulu membuat perekat dari tepung tapioka (tepung kanji). Tepung tapioka ditimbang sebanyak 10 gram lalu dicampur dengan air sebanyak 100 mL. Air terlebih dahulu dididihkan kemudian sambil dicampur dan diaduk dengan tepung tapioka sehingga terbentuk lem kanji yang siap digunakan. Selanjutnya, torefaktor di turn off dan didiamkan sampai temperatur ± 30 °C. Kemudian sampel ditimbang kemudian dihaluskan dan dicampur dengan perekat lem kanji hingga rata. Campuran dicetak dengan alat cetakan dari pipa besi

berbentuk silinder dengan ukuran diameter 2,5 in dan tinggi 10 cm sehingga diperoleh biobriket. Setelah itu dikeringkan kembali dengan terik matahari (sampel ditimbang sebelum dan sesudah dikeringkan).

Hasil penelitian torefaksi dengan bahan baku limbah padat ampas tebu, dan kulit durian dengan variasi waktu 10;20;30 menit terhadap waktu torefaksi 200;250;300;350 °C dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 5. 1 Grafik Pengaruh variasi waktu terhadap temperatur torefaksi briket limbah ampas tebu



Gambar 5. 2. Grafik Pengaruh variasi waktu terhadap massa produk yang dihasilkan dari limbah ampas tebu

Berdasarkan Gambar 5.2 Hasil torefaksi pembuatan briket arang ampas tebu dengan variasi waktu 10, 20, 30 m pada temperatur 200, 250, 300, 350 °C yang menghasilkan temperatur maksimum adalah pada waktu 10 menit : temperatur 350 °C dengan temperatur torefaksi sebesar 379 °C, kemudian temperatur minimum pada waktu 30 m : temperatur 200 °C dengan temperatur torefaksi 230 °C.

Dari hasil analisa tersebut dapat dikatakan bahwa proses pembakaran berlangsung lama mengakibatkan temperatur torefaksi semakin menurun, peak temperatur tercapai pada waktu 20 menit dengan temperatur rata-rata 300 °C. Hal ini dikarenakan pada temperatur 300 °C terjadi peningkatan dekomposisi hemiselulosa. Pada temperatur >350 °C sudah tidak terjadi dekomposisi selulosa sehingga tidak terjadi perubahan massa atau dapat dikatakan konstan.

Kualitas produk torefaksi sangat ditentukan oleh karakteristik biomassa, temperatur dan lama proses torefaksi. Makin lama proses torefaksi dapat menyebabkan komponen-komponen energi hilang sehingga kandungan energi akan menurun (Irawan, Riadz, dan Nurmalisa 2015). Pada temperatur tinggi maka dekomposisi hemiselulosa lebih cepat terjadi sehingga massa dari komponen-komponen mudah terbakar yang terdapat di bahan baku biomassa terbawa dalam proses torefaksi temperatur tinggi (Chen dan Kuo 2011).

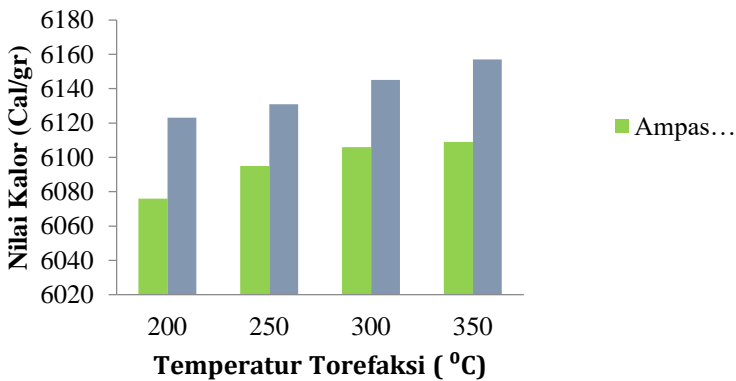
Hilangnya zat terbang tinggi sangat dipengaruhi oleh temperatur torefaksi dan lama proses torefaksi. Peningkatan temperatur dan lama proses torefaksi akan menyebabkan makin terbukanya pori-pori biomassa limbah ampas tebu. Dengan makin terbukanya pori-pori maka massa yang hilang dari biomassa limbah ampas tebu semakin besar (Gambar 5.2). Pada temperatur 300 °C, berkurangnya berat biomassa limbah ampas tebu dari proses torefaksi rata-rata sebesar 64 %, pada temperatur lebih tinggi 307 °C yaitu sebesar 68 %, dan temperatur 316 dan 335 °C rata-rata 72 %. Dapat dikatakan bahwa semakin tinggi temperatur torefaksi berat biomassa limbah ampas tebu yang hilang akan semakin besar. Kehilangan berat biomassa yang signifikan terjadi

pada temperatur $\geq 300^{\circ}\text{C}$ karena pada kondisi tersebut, pori-pori dari biomassa telah terbuka sehingga komponen hemiselulosa, selulosa dan lignin terdekomposisi menjadi gas dan keluar melalui pori-pori dari biomassa limbah ampas tebu.

5.1. Analisis Nilai Kalor Briket Kulit Durian Campuran Ampas Tebu

Hasil analisis nilai kalor biobriket dari limbah ampas tebu durian hasil torefaksi di dibandingkan dengan biobriket dari limbah kulit durian ditunjukkan pada Gambar 5.3. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa biobriket hasil torefaksi dari limbah ampas tebu memiliki nilai bakar (*calorific value*) lebih tinggi daripada biobriket dari limbah kulit durian.

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa nilai kalor masing-masing biobriket baik dari limbah ampas tebu maupun limbah kulit durian berbanding lurus dengan besarnya nilai temperatur torefaksi. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya peningkatan jumlah kandungan karbon pada biomassa yang telah mengalami torefaksi dan tersingkirnya beberapa senyawa kimia dalam biomassa yang berpotensi menimbulkan asap terutama zat yang volatile. Sementara itu, kenaikan temperatur torefaksi juga meningkatkan nilai kalor biobriket yang dihasilkan. (Azhar dan Rustamaji 2009)

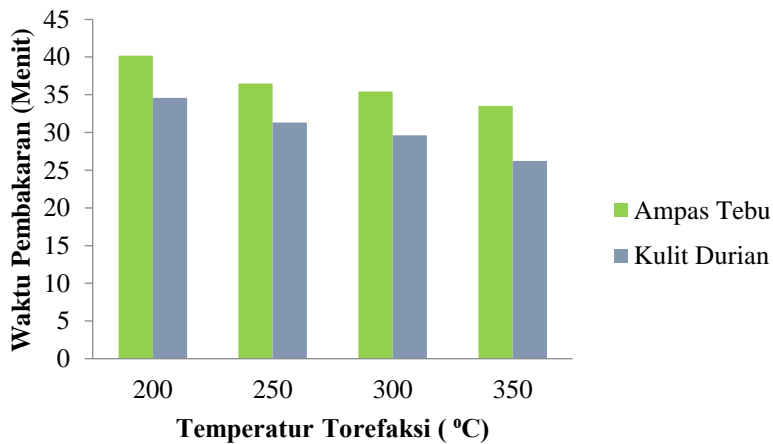


Gambar 5. 3. Pengaruh temperatur torefaksi terhadap nilai kalor biobriket limbah ampas tebu, dan kulit durian

5.2. Analisis Laju Keterbakaran Biobriket

Bioriket dari torefaksi biomassa ini juga dipelajari perilaku. Hasil analisis laju bakar biobriket dari limbah ampas tebu dibandingkan dengan biobriket dari limbah kulit durian hasil torefaksi dapat dilihat pada Gambar 5.4. Kecepatan pembakaran merupakan berkurangnya bobot per satuan menit selama pembakaran. Pengurangan bobot semakin cepat memberikan kecepatan yang besar. Semakin besar kecepatan pembakaran, maka briket akan menyala semakin singkat. Nilai kecepatan pembakaran diperoleh dari berat kering briket dibagi dengan waktu pembakaran briket sampai habis menjadi abu (Ristianingsih, Ulfa, dan Syafitri K.S 2015).

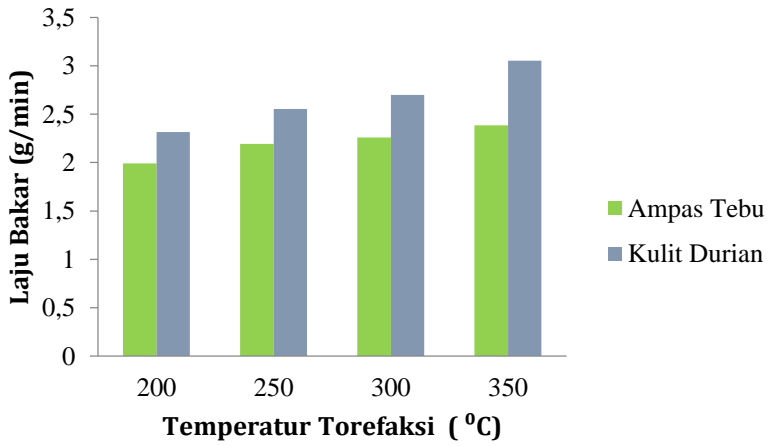
Gambar 5.4. menunjukkan bahwa waktu pembakaran biobriket torefaksi dari limbah ampas tebu relatif lebih lama dibandingkan biobriket dari limbah kulit durian. Selain itu, kenaikan suhu torefaksi juga dapat mengurangi lamanya waktu pembakaran biobriket. Hal ini disebabkan karena briket didominasi tahap pembakaran arang sebagai hasilnya penurunan kandungan volatile dan peningkatan kandungan arang pada biomassa yang tertorefaksi. Pada temperatur torefaksi ≤ 300 °C masih terdapat sisa-sisa komponen lignin dan selulosa yang masih belum terbakar menjadi arang, sehingga pada saat pembakaran biobriket membutuhkan waktu pembakaran yang lebih lama untuk mengurai komponen tersebut. Semakin tinggi temperatur torefaksi pada proses pembuatan biobriket maka semakin cepat waktu pembakaran pada biobriket.



Gambar 5. 4. Pengaruh Temperatur pada saat torefaksi biobriket dari limbah ampas tebu, dan limbah kulit durian terhadap waktu pembakaran biobriket

Waktu pembakaran paling cepat diperoleh pada biobriket kulit durian pada temperatur torefaksi 350 °C dengan waktu 26,21 menit dan paling lama diperoleh dari biobriket limbah ampas tebu pada temperatur torefaksi 200 °C dengan waktu 40,17 menit.

Sedangkan untuk laju pembakaran pada Gambar 5.5. menunjukkan nilai yang paling tinggi diperoleh pada biobriket kulit durian pada temperatur torefaksi 350 °C dengan laju bakar 3,052 gr/menit dan paling rendah diperoleh dari biobriket limbah ampas tebu pada temperatur torefaksi 200 °C dengan laju bakar 1,992 gr/menit. Nilai kalor yang tinggi pada briket akan menghasilkan laju pembakaran yang semakin tinggi (Santosa, Mislaini, dan Anugrah 2012).



Gambar 5. 5. Laju bakar biobriket dari limbah ampas tebu, dan limbah kulit durian

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis. Secara definisi adalah proses dekomposisi thermal dari substrat organik atau biomassa dalam ketiadaan agen oksidasi berupa oksigen (Badan Pusat Statistik Indonesia 2022). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan. Baru pada sekitar abad ke-18 pirolisis dilakukan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah distilasi kering. Proses pirolisis sangat banyak digunakan di industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol, dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengkonversi diklorida etilena menjadi vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengkonversi biomassa menjadi *syngas*, untuk mengubah sampah menjadi zat yang aman untuk dibuang, dan untuk mengubah hidrokarbon menengah-berat dari minyak menjadi lebih ringan, seperti bensin (Wijaya et al. 2008)

Proses ini biasanya dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu pirolisis lambat, menengah dan cepat. Dalam pirolisis cepat dilakukan pada suhu tinggi berkisar 600 - 700°C dan waktu pemanasan singkat <5 menit. Pirolisis menengah pada suhu sedang 500°C, sedangkan pirolisis lambat dilakukan pada suhu rendah 400°C dengan waktu pemanasan > 15 menit.

Pada umumnya pirolisis dipengaruhi oleh ukuran partikel, temperatur dan laju pemanasan. Uraian lengkapnya sebagai berikut (Roddy dan Manson-Whitton 2012):

1. Komposisi, ukuran, bentuk, dan struktur fisik biomassa memberikan beberapa pengaruh pada produk pirolisis, berpengaruh terhadap laju pemanasan. Partikel biomassa yang lebih halus menyebabkan hambatan yang lebih kecil terhadap

pelepasan gas yang dapat dikondensasi, yang menyebabkan gas tersebut mudah lolos ke lingkungan sebelum mengalami proses cracking kedua. Hal ini menghasilkan produk *liquid* yang lebih tinggi.

2. Selama proses pirolisis, partikel bahan bakar dipanaskan pada tingkat yang ditentukan dari temperatur *ambient* ke temperatur maksimum, yang disebut dengan temperatur pirolisis. Selama proses pirolisis biomassa, terjadi perubahan produk gas yang dihasilkan seiring dengan perubahan temperatur. Jumlah char yang diproduksi juga tergantung pada suhu pirolisa. Suhu rendah menghasilkan lebih banyak *char*; Suhu tinggi menghasilkan lebih sedikit.
3. Laju pemanasan partikel biomassa memiliki pengaruh penting terhadap hasil dan komposisi produk. Pemanasan cepat ke suhu sedang (400-600 ° C) lebih volatil dan menghasilkan *liquid* yang lebih tinggi, sementara pemanasan yang lebih lambat pada suhu tersebut menghasilkan lebih banyak *char*.

6.1. Produk Pirolisis Biomassa

a. Bio-Char

Bio-char adalah hasil pirolisis yang berbentuk padat. Bio-char mempunyai komposisi yang berbeda-beda tergantung bahan baku yang digunakan. Komposisi utama dari bio-char adalah karbon (85%), oksigen, dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar yang berasal dari fosil, bio-char mengandung bahan inorganik berupa abu. LHV dari bio-char sekitar 32 MJ/kg. Nilai LHV lebih tinggi daripada asap cair maupun biomassa (Roddy dan Manson-Whitton 2012).

Bio-char digunakan sebagai metal adsorption. Empat logam yang dapat diadsorpsi oleh bio-char adalah logam Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , dan Zn^{2+} . Bio-char dapat efektif mengadsorpsi Cu diikuti ion Zn, Cd, dan Ni. Selain sebagai *metal adsorption*, bio-char dapat digunakan sebagai energi yang dapat diperbaharui

b. Biofuel

Biofuel merupakan bahan bakar terbarukan yang cukup menjanjikan. Biofuel dapat secara luas didefinisikan sebagai padatan, cairan atau gas bakar yang mengandung atau diturunkan dari biomassa. Definisi yang lebih sempit mendefinisikan biofuel sebagai cairan atau gas yang berfungsi sebagai bahan bakar transportasi yang berasal dari biomassa. Biofuel dipandang sebagai bahan bakar alternatif yang penting karena dapat mengurangi emisi gas dan meningkatkan ketahanan energi. Penggunaan minyak nabati (BBN) sebagai bahan biofuel sebenarnya sudah dimulai pada tahun 1895 saat Dr. Rudolf Christian Karl Diesel mengembangkan mesin motor yang dijalankan dengan BBN. BBN saat itu adalah minyak yang didapatkan langsung dari pemerasan biji sumber minyak, yang kemudian disaring dan dikeringkan. Bahan bakar minyak nabati mentah yang digunakan pada mesin diesel buatan Dr. Rudolf Christian Karl Diesel tersebut berasal dari minyak sayur. Namun karena pada saat itu produksi minyak bumi berlimpah dan murah, maka BBN untuk mesin diesel tersebut secara perlahan-lahan diganti dengan minyak solar dari minyak bumi. Selain itu BBN yang didominasi oleh trigliserida memiliki viskositas dinamik yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Viskositas bahan bakar yang tinggi akan menyulitkan pengaliran bahan bakar ke ruang bakar sehingga dapat menurunkan kualitas pembakaran dan daya mesin. Oleh karena itu, untuk penggunaan BBN secara langsung mesin diesel harus dimodifikasi terlebih dahulu, misalnya dengan penambahan pemanas BBN untuk menurunkan viskositas. Pemanas dipasang sebelum sistem pompa dan injektor bahan bakar.

Saat ini biofuel telah digunakan di berbagai negara, industri biofuel tersebar di Eropa, Amerika dan Asia. India, misalnya mengembangkan biodiesel dari tanaman jarak pagar (*Jatropha*). Kebanyakan biofuel dipakai untuk

transportasi otomotif. India menargetkan penggunaan 5% bioetanol sebagai bahan bakar transportasi, sementara Cina sebagai produsen utama etanol di Asia menargetkan 15% bioetanol sebagai bahan bakar transportasinya pada tahun 2010. Biofuel dapat diproduksi dari sumber-sumber karbon dan dapat diproduksi dengan cepat dari biomassa. Sebagai Negara agraris Indonesia sangat potensial mengembangkan industri biofuel nya sendiri. Pertama, bahan baku berupa tanaman energi tersebar di seluruh wilayah Indonesia dari Sabang sampai Merauke. Produksi tanaman energi dari tahun ke tahun juga cenderung meningkat sehingga kita tidak perlu khawatir kekurangan sumber energi nabati ini.

c. Bio-Oil

Bio-oil adalah senyawa anorganik yang merupakan cairan yang diproduksi melalui proses pirolisis (Boucher et al. 2000). Cairan yang berasal dari proses pirolisis diberi nama dengan cara yang berbeda-beda. Ada yang menyebut cairan pirolisis, minyak pirolisis (*pyrolysis oil*), asap cair, cairan kayu (*wood liquids*), minyak kayu (*wood oil*), *bio-crude-oil*, *bio-fuel-oil*, *liquid smoke*, *wood distillates*, *pyroligneous tar*, *pyroligneous acid*, dan *liquid wood*.

Bio-oil mempunyai standar warna dari hijau gelap sampai dengan merah gelap mendekati hitam tergantung dari bahan dan proses yang digunakan untuk mendapatkan produk. Asap cair tersusun dari berbagai komponen kimia dari bahan-bahan kimia yang mudah menguap seperti formaldehid, asam asetat, fenol, dan *anhydrosugar*. Berdasarkan penelitian Dyna Motive, *bio-oil* yang dihasilkan mempunyai komposisi dan sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 (Farag, LaClaire, dan Barrett 2004)

Kualitas dari asap cair dengan warna coklat gelap jika dibandingkan dengan bahan biomassa mempunyai heating value seperti yang *ditunjukkan* pada Tabel 6.3.

Tabel 6. 1. Komposisi Asap cair

| No | Komposisi (%berat) | Bagasse | Kayu Pine/Spruce 53% | Kayu Pine/Spruce |
|----|--------------------|---------|-------------------------|------------------|
| 1 | Air | 20,8 | 2 | 2 |
| 2 | Lignin | 23,5 | 2 | 2 |
| 3 | Cellobiosan | - | 1 | 2 |
| 4 | Glyoxal | 2, | 1 | 2 |
| 5 | Hidroksiasetalde | 10,2 | 1 | 9 |
| 6 | Levoglukosan | 3, | 6 | 7 |
| 7 | Formaldehid | 3, | 3 | 3 |
| 8 | Asam format | 5, | 3 | 4 |

Tabel 6. 2. Sifat-Sifat Fisik Asap Cair

| No. | SifatFisik | Bagasse | Kayu 53%+ 47% Bark | Kayu Pine/Spruce 100 |
|-----|-----------------|---------|-----------------------|-------------------------|
| 1. | pH | 2, | 2, | 2, |
| 2. | Air | 20,8 | 23, | 23, |
| 3. | Lignin | - | 1, | 2, |
| 4. | Padatan | <0,10 | <0,1 | <0,1 |
| 5. | Abu | <0,02 | <0,0 | <0,0 |
| 6. | Densitas | 1,20 | 1,1 | 1,2 |
| 7. | Nilaikalo | 15,4 | 16, | 16, |
| 8. | Viskosita (cST) | | | |
| | Pada | 5 | 7 | 7 |
| | Pada | 4,00 | 4, | 4, |
| 9. | Kadar | 2, | 3, | 2, |
| 10 | Kadar | 2, | 3, | 0,2 |

Tabel 6. 3. Perbandingan Nilai Panas Pembakaran Berbagai Asap Cair

| No. | Bahan Baku | Nilai Kalor (MJ/kg) |
|-----|--------------------|---------------------|
| 1. | <i>Corn cobs</i> | 26,2 |
| 2. | <i>Corn stover</i> | 24,3 |
| 3. | <i>Repeseed</i> | 38,4 |
| 4. | Bunga matahari | 15,9 |

Dyna Motive dan Orenda Aerospace Corporation adalah perusahaan di New Hampshire, Durham, Amerika Serikat telah melakukan penelitian dengan mengoperasikan 2,5 MW mesin turbin dengan menggunakan bahan bakar *bio-oil*. Berdasarkan hasil uji, emisi CO dan partikulat lebih tinggi daripada solar, tetapi hasil uji emisi NOx dan SO₂ lebih rendah daripada solar. Tabel 5 menunjukkan perbandingan sifat-sifat antara *bio-oil* dan solar. Nilai kalor asap cair sekitar setengah daripada nilai kalor solar. *Bio-oil* yang dihasilkan mempunyai kadar air 20 (% berat). Sehingga *bio-oil* yang dihasilkan bersifat *hydrophilic* dan *immiscible*. Kandungan alkali dalam asap cair dapat menyebabkan korosi.

Tabel 6. 4. Perbedaan Sifat-Sifat Bio-Oil dengan Solar

| No | Sifat-Sifat | Bio- | Sol |
|----|-------------|----------------|---------------|
| 1. | Nilai | 15- | 4 |
| 2. | Viskositas | 7 | 2- |
| 3. | pH | 2,3-3,3 | 5 |
| 4. | Air | 20-25 (%berat) | 0,05 (%volum) |
| 5. | Padatan | < 0,1 (%berat) | |
| 6. | Abu | < 0,02 | 0,0 |
| 7. | Alkali Na+K | 5-100 | <1 |

Tabel 6.5. menunjukkan perbedaan sifat-sifat *bio-oil*, *light heavy fuel oil*, dan *heavy fuel oil*. Asap cair mempunyai nilai kalor viskositas, kadar abu, kadar belerang, kadar nitrogen, dan emisi NOx lebih rendah daripada *light fuel oil* dan *heavy fuel oil*. Selain itu, *bio-oil* juga mempunyai keuntungan karena

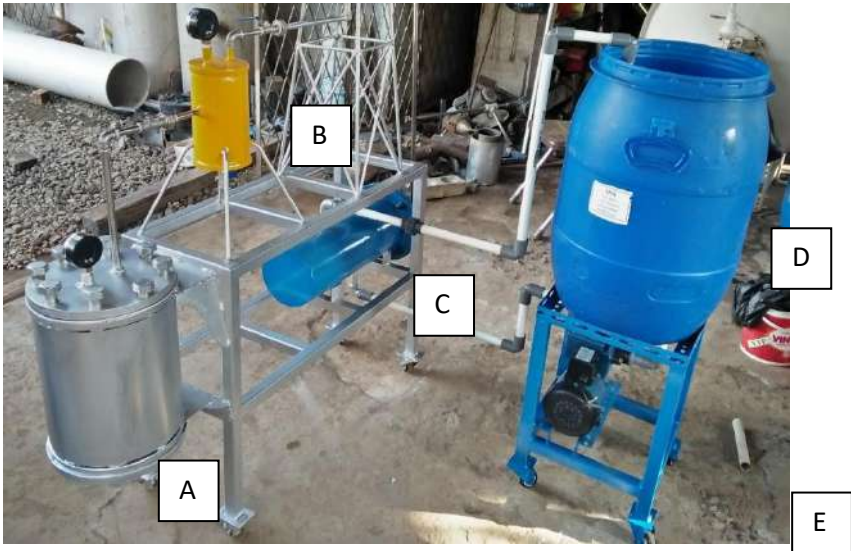
menghasilkan emisi SO_x dan NO_x hanya setengah daripada bahan bakar fosil (Frag, LaClaire, dan Barrett 2004)

Tabel 6. 5. Sifat-Sifat Bio-Oil, Light Fuel Oil, dan Heavy Fuel Oil

| No. | Sifat-Sifat | <i>Bio-Oil</i> | <i>Light Fuel Oil</i> | <i>Heavy Fuel Oil</i> |
|-----|---------------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | Nilai Kalor (MJ/kg) | 16,5 | 4 | 4 |
| 2 | Viskositas (cSt) | 7 | 4 | 5 |
| | Pada 80°C | 4 | 2 | 4 |
| 3 | Abu (%berat) | <0,02 | <0,01 | 0 |
| 4 | Belerang (%berat) | <i>Trace</i> | 0,15-0,5 | 0, |
| 5 | Nitrogen (%berat) | <i>Trace</i> | 0 | 0 |
| 6 | <i>Pourpoint</i> (°C) | -33 | - | - |
| 7 | <i>Turbine</i> NO _x (g/MJ) | <0,07 | 1 | - |
| 8 | <i>Turbine</i> SO _x (g/MJ) | 0 | 0 | |

6.2. Proses Produksi bio-fuel dengan proses pirolisis

Penelitian ini diawali dengan menyiapkan bahan baku (kulit dan biji durian) yang telah dikeringkan dan diperkecil ukurannya dengan range 1-5 cm, kemudian menimbang berat bahan baku sebanyak 300 gram yang akan dijadikan bahan baku ampas tebu, kulit dan biji durian dengan perbandingan komposisi (1:1) pada proses pirolisis dengan variasi temperatur pirolisis (250, 300, 350°C).

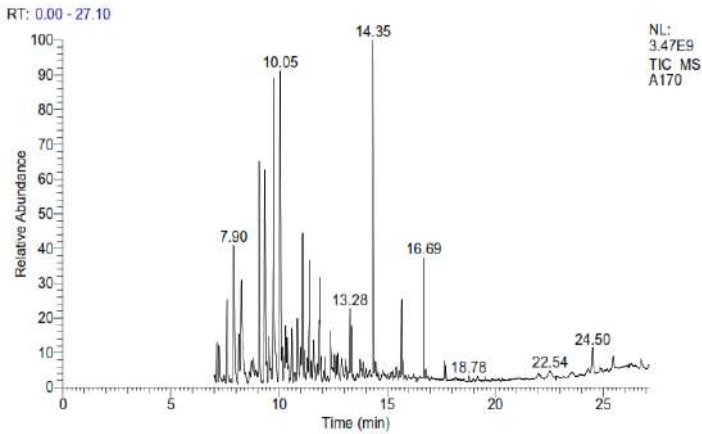


Gambar 6. 1. Unit Pirolisis

Keterangan Gambar 6.1:

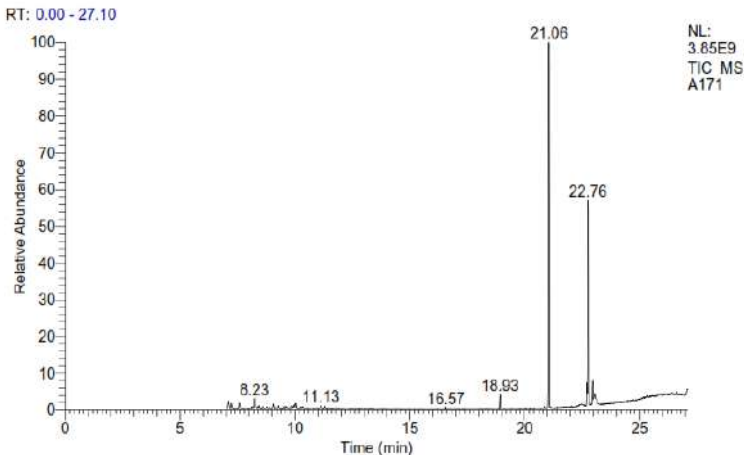
- A. Reaktor Pirolisis
- B. Flash Tank
- C. Kondenser
- D. Tanki Penampung Air Dingin
- E. Pompa Air

Berdasarkan hasil yang diperoleh, semakin tinggi temperature reaksi maka semakin tinggi yield yang dihasilkan baik berupa *liquid (tar)* maupun cairan hasil kondensasinya (*biofuel*). Sebaliknya kenaikan temperatur berbanding terbalik dengan arang yang dihasilkan akibat proses pembakaran di dalam reaktor pirolisis. Cairan hasil kondensasi selanjutnya dianalisa menggunakan GC-MS.



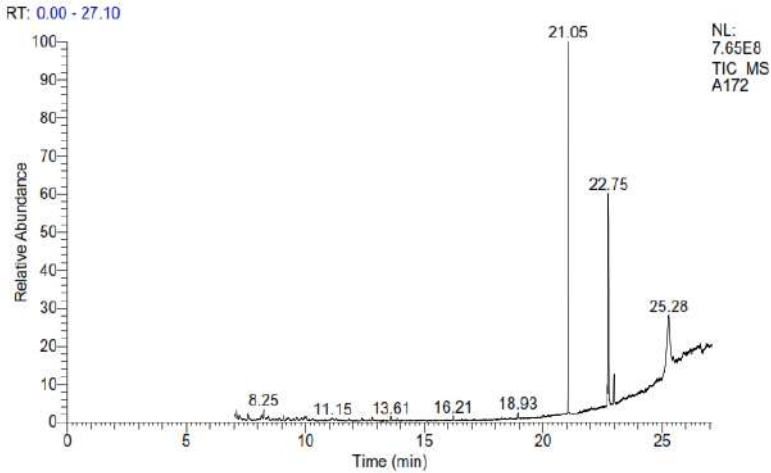
Gambar 6. 2. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-fuel kulit dan biji durian sampel

Dari hasil analisis awal menggunakan GC-MS terhadap biofuel pada sampel 1 (Gambar 6.2) yang dihasilkan untuk satu sampling diperoleh komposisi terbesar persen kandungan yang tertinggi adalah senyawa-senyawa yang termasuk kelompok olefin yaitu 51,07%. Senyawa-senyawa yang termasuk kelompok aromatik dan naftena kandungannya dalam biofuel yaitu masing-masing 35,7 % dan 8,86 %. Sedangkan senyawa-senyawa yang termasuk parafin kandungannya paling sedikit yaitu hanya 5,06 %.



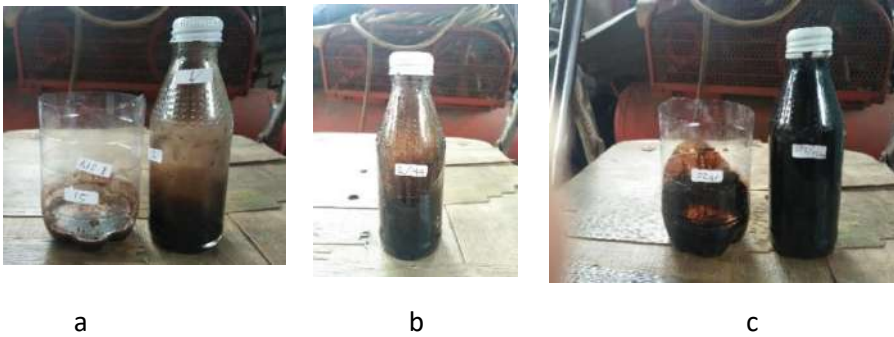
Gambar 6. 3. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-fuel kulit dan biji durian sampel 2

Gambar 6.3 menunjukkan hasil analisa GC-MS terhadap biofuel pada sampel 2 yang dihasilkan. Dari data tersebut diperoleh komposisi terbesar persen kandungan yang tertinggi adalah senyawa-senyawa kelompok aromatik sebesar 53,58%. Senyawa-senyawa yang termasuk kelompok olefin dan parafin kandungannya dalam biofuel yaitu masing-masing 17,77% dan 15,23,86%. Sedangkan senyawa-senyawa yang termasuk naften kandungannya paling sedikit yaitu hanya 13,42%.



Gambar 6. 4. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-fuel kulit dan biji durian sampel 3

Pada gambar 6.4 menunjukkan hasil analisa GC-MS terhadap biofuel pada sampel 3 pada temperature 350°C. Dari data tersebut diperoleh komposisi terbesar persen kandungan yang tertinggi adalah senyawa-senyawa kelompok naften sebesar 37,78%. Senyawa-senyawa yang termasuk kelompok aromatik kandungannya sebesar 32,03%. Sedangkan senyawa-senyawa yang termasuk olefin dan parafin kandungannya paling sedikit yaitu 17,78% dan 12,41%.



Gambar 6. 5. Tar dan Cairan hasil kondensari (Biofuel) untuk masing-masing variable temperature: (a) 250°C; (b) 300°C; dan (c) 350°C

6.3. Proses produksi bio-oil dengan pirolisis lambat

Bahan baku sebanyak 250 gram limbah kulit durian yang telah dihaluskan dimasukkan kedalam raktor pirolisis, pemanasan dilakukan pada variasi temperatur 250-400 °C untuk masing bahan baku dengan ukuran 10 dan 20 mesh.

Setelah waktu operasi tercapai, produk berupa campuran gas dan cairan dialirkan menuju kondenser, gas yang telah terkondensasi berupa bio-oil kemudian ditampung dan dianalisa komposisinya.

Pada proses ini dihasilkan 3 produk hasil reaksi pirolisis lambat (*slow-pyrolysis*) yaitu produk padat berupa arang, gas, dan cairan (Gambar 6.6).



Gambar 6. 6. Hasil konversi limbah kulit durian menjadi produk berupa bio-arang, gas, dan bio-oil.

Dalam proses pirolisis, biomassa dipanaskan dalam kondisi tanpa kehadiran oksigen untuk *menghasilkan* bio-arang, *bio-oil* dan *non-condensable gas*. Produk hasil pirolisis sangat tergantung pada kondisi operasinya, antara lain: waktu pemanasan, temperatur pirolisis dan waktu tinggal (Basu 2018).

Hasil *produk* pirolisis lambat berupa bio-oil, tar, arang dan gas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Garg, Anand, dan Kumar 2016):

$$Yield\ bio\ oil\ (\%) = \frac{bio\ oil\ (gr)}{feed\ masuk\ reaktor\ (gr)} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$Yield\ arang\ (\%) = \frac{arang\ (gr)}{feed\ masuk\ reaktor\ (gr)} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

$$Yield\ gas\ (\%) = 100 - Yield\ bio\ oil - Yield\ arang \dots \dots \dots (3)$$

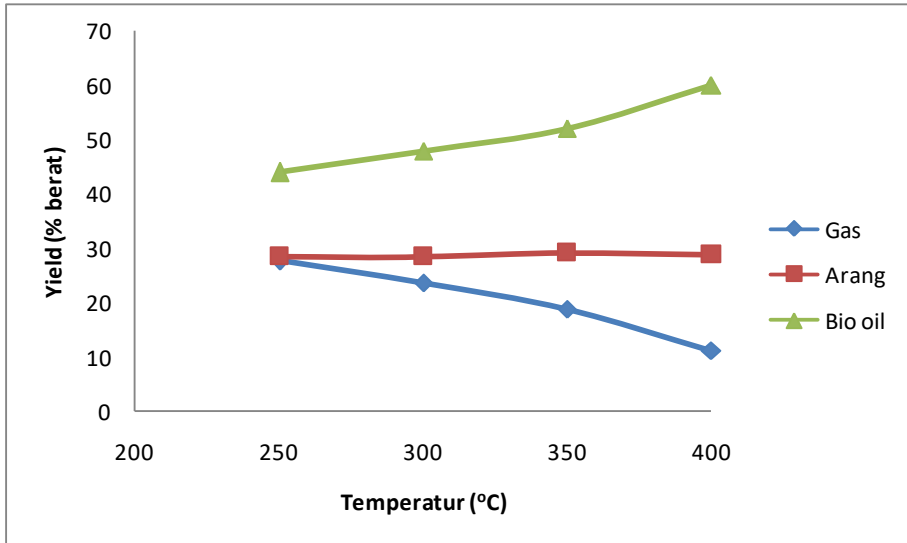
Tabel 6. 6. Rendemen/Yield Hasil Pirolisis Lambat Biomassa Kulit Durian

| Produk | Ukuran Partikel (Mesh) | Temperatur (C) | | | |
|----------------------|---------------------------|----------------|------|------|------|
| | | 250 | 300 | 350 | 400 |
| Bio-oil (% berat) | 10 | 44 | 48 | 52 | 60 |
| | 20 | 36 | 40 | 44 | 56 |
| Arang (% berat) | 10 | 28.4 | 28.4 | 29.2 | 28.8 |
| | 20 | 35.2 | 31.2 | 28.4 | 28 |
| Gas (% berat) | 10 | 27.6 | 23.6 | 18.8 | 11.2 |
| | 20 | 28.8 | 28.8 | 27.6 | 16 |

6.3.1. Pengaruh Temperatur dan Ukuran Partikel Biomassa Terhadap Yield Bio-oil

Pengaruh temperatur pirolisis lambat terhadap produk yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 6.7 dan 6.8 dimana produk hasil pirolisis lambat ditimbang kemudian % yield untuk masing-

masing produk dihitung dengan menggunakan persamaan (1) sampai dengan persamaan (3).



Gambar 6. 7. Pengaruh Temperatur terhadap produk hasil pirolisis lambat pada ukuran partikel bahan baku 10 mesh

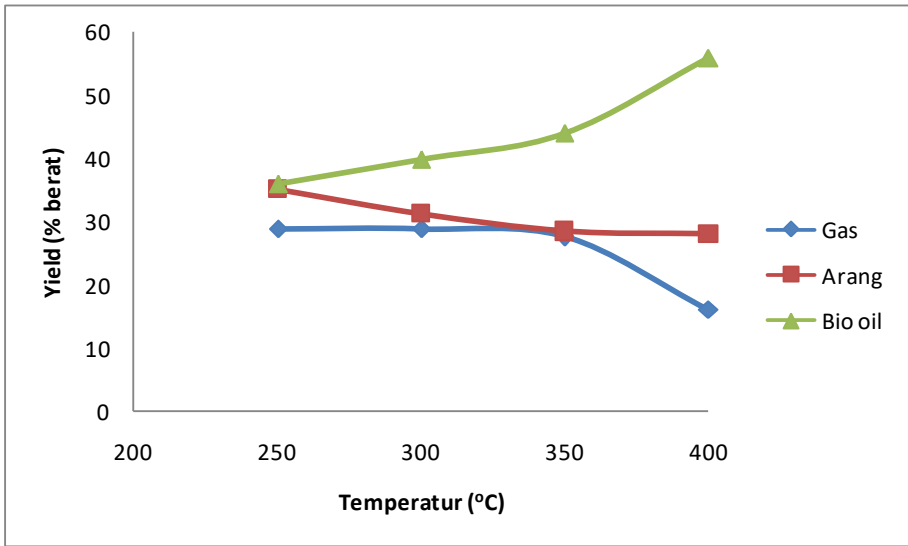
Yield bio-oil untuk ukuran partikel biomassa 10 mesh dan 20 mesh memiliki trend yang sama dengan variasi nilai yang berbeda masing-masing 44 % sampai dengan 60 % dan 36 % sampai dengan 56 %. Peningkatan jumlah yield bio-oil ini diiringi dengan penurunan yield arang dan gas yang dihasilkan.

Yield bio-oil terbesar dihasilkan pada temperatur tertinggi 400 °C dengan ukuran partikel 10 mesh, yaitu sebesar 60 %. Sedangkan hasil terkecil diperoleh pada temperatur 250 °C dengan ukuran partikel 20 mesh sebesar 36 %.

Dalam studi lain yang dilakukan oleh Erawati, dkk (2014) dalam penelitian pirolisis ampas tebu menjadi bio-oil menunjukkan hal yang sama. Pada penelitian tersebut digunakan variasi ukuran biomassa ampas tebu dari 20 s.d 40 mesh dengan hasil yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan yield bio-oil pada ukuran diameter partikel 20 mesh sebesar 40,32% menjadi 34,16% pada ukuran diameter partikel 40 mesh.

Pada penelitian lain, pengaruh temperatur dan ukuran partikel biomassa terhadap bio-oil hasil pirolisis, juga menunjukkan hasil yang sama dimana ukuran partikel biomassa

yang lebih besar (-20+30 mesh) memberikan yield bio-oil lebih besar daripada ukuran partikel dibawahnya (-30+40 mesh) (Zulkania 2016).



Gambar 6. 8. Pengaruh Temperatur terhadap produk hasil pirolisis lambat pada ukuran partikel bahan baku 10 mesh

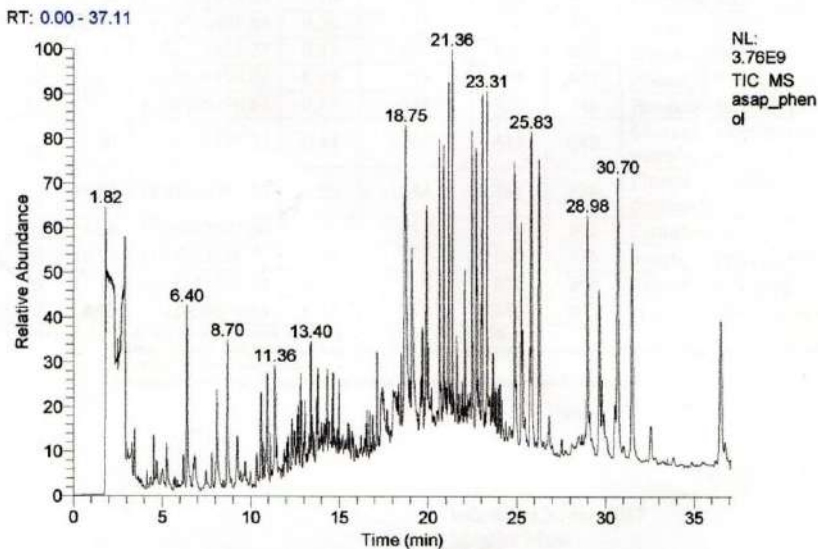
Peningkatan jumlah bio-oil yang dihasilkan seiring dengan meningkatnya temperatur pirolisis lambat karena meningkatnya reaksi devolatilisasi pada temperatur yang lebih tinggi karena energi yang tersedia lebih banyak dan hal ini menyebabkan terputusnya ikatan dalam senyawa organik sehingga produk cairnya meningkat. (Zulkania 2016)

6.3.2. Analisa Komposisi Bio-oil

Untuk menganalisa komposisi dari kandungan bio-oil yang dihasilkan digunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC/MS) (Gambar 6.9).

Tabel 6. 7. Hasil Analisa Komposisi Bio-oil

| No | Retention Time | Tentative Assignment | Persen Area (%) |
|----|----------------|--|-----------------|
| 1. | 6,40 | Phenol | 0,63 |
| 2. | 8,10 | Phenol, 3-methyl- | 0,53 |
| 3. | 8,70 | Phenol, 3-methyl- | 0,77 |
| 4. | 10,58 | Phenol, 2,5-dimethyl- | 0,37 |
| 5. | 10,95 | Phenol, 2,3-dimethyl- | 0,49 |
| 6. | 12,62 | Phenol, 4-ethyl-, 2-methoxy- | 0,12 |
| 7. | 12,70 | Cyclotridecane | 0,19 |
| 8. | 12,82 | Indole | 0,26 |
| 9. | 12,87 | Benzocycloheptatriene | 0,17 |
| 10 | 13,40 | Phenol, 2,6-dimethoxy- | 0,23 |
| 11 | 13,37 | Bromoacetic acid, pentadecyl ester | 0,17 |
| 12 | 13,80 | Glycine, N-butoxycarbonyl-, pentyl ester | 0,15 |
| 13 | 14,33 | Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)- | 0,26 |
| 14 | 14,66 | Pentadecane | 0,21 |
| 15 | 14,98 | 5-tert-Butylpyrogallol | 0,16 |
| 16 | 17,13 | Tetradecanoic acid | 0,26 |
| 17 | 18,49 | Hexadecanoic acid, methyl ester | 0,14 |



Gambar 6. 9. Analisa Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS) Komposisi Bio-oil



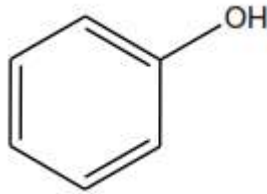
Gambar 6. 10. Hasil Konversi Limbah Kulit Durian Menjadi Bio-oil pada berbagai ukuran dan temperatur reaksi

Dari hasil bio-oil (Gambar 6.10) dilakukan analisa GCMS. Tabel 6.7 menunjukkan bahwa kandungan terbanyak adalah senyawa fenol dan turunannya (3-metil-fenol, 2,5-dimetil-fenol, 2,3-dimetil-fenol, 4-etil-2-metoksi-fenol, 2,6-dimetoksi-fenol, dan 2-metoksi-4-(1-propenil)-fenol) yang terbaca di menit ke 6,4; 8,1; 8,7; 10,58; 10,95; 12,62; 13,40; dan 14,33 dengan persen area masing-masing 0,63; 0,53; 0,77; 0,37; 0,49; 0,12; 0,23; dan 0,26. Persen area ini bersifat semi kuantitatif dimana hanya menunjukkan kadar konsentrasi senyawa dalam komposisi bio-oil.

6.4. Separasi Kandungan Fenol Dengan Metode Ekstraksi

6.4.1. Fenol

Fenol adalah senyawa turunan benzena yang salah satu atom hidrogennya tersubstitusi oleh gugus hidroksi (-OH). Dengan demikian fenol mempunyai rumus molekul C_6H_5OH (Gambar 6.11). Walaupun mempunyai gugus fungsi alkohol, sifat fenol berbeda dengan alkohol. Fenol mempunyai gugus hidroksi yang terikat pada karbon tak jenuh. Fenol mempunyai keasamaan yang tinggi karena cincin aromatik yang bergandengan kuat dengan oksigen dan cenderung memutuskan ikatan antara oksigen dan hidrogen.



Gambar 6. 11. Struktur Molekul Fenol

Adapun sifat fisika dan sifat kimia dari senyawa Fenol adalah sebagai berikut:

Bentuk: padatan tak berwarna ke merah muda

Aroma: bau aromatik yang tajam

Titik didih : 182 °C

Titik lebur: 42 °C

Berat molekul: 94,11 g/mol

Berat jenis : 1,057 g/ml

Berat jenis uap: 3,24 g/ml

Suhu kritis : 694 °C

Kelarutan: Fenol sangat larut dalam alkohol, asam asetat, gliserol, dan karbon disulfida. Fenol mudah larut dalam metanol, dietil eter. Larut dalam air dingin serta aseton dengan daya larut dalam air: 1g / 15 mL air.

Reaktivitas: Fenol memiliki ketidakcocokan dengan berapa zat karena reaktif dengan oksidator, logam, asam, dan alkali.

Korosifitas: Fenol sangat korosif terhadap tembaga, sedikit korosif terhadap stainless steel (304) dan stainless steel (316) serta tidak bersifat korosif terhadap kaca, dan aluminium.

Fenol banyak terdapat di alam biasanya berasal dari bahan – bahan organik yang telah membusuk atau bahan – bahan yang terdapat di alam. Misalnya saja bahan – bahan yang mengandung lignin karena di dalam ligninlah terdapat gugus fenol yang nantinya bisa diuraikan melalui beberapa proses misalnya dengan hidrolisis, pirolisis, ekstraksi dan lain- lain.

Fenol dapat digunakan sebagai antiseptik yang juga merupakan komponen utama pada antiseptik dagang, atau dikenal sebagai TCP (*trichlorophenol*). Fenol juga merupakan bagian komposisi beberapa anestetika oral, misalnya semprotan kloraseptik. Fenol

berfungsi dalam pembuatan obat-obatan (bagian dari produksi aspirin, pembasmi rumput liar, dan lainnya). Selain itu fenol juga berfungsi dalam sintesis senyawa aromatis yang terdapat dalam batu bara. Turunan senyawa fenol (*fenolat*) banyak terjadi secara alami sebagai flavonoid alkaloid dan senyawa fenolat yang lain. Mengingat banyaknya kegunaan dari fenol maka perlu dilakukan ekstraksi terhadap senyawa ini. Pengambilan fenol dari bio-oil hasil pirolisis tempurung kelapa dapat dilakukan dengan pelarut metanol dan asam asetat menggunakan metode ekstraksi cair-cair. Pada penelitian yang telah dilakukan Rahmatullah, dkk pada tahun 2018, pengambilan fenol dari produk bio-oil hasil pirolisis pada kulit durian dilakukan dengan metode ekstraksi cair-cair dengan pelarut methanol.

6.4.2. Metode Ekstraksi Senyawa *Phenolic*

Ekstraksi adalah salah satu proses pemisahan atau pemurnian suatu senyawa dari campurannya dengan bantuan pelarut. Pelarut yang digunakan harus dapat mengekstrak substansi yang diinginkan tanpa melarutkan material bahan lainnya. Ekstraksi merupakan salah satu metode pemisahan yang menggunakan sifat fisis, yaitu perbedaan kelarutan dengan menggunakan pelarut sebagai media pemisah. Pemisahan larutan dengan ekstraksi digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang mempunyai perbedaan titik didih yang relatif kecil tetapi mempunyai perbedaan kelarutan yang cukup besar dengan suatu pelarut.

Komponen-komponen yang terdapat dalam larutan, menentukan jenis pelarut yang digunakan dalam ekstraksi. Pada umumnya, proses ekstraksi tidak berdiri sendiri, tetapi melibatkan operasi-operasi lain seperti proses pemungutan kembali pelarut dari larutannya (terutama fase ekstrak), hingga dapat dimanfaatkan kembali sebagai tenaga pemisah. Untuk maksud tersebut, banyak cara yang dapat dilakukan misalnya dengan metode distilasi, pemanasan sederhana atau dengan cara pendinginan untuk mengurangi sifat kelarutannya (Maulida dan Zulkarnaen 2014).

Dalam ekstraksi cair-cair (liquid extraction, solvent extraction), solut dipisahkan dari cairan pembawa (diluen) menggunakan solven cair. Campuran diluen dan solven ini adalah heterogen (immiscible, tidak saling campur), jika dipisahkan terdapat 2 fase, yaitu fase diluen (rafinat) dan fase solven (ekstrak). Fase rafinat merupakan fase residu yang berisi diluen dan sisa solut. Sedangkan fase ekstrak merupakan fase yang berisi solut dan solven.

Pada ekstraksi cair-cair, satu komponen bahan atau lebih dari suatu campuran dipisahkan dengan bantuan pelarut. Proses ini digunakan secara teknis dalam skala besar misalnya untuk memperoleh vitamin, antibiotika, bahan-bahan penyedap, produk-produk minyak bumi dan garam-garam logam. Ekstraksi cair-cair terutama digunakan apabila pemisahan campuran dengan cara destilasi tidak mungkin dilakukan (misalnya karena pembentukan azeotrop atau karena kepekaannya terhadap panas) atau tidak ekonomis. Seperti halnya pada proses ekstraksi padat-cair, ekstraksi cair-cair sedikitnya terdiri atas dua tahap, yaitu pencampuran diluen dengan solven, dan pemisahan kedua fasa cair itu sesempurna mungkin.

Pada saat pencampuran terjadi perpindahan massa, yaitu ekstrak meninggalkan pelarut yang pertama (media pembawa) dan masuk ke dalam pelarut kedua (media ekstraksi). Sebagai syarat ekstraksi ini, diluent dan solven tidak saling melarut. Agar terjadi perpindahan massa yang baik yang berarti performansi ekstraksi yang besar haruslah diusahakan agar terjadi bidang kontak yang seluas mungkin di antara kedua cairan tersebut. Untuk itu salah satu cairan didistribusikan menjadi tetes-tetes kecil (misalnya dengan bantuan perkakas pengaduk). Distribusi solute dalam proses ekstraksi selanjutnya kan ditinjau pada nilai koefisien distribusi. Koefisien distribusi merupakan perbandingan fraksi solute dalam fase ekstrak dan rafinat. Nilai koefisien distribusi lebih besar dari 1 menandakan bahwa proses ekstraksi dapat dilakukan untuk memisahkan solut dari diluen. Oleh karena itu harus dipilih nilai koefisien distribusi yang lebih besar sebagai syarat pemilihan pelarut yang lebih baik. (Fardhyanti, Sediawan, dan Mulyono 2015)

Pertimbangan pemakaian proses ekstraksi sebagai proses pemisahan antara lain: mempunyai sifat penguapan yang relatif rendah; komponen larutan sensitif terhadap pemanasan jika digunakan distilasi meskipun pada kondisi vakum; titik didih komponen-komponen dalam campuran berdekatan; dan merupakan campuran azeotrop.

Untuk mencapai proses ekstraksi cair-cair yang baik, pelarut yang digunakan harus memenuhi kriteria antara lain:

- a. Kemampuan tinggi melarutkan komponen zat terlarut di dalam campuran.
- b. Kemampuan tinggi untuk diambil kembali (*recoverability*)
- c. Solut mempunyai kelarutan yang besar dalam solven, tetapi solven sedikit atau tidak melarutkan diluen.
- d. Perbedaan berat jenis antara ekstrak dan rafinat cukup besar.
- e. Tidak mudah menguap pada saat ekstraksi
- f. Solven tersedia dan tidak mahal.
- g. Tidak merusak alat secara korosi.
- h. Tidak beracun dan tidak mudah terbakar.

6.4.3. Proses Separasi Fenol dari bio-oil

Setelah didapat produk bio-oil, tahapan selanjutnya adalah separasi kandungan fenol yang terdapat pada bio-oil dengan metode ekstraksi. Sebanyak 30 mL bio-oil hasil pirolisis kulit durian dan pelarut dikontakkan didalam erlenmeyer dengan masing-masing rasio per sampel (1:1; 1:2; dan 1:3). Lalu erlenmeyer diletakkan ke *hotplate* yang dilengkapi dengan magnetic stirrer untuk diaduk (*shaking*) dengan kecepatan 35 rpm selama 5 jam. Setelah itu, campuran didalam erlenmeyer tersebut didiamkan selama 2 jam. Campuran kemudian dievaporasi untuk memisahkan ekstrak dan rafinatnya.

Bio-Oil hasil pirolisis kemudian diambil sebanyak 30 ml untuk tiap sampel yang akan diekstraksi. Proses ekstraksi cair-cair dilakukan dengan menggunakan pelarut metanol dengan perbandingan variasi perbandingan rasio (1:1; 1:2; dan 1:3) dan temperatur pemanasan (25, 35 dan 45 °C).



Gambar 6. 12. Proses pemanasan campuran bio-oil dan pelarut metanol pada temperatur 50 °C

Setelah dilakukan pemanasan, campuran kemudian didiamkan selama kurang lebih 2 jam.



Gambar 6. 13. Campuran didiamkan selama 2 jam

Kemudian dilakukan evaporasi untuk memisahkan ekstraknya yaitu methanol dan fenol dengan rafinatnya.

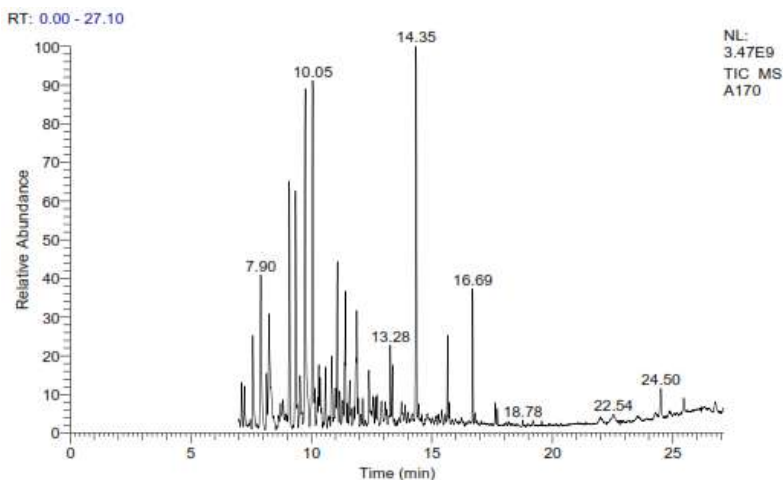


Gambar 6. 14. Proses evaporasi campuran bio-oil

Hasil evaporasi ditimbang untuk masing-masing sampel dan kemudian akan dianalisa dengan *Gas Chromatography*.

6.4.4. Hasil Analisa Produk Pirolisis Bio-oil Kulit Durian

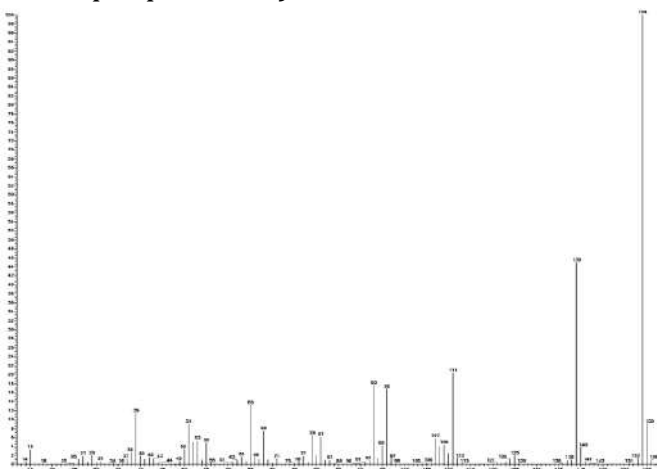
Analisa produk bio-oil kulit durian dilakukan dengan metode *gas chromatography mass spectrometry* (GCMS). Dari data kromatogram bio-oil kulit durian sebelum diekstraksi diperoleh 3 (tiga) puncak senyawa dengan kelimpahan paling besar ditunjukkan oleh senyawa puncak pertama. Dari data spektogram gambar 6.15 didapatkan pola fragmentasi dari masing-masing senyawa. Berdasarkan pola fragmentasi dan puncak dasar dasar yang khas maka struktur dari masing-masing senyawa dapat diketahui.



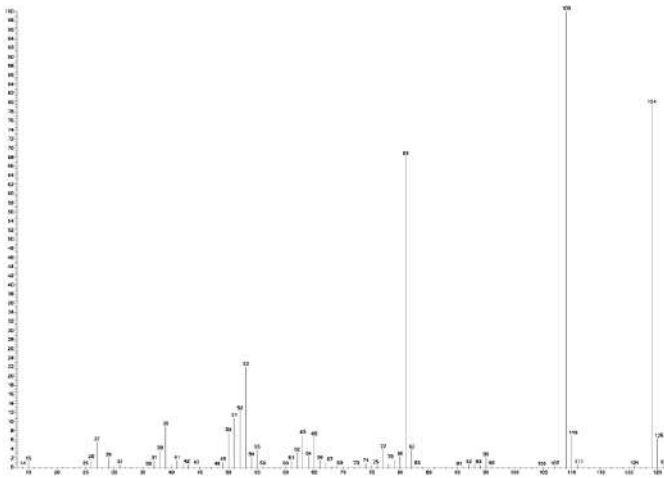
Gambar 6. 15. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian sebelum diekstraksi

Dari pola fragmentasi masing-masing senyawa menunjukkan bahwa ketiga senyawa mengandung gugus aromatis (Fenolik). Pada senyawa 1 gambar 6.16 menunjukkan puncak M-1 (m/z 154) merupakan puncak khas senyawa fenolik yaitu 2,6-dimetoksi fenol ($C_8H_{10}O_3$), MW 154, muncul pada menit 14.35 dengan volume (persen per peak area) sebesar 79.13 %.

Pada senyawa 2 gambar 6.17 dengan berat molekul 124 juga pada puncak dasar m/z 109 menunjukkan senyawa fenolik yaitu 2-metoksi fenol ($C_7H_8O_2$), muncul pada menit 10.05 dengan dengan volume (persen per peak area) sebesar 65.05 %.

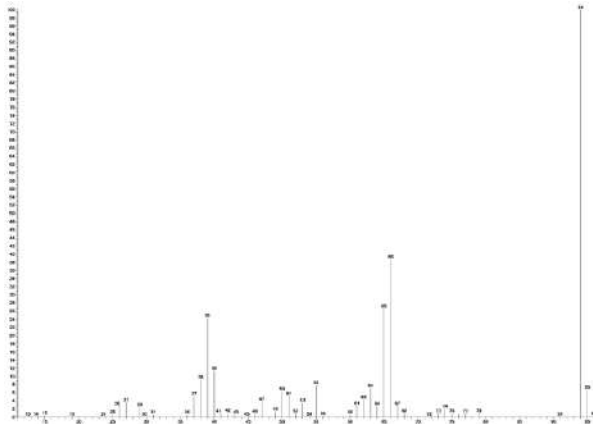


Gambar 6. 16. Spektrogram fraksinasi massa senyawa puncak 1



Gambar 6. 17. Spektogram fraksinasi massa senyawa puncak 2

Pada senyawa 3 muncul puncak dasar m/z 94 merupakan puncak khas dari senyawa fenol (C_6H_6O), MW 94, muncul pada menit 7.90 dengan dengan volume (persen per peak area) sebesar 48.49 % (gambar 6.18).



Gambar 6. 18. Spektogram fraksinasi massa senyawa puncak

Adapun senyawa-senyawa lain yang terkandung dalam bio-oil kulit durian dapat dilihat pada tabel 6.8.

Tabel 6. 8. Senyawa-senyawa dalam bio-oil kulit durian hasil pirolisis

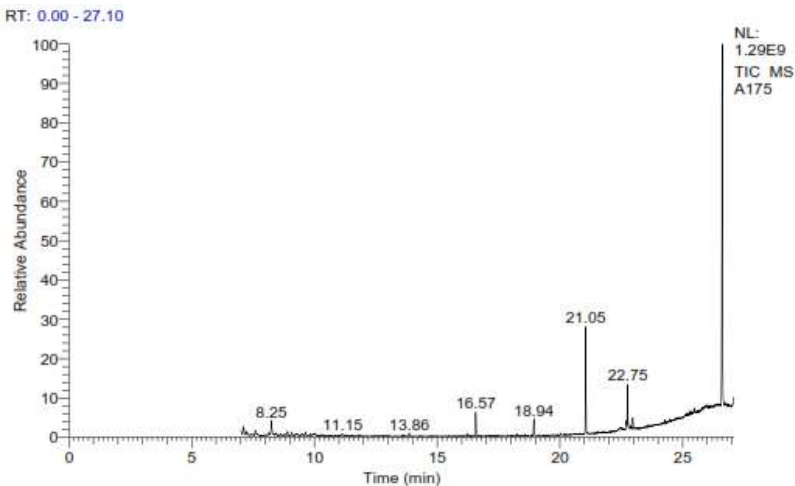
| No | Nama Senyawa | Menit ke | Volume (persen per pick area) |
|----|--|----------|-------------------------------|
| 1 | 2-Cyclopentene-1-one, 3,4-dimethyl | 7.11 | 43,92 |
| 2 | 2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl | 7.23 | 32,91 |
| 3 | 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl- | 7.58 | 39,94 |
| 4 | Phenol | 7.90 | 48,49 |
| 5 | 4,4-Dimethyl-2-Cyclopenten-1-one | 8.15 | 51,74 |
| 6 | 6-Methyl-3-heptyne | 8.25 | 17,09 |
| 7 | 2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl | 8.72 | 32,33 |
| 8 | 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- | 8.83 | 34,36 |
| 9 | Phenol, 2-methyl- | 9.35 | 34,28 |
| 10 | Phenol, 3-methyl- | 9.35 | 32,95 |
| 11 | Phenol, 3-methyl- | 9.75 | 48,09 |
| 12 | Phenol, 2-methoxy- | 10.05 | 65,05 |
| 13 | 3-Heptene, 4-ethyl- | 10.14 | 14,07 |
| 14 | 4-Ethyl-2-hydroxycyclopent-2-en-1-one | 10.14 | 11,34 |
| 15 | 3-Heptene, 3-ethyl- | 10.14 | 8,68 |
| 16 | 5-Ethyl-2-furaldehyde | 10.26 | 29,07 |
| 17 | 5-Hexen-2-one, 5-methyl-3-methylene- | 10.31 | 18,20 |
| 18 | Phenol, 2,3-dimethyl- | 10.37 | 25,90 |
| 19 | Phenol, 2,6-dimethyl- | 10.37 | 19,84 |
| 20 | Phenol, 2,5-dimethyl- | 10.37 | 19,07 |

| | | | | |
|----|---------------------------------------|----|-------|-------|
| 21 | 2-Cyclopenten-1-one, ethyl-2-hydroxy- | 3- | 10.59 | 86,43 |
| | Dan lain-lain | | | |

Dari hasil analisa GCMS pada sampel bio-oil kulit durian diketahui bahwa senyawa dengan komposisi terbanyak adalah fenol dan derivatnya. Maka diharapkan ekstraksi dan evaporasi dapat memisahkan senyawa fenol dan turunannya dari bio-oil.

6.4.5. Hasil Analisa Produk Ekstraksi Bio-oil Kulit Durian

Sampel hasil ekstraksi dengan metanol dianalisa menggunakan GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectrofotometer*), dan apa saja senyawa kimia yang ada dalam larutan.



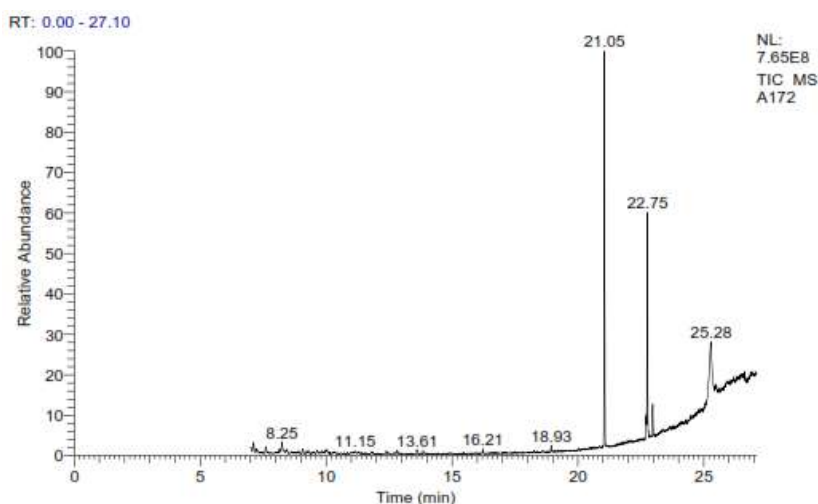
Gambar 6. 19. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian setelah diekstraksi dengan rasio pelarut (3:1) pada temperatur 30 °C

Dari data kromatogram bio-oil kulit durian setelah diekstraksi dengan varisasi rasio pelarut metanol (1:1; 1:2; 1:3) dan temperatur pelarutan (30,40, 50 °C) diperoleh hasil yang sama dengan 2 (dua) puncak senyawa dengan kelimpahan paling besar. Berdasarkan spektogram didapatkan pola fragmentasi dari masing-masing senyawa. Berdasarkan pola fragmentasi dan puncak

dasar dasar yang khas masing-masing senyawa menunjukkan bahwa kedua senyawa mengandung gugus ester.

Pada senyawa 1 (Gambar 6.19) diperoleh senyawa ester yaitu asam heksadekanoat-, metil ester atau asam palmitat , metil ester ($C_{17}H_{34}O_2$), MW 270 muncul pada menit 21.05 dengan volume (persen per *peak area*) sebesar 87,86 %.

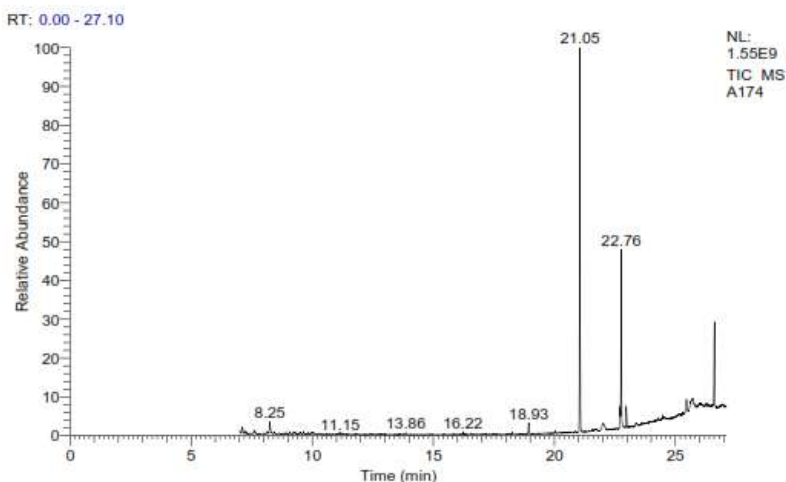
Pada senyawa 2 dengan berat molekul 296 diperoleh senyawa dari golongan ester yaitu *trans-13-Octadecenoic acid, methyl ester* ($C_{19}H_{36}O_2$), muncul pada menit 22.75 dengan dengan volume (persen per *peak area*) sebesar 15,56 %.



Gambar 6. 20. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian sebelum setelah diekstraksi dengan rasio pelarut (3:1) pada temperatur 40 °C

Pada senyawa 1 (Gambar 6.20) diperoleh senyawa ester yaitu asam heksadekanoat-, metil ester atau asam palmitat , metil ester ($C_{17}H_{34}O_2$), MW 270 muncul pada menit 21.05 dengan volume (persen per *peak area*) sebesar 87,12 %.

Pada senyawa 2 dengan berat molekul 296 diperoleh senyawa dari golongan ester yaitu *9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester* atau *Oleic acid, methyl ester* ($C_{19}H_{36}O_2$), muncul pada menit 22.75 dengan dengan volume (persen per *peak area*) sebesar 14,51 %.



Gambar 6. 21. Kromatogram hasil analisis kandungan bio-oil kulit durian sebelum setelah diekstraksi dengan rasio pelarut (3:1) pada temperatur 50 °C

Pada senyawa 1 (Gambar 6.21) diperoleh senyawa ester yaitu asam heksadekanat-, metil ester atau asam palmitat , metil ester ($C_{17}H_{34}O_2$), MW 270 muncul pada menit 21.05 dengan volume (persen per *peak area*) sebesar 87,91 %.

Pada senyawa 2 dengan berat molekul 296 diperoleh senyawa dari golongan ester yaitu *9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester* atau *Oleic acid, methyl ester* ($C_{19}H_{36}O_2$), muncul pada menit 22.76 dengan dengan volume (persen per *peak area*) sebesar 18,06 %.

Tabel 6. 9. Analisis komposisi kimia senyawa bio-oil kulit durian setelah diekstraksi

| No | Nama Senyawa | Tenperatur Pelarutan dengan rasio pelarut 1:1 | | | | | | | | |
|----|-----------------------------------|---|---|------|-----|---|----|------|---|------|
| | | 30 | | | 40 | | | 50 | | |
| | | % A | √ | RT | % A | √ | RT | % A | √ | RT |
| 1 | Decane ($C_{10}H_{22}$), MW 142 | 26.9 | √ | 8.25 | | | | 31.7 | √ | 8.25 |
| | | 1 | | | | | | 8 | | |

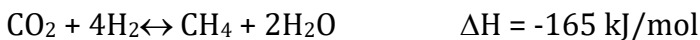
| | | | | | | | | | | |
|---|---|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| 2 | Ethanone, 1-(octahydro-7a-methyl-1H-inden-1-yl)-, (1à,3aà,7aá) (C ₁₂ H ₂₀ O), MW 180 | 9.45 | √ | 8.25 | | | | | | |
| 3 | 2-Methyl-6-propylpyridine (C ₉ H ₁₃ N), MW 135 | 21.27 | √ | 11.15 | | | 14.91 | √ | 11.15 | |
| 4 | 1,4-Methanoazulen-7-ol, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1s-(1à,3aá,4à,7á,8aá)]- (C ₁₅ H ₂₆ O), MW 222 | 4.65 | √ | 11.15 | | | | | | |
| 5 | Cyclohexasiloxane, dodecamethyl- (C ₁₂ H ₃₆ O ₆ Si ₆), MW 444 | 94.26 | √ | 13.86 | 95.21 | √ | 13.86 | 95.89 | √ | 13.86 |
| 6 | Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl- (C ₁₄ H ₄₂ O ₇ Si ₇), MW 518 | | | | 93.19 | √ | 16.21 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|
| 7 | Methyl tetradecanoate (C ₁₅ H ₃₀ O ₂), MW 242 | 74.35 | √ | 18.94 | 65.94 | √ | 18.93 | 74.25 | √ | 18.93 |
| 8 | Hexadecanoic acid, methyl ester (C ₁₇ H ₃₄ O ₂), MW 270 | 87.86 | √ | 21.05 | 87.12 | √ | 21.05 | 87.91 | √ | 21.05 |
| 9 | 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (C ₁₉ H ₃₆ O ₂), MW 296 | 9.98 | √ | 22.75 | 14.51 | √ | 22.75 | 18.06 | √ | 22.76 |
| 10 | trans-13-Octadecenoic acid, methyl ester (C ₁₉ H ₃₆ O ₂), MW 296 | 15.56 | √ | 22.75 | | | | | | |

Dilihat dari hasil ekstraksi komponen terbanyak yang terkandung didalamnya adalah gugus ester, dengan demikian proses ekstraksi telah berhasil memisahkan komponen fenol dari kandungan bio-oil kulit durian dengan berbagai variasi pelarut dan temperatur.

7.1. Synthetic Natural Gas (SNG)

Natural gas yang dihasilkan dari batubara dan biomasa dikenal sebagai *synthetic natural gas* atau *substitute natural gas* (SNG). Produksi SNG merupakan tahapan penting bagi produksi bahan bakar biofuel. Konversi biomasa menjadi SNG dapat dilakukan dengan menggunakan katalis metal seperti Ni, Al, Ru, Co dan Fe sebagai katalis reaksi metanasi. Pembentukan metana dari syngas dapat digambarkan pada reaksi di bawah ini:



Kedua reaksi tersebut terjadi pada kondisi eksotermik dengan rentang temperatur antara 250 – 300 °C, dimana temperatur tersebut merupakan temperatur aktivasi katalis. Tekanan reaksi pada rentang 15 -25 bar. (Molino et al. 2018)

Permasalahan yang sering terjadi pada produksi SNG adalah terbentuknya residu char, dengan reaksi sebagai berikut:

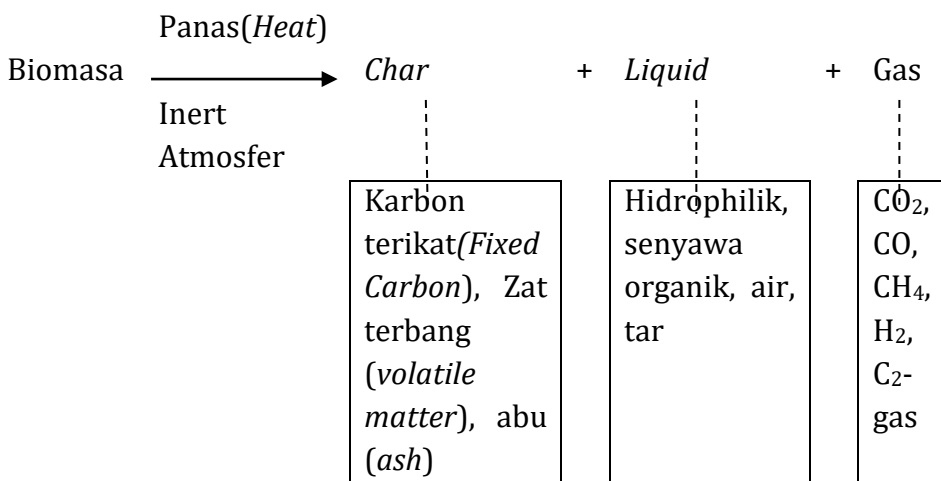


Terbentuknya char sebagai reaksi samping dapat menyebabkan deaktivasi katalis pada proses gasifikasi katalitik sehingga dapat menurunkan performa produksi metana (CH₄) (Molino et al. 2018)

7.2. Proses Gasifikasi Katalitik

Gasifikasi adalah proses penting pada konversi termokimia biomasa. Biomasa dikonversi menjadi beberapa campuran gas yang sering disebut dengan *syngas* atau *synthetic gas* yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi panas maupun listrik, senyawa kimia (amonia) dan beberapa bahan bakar.

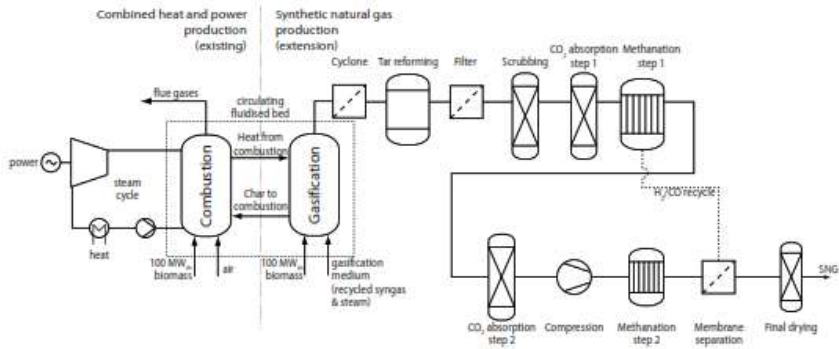
Produk samping dari proses ini adalah residu padat berupa char. Syngas yang dihasilkan mengandung CH₄, H₂, CO dan CO₂ sebagai komponen primer, serta H₂O, H₂S, NH₃ dan tar sebagai komponen sekunder. Berikut adalah ilustrasi proses konversi biomas melalui gasifikasi (Molino et al. 2018).



Gambar 7. 1. Ilustrasi Konversi Biomasa dengan Proses Gasifikasi

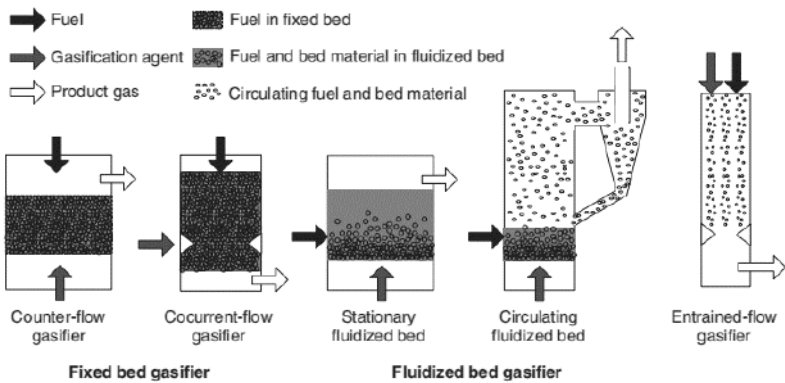
Biomasa yang dapat dikonversi menjadi syngas dengan proses gasifikasi ini adalah biomasa yang memiliki kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi. Dimana yield syngas sangat dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan hemiselulosa, sedangkan yield residu sangat dipengaruhi oleh kandungan lignin. Oleh karena itu semakin besar rasio selulosa dan hemiselulosa terhadap lignin, maka akan semakin banyak yield syngas yang dihasilkan (Molino et al. 2018).

Secara umum ilustrasi flowsheet proses produksi SNG adalah sebagai berikut:



Gambar 7. 2. Flowsheet proses produksi SNG (sumber: Heyne dan Harvey 2009)

Proses gasifikasi ini dapat menggunakan reaktor gasifier berupa fixed bed reaktor maupun fluidized bed reaktor (Rauch, Hrbek, dan Hofbauer 2014). Untuk gambaran ilustrasi reaktor *gasifier* yang digunakan baik *fixed bed* maupun *fluidized bed* tertera pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. 3. Tipe-tipe reaktor gasifier (Sumber: Rauch, Hrbek, dan Hofbauer 2014)

Berdasarkan dari desain bednya, reaktor gasifier dapat dibagi menjadi tiga *fixed bed*, *fluidized bed* dan *entrained flow*. Komposisi gas dan *impurities* seperti tar, debu dan abu dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, komposisi *feed*, jenis reaktor, dan kondisi operasi seperti temperatur, tekanan dan rasio oksigen dengan fuel. Tipe reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis

cocurrent flow fixed bed gasifier dilengkapi dengan bed katalis untuk mengkonversi biomasa menjadi SNG (Rauch, Hrbek, dan Hofbauer 2014).

7.3. Katalis Zeolit Basis Si/Al₂O₃

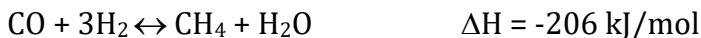
Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimiawi dan fisis yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit alam merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin dari cuaca.

Zeolit alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi dan memiliki komponen utama berupa silika (Si) dan alumina (Al). Di samping komponen utama tersebut, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca, Mg dan Fe. Terlepas dari aplikasinya yang luas, zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, di antaranya mengandung banyak pengotor seperti: Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu.

Tahapan preparasi katalis yang dilakukan berupa pencucian, pengeringan, kalsinasi, presipitasi dan kalsinasi kembali. Zeolit berbasis Si/Al₂O₃ untuk keperluan gasifikasi dipreparasi secara fisis dengan pencucian dan pengeringan, lalu dikalsinasi pada suhu sekitar 300° C guna menghilangkan impuritis dan membuka pori aktif dari katalis. Kemudian dilakukan metode presipitasi dengan menggunakan prekursor agent berupa larutan KOH hingga menjadi slurry pada suhu 80° C untuk selanjutnya dicuci dengan air aquades dan dikalsinasi pada suhu 300° C (Li et al. 2012).

7.4. Synthetic Natural Gas (SNG)

Natural gas yang dihasilkan dari batubara dan biomasa dikenal sebagai *synthetic natural gas* atau *substitute natural gas* (SNG). Produksi SNG merupakan tahapan penting bagi produksi bahan bakar biofuel. Konversi biomasa menjadi SNG dapat dilakukan dengan menggunakan katalis metal seperti Ni, Al, Ru, Co dan Fe sebagai katalis reaksi metanasi. Pembentukan metana dari syngas dapat digambarkan pada reaksi di bawah ini:



Kedua reaksi tersebut terjadi pada kondisi eksotermik dengan rentang temperatur antara 250 – 300 °C, dimana temperatur tersebut merupakan temperatur aktivasi katalis. Tekanan reaksi pada rentang 15 -25 bar. (Molino et al. 2018)

Permasalahan yang sering terjadi pada produksi SNG adalah terbentuknya residu char, dengan reaksi sebagai berikut:



Terbentuknya char sebagai reaksi samping dapat menyebabkan deaktivasi katalis sehingga dapat menurunkan performa produksi metana (Heyne dan Harvey 2009).

7.4.1. Proses Preparasi Katalis dan Proses Gasifikasi

Zeolit basis Si/Al₂O₃ sebanyak 500 gram dalam bentuk bubuk diayak dengan ayakan, sehingga memiliki ukuran yaitu lolos – 80 + 100 mesh; Panaskan Zeolit dicuci dengan akuades lalu dikeringkan menggunakan oven. Kemudian zeolit dikalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam dalam *furnace*; Katalis zeolit tersebut dipresipitasi dengan menggunakan larutan KOH selama 0,5 jam pada suhu 80 C hingga membentuk *slurry* lalu selanjutnya dikalsinasi kembali pada suhu 300°C selama 3 jam untuk mengaktifkan pori sehingga menjadi katalis aktif.



Gambar 7. 4. Pengeringan zeolit dalam oven suhu 110 C



Gambar 7. 5. Presipitasi Zeolit dengan larutan KOH 1 N



Gambar 7. 6. Kalsinasi Katalis Zeolit dengan Furnace

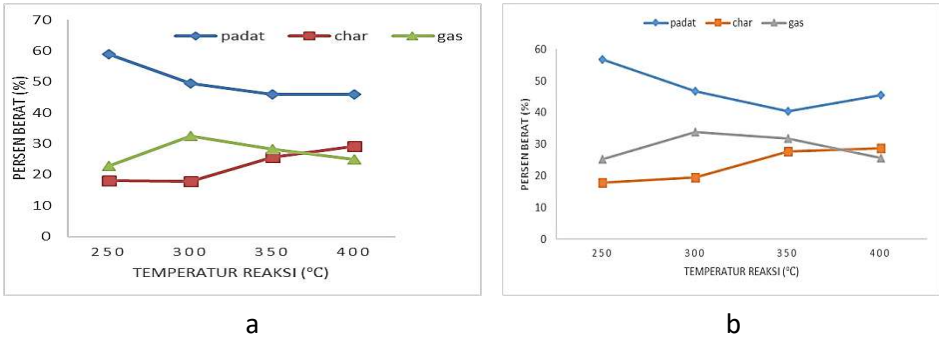
Katalis aktif tersebut dianalisis menggunakan instrumen *SEM*. Setelah katalis siap digunakan, katalis tersebut diletakkan pada bed reaktor bertipe fixed bed reactor.

Tahap selanjutnya adalah preparasi bahan baku. Kulit durian asal prabumulih yang dikumpulkan dari pasar Kuto Palembang dicacah dengan *grinder* untuk memperkecil ukurannya dan dicuci dengan air lalu dikeringkan dibawah sinar matahari dan dengan menggunakan oven dengan temperatur 100 C selama 4 jam. Kemudian dihitung jumlah air yang hilang selama proses pengeringan sampai jumlahnya konstan. Timbang 250 gram sampel untuk diproses pada gasifier.

Pada penelitian Rizka, dkk proses gasifikasi dilakukan dengan bantuan katalis yang terintegrasi dengan pembakaran di preheater. Dalam penelitian ini temperatur dan massa katalis zeolit Al/Si yang digunakan divariasikan. Proses gasifikasi dilakukan pada variasi temperatur 250 °C, 300 °C, 350 °C dan 400 °C dengan variasi waktu reaksi 10 menit dan 40 menit. Produk gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi katalitik ditampung dan akan dianalisa kandungannya dengan menggunakan *gas chromatography* (GC) untuk diketahui persentase CH₄, CO, CO₂ dan H₂ yang terkandung didalam synthetic natural gas yang dihasilkan.

7.4.2. Pengaruh temperature terhadap yield produk (gas, padat, char)

Hasil proses gasifikasi kulit durian berupa produk utama gas (SNG), serta produk samping berupa arang (padat) dan char (*liquid*). Pada variasi temperature 250-400 C serta perbedaan jumlah katalis, didapat persen berat produk gas, char dan padat dari proses gasifikasi seperti pada gambar 7.7.

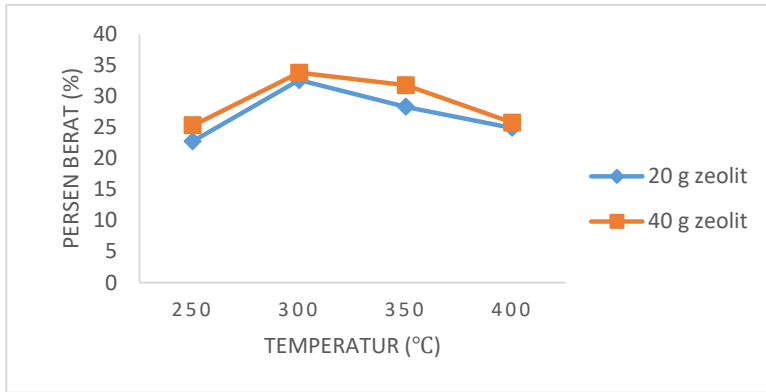


Gambar 7. 7. Perbandingan yield produk gas, padat dan char hasil gasifikasi dengan 20 gr (a) dan 40 gr (b) katalis zeolite

Dari kedua gambar tersebut, menunjukkan kemiripan tren line, yaitu produk gas maksimum dicapai pada temperature 300 C dan mengalami penurunan pada suhu yang lebih tinggi. Peningkatan temperatur pirolisis menghasilkan hasil gas yang lebih banyak. Penjelasan dari fenomena ini adalah bahwa temperatur yang lebih tinggi meningkatkan pemecahan tar. Idealnya hasil produk gas akan lebih banyak apabila temperature dinaikkan, namun dikarenakan katalis zeolite ini memiliki pori, sehingga peningkatan jumlah char pada temperature diatas 300 C mengakibatkan pori katalis tersebut ditutupi char dan menimbulkan deaktivasi katalis. Sehingga kondisi optimum untuk menghasilkan produk gas yang terbanyak adalah pada temperature 300 C. Jumlah yield gas terbanyak pada zeolite 20 gr mencapai 32,62% dan pada zeolite 40 gr mencapai 33,78 %.

7.4.3. Pengaruh jumlah katalis terhadap yield produk (gas, padat, char)

Pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah katalis dengan 20 gr katalis zeolite dan 40 gr katalis zeolite. Hasil dari perbandingan jumlah katalis terhadap yield produk yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7. 8. Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Persen Berat Yield Gas

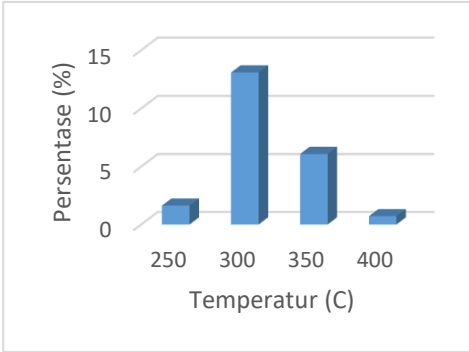
Dari gambar 7.8 dapat disimpulkan bahwa jumlah katalis memberi pengaruh yang signifikan terhadap yield gas SNG yang dihasilkan. Dengan katalis 40 gr, yield SNG maksimum dicapai sebesar 34% pada 300 °C. Jumlah yield tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan yield produk SNG dengan menggunakan 20 gr katalis zeolite yang mencapai 32 %. Penghapusan tar ditentukan dengan perlakuan panas - katalis (dolomit, Y-zeolit, nikel, ruthenium dan rhodium) ditambah air dalam penelitian aris warista di tahun 2015. Hal ini menunjukkan bahwa tar memang menjadi masalah pada katalis.

Hasil gas dari proses gasifikasi mengandung gas CH₄, CO, CO₂ dan H₂ serta gas inert berupa N₂ dan Ar. Komposisi gas pada suhu gasifikasi 250 °C – 400°C tertera pada tabel 7.1.

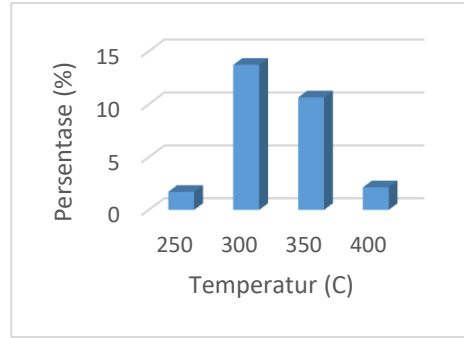
Tabel 7. 1. Hasil analisa GC pada produk gasifikasi pada suhu 250 – 400 oC

| Jumlah Katalis (gr) | Suhu (°C) | CO (%) | CO ₂ (%) | CH ₄ (%) | H ₂ (%) |
|---------------------|-----------|--------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 10 | 250 | 25,354 | 48,305 | 1,631 | 0,682 |
| | 300 | 25,252 | 17,,491 | 13,089 | 2,134 |
| | 350 | 20,963 | 24,098 | 6,089 | 2.861 |
| | 400 | 20,878 | 42,971 | 0,716 | 0,682 |
| 40 | 250 | 35,767 | 55,561 | 1,708 | 0,899 |

| | | | | | |
|--|-----|--------|--------|--------|-------|
| | 300 | 26,619 | 30,889 | 13,716 | 7,976 |
| | 350 | 27,711 | 39,494 | 10,647 | 1,423 |
| | 400 | 28,958 | 45,144 | 2,136 | 1,812 |

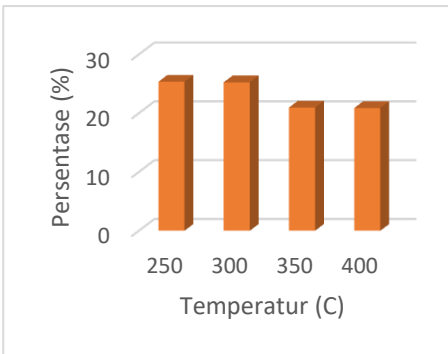


a

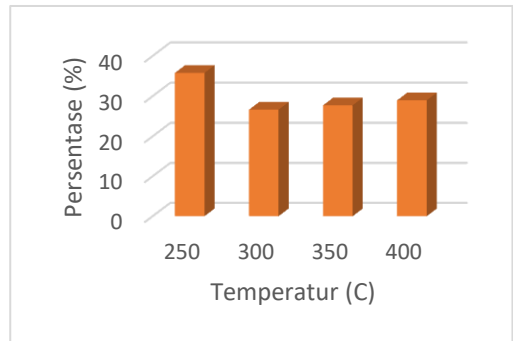


b

Gambar 7. 9. Kandungan gas CH₄ pada variasi temperature 250 – 400 C, (a) 10 menit (b) 40 menit

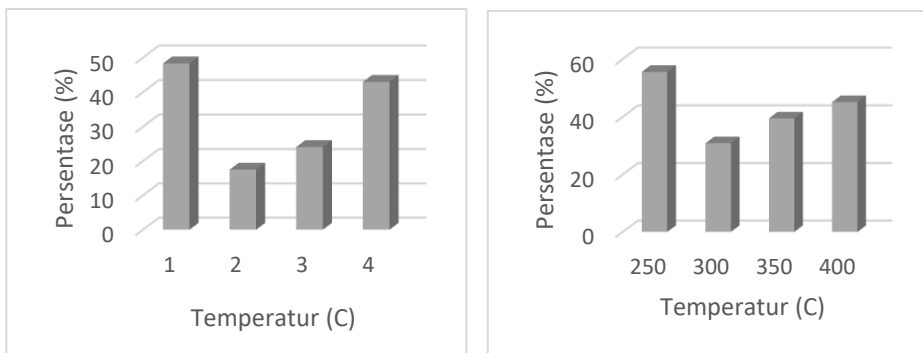


a

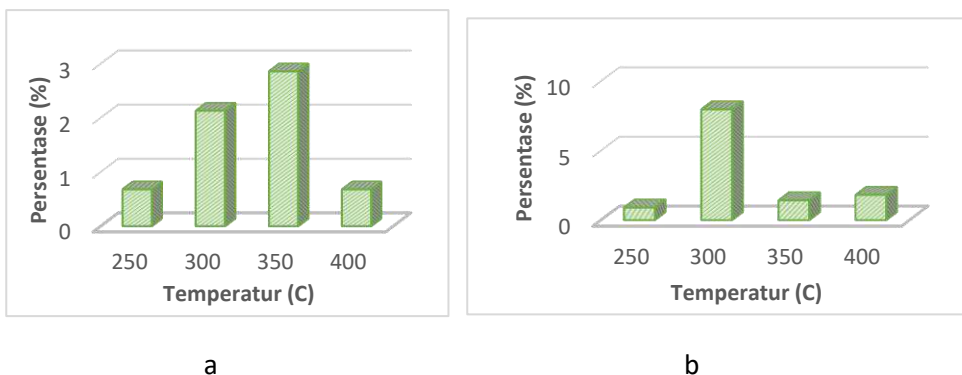


b

Gambar 7. 10. Kandungan gas CO pada variasi temperature 250 – 400 °C, (a) 10 menit (b) 40 menit



Gambar 7. 11. Kandungan gas CO₂ pada variasi temperature 250 – 400 C, (a) 10 menit (b) 40 menit



Gambar 7. 12. Kandungan gas H₂ pada variasi temperature 250 – 400 °C, (a) 10 menit (b) 40 menit

Dari tabel 7.1 dapat dilihat bahwa hasil terbaik untuk kandungan gas CH₄ dan H₂ terbanyak diperoleh pada suhu 300 °C dengan masing-masing kandungan 13,1 % CH₄ dan 7,9 % H₂. Sedangkan kandungan CO dan CO₂ terbanyak dihasilkan pada temperature 250°C sebanyak 35,76 dan 55,65%. Hal ini menunjukkan bahwa performa katalis membantu pembentukan SNG terbaik pada suhu 300 °C yaitu dengan semakin banyaknya gas sintesa seperti CH₄ dan H₂ yang dihasilkan. Hal ini senada dengan jumlah yield gas terbanyak juga dihasilkan pada suhu 300C. Namun untuk temperature 250 C, katalis belum menunjukkan performa optimumnya dikarenakan masih tingginya kandungan CO dan CO₂ sebagai hasil reaksi oksidasi parsial.

RANGKUMAN

Buah Durian (*durio ziberthinus murr*) mengandung lignoselulosa dengan kadar lignin (5%) Selulosa (50% - 60 %) serta pati yang rendah (5%). Kandungan ini memiliki potensi besar bagi buah durian untuk dijadikan bahan bakar alternative dalam bentuk bahan bakar padat (biobriket), bahan bakar cair (bio-oil) dan bahan bakar gas (synthetic natural gas). Selain itu, *chemical* seperti phenol juga dihasilkan dari proses termokimia dari kulit durian.

Produk biobriket dari kulit durian memiliki nilai kalor (6120 - 6150 cal/gr), nilai kalor tersebut telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) briket yaitu 5000-6000 cal/gr.

Bio-fuel yang dihasilkan dari kulit durian dari hasil analisis awal menggunakan GC-MS terhadap biofuel yang dihasilkan untuk satu sampling diperoleh komposisi terbesar persen kandungan yang tertinggi adalah senyawa-senyawa yang termasuk kelompok olefin yaitu 51,07 %. Senyawa-senyawa yang termasuk kelompok aromatik dan naftena kandungannya dalam biofuel yaitu masing-masing 35,7 % dan 8,86 %. Sedangkan senyawa-senyawa yang termasuk parafin kandungannya paling sedikit yaitu hanya 5,06 %.

Dari hasil bio-oil kulit durian dilakukan analisa GCMS menunjukkan bahwa kandungan terbanyak adalah senyawa fenol dan turunannya (3-metil-fenol, 2,5-dimetil-fenol, 2,3-dimetil-fenol, 4-etil-2-metoksi-fenol, 2,6-dimetoksi-fenol, dan 2-metoksi-4-(1-propenil)-fenol) yang terbaca di menit ke 6,4; 8,1; 8,7; 10,58; 10,95; 12,62; 13,40; dan 14,33 dengan persen area masing-masing 0,63; 0,53; 0,77; 0,37; 0,49; 0,12; 0,23; dan 0,26. Persen area ini bersifat semi kuantitatif dimana hanya menunjukkan kadar konsentrasi senyawa dalam komposisi bio-oil.

Synthetic Natural Gas yang dihasilkan dari kulit durian memiliki hasil terbaik untuk kandungan gas CH₄ dan H₂ terbanyak diperoleh pada suhu 300 °C dengan masing-masing kandungan 13,1 % CH₄ dan 7,9 % H₂. Sedangkan kandungan CO dan CO₂ terbanyak dihasilkan pada temperature 250°C sebanyak 35,76 dan 55,65%. Hal ini menunjukkan bahwa performa katalis membantu pembedaan SNG terbaik pada suhu 300 °C yaitu dengan semakin banyaknya gas sintesa seperti CH₄ dan H₂ yang dihasilkan. Hal ini

senada dengan jumlah yield gas terbanyak juga dihasilkan pada suhu 300 °C.

Dengan segala potensi yang ada di limbah kulit durian maka kulit durian dapat ditingkatkan nilai tambahnya melalui berbagai proses termokimia menjadi energi alternative untuk diversifikasi energi fosil.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhar, dan Heri Rustamaji. 2009. "Bahan Bakar Padat dari Biomassa Bambu dengan Proses Torefaksi dan Densifikasi." *Jurnal Rekayasa Proses* 3 (2): 26–29.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2022. "Produksi Durian dalam Angka." Jakarta.
- Basu, Prabir. 2018. *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory*. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04056-1>.
- Bergman, P. C.a., dan H J Veringa. 2005. "Combined torrefaction and pelletisation." *Analysis*. <https://doi.org/ECN-C--05-073>.
- Bossel, H. 1999. "Indicators for sustainable development: theory, method, applications." *International Institute for Sustainable Development, Winnipeg*.
- Boucher, M. E., A. Chaala, H. Pakdel, dan C. Roy. 2000. "Bio-oils obtained by vacuum pyrolysis of softwood bark as a liquid fuel for gas turbines. Part II: Stability and ageing of bio-oil and its blends with methanol and a pyrolytic aqueous phase." *Biomass and Bioenergy* 19 (5): 351–61. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00044-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00044-1).
- Chen, Wei Hsin, dan Po Chih Kuo. 2010. "A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry." *Energy* 35: 2580–86. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.02.054>.
- Chen, Wei Hsin, dan Po Chih Kuo. 2011. "Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass." *Energy* 36: 803–11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.036>.
- Chen, Wei Hsin, Jianghong Peng, dan Xiaotao T. Bi. 2015. "A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.039>.

- Erawati, Emi, Eni Budiyati, dan Yudhia Rizki Kuncoro. 2014. "Pengaruh suhu dan perbandingan katalis zeolit terhadap karakteristik produk pirolisis kayu jati (*Tectona Grandist Lf*)." In *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2014*, 32–36. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Farag, Ihab H., Ce LaClaire, dan Cj Barrett. 2004. "Technical, environmental and economic feasibility of bio-oil in new hampshire's north country." *Durham, NH: University of New Hampshire*, 1–95. <http://www.unh.edu/p2/biooil/bounhif.pdf>.
- Fardhyanti, Dewi, Wahyudi Sediawan, dan Panut Mulyono. 2015. "Complex Extraction of Phenol, o-Cresol and p-Cresol from Model Coal Tar Using Methanol and Acetone Solutions." *British Journal of Applied Science & Technology* 8 (5): 427–36. <https://doi.org/10.9734/bjast/2015/16693>.
- Gallagher, Gabriel. 2001. "Biomass for electricity generation." *Chemical Engineer*.
- Garg, Rahul, Neeru Anand, dan Dinesh Kumar. 2016. "Pyrolysis of babool seeds (*Acacia nilotica*) in a fixed bed reactor and bio-oil characterization." *Renewable Energy* 96: 167–71. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.059>.
- Hardianto, Toto, Aryandi Suwono, ari Darmawan Pasek, dan Amrul. 2010. "Karakterisasi sifat-sifat pembakaran bahan bakar dari sampah kota karakterisasi sifat-sifat pembakaran bahan bakar dari sampah kota." *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Ix 2010*, 13–15.
- Haryati, Sri, Rahmatullah, dan Rizka Wulandari Putri. 2018. "Torrefaction of durian peel and bagasse for bio-briquette as an alternative solid fuel." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 334: 1–6.
- Heyne, Stefan, dan Simon Harvey. 2009. "Production of synthetic natural gas from biomass-process integrated drying." In *ECOS 2009 - 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*.

- IEA. 2006. "World Energy Outlook 2006 Edition." *SourceOCDE Energie*.
- Irawan, Anton, Tubagus Riadz, dan Nurmalisa. 2015. "Proses torefaksi tandan kosong kelapa sawit untuk kandungan hemiselulosa dan uji kemampuan penyerapan air." *Reaktor* 15 (3): 190-95.
- Knoef, Harrie. 2005. "Handbook of Biomass Gasification." *BTG Group*.
- Li, Hui, Xinhua Liu, Robert Legros, Xiaotao T. Bi, C. J. Lim, dan Shahab Sokhansanj. 2012. "Torrefaction of sawdust in a fluidized bed reactor." *Bioresource Technology* 103 (1): 453-58. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.009>.
- Maulida, Dewi, dan Naufal Zulkarnaen. 2014. "Ekstraksi antioksidan (likopen) dari buah tomat dengan menggunakan solvent campuran n-heksana, aseton, dan ethanol." *Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*.
- McKendry, Peter. 2002. "Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass." *Bioresource Technology* 83: 37-46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3).
- Molino, Antonio, Vincenzo Larocca, Simeone Chianese, dan Dino Musmarra. 2018. "Biofuels production by biomass gasification: A review." *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en11040811>.
- Nuriana, Wahidin, Nurfa Anisa, dan Martana. 2013. "Karakteristik biobriket kulit durian sebagai bahan bakar alternatif terbarukan." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 2 (1): 70-76.
- Prabowo, Rossi. 2009. "Pemanfaatan Limbah Kulit Durian Sebagai Produk Briket di Wilayah Kecamatan Gunung Pati Kabupaten Semarang." *Mediagro* 5 (1): 52-57. <http://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/Mediagro/article/view/889>.
- Rahmatullah, Aura Nabila, dan Muhammad Beni. 2016. "Pengaruh temperatur dan waktu tinggal terhadap kualitas biobriket dari limbah ampas tebu dengan proses torefaksi." In *Prosiding Seminar Nasional AVoER 8*, 533-37. Palembang:

Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

- Rauch, Reinhard, Jitka Hrbek, dan Hermann Hofbauer. 2014. "Biomass gasification for synthesis gas production and applications of the syngas." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. <https://doi.org/10.1002/wene.97>.
- Rinaldi, Adhitya, Alimuddin Alimuddin, Aman Sentosa Panggabean, dan Dkk. 2015. "Pemurnian Asap Cair Dari Kulit Durian Dengan Menggunakan Arang Aktif (Purification of Liquid Smoke From Durian Peel'S With Activated Charcoal)." *Molekul* 10 (2): 112–20.
- Rindayatno, Merry Kencana Sari, dan Supriyanto Wagiman. 2017. "Kualitas briket arang berdasarkan komposisi campuran arang dari kayu meranti merah (*shorea sp.*) dan tempurung kelapa (*cocos nucifera l.*)." *Prosiding Seminar Nasional Ke 1 Tahun 2017. Balai Riset dan Standardisasi Industri Samarinda*, 98–111.
- Ristianingsih, Yuli, Ayuning Ulfa, dan Rachmi Syafitri K.S. 2015. "pengaruh suhu dan konsentrasi perekat terhadap karakteristik briket bioarang berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan proses pirolisis." *Konversi* 4 (2): 16–22. <https://doi.org/10.20527/k.v4i2.266>.
- Roddy, D. J., dan C. Manson-Whitton. 2012. *Biomass gasification and pyrolysis. Comprehensive Renewable Energy*. Vol. 5. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00514-X>.
- Santosa, R Mislaini, dan Pratiwi Anugrah. 2012. "Studi Variasi Komposisi Bahan Penyusun Briket Dari Kotoran Sapi Dan Limbah Pertanian." *Jurnal Teknik Pertanian*, 1–26.
- Shen, Yafei, dan Kunio Yoshikawa. 2013. "Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis - A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.062>.
- SKK Migas. 2021. "Laporan Tahunan 2021 ' Mempertahankan Kinerja di Tengah Pandemi untuk Optimalisasi Kontribusi bagi Negara.'" Jakarta.
- Syarief, Akhmad, dan Yopi Riyanto. 2018. "studi eksperimental gasifikasi updraft sekam padi dan batubara untuk produksi

- gas mampu bakar.” *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika* 3 (1): 1–16. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v3i1.15>.
- Uemura, Yoshimitsu, Wissam N. Omar, Toshio Tsutsui, dan Suzana Bt Yusup. 2011. “Torrefaction of oil palm wastes.” *Fuel* 90: 2585–91. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.021>.
- Wang, Shurong. 2013. “High-Efficiency Separation of Bio-Oil.” In *Biomass Now - Sustainable Growth and Use*. Intech. <https://doi.org/10.5772/51423>.
- Wijaya, Mohammad, Erliza Noor, Tun Tedja, dan Gustan Pari. 2008. “ASAP CAIR DARI SERBUK GERGAJI KAYU PINUS Pyrolysis Temperature Change at Chemical Wood Vinegar Component from Pine Wood Sawdust” 1 (2): 73–77.
- Yokoyama, S, dan Y Matsumura. 2008. “The Asian Biomass Handbook.” *Japan Institute of Energy, Japan*.
- Zulkania, Ariany. 2016. “Pengaruh temperatur dan ukuran partikel biomassa terhadap bio-oil hasil pirolisis ampas tebu / baggase.” *Teknoin* 22 (5): 328–36. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss5.art2>.

CURRICULUM VITAE

1. DATA PRIBADI

- a. Nama : Rizka Wulandari Putri, S.T.,M.T
 b. Jabatan : Dosen Asisten Ahli
 c. Faktultas/Prodi : Fakultas Teknik/ Jurusan Teknik Kimia
 d. email : rizkawulandari.unsri@gmail.com
 e. Alamat : Jl. Ki Merogan Ir. Ngabehi 758 Kertapati Palembang

RIWAYAT PENDIDIKAN

| Program : | S-1 | S-2 | S-3 |
|-----------------------|--|---|-----|
| 2.2.) Nama PT | UNIVERSITAS SRIWIJAYA | UNIVERSITAS SRIWIJAYA | |
| 2.3.) Bidang Ilmu | TEKNIK KIMIA | TEKNIK KIMIA (ENERGY AND ENVIRONMENT TECHNOLOGY AND MANAGEMENT) | |
| 2.4.) Bidang Keahlian | AGROPROSES, PROSES INDUSTRI KIMIA, KONVERSI BIOMASSA | | |

| Judul Publikasi | Nama Jurnal/Prosiding/Seminar/Media Massa |
|--|---|
| Konversi Lignoselulosa Kulit Durian Menjadi <i>Synthetic Natural Gas (SNG)</i> Melalui Teknologi Gasifikasi Katalitik | JURNAL TEKNIK KIMIA |
| Pembuatan Biobriket Sekam Padi (<i>Oryza Sativa</i>) Dengan Variasi Perekat Tepung Biji Durian (<i>Durio Zibethinus Murr</i>) Dan Tepung Kanji | JURNAL TEKNIK KIMIA |
| The Residence Time And Slow Pyrolysis Temperature Effect On Chemical Composition Pyrolysis Gas Product Of Durian (<i>Durio Zibethinus Murr</i>) Skin | Chemical Engineering Transaction |

CURRICULUM VITAE

1. DATA PRIBADI

- a. Nama : Rahmatullah, S.T., M.T.
b. Jabatan : Dosen Lektor
c. Fakultas/Prodi : Fakultas Teknik/ Jurusan Teknik Kimia
d. Email : rrahmat83@gmail.com
e. Alamat : Jl. Ki Merogan Ir. Ngabehi 758
Kertapati Palembang

2. RIWAYAT PENDIDIKAN

RIWAYAT PENDIDIKAN

| Program : | S-1 | S-2 | S-3 |
|-----------------|--|---|-----|
| Nama PT | UNIVERSITAS SRIWIJAYA | UNIVERSITAS SRIWIJAYA | |
| Bidang Ilmu | TEKNIK KIMIA | TEKNIK KIMIA (ENERGY AND ENVIRONMENT TECHNOLOGY AND MANAGEMENT) | |
| Bidang Keahlian | POLIMER, AGROPROSES, KONVERSI BIOMASSA | | |

| Judul Publikasi | Nama Jurnal/Prosiding/Seminar /Media Massa |
|--|---|
| Manufacture of Bioplastic Composite Method of Blending Synthetic Polymer (PP) with Natural Polymers from Kapok Fiber (<i>Ceiba Pentandra</i>) | Chemical Engineering Transactions Vol. 97, 2022 DOI: 10.3303/CET2297041 |
| The Residence Time and Slow Pyrolysis Temperature Effect on Chemical Composition Pyrolysis Gas Product of Durian (<i>Durio Zibethinus Murr</i>) Skin | Chemical Engineering Transactions Vol. 97, 2022 DOI: 10.3303/CET2297042 |
| Potential Utilization of <i>Brevundimonas diminuta</i> to Reduce Ammonia in Wastewater | Key Engineering Materials (Volume 920) https://doi.org/10.4028/p-vhs848 |

| | |
|---|--|
| Pengaruh rasio pati:selulosa:kitosan terhadap karakteristik Wujud fisik bioplastik dari serat kapuk | Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat AvoER 14 |
| Effect of Plasticizer and Concentration on Characteristics of Bioplastic Based on Cellulose Acetate from Kapok (Ceiba pentandra) Fiber | Science and Technology Indonesia Vol. 7. No.1 https://doi.org/10.26554/sti.2022.7.1.73-83 |
| Production of Bioherbicide from Sembung Vine (Mikania Micrantha) Origin of Bukit Lama Palembang | Chemical Engineering Transactions Vol. 89, 2021 DOI: 10.3303/CET2189052 |
| Proses katalitik gasifikasi kulit durian (Durio zibethinus) untuk produksi synthetic natural gas (SNG) | Jurnal Teknik Kimia Vol.27, No.1 https://doi.org/10.36706/jtk.v27i1.33 |
| Pemanfaatan Limbah Kertas Sebagai Bahan Baku Pembuatan Selulosa Asetat | Jurnal Teknik Kimia Vol.26, No.3 https://doi.org/10.36706/jtk.v26i3.7 |
| Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kadar selulosa pada proses delignifikasi dari serat kapuk sebagai bahan baku <i>biodegradable plastic</i> berbasis selulosa asetat | Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat AvoER 12 |
| Perbandingan kinerja bakteri <i>brevundimonas diminuta</i> dalam pengolahan amoniak limbah cair industri karet dan pupuk secara biologis | Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat AvoER 12 |
| Pengaruh waktu reaksi dan aditif gliserol pada sintesis Selulosa asetat sebagai bahan dasar bioplastik dari Serat kapuk | Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol. 31 Nomor 1 Tahun 2020 |