

BIOMASSA

TANAMAN PERKEBUNAN

Fisik dan Proksimat serta Konversi Bio dan Termal Biomassa untuk Bioenergi



Andi Amran Sulaiman, Muhammad Syakir, Fadry Djufry, Haris Syahbuddin, Sumanto, Bambang Purwantana, Nur Richana, Bambang Prastowo.

BIOMASSA TANAMAN PERKEBUNAN
Fisik dan Proksimat serta Konversi Bio dan
Termal Biomassa untuk Bioenergi

BIOMASSA TANAMAN PERKEBUNAN
Fisik dan Proksimat serta Konversi Bio dan
Termal Biomassa untuk Bioenergi

Penulis:

Andi Amran Sulaiman,
Muhammad Syakir, Fadry Djufry,
Haris Syahbuddin, Sumanto,
Bambang Purwantana, Nur
Richana, Bambang Prastowo

IAARD PRESS
2018

BIOMASSA TANAMAN PERKEBUNAN

Fisik dan Proksimat serta Konversi Bio dan Termal Biomassa untuk Bioenergi

@2018 IAARD PRESS

Edisi 2018

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

@IAARD Press

Katalog dalam terbitan (KDT)

BIOMASSA tanaman perkebunan : fisik dan proksimat serta konversi bio dan termal biomassa untuk bioenergi / Penulis, Andi Amran Sulaiman ... [dkk.] ; Editor, Hermanto.-- Jakarta : IAARD Press, 2018.

xiii, 115 hlm. : illus. ; 26 cm..

xiii, 115 hlm.; 25,7 cm.

ISBN : 978-602-344-246-1

620.91:633.5/9

1. Biomassa 2. Bioenergi 3. Tanaman Perkebunan
I. Sulaiman, Andi Amran II. Hermanto

Penulis :

Andi Amran Sulaiman

Muhammad Syakir

Fadry Djufry

Haris Syahbuddin

Sumanto

Bambang Purwantana

Bambang Prastowo

Editor:

Hermanto

IAARD Press

Badan penelitian dan Pengembangan Pertanian

Jln. Ragunan 29, Pasar Minggu, Jakarta 12540

Telp.: +6221 7806202, Faks. : 6221 7800644

Email : iaardpress@litbang.pertanian.go.id

Anggota IKAPI No. 445/DKI/2012

KATA PENGANTAR

Biomassa tanaman adalah semua bagian tanaman dari akar sampai pucuk daun. Dinamika dan perkembangan kebutuhan manusia dan perubahan global kondisi dunia menyebabkan kebutuhan atas pangan dan energy menjadi semakin meningkat. Seiring dengan makin terbatasnya sumberdaya, manusia akhirnya kembali memanfaatkan salah satu kekayaan awal kehidupan yaitu biomassa terutama yang berasal dari pertanian dan khususnya tanaman perkebunan yang dinilai cukup melimpah dan sangat potensial. Kebutuhan atas pangan dan energy apabila tidak diperhitungkan secara seksama maka akan menimbulkan ketidak-imbangan lingkungan. Oleh karena itu biomassa pertanian khususnya biomassa perkebunan sudah harus dihitung dengan seksama ketersediaannya, jenis maupun kualitasnya, sehingga dengan mudah diketahui cara pemanfaatan yang aman ke depannya. Buku ini memuat uraian detil berdasarkan hasil penelitian mengenai biomassa tanaman perkebunan utama, khususnya pisik dan proksimatnya yang dapat dipakai sebagai dasar pemanfaatan biomassa untuk bioenergy, pakan dan bahan organik ke depannya. Semoga bermanfaat.

Bogor, Oktober 2018

PENULIS

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I. KEBIJAKAN ENERGI.....	1
BAB II. POTENSI BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BIOENERGI	5
BAB III. TEORI KONVERSI BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BIOENERGI	11
3.1. Konversi Termal : Gasifikasi Biomassa	12
3.2. Konversi-bio : Pembuatan Bioetanol dari Biomassa	18
BAB IV. KUANTITAS PISIK BIOMASSA TANAMAN.....	26
4.1. Bobot Biomassa Tanaman Tebu.....	27
4.2. Bobot Biomassa Tanaman Kakao	29
4.3. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit	31
4.4. Bobot Biomassa Tanaman Kemiri Sunan.....	33
4.5. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Dalam.....	35
4.6. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Genjah.....	38
4.7. Bobot Biomassa Tanaman Kopi Arabika	40
4.8. Bobot Biomassa Tanaman Kopi Robusta.....	42
4.9. Bobot Biomassa Tanaman Jarak Pagar.....	44
4.10. Bobot Biomassa Tanaman Karet	45
4.11. Bobot Biomassa Tanaman Teh.....	50
BAB V. PROKSIMAT BIOMASSA TANAMAN	54
5.1. Proksimat Biomassa Tanaman Tebu	56

5.2. Proksimat Biomassa Tanaman Kakao.....	60
5.3. Proksimat Biomassa Tanaman Kelapa Sawit	61
5.4. Proksimat Biomassa Tanaman Kemiri Sunan	62
5.5. Proksimat Biomassa Tanaman Kelapa Dalam	62
5.6. Proksimat Biomassa Tanaman Kelapa Genjah	68
5.7. Proksimat Biomassa Tanaman Kopi	70
5.8. Proksimat Biomassa Tanaman Jarak Pagar	73
5.9. Proksimat Biomassa Tanaman Jarak Pagar	75
5.10. Proksimat Biomassa Tanaman Karet.....	76
5.11. Proksimat Biomassa Tanaman Teh	78
BAB VI. KONVERSI-BIO DAN KONVERSI TERMAL BIOMASSA	
KELAPA SAWIT	82
6.1. Konversi Bio : Pembuatan bioetanol dari TKKS.....	82
6.2. Konversi Termal Biomassa : Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Pengeringan Produk Pertanian dan Pengoperasian Motor Diesel.....	102
BAB VII. BIOMASSA PERKEBUNAN.....	142
KNOWLEDGMENT	144
DAFTAR PUSTAKA.....	145
TENTANG PENULIS	155
INDEKS 160	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Potensi Biomassa Pertanian Sebagai Sumber Bioenergi	6
Tabel 2.	Potensi Bioamasa Energi Dibandingkan Sumber Lainnya.....	6
Tabel 3.	Bobot Biomassa Tanaman Tebu.....	28
Tabel 4..	Bobot Biomassa Tanaman Kakao Umur 5 Tahun.....	30
Tabel 5.	Bobot Biomassa Tanaman Kakao Umur 22 tahun	31
Tabel 6.	Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit 12 tahun Lampung Timur.....	32
Tabel 7.	Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit Umur 19 Tahun Lampung Timur.....	32
Tabel 8.	Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit Umur 30 Tahun Rangkasbitung	33
Tabel 9. .	Bobot Biomassa Tanaman Kemiri Sunan Umur 40 tahun dan Umur 5 tahun	35
Tabel 10.	Berat bagian bimasa taaman Kelapa Dalam umur 5, 10 dan 20 tahun.....	37
Tabel 11.	Berat bagian bimasa taaman Kelapa Genjah umur 5,10 dan 20 tahun.....	39
Tabel 12.	Rata-rata berat segar dan kering bagian tanaman kopi arabika umur 5, 10 dan 20 tahun.....	41
Tabel 13.	Rata-rata berat segar, kering dan persentase bagian tanaman kopi Robusta umur 10, 20 dan 30 tahun	43
Tabel 14.	Rata-rata berat segar kering dan persentase bagian tanaman tanaman jarak pagar umur 5 dan 10 tahun.....	44
Tabel 15.	Berat segar bagian biomassa tanaman karet umur 5 tahun dan peruntukan oleh petani	46
Tabel 16.	Berat segar bagian biomassa tanaman karet dan peruntukan oleh petani umur 20 tahun	47

Tabel 17. Berat segar bagian biomassa tanaman karet dan peruntukan oleh petani umur 20 tahun	48
Tabel 18. Berat Kering dan proporsi Biomassa Bagian Tanaman Karet Umur 5 - 20 tahun	50
Tabel 19. Berat bagian biomassa taaman Teh umur 10 tahun	50
Tabel 20. Berat bagian biomassa taaman Teh umur 20 tahun	51
Tabel 21. Berat bagian biomassa taaman Teh umur 30 tahun	51
Tabel 22. Berat Biomassa Kering dan proporsi bagian Tanaman Teh Umur 10 - 30 tahun	52
Tabel 23.. Kandungan lignoselulosa dari biomassa tebu Umur 6 bulan	57
Tabel 24. Kandungan lignoselulosa dari biomassa tebu Umur 12 bulan	57
Tabel 25. Kandungan lignoselulosa dari limbah kakao Umur 20 tahun	60
Tabel 26. Kandungan lignoselulosa dari limbah kakao Umur 15 tahun	60
Tabel 27. Kandungan lignoselulosa dari limbah sawit Umur 30 tahun	61
Tabel 28. Kandungan lignoselulosa dari limbah kemiri sunan Umur 20 tahun.....	62
Tabel 29. Kandungan lignoselulosa dari limbah kemiri sunan Umur 5 tahun.....	62
Tabel 30. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari limbah pohon Kelapa Dalam pada umur 5, 10 dan 15 tahun.....	63
Tabel 31. Fraksinasi Serat dari limbah Pohon Kelapa Dalam pada umur 5, 10, dan 15 tahun.....	65
Tabel 32. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari Limbah Kelapa Genjah pada umur 5, 10 dan 20 tahun	68
Tabel 33. Fraksinasi Serat dari limbah Kelapa Genjah pada umur 5, 10, dan 20 tahun.....	69
Tabel 34. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari Kopi Arabika 5, 10 dan 15 tahun dan Robusta pada umur 10, 20 dan 30 tahun.....	70
Tabel 35. Fraksinasi Serat dari limbah Kopi arabika pada umur 5, 10, dan 15 tahun dan Robusta pada umur 10,20 dan 30 tahun.	72
Tabel 36. Jarak pada umur 5, 10 dan 20 tahun.	74
Tabel 37. Fraksinasi Serat dari limbah Jarak pada umur 5, 10, dan 15 tahun.....	74

Tabel 38. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari limbah jarak pada umur 5, 10 dan 20 tahun.....	75
Tabel 39. Fraksinasi Serat dari limbah Jarak pada umur 5, 10, dan 15 tahun.....	76
Tabel 40. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari Limbah karet pada umur 5, 10 dan 15 tahun.	77
Tabel 41. Fraksinasi Serat dari limbah Karet pada umur 5, 10, dan 15 tahun.....	78
Tabel 42. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari limbah pohon teh pada umur 10, 20 dan 30 tahun.....	79
Tabel 43. Fraksinasi Serat dari limbah teh pada umur 10, 20 dan 30 tahun.....	81
Tabel 44. Komposisi bahan baku TKKS	89
Tabel 45. Komposisi TKKS sebelum dan sesudah delignifikasi.....	90
Tabel 46. Hasil etanol dari perlakuan kombinasi lignifikasi dan high power mill	94
Tabel 47. Hasil pengamatan etanol pada perlakuan NaOH, selulase dan xilanase	94
Tabel 48. Kadar air serbuk TKKS sebelum dan setelah pretreatment ..	97
Tabel 49. Kadar lignin, selulosa, hemiselulosa dan abu serbuk TKKS sebelum dan setelah pretreatment	97
Tabel 50. Kadar glukosa dan xilosa selama proses sakarifikasi untuk produksi bioetanol dari TKKS	99
Tabel 51. Kadar glukosa, xilosa dan etanol selama proses fermentasi untuk produksi bioetanol dari TKKS	100
Tabel 52. Kadar dan rendemen alkohol setelah proses detilasi untuk produksi bioetanol dari TKKS	102
Tabel 53. Rata-rata hasil pengamatan suhu penukar panas.....	122
Tabel 54. Hasil perhitungan efektivitas penukar panas	124
Tabel 55. Hasil perhitungan efisiensi penukar panas	127
Tabel 56. Spesifikasi motor diesel untuk bahan pengujian.....	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Gas hasil downdraft gasifier pada penelitian oleh Puslitbang Perkebunan dan Fakultas Teknologi Pertanian UGM.....	15
Gambar 2.	Biomassa Tebu umur sekitar 12 bulan	28
Gambar 3.	Pengambilan biomassa kelapa sawit umur 12 tahun.....	33
Gambar 4.	Proses pembongkaran dan pengambilan biomassa pohon kemiri sunan	34
Gambar 5.	Pengamatan biomassa kelapa dalam Umur a) 5 tahun, b) 20 tahun	37
Gambar 6.	Kelapa genjah Umur 20 tahun	39
Gambar 7.	Tanaman Kopi Arabika Umur 10 tahun (<i>kiri</i>) dan Biomassa akar dan batang Kopi Arabika dalam Umur 20 tahun (<i>kanan</i>).....	41
Gambar 8.	Tanaman kopi robusta umur 20 tahun (<i>kiri</i>) dan Biomassa akar dan batang kopi robusta umur 30 tahun (<i>kanan</i>)	43
Gambar 9.	Biomassa jarak pagar umur 5 tahun (<i>kiri</i>) dan Biomassa jarak pagar umur 10 tahun (<i>kanan</i>)	45
Gambar 10.	Tanaman karet Umur 5 tahun	46
Gambar 11.	Biomassa perakaran karet umur (a) 10 tahun dan (b) 20 tahun	47
Gambar 12.	Pengataan Biomassa tanaman teh umur 30 tahun	51
Gambar 13.	Diagram alir proses produksi bioetanol dari TKKS dengan variasi perlakuan NaOH dan dosis enzim xilanase:selulase.....	84
Gambar 14.	Skema Tujuan Pretreatment Biomassa Lignoselulosa	92

Gambar 15.	Tandan kosong kelapa sawit setelah dilakukan penghancuran menggunakan a. Hammer mill, b. Disk mill dan c. High Power mill.....	93
Gambar 16.	Peralatan untuk delignifikasi sekaligus hidrolisis awal dengan NaOH	96
Gambar 17.	Peralatan untuk proses enzimatik dan fermentasi.....	96
Gambar 18.	Grafik hubungan glukosa dan xilosa dengan lama waktu sakarifikasi untuk produksi bioetanol dari TKKS ..	99
Gambar 19.	Grafik hubungan glukosa, xilosa dan etanol dengan lama waktu fermentasi untuk produksi bioetanol dari TKKS.....	101
Gambar 20.	Skema Bagian-bagian Gasifier dan Rangkaiannya untuk Pengeringan	103
Gambar 21.	Bagian-bagian gasifier yang harus menjadi perhatian kualitasnya.....	106
Gambar 22.	Bagian katup pengumpan dan blower penghisap	107
Gambar 23.	Filter pendingin dan penyaring gas.....	108
Gambar 24.	Skema penukar panas untuk pengeringan	110
Gambar 25.	Skema rancangan Penukar Panas	112
Gambar 26.	(a) Skema tiga dimensi alat penukar panas, (b) Alat penukar panas.....	113
Gambar 27.	Diagram alir prosedur uji kinerja alat	114
Gambar 28.	Skema posisi pengujian alat pengering	115
Gambar 29.	Grafik perubahan suhu perlakuan kompor tanpa bata pada debit kecil	123
Gambar 30.	Grafik perubahan efektivitas untuk tiap perlakuan debit udara	126
Gambar 31.	Grafik perubahan efisiensi untuk setiap perlakuan debit udara	128
Gambar 32.	Gas bakar hasil dari kinerja unit gasifier tipe downdraft	129
Gambar 33.	Unit pendingin dan filter tambahan	129
Gambar 34.	Skema Rangkaian Pengujian Gasifikasi untuk Pengoperasian Motor Diesel	132
Gambar 35.	Grafik pembebanan terhadap putaran mesin.....	134
Gambar 36.	Grafik pengaruh pembebanan terhadap konsumsi solar	135

Gambar 37. Grafik pembebanan terhadap persentase penghematan solar	136
Gambar 38. Grafik pembebanan terhadap daya keluaran.....	139

BAB I.

KEBIJAKAN ENERGI

Kebijakan energi nasional melalui terbitnya Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional menetapkan sasaran penggunaan bahan bakar nabati menjadi lebih dari 5 % terhadap konsumsi energi nasional pada tahun 2025. Kebijakan tersebut diikuti dengan Instruksi Presiden No. 1 tahun 2006, yang antara lain menginstruksikan kepada Menteri Pertanian untuk mendorong penyediaan tanaman termasuk fasilitasi penyediaan benih dan bibitnya, penyuluhan, dan mengintegrasikan kegiatan pengembangan dan kegiatan pasca panen bahan tanaman, untuk mendukung penyediaan bahan bakar nabati.

Secara lebih spesifik pemerintah melalui Peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 32 tahun 2008 bahkan telah mengatur agar penyediaan bahan bakar cair dari fosil tertentu wajib memiliki kandungan bahan bakar nabati (BBN). Permen ini diperbarui melalui Permen ESDM nomor 25 tahun 2013 yang bertujuan untuk meningkatkan pencampuran 10% biodiesel dalam minyak solar (B-10). Pemerintah telah mengeluarkan kewajiban pencampuran Bahan Bakar Nabati (BBN) biodiesel ke solar sebanyak 10% dan biodiesel yang dicampur harus berasal dari produk lokal bukan impor. Bahkan melalui Perpres No 66 tahun 2018, Pemerintah telah mengeluarkan kebijakan mengenai kewajiban pencampuran Bahan Bakar Nabati (BBN) biodiesel ke solar sebanyak 20% (B20). Hal ini tentu harus diikuti dengan

langkah-langkah strategis tertentu pula, termasuk dalam penyediaan bahan baku BBNnya yang menurut Inpres No. 1 tahun 2006 menjadi salah satu tanggung jawab Kementerian Pertanian. Sektor pertanian sendiri sebenarnya juga sangat tergantung pada ketersediaan energi tersebut. Kebutuhan bahan bakar untuk mekanisasi pertanian khususnya operasionalisasi mesin-mesin pertanian juga sangat banyak. Untuk itu diperlukan pengembangan bukan hanya yang terencana dan terarah, tetapi juga dengan penetapan target waktu yang relatif cepat serta pelaksanaan yang konsisten.

Modernisasi pertanian ke depan termasuk agroindustri serta mekanisasi pertanian akan semakin berperan dalam pembangunan pertanian di masa mendatang dan ikut mewarnai lingkungan strategis sektor pertanian. Mekanisasi pertanian yang sebagian besar operasinya mengandalkan ketersediaan bahan bakar minyak asal energi fosil (BBM) yang semakin langka akan menghadapi masalah besar. Bioenergi, termasuk bahan bakar nabati yang bahan bakunya dari biomassa pertanian tersedia melimpah di sektor pertanian dan kehutanan, menjadi alternatif yang harus dipikirkan untuk mengatasi masalah tersebut.

Perluasan areal tanaman penghasil BBN mungkin dapat memanfaatkan 5 juta hektar lahan kritis. Namun dalam jangka panjang akan terjadi kompetisi hebat dalam pemanfaatan lahan untuk produksi BBN vs pangan dan pakan (Richana, 2008). Secara teknis limbah biomassa pertanian dan perkebunan seperti tandan kosong kelapa sawit dan lainnya memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi yang dapat didegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu glukosa sebagai bahan baku bioetanol. Oleh karena itu, limbah perkebunan dapat menjadi sumber energi alternatif, baik diproses menjadi cairan bioetanol maupun proses gasifikasi menjadi gas. Teknologi biofuel generasi baru yang banyak dibahas di dunia saat ini adalah dengan mengembangkan proses konversi-bio untuk menghasilkan dan

konversi-termal untuk menghasilkan gas, yang sebenarnya dapat diproses menjadi biodiesel ataupun bioavtur dan sejenisnya. Teknologi ini di dunia dikenal sebagai teknologi biofuel generasi kedua dan sedang banyak dikembangkan berbagai Negara (Richana dan Prastowo, 2012; Prastowo dan Richana, 2014). Hal memerlukan biomassa dan limbah padat pertanian yang potensinya harus diteliti lebih dalam.

Manusia memproduksi dan memanfaatkan biomassa antara lain untuk bahan makanan, serat, bahan industri dan energi. Sejumlah besar biomassa yang diproduksi terbuang sebagai limbah yang dapat mengakibatkan polusi lingkungan. Dilihat dari segi prosesnya biomassa merupakan bentuk lain dari penyimpanan energi matahari yang diproduksi fotosintesis tanaman. Dengan demikian biomassa, khususnya limbah bahan pertanian, pada prinsipnya dapat dikonversi kembali menjadi bentuk energi yang dapat dimanfaatkan.

Di Indonesia ratusan juta ton limbah pertanian seperti jerami, kulit padi, seresah tebu, tandan kosong kelapa sawit dan lain-lain dihasilkan setiap tahunnya. Sebagian besar limbah tersebut belum dimanfaatkan atau lebih banyak yang hanya dibakar di lahan. Sebagai bahan bakar padat, limbah pertanian dan biomassa lainnya dapat secara efektif dioptimalkan dengan cara mengkonversinya menjadi bahan bakar gas melalui sebuah reaktor. Suatu penelitian penunjukkan bahwa bahan bakar gas dari bahan biomassa mengandung nilai kalori yang sangat tinggi yaitu 3,5 – 5,5 MJ Nm³, yang terdiri atas karbon monoksida (25% v/v) dan hidrogen (15-20% v/v). Gas ini dapat dibakar melalui suatu *burner* dan menghasilkan suhu mencapai lebih dari 1.000°C yang dapat digunakan untuk aplikasi pemanasan pada industri (Rajeev dan Rajvanshi, 1997).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil utama kelapa sawit dunia. Selain memproduksi minyak yang sangat

besar maka terdapat potensi limbah yang juga sangat besar. Seperti diketahui, dalam proses pengolahan tandan buah segar menjadi minyak sawit sekitar 45% bahan akan menjadi limbah padat berupa seresah, serbuk, serabut, tempurung, dan tandan kosong. Sekitar 50% dari limbah padat tersebut adalah tandan kosong. Pemanfaatan limbah berupa tandan kosong sebagai bahan bakar sampai saat ini masih sangat terbatas. Hal ini terutama disebabkan tingginya nilai kadar air bahan serta dampak berupa polusi yang dihasilkan (Kittikun, et al., 2000).

Pemanfaatan limbah tersebut diharapkan akan mengurangi masalah serta mendatangkan keuntungan dengan menjadikan tingginya nilai tambah dari limbah tersebut. Permasalahan saat ini, pemilihan biomassa limbah yang memiliki lignoselulosa sebagai bahan baku bioetanol masih memiliki kendala pada proses hidrolisisnya untuk menghasilkan glukosa. Namun hidrolisis lignoselulosa menjadi glukosa dan xylosa dapat dilakukan menggunakan enzim β -glukosidase (Koesnandar, 2001). Sunarti dan Richana (2006) melakukan penelitian etanol untuk lignoselulosa dari tongkol jagung dengan rendemen 14,22%. Secara teknis teknologinya ada, sehingga yang diperlukan adalah jenis dan berapa bahan baku yang tersedia. Oleh karena itu pohon biomassa tanaman utama perkebunan perlu diketahui termasuk potensinya untuk bioenergy serta dalam mendukung pengembangan pertanian bioindustri ke depan.

BAB II.

POTENSI BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BIOENERGI

Selain hasil pokok tanaman perkebunan seperti CPO dari kelapa sawit, gula tebu dan lainnya, sebenarnya terdapat biomassa padat maupun limbah lain dari tanaman-tanaman tersebut maupun komoditas pertanian lain yang sangat potensial bagi sumber bioenergi. Walaupun di dalam negeri masyarakat belum terlalu peduli dengan hal ini, tetapi hal ini sudah lama diketahui oleh negara-negara lain. Potensinya bahkan dapat melebihi sumber panas bumi (Tabel 1 dan Tabel 2). Oleh karena itu saat ini sudah terjadi ekspor biomassa padat dan limbah pertanian kehutanan ke negara lain seperti ke Korea Selatan, Jepang dan lainnya. Biomassa padat yang diekspor tersebut berupa tongkol jagung yang sudah dipadatkan, padatan seresah pertanian lainnya bahkan sudah ada yang berupa pelet yang diolah dari limbah kayu-kayuan di Indonesia (misalnya di Wonosobo oleh investor asing Korea Selatan). Perkembangan ini sebenarnya sangat mengawatirkan, terutama bagi kelestarian lahan pertanian di tanah air.

Tabel 1. Potensi Biomassa Pertanian Sebagai Sumber Bio-energi

No	Komoditas	Energi dari Hasil Pokok ¹⁾ (Juta GJ/Tahun)	Energi dari Limbah Biomassa ²⁾ (Juta GJ/Tahun)
1	Kelapa Sawit	170	69,7
2	Kelapa	130	---
3	Karet	---	144,8
4	Padi	---	158,6
5	Tebu	2,66	78
6	Sagu	58	---
7	Ternak Besar	0,33	---
	TOTAL	360,99	441,1 ³⁾

Keterangan :

- 1) Ekstrapolasi berdasarkan Data Produksi Perkebunan tahun 2007 dan ZREU (Zentrum for Rationell Energiewendugund Unwel GmbH), 2000
- 2) Prastowo (2007), tidak termasuk limbah biomas dari kehutanan
- 3) Terdapat peningkatan menjadi 756 Juta GJ/tahun (Prastowo, 2010)
- 4) Prastowo, 2012 dan potensi baru dimanfaatkan sekitar 3 %

Seperti diketahui bahwa biomassa maupun limbah padat pertanian tak lain adalah bahan organik yang sangat diperlukan untuk mempertahankan kesuburan tanah. Dapat dibayangkan bagaimana ke depan kondisi tanah Indonesia jika bahan organiknya terus di kirim ke luar negeri. Padahal data menunjukkan bahwa sebagian besar (lebih 70%) tanah pertanian di Indonesia dalam kondisi kekurangan bahan organik. Penyebab utama antara lain tidak dikembalikannya bahan organik ke tanah semula.

Tabel 2. Potensi Bioamasa Energi Dibandingkan Sumber Lainnya

No	Sumber Energi	Potensi (G Watt)	Kapasitas Terpasang (Mwatt)
1	Tenaga Air	75,67	4.200
2	Panas Bumi	27,0	1.042
3	Mini/Mikro Hidro	0,5	210
4	Biomassa	49,81	445
5	Surya	4,8 kwh/m ² /hari	12
6	Angin	3-6 m/detik	2

Sumber : Kemen. ESDM, 2007

Pencarian bahan alternatif yang tidak berkompetisi dengan pangan dan pakan sangatlah perlu dan mendesak untuk dipikirkan. Hal ini terjadi karena teknologi pengembangan BBN generasi pertama membutuhkan atau memanfaatkan hasil utama pertanian atau perkebunan, seperti minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak nyamplung, minyak jarak, molases, umbi ubikayu dan lainnya. Di sisi lain, tersedia limbah pertanian dan kehutanan sebagai sumber lignoselulosa yang dapat menjadi sumber energi yang menjanjikan. Pemanfaatan limbah tersebut diharapkan akan mengurangi masalah lingkungan serta mendatangkan keuntungan dengan menjadikan tingginya nilai tambah dari limbah tersebut. Dengan demikian sangat diperlukan untuk mengetahui secara rinci pohon biomassa yang berpotensi untuk bioindustri an potensi manfaat lainnya. Pohon industri pada dasarnya mirip dengan pohon industri suatu komoditi dari semua aspek dan kompoenennya, sedangkan di sini hanya fokus kepada peruntukan biomassa.

Saat ini potensi yang lebih dihitung atau diketahui adalah hanya potensi makro seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2, oleh karena itu ke depan pohon biomassa serta potensinya untuk bioenergi perlu diketahui, sehingga akan diketahui secara

kuantitatif pemanfaatan biomassa sebagai bahan organik, pakan maupun untuk boenergi yang tidak akan mengganggu kelestarian lingkungan pertanian.

Biomassa secara umum mengandung karbon, hidrogen dan oksigen bersama-sama dengan kadar air. Pada kondisi yang terkontrol, yaitu pada kondisi oksigen yang rendah dan suhu yang tinggi, bahan biomassa dapat dikonversi dalam bentuk gas atau biasa disebut gas produksi yang mengandung karbon monoksida, hidrogen, karbon dioksida, metan, dan nitrogen. Bridgewater (2003), menyatakan bahwa bahan bakar gas dapat diperoleh melalui suatu proses panas menggunakan oksidasi parsial, uap air (*steam*), atau gasifikasi pirolisis (*pyrolystic gasification*). Konversi thermo-khemis biomassa padat menjadi bahan bakar gas ini secara umum disebut gasifikasi biomassa. Stassen (1995) menyatakan bahwa di negara-negara berkembang, prospek pengembangan gasifier biomassa masih terkendala oleh lebih murah dan mudahnya sumber bahan bakar biomassa dan bahkan minyak, serta biaya awal yang relatif besar, serta belum dijadikannya faktor kelestarian lingkungan dalam seluruh aspek kehidupan. Meskipun demikian dalam jangka panjang, khususnya dengan semakin mahal dan langkanya minyak, dan dengan semakin meningkatnya taraf hidup masyarakat, pemanfaatan biomassa merupakan salah satu alternatif yang perlu terus dikembangkan. Teknologinyapun sudah banyak dicoba dan dikembangkan. Sunarti dan Richana (2006) juga telah melakukan penelitian produksi etanol dari tongkol jagung menghasilkan rendemen 14,22 persen yang berarti 1 ton tongkol jagung menghasilkan 142,2 liter etanol. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan *pretreatment* dengan asam, NaOH, kapur tohor, dan larutan organik, yang keempatnya mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap komoditas atau asal bahan berlignoselulosa tersebut (Sunarti dan Richana. 2007). Tandan kosong kelapa sawit terdiri dari berbagai macam serat dengan komposisi antara lain sellulosa sekitar 45.95%; hemisellulosa sekitar 16.49% dan lignin sekitar 22.84% (Astima. 2002). Berdasar

unsur-unsur atau komposisi penyusun tersebut maka pemanfaatan TKKS untuk dikonversikan sebagai salah satu sumber energi terbarukan sangatlah potensial.

Salah satu teknik yang dapat dimanfaatkan untuk permasalahan besarnya kandungan air bahan untuk bahan bakar adalah teknik gasifikasi. Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat termasuk biomassa atau cair menjadi bahan bakar gas tanpa menghasilkan limbah atau residu karbon padat. Gasifikasi juga merupakan teknologi konversi energi yang dapat digunakan untuk berbagai macam bahan bakar biomassa. Bahan bakar biomassa dapat diperoleh antara lain dari limbah pertanian dan material lainnya. Limbah pertanian seperti kulit gabah, daun tebu, jerami padi, kulit kelapa, tandan kosong sawit dan lain-lain yang tersedia melimpah merupakan potensi yang sangat besar yang belum dioptimalkan dalam pengembangan sumberdaya energi berbasis biomassa. Sebagian dari limbah tersebut bahkan mengalami dekomposisi alami yang dapat mengakibatkan munculnya berbagai gas rumah kaca dan berbagai permasalahan lingkungan lainnya. Bridgewater, 2003, menyatakan bahwa bahan bakar gas dapat diperoleh melalui suatu proses panas menggunakan oksidasi parsial, uap air (*steam*), atau gasifikasi pirolisis (*pyrolytic gasification*). Konversi thermo-kemis biomassa padat menjadi bahan bakar gas ini secara umum disebut gasifikasi biomassa. McKendry, 2002a, menyimpulkan bahwa gasifikasi biomassa merupakan proses pengkonversian biomassa menjadi bahan bakar berbentuk gas karena adanya proses oksidasi parsial (sedikit oksigen) dari biomassa tersebut pada suhu tinggi antara 800-900°C. Gas yang dihasilkan antara lain terdiri dari unsur-unsur hidrogen, karbon monoksida, metan, karbon dioksida, uap air, senyawa hidrokarbon lain dalam jumlah yang kecil, serta bahan-bahan non-organik (Lim dan Sims, 2003). Gas yang dihasilkan ini mempunyai nilai kalori yang rendah (1000-1200 kCal/Nm³) tetapi dapat dibakar dengan efisiensi yang tinggi dengan kontrol yang mudah dan tidak menghasilkan emisi asap (Anonymous, 2006). Setiap kilogram

biomassa kering-udara (kadar air \pm 10%) mengandung sekitar 2,5 Nm³ bahan bakar gas. Dalam terminologi energi, efisiensi konversi pada proses gasifikasi biomassa berkisar antara 60 – 70% (McKendry, 2002b).

Konversi biomassa padat menjadi bahan bakar gas mempunyai beberapa keuntungan seperti murah, pembakaran yang bersih, peralatan pembakaran yang kompak, efisiensi panas yang tinggi, dan kemudahan pengaturan. Teknologi gasifikasi biomassa juga ramah lingkungan, karena dapat mereduksi emisi CO₂.

Stassen (1995) menyatakan bahwa di negara-negara berkembang, prospek pengembangan gasifier biomassa masih terkendala oleh lebih murah dan mudahnya sumber bahan bakar biomassa dan bahkan minyak, serta biaya awal yang relatif besar, serta belum dijadikannya faktor kelestarian lingkungan dalam seluruh aspek kehidupan. Meskipun demikian dalam jangka panjang, khususnya dengan semakin mahal dan langkanya minyak, dan dengan semakin meningkatnya taraf hidup masyarakat, pemanfaatan bioamsa merupakan salah satu alternatif yang perlu terus dikembangkan.

Pertanian memang merupakan penyedia dan sekaligus sebagai pengguna biomassa (Prastowo, 2007). Namun demikian sektor pertanian khususnya perkebunan memiliki potensi makro sebagai sumber penyedia bahan baku bioenergy dari bioamasanya. Oleh karena itu data detil mengenai pohon biomassa tanaman utama perkebunan termasuk potensinya sebagai sumber bahan baku bioenergy sangat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang bioenergi.

BAB III.

TEORI KONVERSI BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BIOENERGI

Sebagai bahan bakar padat, limbah pertanian dan biomassa lainnya dapat secara efektif dioptimalkan dengan cara mengkonversinya menjadi bahan bakar gas melalui sebuah reaktor. Suatu penelitian penunjukkan bahwa bahan bakar gas dari bahan biomassa mengandung nilai kalori yang sangat tinggi yaitu 3,5 – 5,5 MJ Nm³, yang terdiri atas karbon monoksida (25% v/v) dan hidrogen (15-20% v/v). Gas ini dapat dibakar melalui suatu *burner* dan menghasilkan suhu mencapai lebih dari 1000°C yang dapat digunakan untuk aplikasi pemanasan pada industri (Rajeev dan Rajvanshi, 1997). Limbah biomassa pertanian dan perkebunan seperti tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi yang dapat didegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu glukosa sebagai bahan baku bioetanol. Oleh karena itu, limbah biomassa pertanian termasuk perkebunan dapat menjadi sumber energi alternatif, baik diproses menjadi cairan bioetanol maupun proses gasifikasi menjadi gas. Teknologi biofuel generasi baru yang banyak dibahas di dunia saat ini adalah dengan mengembangkan proses konversi-bio untuk menghasilkan dan konversi-termal untuk menghasilkan gas, yang sebenarnya dapat diproses menjadi biodiesel ataupun bioavtur dan sejenisnya. Teknologi ini di dunia dikenal sebagai teknologi biofuel generasi kedua dan sedang banyak dikembangkan berbagai negara. Teknologi ini

cukup ramah lingkungan dan tidak mengganggu kebutuhan pangan, karena memanfaatkan biomassa selain hasil utama pertanian dan perkebunan seperti tandan kosong kelapa sawit, jerami, tongkol jagung, dan sebagainya. Pemanfaatan limbah biomassa padat tanaman sebagai bahan bakar sampai saat ini masih sangat terbatas. Hal ini terutama disebabkan tingginya nilai kadar air bahan serta dampak berupa polusi yang dihasilkan (Kittikun, et al., 2000). Biomassa tanaman pada umumnya memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi yang dapat didegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu melalui gasifikasi menjadi gas sebagai energi alternatif (thermalconversion) maupun glukosa sebagai bahan baku bioetanol (bioconversion).

3.1. Konversi Termal : Gasifikasi Biomassa

Biomassa secara umum mengandung karbon, hidrogen dan oksigen bersama-sama dengan kadar air. Pada kondisi yang terkontrol, yaitu pada kondisi oksigen yang rendah dan suhu yang tinggi, bahan biomassa dapat dikonversi dalam bentuk gas atau biasa disebut gas produksi yang mengandung karbon monoksida, hidrogen, karbon dioksida, metan, dan nitrogen. Bridgewater, 2003, menyatakan bahwa bahan bakar gas dapat diperoleh melalui suatu proses panas menggunakan oksidasi parsial, uap air (*steam*), atau gasifikasi pirolisis (*pyrolystic gasification*). Konversi thermo-khemis biomassa padat menjadi bahan bakar gas ini secara umum disebut gasifikasi biomassa.

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat atau cair menjadi bahan bakar gas tanpa menghasilkan limbah atau residu karbon padat. Gasifikasi merupakan salah satu bentuk konversi yang sangat penting karena dapat secara efektif dimanfaatkan untuk desentralisasi pembangkit daya dan penerapan pemanfaatan panas. Gasifikasi juga merupakan

teknologi konversi energi yang dapat digunakan untuk berbagai macam bahan bakar biomassa.

Bahan bakar biomassa dapat diperoleh antara lain dari limbah pertanian dan material lainnya. Limbah pertanian seperti kulit gabah, daun tebu, jerami padi, kulit kelapa, tandan kosong sawit dan lain-lain yang tersedia melimpah merupakan potensi yang sangat besar yang belum dioptimalkan dalam pengembangan sumberdaya energi berbasis biomassa. Sebagian dari limbah tersebut bahkan mengalami dekomposisi alami yang dapat mengakibatkan munculnya berbagai gas rumah kaca dan berbagai permasalahan lingkungan lainnya. Konversi biomassa padat menjadi bahan bakar gas mempunyai beberapa keuntungan seperti murah, pembakaran yang bersih, peralatan pembakaran yang kompak, efisiensi panas yang tinggi, dan kemudahan pengaturan. Teknologi gasifikasi biomassa juga ramah lingkungan, karena dapat mereduksi emisi CO₂.

Biomassa secara umum mengandung karbon, hidrogen dan oksigen bersama-sama dengan kadar air. Pada kondisi yang terkontrol, yaitu pada kondisi oksigen yang rendah dan suhu yang tinggi, bahan biomassa dapat dikonversi dalam bentuk gas atau biasa disebut gas produksi yang mengandung karbon monoksida, hidrogen, karbon dioksida, metan, dan nitrogen. Bridgewater, 2003, menyatakan bahwa bahan bakar gas dapat diperoleh melalui suatu proses panas menggunakan oksidasi parsial, uap air (*steam*), atau gasifikasi pirolisis (*pyrolytic gasification*). Konversi thermo-khemis biomassa padat menjadi bahan bakar gas ini secara umum disebut gasifikasi biomassa. McKendry, 2002a, menyimpulkan bahwa gasifikasi biomassa merupakan proses pengkonversian biomassa menjadi bahan bakar berbentuk gas karena adanya proses oksidasi parsial (sedikit oksigen) dari biomassa tersebut pada suhu tinggi antara 800-900°C. Gas yang dihasilkan antara lain terdiri dari unsur-unsur hidrogen, karbon monoksida, metan, karbon dioksida,

uap air, senyawa hidrokarbon lain dalam jumlah yang kecil, serta bahan-bahan non-organik (Lim dan Sims, 2003). Gas yang dihasilkan ini mempunyai nilai kalori yang rendah (1000-1200 kCal/Nm³) tetapi dapat dibakar engan efisiensi yang tinggi dengan kontrol yang mudah dan tidak menghasilkan emisi asap (Anon., 2006). Setiap kilogram biomassa kering-udara (kadar air \pm 10%) mengandung sekitar 2,5 Nm³ bahan bakar gas. Dalam terminologi energi, efisiensi konversi pada proses gasifikasi biomassa berkisar antara 60 – 70% (McKendry, 2002b).

Pada aspek teknologi, proses gasifikasi dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Pada gasifikasi langsung (*direct gasification*) digunakan oksigen atau udara sebagai pembakar. Gasifikasi dilakukan dengan prinsip oksidasi parsial. Gasifikasi eksotermis terjadi dengan mensuplai pembakar (oksigen) dibawah nilai stokiometrinya pada proses pembakaran; atau memberikan oksidan dibawah kebutuhan untuk terjadinya pembakaran sempurna. Pada gasifikasi tidak langsung (*indirect gasification*) digunakan uap untuk oksidasi. Proses ini disebut juga gasifikasi endotermis. Meskipun secara termodinamis proses ini lebih efisien namun secara praktis lebih sulit dilakukan khususnya untuk gasifikasi skala kecil dan menengah.

Gasifier merupakan perangkat atau instrument untuk terjadinya suatu proses gasifikasi. Beberapa jenis gasifier yang berkembang antara lain gasifier alas tetap (*fixed bed*) dengan sistem aliran ke atas (*updraft*) dan aliran ke bawah (*downdraft*), gasifier dengan pelumasan (*fluidized bed*) dengan sistem gelembung (*bubbling*) dan sirkulasi (*circulating*), dan gasifier aliran berjalan (*entrained flow*). *Fluidized bed* dan *entrained flow gasifier* lebih sesuai dan dipakai untuk pembangkit energi atau industri skala besar, sehingga dalam proposal ini hanya dibahas jenis *fixed bed gasifier* atau gasifier dengan alas tetap. Salah satu contoh gas hasil gasifier adalah seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Gas hasil downdraft gasifier pada penelitian oleh Puslitbang Perkebunan dan Fakultas Teknologi Pertanian UGM

Gasifier dengan alas tetap merupakan jenis gasifier yang banyak digunakan karena konstruksi yang lebih sederhana. Pada gasifier alas tetap jenis aliran ke atas (*updraft gasifier*), bahan masuk melalui hopper yang dapat dikunci dan mengalir ke bawah berlawanan dengan aliran pembakaran dan gas yang dihasilkan. Karena sistem aliran yang berlawanan tersebut tipe gasifier ini dapat beroperasi untuk bahan yang mempunyai kadar lengas yang tinggi. Namun demikian gas yang dihasilkan tidak bersih sehingga kurang sesuai untuk pemakaian pada pemanasan atau pemasakan bahan-bahan olahan atau makanan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan gasifier aliran ke atas. Studi tentang kesetimbangan massa pada *updraft gasifier* untuk serbuk gergaji telah dilakukan oleh Payne dan Chandra (1985). Payne *et al*, (1985) juga melakukan uji

terhadap tiga ukuran serbuk gergaji pada updrfat gasifier untuk menentukan pengaruh ukuran serbuk pada efisiensi sistem. Dunlap dan Payne (1988) melakukan studi penerapan kontrol dengan mikro-komputer pada gasifier. Studi terhadap gasifikasi biomassa juga dilakukan oleh Hoki, *et. al*, 1992. Mereka juga meneliti aspek kestimbangan panas dan efisiensi gasifikasi (Hoki, *et. al*, 1994), serta stabilitas laju produksi gas (Hoki *et. al*, 1995). Studi tentang kontrol suhu pada gasifier juga telah dilakukan dengan perlakuan kontrol aliran bahan baku (Hoki *et. al*, 2002).

Pada *downdraft* gasifier, biomassa masuk melalui lubang terbuka dengan sistem penghembusan udara atau melalui hopper yang dapat dikunci dengan sistem penghembusan oksigen. Konstruksi jenis gasifier ini cukup sederhana dan murah. Biomassa dan udara pirolisa masuk dari atas ke bawah dimana gas yang dihasilkan berada di bagian bawah reaktor. Tipe ini sangat efisien untuk pembangkit energi skala kecil. Untuk gasifier skala kecil biasanya diperlukan perangkat bantuan berupa penyedot gas (*gas suction*) untuk menyempurnakan proses gasifikasi.

Downdraft gasifier merupakan jenis gasifier yang banyak dikembangkan dan digunakan khususnya di negara-negara berkembang. Di India misalnya, Rajeev dan Rajvanshi (1997) mengembangkan gasifier dengan bahan bakar seresah dan daun tebu untuk penerapan pemanasan pada industri. Dari penelitian ini dilaporkan bahwa gasifier mencapai nilai ekomisnya pada kapasitas 1080 MJ h^{-1} . Studi tentang penggunaan bahan keramik untuk gasifier biomassa juga telah dilakukan oleh Sasidharan *et. al*, 1995. Dilaporkan bahwa selain menghemat biaya konstruksi, umur pakai gasifier keramik ini relatif cukup panjang meskipun efisiensi produksi gasnya masih perlu ditingkatkan. Penggunaan gasifier yang digabungkan dengan mesin gas diteliti oleh Barrio *et. al*, 2004. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk bisa digabungkan dengan gasifier diperlukan beberapa modifikasi

pada mesin karena gabungan gas hasil gasifier dan hasil karburasi berdampak pada konsentrasi campuran yang mempengaruhi perbandingan kompresi dan penyalaan.

Stassen (1995) menyatakan bahwa di negara-negara berkembang, prospek pengembangan gasifier biomassa masih terkendala oleh lebih murah dan mudahnya sumber bahan bakar biomassa dan bahkan minyak, serta biaya awal yang relatif besar, serta belum dijadikannya faktor kelestarian lingkungan dalam seluruh aspek kehidupan. Meskipun demikian dalam jangka panjang, khususnya dengan semakin mahal dan langkanya minyak, dan dengan semakin meningkatnya taraf hidup masyarakat, gasifikasi merupakan salah satu alternatif yang perlu terus dikembangkan.

Disamping pemanfaatan langsung dalam bentuk gas, hasil gasifikasi biomassa juga berpotensi dimanfaatkan dalam bentuk cairan melalui beberapa metode pencairan gas seperti teknologi Fischer Trops (FT) dan melalui teknologi reaktor plasma. Teknologi plasma mempunyai potensi untuk dikembangkan karena relatif efisien. Teknologi plasma dapat digunakan untuk memecah ikatan kimia. Melalui teknologi ini gas dikonversi dalam bentuk plasma yang merupakan campuran gas dimana elektron mempunyai energi tinggi dan dapat digunakan untuk proses perengkahan hidrokarbon tinggi menjadi hidrokarbon rendah.

Gasifier merupakan reaktor kimia dimana berbagai proses kimia dan fisika yang kompleks dapat terjadi, seperti: pengeringan, pemanasan, pirolisis, oksidasi parsial, dan reduksi. Melalui gasifikasi, bahan padat karbonat ($\text{CH}_{1,4}\text{O}_{0,6}$) dipecah menjadi bahan-bahan dasar seperti CO , H_2 , CO_2 , H_2O dan CH_4 . Gas-gas yang dihasilkan selanjutnya dapat digunakan secara langsung untuk proses pembakaran maupun disimpan dalam tabung gas. Bahan bakar gas yang dihasilkan dalam proses

gasifikasi terutama merupakan hasil dari proses pirolisa dan pembakaran. Dengan demikian efektifitas gasifier akan sangat ditentukan oleh rancangbangun bagian atau zone pirolisa dan pembakaran tersebut. Rancangbangun suatu gasifier sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan. Gasifier dengan bahan bakar kulit gabah (Hoki *et. al*, 2002) misalnya mempunyai rancangbangun yang berbeda dengan gasifier berbahan bakar seresah tebu (Rajeev dan Rajvanshi, 1997).

3.2. Konversi-bio : Pembuatan Bioetanol dari Biomassa

Biomassa pertanian umumnya memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi yang dapat didegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu glukosa sebagai bahan baku bioetanol (bioconversion). Permasalahan saat ini, pemilihan limbah yang memiliki lignoselulosa sebagai bahan baku bioetanol masih memiliki kendala pada proses hidrolisisnya untuk menghasilkan glukosa. Lignoselulosa terdiri atas tiga komponen fraksi serat, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa tersusun dari ikatan 1-4 β -glukosa, sedangkan hemiselulosa tersusun oleh ikatan 1-4 β -xylosa. Hidrolisis lignoselulosa menjadi glukosa dan xylosa dapat dilakukan menggunakan enzim β -glukosidase (Koesnandar. 2001). Sunarti dan Richana (2006) melakukan penelitian etanol dengan memanfaatkan lignoselulosa dari tongkol jagung dengan rendemen 14,22%. Pada proses konversi bio tersebut, rendemen bioetanol dari bahan berlignoselulosa tersebut sangat dipengaruhi oleh proses *pretreatment* dan sakarifikasinya untuk menghasilkan glukosa dan proses fermentasi glukosa menjadi etanol oleh mikroba *Saccharomyces sp*. Dalam menghasilkan bioetanol dari limbah pertanian tersebut, permasalahannya adalah belum ada mikroba penghasil lignoselulase yang unggul dalam menghasilkan glukosa dan xylosa, dan mikroba yang mampu merubah xylosa menjadi etanol.

Hemiselulosa dapat digunakan untuk beberapa produk diantaranya:

1. Gula xilitol, melalui proses hidrolisis hemiselulosa/ xilan menjadi xilosa, kemudian dihidrogenasi menjadi xilitol. Xilitol mempunyai kelebihan dibanding gula pasir (sukrosa) yaitu sebagai pemanis rendah kalori, indeks glikemik jauh lebih rendah yaitu tidak meningkatkan gula darah dalam tubuh, sehingga sangat baik untuk penderita diabetes. Xilitol dapat digunakan untuk membuat produk-produk seperti permen karet, *chewing* gum dan lain-lain (Anonymous. 2006). Disamping itu xilitol saat ini banyak digunakan untuk pasta gigi karena dapat menguatkan gusi (Saha dan Bothast, 1998).
2. Hemiselulosa dalam bentuk xilan dapat menghasilkan furfural yang dapat digunakan sebagai bahan pelarut industri minyak bumi, pelarut reaktif untuk resin fenol, disinfektan serta sebagai bahan awal untuk memproduksi berbagai bahan kimia dan polimer lainnya (Sjostrom, 1995, Mansilla *et al.* 1998).
3. Sebagai substrat untuk memproduksi enzim xilanase, yang sangat bermanfaat dalam industri pangan maupun pakan. Untuk pangan xilanase dapat dimanfaatkan untuk campuran pakan ternak, penjernihan sirup, dan pembuatan gula xilosa sedangkan untuk non pangan yaitu untuk proses pemutih kertas. (Ruiz-arribas *et al.* 1995; Bourbonnais *et al.* 1997). Dalam proses pemutihan kertas digunakan xilanase yang termotabil dan tahan pH alkali (Beg *et al.* 2001). Disamping itu juga untuk proses hidrolisis lignoselulosa dalam produksi bioethanol.

Proses pengolahan awal dari bahan baku sumber serat untuk bioetanol diantaranya adalah proses delignifikasi dan proses hidrolisis. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan *pretreatment* dengan asam, NaOH, kapur tohor, dan larutan

organik, yang keempatnya mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap komoditas atau asal bahan berlignoselulosa tersebut (Sunarti dan Richana. 2007). Konversi polisakarida menjadi monomer-monomer dapat dilakukan dengan proses hidrólisis baik secara enzimatik maupun secara kimiawi. Seperti halnya pada proses pengolahan bioetanol dari bahan baku sumber pati maka proses hidrolisis ini dapat dilakukan bersamaan dengan fermentasi. Sakarifikasi (hidrolisis) dan fermentasi sinambung dapat memperbaiki kinetika fermentasi dan biaya produksi (Wright *et al.* 1988) serta meningkatkan efisiensi konversi selulosa menjadi etanol 25 persen lebih baik dibanding bila sakarifikasi dan fermentasi dilakukan terpisah atau bertahap (Spangler dan Emert. 1986). Fermentasi merupakan tahap paling kritis dalam produksi etanol. Semua sumber bahan baku yaitu sumber gula, pati, dan serat setelah menjadi gula maka prosesnya sama yaitu fermentasi. Fermentasi glukosa menjadi etanol pada awalnya dilakukan secara aerobik kemudian dilanjutkan dengan fermentasi anaerobik, yaitu tanpa adanya suplai oksigen dan tanpa agitasi. Kondisi fermentasi dipertahankan pada pH 5-5,5, suhu 32°C dan berlangsung selama 48-56 jam. Selama proses fermentasi berlangsung akan dihasilkan gas karbondioksida. Menurut Rose (1967), fermentasi glukosa ini berjalan lebih cepat dan spontan karena sifatnya yang fermentative. Berdasarkan hal tersebut, dimungkinkan melakukan konversi-bio tandan kosong kelapa sawit menjadi bioetanol tanpa mengganggu keperluan pangan.

Pembuatan Bioetanol dari Biomassa atau Bahan berlignoselulosa. Saat ini produksi bioetanol menggunakan bahan berserat belum dilakukan tetapi sudah menjadi wacana kedepan yang sangat perlu dilakukan. Target pemerintah Indonesia di tahun 2025 sudah bisa menghasilkan bioetanol dari limbah pertanian tersebut. Permasalahannya adalah belum adanya mikroba penghasil lignoselulase yang unggul dalam

menghasilkan glukosa dan xylosa, dan mikroba yang mampu merubah xylosa menjadi etanol. Dengan demikian masih perlu kajian untuk menghasilkan enzim, atau mikroba ataupun paket teknologi produksi yang efisien. Sunarti dan Richana (2006) juga telah melakukan penelitian produksi etanol dari tongkol jagung menghasilkan rendemen 14,22 persen yang berarti 1 ton tongkol jagung menghasilkan 142,2 liter etanol.

Bahan baku sumber serat terdiri atas tiga komponen yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa tersusun dari ikatan 1-4 β -glukosa, sedangkan hemiselulosa tersusun oleh ikatan 1-4 β -xylosa. Hidrolisis lignoselulosa menjadi glukosa dan xylosa tidak semudah menghidrolisis pati. Bahan berserat (lignoselulosa) mempunyai ikatan 1-4 β glukosida yang lebih susah untuk dihidrolisis. Proses pengolahan awal dari bahan baku sumber serat untuk bioetanol diantaranya adalah proses delignifikasi dan proses hidrolisis.

Delignifikasi. Delignifikasi yaitu proses penghilangan kandungan lignin dalam serat. Bahan berserat yang sebanyak 1 kg diaduk dan direndam dalam 10 l Na-hipoklorit 1 persen selama 5 jam pada suhu kamar. Sampel kemudian dibilas secara berulang dengan akuades, dan dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C (Richana *et al.* 2004, Richana *et al.* 2007). Pengecilan ukuran dan delignifikasi menyebabkan terputusnya rantai polimer yang panjang menjadi rantai polimer yang lebih pendek, meningkatkan daerah amorf atau menurunkan derajat kristalinitas dan memisahkan bagian lignin dari selulosa. Perendaman dalam larutan Na-hipoklorit mampu memecah ikatan karbon dan struktur lignin sehingga dapat menurunkan kandungan lignin hingga 19 persen. Delignifikasi akan meningkatkan efektivitas hidrolisis selulosa. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan *pretreatment* dengan asam, NaOH, kapur tohor, dan larutan organik, yang keempatnya mempunyai

pengaruh yang berbeda terhadap komoditas atau asal bahan berlignoselulosa tersebut (Sunarti dan Richana. 2007).

Proses hidrolisis. Konversi polisakarida menjadi monomer-monomer dapat dilakukan dengan proses hidrólisis baik secara enzimatik maupun secara kimiawi. Hidrólisis secara kimiawi biasanya menggunakan asam, yaitu asam sulfat, asam klorida dan asam fosfat. Hidrolisis asam pada dasarnya ada dua macam yaitu hidrolisis asam dengan konsentrasi tinggi dan pada suhu rendah dan hidrólisis asam konsentrasi rendah pada suhu tinggi (Tahezadeh dan Karimi. 2007a). Selama proses hidrolisis akan menghasilkan glukosa, manosa, xilosa atau campuran senyawa fenolik (Lopez *et al.* 2004).

Hidrolisis asam dengan konsentrasi rendah dapat digunakan sebagai langkah perlakuan awal (*pretreatment*) untuk proses hidrólisis secara enzimatik. Perlakuan awal hidrólisis enzimatik pada limbah lignoselulosik menggunakan H_2SO_4 1% pada suhu 80-120°C akan dapat melemahkan ikatan-ikatan selulosa. Pretreatment dapat dilakukan selama 5 menit pada suhu 180°C atau 30-90 menit pada 120°C (Tahezadeh dan Karimi. 2007b).

Proses hidrolisis cara enzimatik menggunakan enzim β -glukosidase atau lignoselulase. Koesnandar (2001) telah meneliti hidrolisis selobiosa menjadi glukosa menggunakan enzim β -glukosidase yang berasal dari *Lipomyces starkeyi* HUT 7263. Disamping itu perombakan selulosa sering digunakan enzim selulase. Selulase adalah enzim yang dapat mengkatalis terjadinya reaksi hidrólisis selulosa menjadi glukosa. Keuntungan hidrólisis enzim dibanding asam yaitu kondisi reaksi ringan dan tidak terjadi reaksi samping yang berarti.

Enzim selulase dapat diproduksi oleh mikroba. *Trichoderma viride* adalah kapang yang mampu menghasilkan enzim selulolitik yang sangat efisien, terutama enzim yang mampu mengkatalisis reaksi hidrolisis kristal selulosa (Kosaric *et al.*,

1982). Enzim yang mampu mengkatalisis reaksi hidrolisis selulosa disebut selulase. Hidrolisis enzimatik tongkol jagung yang diberikan perlakuan awal H_2SO_4 1% pada suhu $180^\circ C$ kemudian dihidrolisis dengan enzim selulase kasar *T. viride* dan enzim glukamilase kasar *A.niger* yang dilakukan pada suhu $50^\circ C$, pH 4,8 selama 60 jam menghasilkan 45,7 g/l etanol melalui system produksi *fed batch* (Chen *et al.* 2007). Hasil penelitian Sunarti dan Richana (2007) selulase dari *Trichoderma viride* pada media tongkol jagung yang sudah terdelignifikasi mampu menghidrolisis 1-3% selulosa menghasilkan selo-oligosakarida yang tidak larut air dalam jumlah besar, dan selobiosa dan glukosa yang larut air.

Seperti halnya pada proses pengolahan bioetanol dari bahan baku sumber pati maka proses hidrolisis ini dapat dilakukan bersamaan dengan fermentasi. Sakarifikasi (hidrolisis) dan fermentasi sinambung dapat memperbaiki kinetika fermentasi dan biaya produksi (Wright *et al.* 1988) serta meningkatkan efisiensi konversi selulosa menjadi etanol 25 persen lebih baik dibanding bila sakarifikasi dan fermentasi dilakukan terpisah atau bertahap (Spangler dan Emert. 1986)

Proses Fermentasi. Fermentasi merupakan tahap paling kritis dalam produksi etanol. Semua sumber bahan baku yaitu sumber gula, pati, dan serat setelah menjadi gula maka prosesnya sama yaitu fermentasi. Fermentasi merupakan proses biokimia dimana mikroba yang berperan dalam fermentasi akan menghasilkan enzim yang mampu mengkonversi substrat menjadi etanol. Substrat yang digunakan adalah bahan bergula dengan 6 atom C. Faktor utama yang berpengaruh terhadap *yield* produk dan efisiensi fermentasi meliputi kondisi fisik inokulum, faktor lingkungan selama fermentasi dan mutu substrat. Kondisi fisik inokulum sesuai dengan kondisi pertumbuhan optimal mikroba spesifik yang digunakan. Kondisi lingkungan yang banyak berpengaruh adalah pH, suhu, kapasitas buffer,

kontaminan, konsentrasi substrat, kandungan alkohol, jenis khamir, pasokan oksigen dan agitasi.

Khamir yang umum digunakan dalam fermentasi menurut Harisson dan Graham (1970) adalah *Saccharomyces cerevisiae* karena jenis ini dapat diproduksi tinggi, toleran terhadap alkohol yang cukup tinggi (12-18% v/v), tahan terhadap kadar gula yang tinggi dan tetap aktif melakukan fermentasi pada suhu 4-32°C. Menurut Kunkee dan Mardon (1970) *Saccharomyces cerevisiae* dapat memfermentasi glukosa, sukrosa, galaktosa serta rafinosa. Frazier dan Westhoff (1978) menyatakan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* yang termasuk *top yeast* tumbuh cepat dan sangat aktif memfermentasi pada suhu 20°C. *Saccharomyces cerevisiae* var *Ellipsoides* mampu menghasilkan etanol dalam jumlah yang tinggi pada media yang sesuai dengan pertumbuhannya yaitu 16% dari bahan baku bukan sirup dan 18% dari bahan baku sirup. Penggunaan substrat yang berlebih dapat menghambat kinerja khamir. *Saccharomyces* sp. mampu tumbuh dengan optimal dan mengkonsumsi semua gula pada substrat dengan konsentrasi 16-24 persen dan akan diperoleh etanol 8-12 persen (Wu *et al.* 2000).

Fermentasi glukosa menjadi etanol pada awalnya dilakukan secara aerobik kemudian dilanjutkan dengan fermentasi anaerobik, yaitu tanpa adanya suplai oksigen dan tanpa agitasi. Kondisi fermentasi dipertahankan pada pH 5-5,5, suhu 32°C dan berlangsung selama 48-56 jam. Selama proses fermentasi berlangsung akan dihasilkan gas karbondioksida. Menurut Rose (1987), fermentasi glukosa ini berjalan lebih cepat dan spontan karena sifatnya yang fermentative. Hal ini akan menimbulkan panas yang menyebabkan suhu fermentor terus meningkat.

Fermentasi anaerobik berjalan sesuai biosintesis *Embden-Meyerhof Pathway* (EMP) yaitu merupakan reaksi konversi

glukosa menjadi asam piruvat yang kemudian dapat diubah menjadi berbagai produk (etanol, asam laktat, asam format, asam asetat, asam propionate, isopropanol, asam butirat, butanoldan sebagainya). Selama proses berlangsung dua molekul ADP diubah menjadi ATP. Selanjutnya ATP tersebut diregenerasi kembali menjadi ADP, dan pada akhir proses fermentasi menghasilkan dua mol ATP.



Senyawa ATP yang dihasilkan dari jalur anaerobik ini membutuhkan 2 mol senyawa fosfat sebagai nutrisi untuk setiap mol glukosa yang mengalami metabolisme. Sumber senyawa fosfat bebas ini berasal dari reaksi-reaksi yang mengkonsumsi ATP dan mengeluarkan senyawa monofosfat. Senyawa ATP yang dihasilkan ini merupakan energi tinggi yang melepaskan panas ke lingkungan, sehingga suhu fermentasi berangsur-angsur meningkat.

BAB IV.

KUANTITAS PISIK BIOMASSA TANAMAN

Pemanfaatan biomassa tanaman tidak lepas dengan besaran kuantitas pisik maupun kualitas biomassa itu sendiri, atau lebih tepatnya adalah bobot masing-masing bagian tanaman maupun proksimatnya. Bobot bagian tanaman dapat mengarahkan pemanfaatan ada bagaian tanaman yang mana yang paking banyak, disertai syarat proksimat biomasnya yang memenuhi syarat untuk masing-masing kegunaan, misalnya bagain tanaman mana yang mengandung hemiselulosa, lignin, selulosa maupun serat tertentu yang nantinya bermanfaat untuk bioenergy, pupuk organik atau kompos maupun keremahan serat yang sesuai untuk pakan. Parameter tersebut secara alami berbeda untuk masing-masing tanaman. Misalnya tanaman bentuk pohon seperti tanaman karet pasti biomassa batangnya akan paling banyak, namun belum tentu secara proksimat paking banyak juga bahan yang sesuai untuk bioenergy. Berbeda lagi misalnya tanaman tebu di mana daun muda atau pucuknya yang sedikit tetapi sejak dulu peternak banyak memanfaatkan untuk pakan karena mengandung keremahan yang bagus dan seterusnya tergantung kepada jenis tanamannya. Oleh karena itulah parameter bobot dan proksimat yang terkait dengan

pemanfaatan biomassa untuk bahan organik, pakan dan bioenergi ke depan perlu terus dikembangkan ipteknya.

4.1. Bobot Biomassa Tanaman Tebu

Tebu contoh dari pertanaman rakyat di Desa Palasa Kecamatan Kertajati Kabupaten Majalengka dan Desa Cibuluh Kecamatan Ujung Jaya Kabupaten Sumedang Jawa Barat diukur bobot biomasnya. Tanaman tebu contoh diambil dari pertanaman tebu ditanam dengan PKP (pusat ke pusat) 120 cm, merupakan tanaman PC (plan cane) penanaman tahaun 2014 varietas yang ditanam BL (bululawang) (Gambar 2). Hasil panen tebu dijual dalam bentuk batang segar ke PG Jati tujuh Majalengka. Hasil pengamatan pada tanaman tebu umur 12 bulan diperoleh rata-rata jumlah batang per rumpun 5,6 tinggi tanaman 310 cm diameter batang 1,6 cm jumlah daun segar per batang 9 Sedang untuk tanaman tebu umur 6 bulan diperoleh jumlah batang per rumpun sebanyak 6 dengan diameter batang 1,7 tinggi tanaman 172 cm dengan jumlah daun segara sebanyak 12 lembar.

Hasil pengukuran bobot biomassa tebu terbanyak adalah pada bagian batang, baik umur 6 bulan maupun 12 bulan (Tabel 3). Bobot batang merupakan 84,76 – 92,0 % dari bobot biomassa tanaman tebu secara keseluruhan. Walaupun nantinya diproses menjadi bagas dan niranya, bobot bagas masih paling besar bobotnya dibandingkan dengan daun maupun akarnya.



Gambar 2. Biomassa Tebu umur sekitar 12 bulan

Tabel 3. Bobot Biomassa Tanaman Tebu

No	Bagian Tanaman	Berat per tanaman		Hemiselu losa (%)	Selulosa (%)	Pemanfaatan oleh Petani			
		Basah (kg)	Basah %			Energi	Pakan	Pu-puk	Lain-lain
	Umur 6 bulan								
	Daun	0.82	13.5761	11,45-14,01	12,57-14,50	V	V	V	
	Batang	5.12	84.76821	10,93	10,51	V			
	Akar	0.1	1.655629	9,31	13,80	V			
	Berat per rumpun	6.04	100						
	Berat per Ha	120.800							
	Umur 12 bulan								
	Daun	0.64	6.808511	12,00-12,63	11,67-14,38	V	V	V	
	Batang	8.65	92.02128	14,70	11,84	V			
	Akar	0.11	1.170213	11,54	15,67	V			
	Berat per rumpun	9.4	100						
	Berat per Ha	188.000							

Keterangan : Batang sudah dihancurkan dan dikeringkan

Untuk diubah menjadi bioetanol sebenarnya adalah biomassa yang mengandung hemiselulosa dan selulosa tinggi. Akar yang selulosanya tinggi tetapi bobotnya rendah. Jadi pada tebu memang batangnya yang menjadi biomassa utama yang dikenal selama ini yaitu memanfaatkan bagasnya. Pada pusuk daun selain jumlahnya kecil, biomassa ini cocok untuk pakan, karena ADF (acid detergent fiber) yang merupakan indikator pencernaan hijauan daun tebu lebih rendah dibanding batang dan akar. Pencernaan bahan pakan serat akan sangat dipengaruhi oleh kandungan penyusun dinding sel bahan yaitu serat, lignin, selulosa dan hemiselulosa dan indikatornya antara lain kandungan ADF yang rendah (van Der Meer dan van Es, 2001). Ke depan pemanfaatan biomassa tebu untuk bagian pusuk daun sebaiknya untuk pakan ternak seperti selama ini sudah praktikkan oleh para peternak di Indonesia.

4.2. Bobot Biomassa Tanaman Kakao

Sejumlah 5 tanaman kakao contoh yang berumur lebih dari 30 tahun di desa Ubrug, Kecamatan Warung kiara, Kabupaten Sukabumi diukur biomasanya. Pengambilan contoh ke dua sejumlah 5 tanaman kakao yang berumur 5 tahun di desa Pakuhaji, Pakuwon, Kecamatan Parungkuda, Kabupaten Sukabumi. Potensi biomassa tanaman kakao : akar, daun, batang , ranting, dan limbah kulit buah kakao. Asumsi jarak tanam 4×4 m, jadi populasi per hektar = 625 pohon. Sampai saat ini pemanfaatan kulit buah kakao di perkebunan – perkebunan besar adalah sebagai pupuk tanaman dengan cara ditimbun disela – sela tanaman kakao. Kulit buah kakao beratnya mencapai 75 % dari seluruh berat buah, sehingga dapat dikatakan bahwa limbah utama pengolahan buah kakao adalah kulit (cangkangnya). Setiap tanaman kakao rata – rata dapat menghasilkan 30 buah / tahun dengan berat 300 – 500 gram / buah. Bila digunakan jarak tanam $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, maka untuk setiap hektar lahan dapat ditanami

625 pohon. Buah kakao yang dihasilkan sekitar 7,5 ton / ha / tahun. Berat kulit buah kakao mencapai 75 % seluruh berat buah atau setara dengan 5,6 ton / ha / tahun (Supriyanto, 1989, dalam Wulan , S.N. , 2001).

Pada tanaman kakao, biomassa sebagian besar adalah dari ranting kecil, ranting cabang sampai pada batang utamanya, berturut-turut 7,89% , 26,93%, dan 32,11% serta akar cabang, akar tunggang berturut-turut bobotnya 6,87% dan 3,47% (Tabel 4a dan 4b). Jika dijumlahkan bobotnya sekitar 77 % dari bobot biomassa tanaman umur 22 tahun dan sekitar 74 % untuk tanaman umur sekita 5 tahun. Jumlah ini dapat dimanfaatkan saat peremajaan pertanaman, sedangkan daunnya biasanya untuk bahan pakan maupun bahan pupuk organik.

Tabel 4.. Bobot Biomassa Tanaman Kakao Umur 5 Tahun

No	Bagian tanaman	Berat per tanaman (kg)				Hemiselu losa (%)	Selulose (%)	Peruntukan Oleh Petani			
		Basah (gr)	Basah %	Kering %	Kering(gr)			Energi	Pakan	Pupuk	Lain-2
Umur 5 tahun											
	Berat daun kering	0.85	1.56	3.10	0.85			v		v	
	Berat daun hijau	8.45	15.46	21.89	6.01	9,80-14,97	9,04-12,85	v	v	v	V
	Berat ranting kecil	6.64	12.14	12.25	3.36	9,23	10,63	v			
	Berat cabang tanaman (2)	16.11	29.48	26.44	7.26	10,19	11,19	v			
	Berat batang pokok/utama	13.43	24.57	23.84	6.55	9,81	21,19	v			
	Akar tunggang	5.72	10.47	8.40	2.31	12,79	5,51	v			
	Akar cabang	1.89	3.45	3.46	0.95	7,66	24,63	v			
	Buah	1.58	2.89	0.61	0.17	7,92	11,51	v	v	v	V
	Berat per pohon	54.66	100.0	100.0	27.46						
	Berat pohon per ha (1.500 phn/ha)	81,997			41,187						

Keterangan : Pada kolom lain-lain, daun hijau kadangkala untuk bungkus tempe

Tabel 5. Bobot Biomassa Tanaman Kakao Umur 22 tahun

No	Bagian tanaman	Berat per tanaman (kg)				Hemiselu losa (%)	selulose (%)	Peruntukan oleh Petani			
		Basah (gr)	Basah %	Kering %	Kering(gr)			Energi	Pakan	Pupuk	Lain-2
Umur 22 tahun											
	Berat daun kering	3.94	5.23	10.92	3.94			v		v	
	Berat daun hijau	7.74	10.27	11.20	4.04	7,31-8,71	23,13-25,29	v	v	v	V
	Berat ranting kecil	6.76	8.98	7.89	2.84	3,28	23,62	v			
	Berat cabang tanaman (2)	23.10	30.68	26.93	9.71	3,90	27,45	v			
	Berat batang pokok/utama	23.28	30.92	32.11	11.58	3,24	30,77	v			
	Akar tunggang	5.61	7.45	6.87	2.48	3,05	25,32	v			
	Akar cabang	2.77	3.68	3.47	1.25			v			
	Buah	2.10	2.79	0.62	0.22			v	v	v	V
	Berat per pohon	75.29	100	100	36.05						
	Berat pohon per ha (1.500 phn/ha)	112,942			54,080						

4.3. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit

Biomassa tanaman kelapa sawit contoh diukur biomasnya dan dilakukan di dua desa yaitu 1) Desa Cicaringin Kecamatan Gunung Kencana Kabupaten Rangkas Bitung Propinsi Banten.2) Desa Brojo Luruh Kecamatan Brojo Selehah Kabupaten Lampung Timur propinsi Lampung. Di desa Cicaringin, tanaman contoh berumur 30 Tahun Tanaman ditanam pada lahan kering jenis tanah Podsolik dengan jarak tanam 9x8 m. Pada kondisi umur seperti ini tanaman sudah kurang produktif dan akan segera diremajakan. Hasil pengamatan diperoleh tinggi tanaman 10,3 m diameter batang atas 34 cm, batang tengah 55 cm dan batang bawah 91 cm. Di desa Brojo Luruh, diambil dua tanaman contoh yaitu yang berumur 12 tahun dan 19 tahun. Pada contoh yang berumur 12 tahun, jarak tanamnya 9x8 m. Hasil panen berupa tandan segar dijual ke PTPN VII Kebun Cisalak Baru Rangkas Bitung. Hasil pengamatan diperoleh tinggi tanaman 3,75 m, diameter batang atas 35 cm, tengah 51 cm dan bawah 73 cm. Pada contoh tanaman yang berumur 19 tahun tanaman jarak tanamnya 8x8 m. Hasil pengamatan antara lain tinggi tanaman

terukur 5,82 m, diameter batang atas 43 cm, tengah 60 cm dan bawah 82 cm.

Tabel 6. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit 12 tahun Lampung Timur

Bagian Pohon	Bobot Biomassa Tanaman				Peruntukan Oleh Petani					
	Basah (kg)	Basah (%)	Kering(%)	Kering(kg)	Hemilulosa (%)	Selulosa (%)	Biomass Energi	Pakan	Pupuk	Lain-2
Pelepah segar	136.94	14.77	14.65	38.36			V	V	V	V
Daun segar	75.12	8.10	11.16	29.21			V	V	V	V
Pelepah kering	19.65	2.12	7.51	19.65			V			V
Daun kering	10.10	1.09	3.86	10.10			V			V
Batang atas	241.50	26.05	17.95	46.99			V			V
Batang tengah	57.50	6.20	3.99	10.45			V			V
Batang bawah	167.50	18.07	12.79	33.47			V			V
Akar	184.88	19.94	22.34	58.48			V			V
Buah	33.99	3.67	5.74	15.03			V		V	V
Berat per tanaman	927,18	100,0	100,0	261,75						
Berat/ha (138 phn)	127,95			36,12						

Tabel 7. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit Umur 19 Tahun Lampung Timur

Bagian Tanaman	Bobot Biomassa				Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Peruntukan Oleh Petani			
	Basah (kg)	Basah (%)	Kering (kg)	Kering (%)			Energi	Pakan	Pupuk	Lain-2
Daun segar	227.77	10.25	17.10	107.46			V	V	V	V
Pelepah segar	91.07	4.10	4.01	25.23			V	V	V	V
Daun kering	26.37	1.19	4.20	26.37			V			V
Pelepah kering	16.93	0.76	2.69	16.93			V			V
Batang atas	500.00	22.50	15.11	94.98			V			V
Batang tengah	507.00	22.82	15.45	97.09			V			V
Batang bawah	644.69	29.01	24.83	156.06			V			V
Akar	172.95	7.78	14.48	91.03			V			V
Buah	35.37	1.59	2.14	13.44			V		V	V
Per tanaman	2.222.15	100.00	100.00	628.57						
Per ha (38 Phn)	306,657			86,743						

Pohon biomassa tanaman kelapa sawit meliputi daun, pelepah, batang atas, bawah dan batnag bawah sampai akar terukur makin meningkat bobotnya seiring dengan umur tanaman. Bobot tanaman dari umur muda 12 tahun, umur 19 tahun dan ke umur 30 tahun memang meningkat, berturut-turut 927,18 kg, 2.222,15 kg dan 2.945,20 kg (Tabel 5a, 5b dan Tabel 5c).



Gambar 3. Pengambilan biomassa kelapa sawit umur 12 tahun

Tabel 8. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Sawit Umur 30 Tahun Rangkasbitung

Bagian	Bobot Biomassa				Hemise lulusa (%)	Selulosa (%)	Energi	Peruntukan Oleh Petani		
	Basah (kg)	Basah (%)	Kering (%)	Kering (kg)				Pakan	Pu- puk	Lain- lain
Daun	208.58			45.61			V	V	V	
Pelepah segar	449.53			121.20			V	V	V	
Daun kering	43.47			43.47	12,31	21,76	V			
Pelepah kering	70.39			70.39	6,10	26,93	V			
Batang atas	452.50			115.16	8,40	23,13	V			
Batang tengah	625.50			169.55	12,89	27,29	V			
Batang bawah	600.00			163.65	6,84	29,57	V			
Akar 2,5 meter	495.23			108.01	8,47	27,08	V			
Per tanaman	2,945.20			837.04						
Per ha (138 phn)	406,437.92			115,510.94						

4.4. Bobot Biomassa Tanaman Kemiri Sunan

Tanaman kemiri sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) merupakan tanaman dikotil berbentuk pohon, termasuk dalam family *Euphorbiaceae* merupakan tanaman sumber bahan bakar nabati, konservasi tanah dan air, adaptif pada lahan sub optimal, serta penyerap gas rumah kaca (karbon dioksida). Buah

berbentuk bulat dengan diameter rata-rata 6,5 cm berwarna hijau setelah tua dan masak kulit lunak dan mudah pecah, rata-rata dalam satu buah terdapat 3 biji, biji kemiri sunan mengandung minyak. Saat ini tanaman kemiri sunan sedang dikembangkan oleh Pemerintah sebagai tanaman penghasil bahan bakar nabati. Tanaman kemiri sunan pada umumnya dijumpai di pemukiman di Kabupaten Garut, Majalengka dan sekitarnya.



Gambar 4. Proses pembongkaran dan pengambilan biomassa pohon kemiri sunan

Tanaman contoh yang diamati berada di lokasi bernama Balong Desa Limbangan Tengah Kecamatan Balubur Limbangan Kabupaten Garut Jawa Barat tanaman berada pada lahan kering dengan jenis tanah Latosol dengan jarak tanam tidak teratur. Umur tanaman di sekitar tanaman contoh bervariasi dari 5 sampai 40 tahun. Tanaman berbunga pada bulan Juni-Agustus dan panen sekitar bulan Nopember- Januari. Pemanfaatan biji oleh masyarakat sekitarnya dijual untuk benih dan sebagian untuk penelitian pembuatan biodiesel. Batangnya digunakan untuk bangunan dan ranting digunakan untuk kayu

bakar. Hasil pengamatan diperoleh bahwa tinggi tanaman yang telah berumur 40 rata-rata 13,5 m dengan lingkaran batang 162 cm dengan lebar tajuk rata-rata 9 m, sedang tinggi tanaman yang berumur 5 tahun tinggi rata-rata 4,5 m dengan lingkaran batang rata-rata 36,4 cm dengan lebar tajuk rata-rata 4,3 m. Berdasarkan hasil pengamatan secara destruktif diperoleh data bahwa berat segar berumur 40 tahun 477.029,25 kg/tanaman, seperti tercantum pada Tabel 5.

Tabel 9. . Bobot Biomassa Tanaman Kemiri Sunan Umur 40 tahun dan Umur 5 tahun

No	Bagian tanaman	Berat per tanaman (kg)				Peruntukan Oleh Petani			
		Basah (kg)	Basah (%)	Kering (%)	Kering (kg)	Energi	Pakan	Pupuk	Lain-2
1.	Umur 40 Tahun								
	Daun hijau	161.97	5.09	3.62	80.73	v		v	
	Ranting kecil	360.19	11.33	11.46	255.41	v			
	Cabang (2)	157.49	4.95	5.25	116.93	v			V
	Batang utama	2,341.65	73.63	74.49	1,660.44	v			v
	Akar	144.30	4.54	5.06	112.73	v			
	Buah	14.60	0.46	0.13	2.92	v		v	
	Per pohon	3,180.20		100.00	2,229.16				
			100.00						
		Per ha (150 phn)	477,029			334,375			
2.	Umur 5 Tahun								
	Daun hijau	56.33	21.13	15.84	21.83	v		v	
	Ranting kecil	36.17	13.57	9.13	12.58	v			
	Cabang (2)	72.22	27.09	22.06	30.41	v			
	Batang utama	80.78	30.30	43.57	60.07	v			
	Akar	21.06	7.90	9.40	12.96	v			
	Per pohon	266.56	100	100	137.85				
	Per ha (1.500 phn)	39,984			20,677				

Keterangan : Cabang dan batang untuk bahan bangunan

4.5. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Dalam

Pengukuran bobot biomassa tanaman kelapa dalam dilakukan pada tanaman kelapa rakyat di Dusun Cibaregbeg, Desa Ciharalang, Kecamatan Cijeungjing, Kabupaten Ciamis Jawa Barat Tanaman kelapa dalam yang diamati meliputi tanaman umur 5 tahun, 10 tahun dan 20 tahun. Tanaman kelapa dalam contoh diambil dari pertanaman kelapa ditanam dengan jarak tanam 9 x 9 m tumpang sari dengan tanaman

perkebunan lainnya. Hasil panen kelapa dijual dalam bentuk kelapa butiran ke pasar. Hasil pengamatan pada tanaman kelapa umur 5, 10 dan 20 tahun sebagai berikut

Persentase berat segar bagian tanaman kelapa umur 5 tahun adalah pada bagian batang sebesar 57,17% pada saat berat segar dan 47,15% pada saat berat kering. Demikian juga pada tanaman kelapa umur 10 tahun persentase bagian tanaman yang paling berat adalah bagian batang yaitu sebesar 61,04% pada saat berat segar dan 51,39% pada saat berat kering. Demikian juga persentase berat segar bagian tanaman saat umur 20 tahun pada bagian batang sebesar 69,13% dan 63,84% pada saat kering. Semakin tua tanaman bagian batang menunjukkan persentase berat semakin meningkat dibanding bagian lain demikian juga berat total tanaman semakin tua semakin berat Tabel 6. Bagian batang yang telah tua pada umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, sedang bagian buah dimanfaatkan sebagai kelapa sayur yang telah tua dan sebagian dijual sebagai kelapa muda. Bagian yang lain yang dimanfaatkan adalah daun, daun digunakan sebagai makanan ternak dan sisa makanan ternak dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Semakin tua tanaman Kelapa Dalam persentase berat batang semakin tinggi dan semakin tua tanaman total berat tanaman semakin meningkat, berat segar pada umur 5 tahun 392,58 kg dengan berat kering 154,76 kg. Berat segar pada umur 10 tahun 1.243,25 kg dengan berat kering 481,11 kg. Sedang berat segar tanaman pada umur 20 tahun 2.369,24 kg dengan berat kering 975,4 kg..

Tabel 10. Berat bagian biomasa taaman Kelapa Dalam umur 5, 10 dan 20 tahun

No.	Bagian tanaman	Berat segar	%	Berat kering	%	Potensi penggunaan oleh petani			
						Energi	Pakan	Pupuk	Lain-lain
A Umur 5 tahun									
1.	Berat batang atas(kg)	90,33	23,01	22,29	14,40	v			
2.	Berat batang bawah (kg)	134,1	34,16	50,68	32,75	v			-
	Jumlah berat batang (kg)	224,43	57,17	72,87	47,15				
3.	Berat daun (kg)	83,16	21,18	31,43	20,31	v	v	v	v
4.	Berat akar (kg)	84,99	21,65	50,36	32,54	v			
	Jumlah	392,58	100	154,76	100				
B Umur 10 tahun									
1.	Berat batang atas(kg)	236,04	18,99	76,91	15,99	v			
2.	Berat batang tengah (kg)	326,7	26,28	106,44	22,12	v			V
3.	Berat batang bawah (kg)	196,06	15,77	63,88	13,28	v			V
	Jumlah berat batang (kg)	758,17	61,04	247,23	51,39				
4.	Berat buah	58,7	4,72	9,40	1,95	v	v	v	V
5.	Berat daun (kg)	179,46	14,43	68,42	14,22	v	v	v	v
6.	Berat akar (kg)	246,29	19,81	156,06	32,44	v			
	Jumlah	1.243,25	100	481,11	100				
C Umur 20 tahun									
1.	Berat batang atas(kg)	586,65	24,76	223,06	22,87	v			
2.	Berat batang tengah (kg)	863,81	36,46	328,44	33,67	v			v
3.	Berat batang bawah (kg)	187,39	7,91	71,25	7,30	v			v
	Jumlah berat batang (kg)	1.637,85	69,13	622,75	63,84				
4.	Berat buah	110,15	4,65	26,19	2,69	v	v	v	v
5.	Berat daun (kg)	265,09	11,19	96,45	9,89	v	v	v	v
6.	Berat akar (kg)	356,15	15,03	230,01	23,58	v			
	Jumlah	2.369,24	100	975,4	100				



(a)



(b)

Gambar 5. Pengamatan biomassa kelapa dalam Umur a) 5 tahun, b) 20 tahun

4.6. Bobot Biomassa Tanaman Kelapa Genjah

Pengukuran bobot biomassa tanaman kelapa dilakukan pada tanaman kelapa genjah kuning pada perkebunan rakyat di Desa Ciulu, Kecamatan Banjarsari Kabupaten Ciamis Propinsi Jawa Barat. Tanaman kelapa genjah yang diamati meliputi tanaman umur 5 tahun, 10 tahun dan 20 tahun. Tanaman kelapa dalam contoh diambil dari pertanaman kelapa ditanam dengan jarak tanam 7×7 m tumpang sari dengan tanaman perkebunan lainnya. Pengamatan tanaman kelapa genjah kuning dilakukan pada tanaman umur 5 tahun, 10 tahun dan 20 tahun. Hasil pengamatan diperoleh bahwa pada tanaman Kelapa Genjah umur 5 tahun persentase berat segar bagian tanaman tertinggi pada bagian batang sebesar 50,00% dengan berat kering 37,75%. Pengamatan pada umur 10 tahun diperoleh bahwa berat bagian tanaman tertinggi pada batang dengan berat segar 48,7% dengan berat kering 43,80%. Demikian juga pengamatan pada tanaman umur 20 tahun diperoleh bahwa bagian batang merupakan bagian tanaman terberat dengan berat segar 49,04% dengan berat kering 45,69. Semakin tua umur tanaman persentase berat bagian batang semakin tinggi dan semakin tua umur tanaman berat tanaman semakin meningkat pada tanaman umur 5 tahun diperoleh berat segar tanaman 295,35 kg dengan berat kering 125,91 kg, tanaman umur 10 tahun berat segar 594,33 kg dengan berat kering 215,32 kg, tanaman umur 20 tahun berat segar 662,78 kg dengan berat kering 270,49 kg. Bagian batang yang telah tua pada umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, sedang bagian buah dimanfaatkan sebagai kelapa sayur yang telah tua dan sebagian dijual sebagai kelapa muda. Bagian yang lain yang dimanfaatkan adalah daun, daun digunakan sebagai makanan ternak dan sisa makanan ternak dimanfaatkan sebagai pupuk organik (Tabel 7).

Tabel 11. Berat bagian bimasa taaman Kelapa Genjah umur 5,10 dan 20 tahun

No.	Bagian tanaman	Berat segar	%	Berat kering	%	Peotensi penggunaan oleh petani			
						Energi	Pakan	Pupuk	Lain-lain
A	Umur 5 tahun								
1.	Berat batang atas(kg)	63.17	21.39	15.59	12.38	v			
2.	Berat batang bawah(kg)	84.50	28.61	31.94	25.37	v			v
	Jumlah berat batang (kg)	147,67	50,00	47,53	37,75				
3.	Berat daun (kg)	42.56	14.41	16.09	12.78	v	v	v	v
4.	Berat akar (kg)	105.12	35.59	62.29	49.47	v			
	Jumlah	295.35	100.00	125.91	100.00				
B	Umur 10 tahun								
1.	Berat batang atas(kg)	88.15	14.83	28.72	13.34	v			
2.	Berat batang tengah (kg)	128.50	21.62	41.87	19.45	v			v
3.	Berat batang bawah(kg)	72.80	12.25	23.72	11.02	v			v
	Jumlah berat batang (kg)	289.45	48.70	94.31	43.80				
4.	Berat buah	59.42	10.00	9.52	4.42	v	v	v	v
5.	Berat daun (kg)	95.29	16.03	36.33	16.87	v	v	v	v
6.	Berat akar (kg)	150.17	25.27	75.16	34.91	v			
	Jumlah	594.33	100.00	215.32	100.00				
C	Umur 20 tahun								
1.	Berat batang atas(kg)	76.50	11.54	29.09	10.75	v			
2.	Berat batang tengah (kg)	170.00	25.65	64.64	23.90	v			v
3.	Berat batang bawah(kg)	78.50	11.84	29.85	11.04	v			v
	Jumlah berat batang (kg)	325.00	49.04	123.58	45.69				
4.	Berat buah	56.84	8.58	13.51	4.99	v	v	v	v
5.	Berat daun (kg)	94.92	14.32	34.53	12.77	v	v	v	v
6.	Berat akar (kg)	186.02	28.07	98.87	36.55	v			
	Jumlah	662.78	100.00	270.49	100				



Gambar 6. Kelapa genjah Umur 20 tahun

4.7. Bobot Biomassa Tanaman Kopi Arabika

Pengukuran bobot biomassa tanaman kopi arabika dilakukan pada tanaman kopi rakyat di Desa Tlahab, Kecamatan Kledung, Kabupaten Temanggung Jawa Tengah. Tanaman kopi arabika yang diamati meliputi tanaman umur 5 tahun, 10 tahun dan 15 tahun. Tanaman kopi arabika contoh diambil dari pertanaman kopi arabika ditanam dengan jarak tanam 9×2 m tumpang sari dengan tanaman perkebunan lainnya. Pada tanaman kopi arabika yang masih muda umur 5 tahun bagian tanaman yang aling berat adalah bagian daun yaitu sebesar 35,53% berat segar dan 27,72% berat kering, sedang berat batang segar 18,02 dengan berat segar 24,50% lebih rendah jika disbanding dengan persentase berat daun. Hal ini mungkin disebabkan pada umur 5 tahun pertumbuhan tanaman didominasi tahap vegetative sehingga berat daun lebih tinggi jika dibanding dengan berat bagian generatifnya. Sedang pada tanaman yang telah berumur 10 tahun persentase berat bagian batang tertinggi. Berat segar bagian batang 27,52% dengan berat kering 26,40% lebih tinggi dibanding dengan bagian lain. Demikian juga pada tanaman yang telah berumur 20 tahun persentase bagian batang merupakan bagian paling berat dibanding dengan yang lain yaitu berat segar 28,54% dan berat kering 30,26%. Semakin tua tanaman persentase berat batang semakin tinggi jika dibanding tanaman yang lebih muda. Semakin tua umur tanaman berat tanaman juga semakin tinggi pada tanaman berumur 5 tahun berat segar 9,71 kg dengan berat kering 4,04 kg tanaman. Tanaman umur 10 tahun berat segar tanaman 18,75kg dengan berat kering 8,22 kg. Tanaman umur 20 tahun diperoleh berat segar tanaman 37,28 kg dengan berat kering 16,03 kg (Tabel 8).

Tabel 12. Rata-rata berat segar dan kering bagian tanaman kopi arabika umur 5, 10 dan 20 tahun

No.	Umur/ Bagian tanaman	Berat segar	%	Berat kering	%	Potensi penggunaan oleh petani			
						Energi	Pakan	Pupuk	Lain-lain
A		Umur 5 tahun							
1.	Berat cabang (kg)	1.38	14.21	0.57	14.11	v			
2.	Berat batang (kg)	1.75	18.02	0.99	24.50	v			
3.	Berat buah (kg)	2.21	22.76	0.85	21.04	v	v	v	
4.	Berat daun (kg)	3.45	35.53	1.12	27.72	v	v	v	
5.	Berat akar (kg)	0.92	9.47	0.51	12.62	v	v	v	
	Jumlah	9.71	100.00	4.04	100.00	v			
B		Umur 10 tahun							
1.	Berat cabang (kg)	3.54	19,72	1.74	21.17	v			
2.	Berat batang (kg)	4.94	27,52	2.17	26.40	v			
3.	Berat buah (kg)	3.49	19,44	1.87	22.75	v	v	v	
4.	Berat daun (kg)	3.74	20,84	1.12	13.63	v	v	v	
5.	Berat akar (kg)	2.24	12,48	1.32	16.06	v	v	v	
	Jumlah	18.75	100.00	8.22	100.00				
C		Umur 20 tahun							
1.	Berat cabang (kg)	8.53	22,88	4.07	25.39	v			V
2.	Berat batang (kg)	10.64	28,54	4.85	30.26	v			
3.	Berat buah (kg)	6.44	17,27	1.98	12.35	v	v	v	
4.	Berat daun (kg)	7.86	21,08	2.91	18.15	v	v	v	
5.	Berat akar (kg)	3.81	10,22	2.22	13.85	v	v	v	
	Jumlah	37.28	100.00	16.03	100.00				



Gambar 7. Tanaman Kopi Arabika Umur 10 tahun (*kiri*) dan Biomassa akar dan batang Kopi Arabika dalam Umur 20 tahun (*kanan*).

4.8. Bobot Biomassa Tanaman Kopi Robusta

Pengukuran bobot biomassa tanaman kopi Robusta dilakukan pada tanaman kopi rakyat di Desa Kalibanger, Kecamatan Gemawang, Kabupaten Temanggung Propinsi Jawa Tengah. Tanaman kopi robusta yang diamati meliputi tanaman umur 10 tahun, 20 tahun dan 30 tahun. Tanaman kopi robusta contoh diambil dari pertanaman kopi robusta ditanam dengan jarak tanam 3,5 x 3,5 m tanaman ditanam secara monokultur. Hasil pengamatan Kopi Robusta umur 10 tahun diperoleh bahwa berat bagian tanaman tertinggi diperoleh pada bagian batang dengan persentase 30,95% berat segar dan 34,99% berat kering (Tabel 9). Pada pengamatan pada umur 20 tahun persentase berat tertinggi pada bagian batang baik berat segar maupun berat kering masing-masing 30,30% dan 38,77%. Demikian juga pengamatan pada umur 30 tahun bagian batang merupakan bagian paling berat persentasenya dengan berat segar dan berat kering masing-masing 36,47% dan 40,71%. Semakin tua tanaman yang diamati berat bagian batang semakin tinggi, dan semakin tua umur tanaman berat total tanaman semakin tinggi berat tanaman Kopi Robusta umur 10 tahun 13,44 kg berat segar, 6,43 kg berat kering. Berat segar tanaman pada umur 20 tahun 37,49 kg dan 16,97 kg berat kering. Sedang pada tanaman umur 30 tahun diperoleh berat paling tinggi dengan berat segar 83,24 kg dengan berat kering 41,98 kg. Petani pada umumnya memanfaatkan biji sebagai hasil utama sedang bagian kulit biji dan daun digunakan sebagai pupuk organik.

Tabel 13. Rata-rata berat segar, kering dan persentase bagian tanaman kopi Robusta umur 10, 20 dan 30 tahun

No.	Umur/ Bagian tanaman	Berat segar	%	Berat kering	%	Peruntukan oleh petani			
						Energi	Pakan	Pupuk	Lain-lain
A	Umur 10 tahun								
1.	Berat cabang (kg)	2.23	16.59	1.10	17.11	v			
2.	Berat batang (kg)	4.16	30.95	2.25	34.99	v			
3.	Berat buah (kg)	1.78	13.24	0.59	9.18	v		v	
4.	Berat daun (kg)	2.38	17.71	0.86	13.37	v	v	v	
5.	Berat akar (kg)	2.89	21.50	1.63	25.35	v			
	Jumlah	13.44	100	6.43	100				
B	Umur 20 tahun								
1.	Berat cabang (kg)	5.87	15.66	2.76	16.26	v			v
2.	Berat batang (kg)	11.36	30.30	6.58	38.77	v			
3.	Berat buah (kg)	9.15	24.41	2.66	15.67	v		v	
4.	Berat daun (kg)	3.64	9.71	1.29	7.60	v	v	v	
5.	Berat akar (kg)	7.47	19.93	3.68	21.69	v			
	Jumlah	37.49	100	16.97	100				
C	Umur 30 tahun								
1.	Berat cabang (kg)	17.80	21.38	9.16	21.82	v			v
2.	Berat batang (kg)	30.36	36.47	17.09	40.71	v			
3.	Berat buah (kg)	7.36	8.84	2.21	5.26	v		v	
4.	Berat daun (kg)	7.36	8.84	3.34	7.96	v	v	v	
5.	Berat akar (kg)	20.36	24.46	10.18	24.25	v			
	Jumlah	83.24	100	41.98	100				



Gambar 8. Tanaman kopi robusta umur 20 tahun (*kiri*) dan Biomassa akar dan batang kopi robusta umur 30 tahun (*kanan*)

4.9. Bobot Biomassa Tanaman Jarak Pagar

Pengukuran bobot biomassa tanaman jarak pagar dilakukan pada tanaman jarak pagar di Desa Muktiharjo, Kecamatan Tlogorejo, Kabupaten Pati Jawa Tengah. Tanaman jarak pagar yang diamati meliputi tanaman umur 5 tahun dan 10 tahun, tanaman jarak pagar contoh diambil dari pertanaman jarak pagar ditanam dengan jarak tanam 4 x 4 m. Persentase bagian terbesar tanaman jarak pagar umur 5 tahun adalah bagian cabang dan ranting dengan berat segar 57,31% dengan berat kering 51,49%. Demikian juga pada tanaman jarak pagar umur 10 tahun persentase cabang dan ranting tertinggi yaitu 51,57% berat segar dan 48,47% berat kering. Semakin tua tanaman jarak pagar semakin besar berat tanaman. Berat tanaman segar pada umur 5 tahun 23,66 kg bert segar dengan 6,39 berat kering setelah umur 10 tahun meningkat dengan berat segar 51,04 kg dan berat kering 14,73 (Tabel 10).

Tabel 14. Rata-rata berat segar kering dan persentase bagian tanaman tanaman jarak pagar umur 5 dan 10 tahun.

No.	Umur/ Bagian tanaman	Berat segar	%	Berat kering	%	Peruntukan oleh petani			
						Energ i	Pakan	Pupuk	Lain-2
A	Umur 5 tahun								
1.	Berat daun (kg)	2.36	9.97	0.47	7.36	v		v	
2.	Berat batang (kg)	4.16	17.58	1.42	22.22	v			
3.	Berat cabang dan ranting (kg)	13.56	57.31	3.29	51.49	v			
4.	Berat buah (kg)	0.07	0.30	0.01	0.16	v		v	
5.	Berat akar (kg)	3.51	14.84	1.20	18.78	v			
	Jumlah	23.66	100	6.39	100				
B	Umur 10 tahun								
1.	Berat daun (kg)	2.26	4.42	0.51	3.46	v		v	
2.	Berat batang (kg)	7.97	15.61	2.69	18.26	v			
3.	Berat cabang dan ranting (kg)	26.32	51.57	7.14	48.47	v			
4.	Berat buah (kg)	0.33	0.64	0.04	0.27	v		v	
5.	Berat akar (kg)	14.17	27.77	4.35	29.53	v			
	Jumlah	51.04	100.00	14.73	100.00				



Gambar 9. Biomassa jarak pagar umur 5 tahun (*kiri*) dan Biomassa jarak pagar umur 10 tahun (*kanan*)

4.10. Bobot Biomassa Tanaman Karet

Pengukuran bobot biomassa tanaman karet dilakukan pada tanaman karet rakyat di Dusun Solear, Desa Sindang Mulya, Kecamatan Maja, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten. Tanaman karet yang diamati meliputi tanaman umur 5 tahun, 10 tahun dan 20 tahun. Tanaman karet contoh diambil dari pertanaman karet ditanam dengan jarak tanam 6×4 m tumpang sari dengan tanaman perkebunan lainnya. Hasil pengamatan pada tanaman karet u mur 5, 10 dan 20 tahun dapat dilihat pada Tabel 11, 12 dan 13.

Tabel 15. Berat segar bagian biomassa tanaman karet umur 5 tahun dan peruntukan oleh petani

No.	Bagian tanaman (kg)	Berat segar		Peruntukan oleh petani			
		Berat (kg)	Proporsi (%)	Energi	Pakan	Pupuk	Lain -2
1.	Berat daun	15,78	4.34	v		v	
2.	Berat ranting	80,74	22.19	v			
3.	Berat cabang	70,00	19.24	v			
4.	Berat batang	150,00	41.22	v			
5.	Berat akar	47,37	13.02	v			
	Jumlah	363,89	100				



Gambar 10. Tanaman karet Umur 5 tahun

Tabel 16. Berat segar bagian biomassa tanaman karet dan peruntukan oleh petani umur 20 tahun

No.	Bagian tanaman (kg)	Berat segar		Peruntukan oleh petani			
		Berat (kg)	Proporsi (%)	Energi	Pakan	Pupuk	Lain-2
1.	Berat daun	39,12	6.37	v		v	
2.	Berat ranting	105,08	17.12	v			
3.	Berat cabang	158,64	25.84	v			
4.	Berat batang	243,5	39.66	v			v
5.	Berat akar	67,60	11.01	v			
	Jumlah	613.94	100				



(a)



(b)

Gambar 11. Biomassa perakaran karet umur (a) 10 tahun dan (b) 20 tahun

Tabel 17. Berat segar bagian biomassa tanaman karet dan peruntukan oleh petani umur 20 tahun

No.	Bagian tanaman (kg)	Berat segar		Peruntukan oleh petani			
		Berat (kg)	Proporsi (%)	Energi	Pakan	Pupuk	Lain-2
1.	Berat daun	50,72	5.70	v		v	
2.	Berat ranting	193,89	21.79	v			
3.	Berat cabang	178,50	20.06	v			
4.	Berat batang	360,50	40.52	v			v
5.	Berat akar	106,00	11.92	v			
	Jumlah	889,61	100				

Peruntukan biomassa tanaman karet menurut kebiasaan petani.

Rata-rata kepemilikan tanaman karet seluas 0,45 ha dengan jumlah tanaman rata-rata sebanyak 290 pohon. Petani menggunakan daun tanaman karet biasanya untuk energy dengan membakar langsung daun-daun yang kering di lapang atau di bawa pulang untuk suluh api sebelum kayu terbakar. Disamping itu petani ada sebagian menggunakan daun kering atau daun yang masih segar hasil tebangan digunakan untuk pupuk dengan cara memasukan daun-daun kering ke dalam lubang-lubang yang dibuat disekitar tanaman karet. Bagian ranting, cabang, batang, tunggul dan akar hasil tebangan tanaman karet oleh petani pada umumnya dijual digunakan untuk membakar bata merah dijual dengan harga Rp. 120.000 per m³. Besaran rata-rata tanaman berumur 10 tahun sebesar 0,5 m³, umur 15 tahun sebesar 1 m³, umur 20 tahun sebesar 1,5 m³ perbandingan batang : cabang dan ranting 60% : 40%.

Bagian batang apabila tanaman sudah besar umur diatas 15 tahun batang karet yang lurus dengan ukuran panjang 5-6 meter dijual untuk bangunan sebagai kusen, kaso balokan dll dengan harga bervariasi tergantung ukuran kayu dan umur tanaman. Tanaman karet dengan pertumbuhan normal umur 20 tahun dijual dengan harga Rp. 75.000 per batang sedang umur diatas 30

tahun dijual dengan harga Rp. 200.000. Ranting, cabang batang dan tunggul akar sebagian petani ada yang menggunakan untuk dibuat arang, 1 m³ bahan setelah diolah menjadi arang sebanyak 4 karung harga per karung arang Rp. 20.000.

Proporsi berat biomassa bagian-bagian tanaman karet dari umur sekitar 5 tahun sampai umur 20 tahun cenderung tidak banyak berubah. Daun kering yang ada di ranting tanaman adalah sekitar 3.52-4.90 % dari berat total pohon, ranting sekitar 17.97-20.81 %, cabang 23.01-25.33 %, batang 41.41-43.15 % dan akar sekitar 10.19-12.38 % (Tabel 14). Jika dijumlahkan, proporsi berat ranting dan cabang hampir sama dengan berat batangnya, yaitu sekitar 42 %. Jika batang karet biasanya dimanfaatkan petani untuk bahan bangunan, maka petani sebenarnya bisa mendapatkan biomassa ranting dan cabang dengan jumlah yang hampir sama dengan batangnya. Masyarakat mendapatkan hasil dari penjualan cabang dan ranting lebih banyak dibandingkan menjual batangnya. Tanaman umur 20 tahun diperoleh sekitar 1.5 m³ cabang dan ranting untuk bahan bakar bata merah dll. dengan harga Rp. 120 ribu/m³, sedangkan umur yang sama hanya dihargai Rp. 75 ribu per batang dan Rp 200 ribu/batang untuk umur 30 tahun, keduanya untuk bahan bangunan. Jadi ranting dan cabang tanaman karet memiliki potensi untuk diproses sebagai energi biomassa maupun manfaat yang lebih tinggi dibandingkan batang karet. Keuntungan lain adalah bahwa, ranting dan cabang dapat dipanen lebih dari satu kali yaitu saat pemangkasan dan perawatan tanaman, sedangkan batang hanya diperoleh pada satu kesempatan saja, yaitu saat ditebang atau saat peremajaan. Kajian lain selanjutnya sebenarnya dapat saja mendapatkan data rinci, sejauh mana atau berapa jumlah panen ranting dan cabang sepanjang umur tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk bioenergi, termasuk dalam hal ini bahan bakar kayu di pedesaan. Hal ini tentu

memerlukan pencatatan harian atau mingguan melalui kajian yang dapat dilakukan selanjutnya.

Tabel 18. Berat Kering dan proporsi Biomassa Bagian Tanaman Karet Umur 5 - 20 tahun

No.	Bagian tanaman	5 th		10 th		20 th	
		Berat (kg)	Proporsi (%)	Berat (kg)	Proporsi (%)	Berat (kg)	Proporsi (%)
1.	Berat daun	6.38	3.52	17.15	4.90	22,63	4.50
2.	Berat ranting	37.69	20.81	62.90	17.97	93,40	18.59
3.	Berat cabang	39.64	21.89	88.67	25.33	115,63	23.01
4.	Berat batang	75.00	41.41	145.65	41.61	216,81	43.15
5.	Berat akar	22.42	12.38	35.68	10.19	54,02	10.75
	Jumlah	181.13	100	350.05	100	502,48	100

4.11. Bobot Biomassa Tanaman Teh

Pengukuran bobot biomassa tanaman teh dilakukan pada tanaman teh perkebunan rakyat di Desa Sirnajaya, Kecamatan Cisurupan, Kabupaten Garut, Propinsi Jawa Barat. Tanaman teh yang diamati meliputi tanaman umur 10 tahun, 20 tahun dan 30 tahun. Tanaman teh contoh diambil dari pertanaman teh perkebunan rakyat ditanam dengan jarak tanam 1,2 x 0,9 m monokultur. Pengambilan sampel dilakukan pada tanaman umur 10 tahun, 20 tahun dan 30 tahun. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 15, 16 dan 17.

Tabel 19. Berat bagian biomassa taaman Teh umur 10 tahun

No.	Bagian tanaman (kg)	Umur 10 tahun				Peruntukan oleh petani			
		Berat segar	%	Berat kering	%	Energi	Pakan	Pupuk	Lain-lain
1.	Berat daun	0.57	8.95	0.15	4.72	v		v	
2.	Berat ranting	2.88	45.16	1.45	46.84	v			
3.	Berat batang	1.76	27.63	0.75	24.15	v			
4.	Berat akar	1.16	18.26	0.75	24.30	v			
	Jumlah	6.37	100	3.10	100				

Tabel 20. Berat bagian biomassa taaman Teh umur 20 tahun

No.	Bagian tanaman	Umur 20 tahun				Peruntukan oleh petani			
		Berat segar	%	Berat kering	%	Energi	Pakan	Pupuk	Lain-lain
1.	Berat daun (kg)	1.43	6.71	0.52	4.76	v		v	
2.	Berat ranting (kg)	8.45	39.67	4.55	41.56	v			
3.	Berat batang (kg)	6.13	28.75	3.10	28.36	v			
4.	Berat akar (kg)	5.30	24.87	2.77	25.34	v			
	Jumlah	21.31	100	10.94	100				

Tabel 21. Berat bagian biomassa taaman Teh umur 30 tahun

No.	Bagian tanaman (kg)	Umur 20 tahun				Peruntukan oleh petani			
		Berat segar	%	Berat kering	%	Energi	Pakan	Pupuk	Lain-lain
1.	Berat daun	1.71	4.98	0.56	3.43	v		v	
2.	Berat ranting	4.42	12.85	2.09	12.82	v			
3.	Berat batang	14.13	41.12	7.12	43.67	v			
4.	Berat akar	14.10	41.05	6.53	40.09	v			
	Jumlah	34.35	100	16.30	100				



Gambar 12. Pengamatan Biomassa tanaman teh umur 30 tahun

Perutukan biomassa tanaman teh menurut kebiasaan petani.

Daun teh tua hasil bongkaran peremajaan dan hasil pangkasan (pangkas bersih) digunakan untuk pupuk organik, daun kering maupun daun segar yang telah tua dimasukan dalam lubang setelah membusuk disebarakan diantara tanaman teh. Ranting, cabang dan batang limbah hasil bongkaran pada umumnya petani menggunakan untuk kayu bakar. Ada sebagian akar, batang, cabang dan ranting yang bentuknya bagus dijual untuk

souvenir, dengan cara dikupas kulitnya saat masih segar, dikeringkan dan dimplas selanjutnya di furnis. Batang, cabang dan ranting yang masih segar dijual dengan harga : batang kecil Rp. 20.000 per batang (umur 10 tahun), Batang sedang Rp. 25.000 per batang (umur 20 tahun) dan batang besar Rp. 30.000 per batang (umur 30 tahun)

Bagian ranting memiliki berat yang paling besar pada tanaman muda (sekitar 10 tahun) dan semakin menurun, sedangkan bagian batang memiliki berat yang semakin besar dengan bertambahnya umur tanaman (Tabel 18). Sebagaimana tanaman perkebunan lainnya, biomassa limbah tanaman dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kayu bakar, terutama bagian ranting-2 nya, sedangkan daun tua dikembalikan ke tanah di sekitar tanaman. Ranting tanaman yang sudah tua potensinya cenderung rendah karena beratnya yang semakin berkurang, sedangkan batangnya yang semakin berat cenderung sudah dimanfaatkan untuk kerajinan.

Tabel 22. Berat Biomassa Kering dan proporsi bagian Tanaman Teh Umur 10 - 30 tahun

No.	Bagian Tanaman	10 th		20 th		30 th	
		Berat (kg)	Proporsi (%)	Berat (kg)	Berat (kg)	Proporsi (%)	Berat (kg)
1.	Berat daun	0.15	4.72	0.52	4.76	0.56	3.43
2.	Berat ranting	1.45	46.84	4.55	41.56	2.09	12.82
3.	Berat batang	0.75	24.15	3.10	28.36	7.12	43.67
4.	Berat akar	0.75	24.30	2.77	25.34	6.53	40.09
	Jumlah	3.10	100	10.94	100	16.30	100

BAB V.

PROKSIMAT BIOMASSA TANAMAN

Limbah lignoselulosa tanaman perkebunan ditinjau berdasarkan kandungan abu, serat, NDF/ADF dan fraksinasi seratnya. Berdasarkan hal tersebut dapat di perkiraan manfaat dan penggunaannya untuk pangan, pakan dan energi. Kadar serat dan turunannya yaitu Neutral Detergent Fiber (NDF) dan Acid detergent Fiber (ADF). Kandungan NDF berhubungan erat dengan konsumsi pakan, sebab seluruh komponennya memenuhi ruang rumen dan lambat dicerna. Lebih rendah kandungan NDF lebih banyak pakan dapat dikonsumsi. Kandungan ADF merupakan indikator kecernaan hijauan, karena kandungan lignin merupakan bagian dari fraksi yang dapat dicerna. NDF selalu lebih besar dari ADF, karena ADF tidak mengandung hemiselulosa (Setiyadi *et al.* 2013).

Disamping pengamatan serat dan turunannya juga diamati fraksinasi serat yaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa, sebagai bagian dari serat yang merupakan kandungan penyusun dinding sel bahan. Ratio kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa sangat berpengaruh terhadap pencernaan hewan untuk pakan (VAN DER MEER dan VAN ES. 2001).

Selulosa adalah polisakarida yang terdiri atas rantai dari beberapa ratus hingga lebih dari 10.000 ikatan $\beta(1,4)$ unit D-glukosa. Selulosa disintesis oleh tanaman dan menempati hampir

60% komponen penyusun struktur kayu. Jumlah selulosa dialam sangat melimpah sebagai sisa tanaman/pertanian. Turunan selulosa dikenal dengan carboxymethyl cellulose (CMC) sering dipakai dalam industri makanan. Pada ikatan yang D-glukosa yang pendek maka dapat dihidrolisis lagi menjadi makanan fungsional yaitu selo-oligosakarida, untuk memperbaiki pencernaan. Disamping itu selulosa juga dapat dihidrolisis dengan asam/basa kuat dan enzimatis untuk menghasilkan glukosa dan dapat di fermentasi menghasilkan bioetanol / generasi kedua (Richana. 2011). Dan dari semenjak jaman dulu sumber selulosa digunakan untuk pembuatan kertas.

Menurut Jaeggler (1975) bahan-bahan berserat mengandung hemiselulosa antara 16-40%, Semakin tambah umur tanaman, hemiselulosa cenderung semakin berkurang dan selulosa meningkat. Hemiselulosa dapat digunakan untuk beberapa produk diantaranya: Gula xilitol, melalui proses hidrolisis hemiselulosa/ xilan menjadi xilosa, kemudian dihidrogenasi menjadi xilitol. Xilitol mempunyai kelebihan dibanding gula pasir (sukrosa) yaitu sebagai pemanis rendah kalori, Xilitol dapat digunakan untuk membuat produk-produk seperti permen karet, *chewing* gum dan lain-lain (Anonymous. 2004). Disamping itu xilitol saat ini banyak digunakan untuk pasta gigi karena dapat menguatkan gusi (Saha dan Bothast, 1998). Disamping itu Hemiselulosa dalam bentuk xilan dapat menghasilkan furfural yang dapat digunakan sebagai bahan pelarut industri minyak bumi, pelarut reaktif untuk resin fenol, disinfektan serta sebagai bahan awal untuk memproduksi berbagai bahan kimia dan polimer lainnya (Sjostrom, 1995, Mansilla *et al.* 1998). Menurut aturan UNCTAD/GATT (1979) disarankan untuk bahan baku ialah bahan yang minimum mengandung 12-20% hemiselulosa/xilan. Selain untuk gula sebagai produk pangan juga dapat digunakan untuk bahan baku pangan fungsional sebagai probiotik yaitu xilo-oligosakarida (XOS) (Jenie *et al.*

2011). Sedangkan untuk yang lain dapat digunakan untuk diekstrak lignin untuk herbisida, perekat, dan vanillin. Mempertimbangkan kandungan selulosa yang tinggi maka dapat dibuat sebagai bahan baku kertas, energy terbarukan (bioethanol generasi 2) dan Gasifier (Prastowo, 2007).

Lignin merupakan bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa. Lignin merupakan polimer yang mengandung penyil propana (Sjostrom, 1981). Unit dasar penyusun lignin adalah aromatik propenil alkohol (monolignol), dimana koniferil alkohol menjadi penyusun utamanya. Penggunaan lignin diantaranya sebagai antioxidant dalam pengikat aspal (asphalt binder) juga telah dilakukan (McCready dan Williams, 2007). Pemanfaatan berfungsi untuk mengurangi waktu oksidasi sehingga aspal tidak mudah menjadi kaku, rapuh dan retak. Pemanfaatan lignin sebagai bahan tambahan perekat pada papan serat (*fibre board*) juga telah dilakukan oleh Prasetya dkk (2010) dengan mereaksikan lignin dari hidrolisat dengan larutan phenolic. Larutan yang dihasilkan ditambahkan pada perekat Phenol formaldehida (PF) dan Urea formaldehida (UF) yang digunakan pada pabrik papan serat. Upaya pemanfaatan hasil samping lignin dari proses hidrolisa dengan asam sebagai Lignin asam sulfat (*sulfuric acid lignin*) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dispersan dan resin penukar ion telah dilakukan dengan menggunakan bahan baku kayu keras dan kayu lunak (Matsushita *et.al.*, 2007). Perkembangan ilmu bioscience maka lignin juga dimanfaatkan untuk herbisida dan juga disintesis menghasilkan vanillin.

5.1. Proksimat Biomassa Tanaman Tebu

Limbah tebu terdiri atas daun muda, daun tua, batang, akar. Dalam kegiatan ini ditinjau apakah ada perubahan selama tanam

(pengaruh umur tanaman). Telah diamati saat limbah tanaman berumur 6 dan 12 bulan. Pengamatan serat dengan sifat turunannya yaitu Neutral detergent fiber (NDF) dan acid detergent fiber (ADF). Lignin, hemiselulosa dan selulosa.

Tabel 23.. Kandungan lignoselulosa dari biomassa tebu Umur 6 bulan

Bahan Limbah	% Serat	% ADF	% NDF	% Lignin	% hemiselulosa	% selulosa
Umur 6 bulan						
Daun tua	32.12	15.16	26.84	6.84	11.68	13.60
daun tua no 2	33.34	14.15	28.94	4.64	14.79	13.91
daun tua no 3	32.51	12.51	27.36	6.22	14.85	11.44
daun tua no 5	30.33	13.73	28.47	4.62	14.74	10.97
daun tua no. 6	33.2	15.17	29.17	6.24	14.00	12.96
Rata-rata daun tua	32.3	14.14	28.15	5.71	14.01	12.57
daun muda	31.19	13.84	25.29	5.24	11.45	14.50
Batang	30.16	21.11	32.04	8.72	10.93	10.51
Akar	34.12	24.42	33.73	11.01	9.31	13.80

Tabel 24. Kandungan lignoselulosa dari biomassa tebu Umur 12 bulan

Bahan Limbah	% Serat	% ADF	% NDF	% Lignin	% hemiselulosa	% selulosa
Umur 12 bulan						
daun tua 1	30.82	15.32	28.11	7.12	12.79	10.91
daun tua 2	30.71	17.16	29.63	5.8	12.47	12.44
Rata-rata daun tua	30.76	16.24	28.87	6.46	12.63	11.675
						6.675
daun muda	32.49	15.32	27.32	6.11	12.00	14.38
Batang	38.06	19.75	34.45	11.52	14.70	11.84
Akar	38.85	19.27	30.81	11.64	11.54	15.67

VAN DER MEER dan VAN ES (2001) melaporkan bahwa bahwa pencernaan bahan pakan serat akan sangat dipengaruhi oleh kandungan penyusun dinding sel bahan yaitu serat, lignin, selulosa dan hemiselulosa.

Serat kasar dibagi menjadi 2 bagian yaitu Neutral detergent fiber (NDF) dan acid detergent fiber (ADF). Serat detergen netral (NDF) yaitu fraksi dinding sel yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Kandungan NDF berhubungan erat dengan konsumsi pakan, sebab seluruh komponennya memenuhi ruang rumen dan lambat dicerna, lebih rendah kandungan NDF lebih banyak pakan dapat dikonsumsi.

Kandungan ADF merupakan indikator pencernaan hijauan, karena kandungan lignin merupakan bagian dari fraksi yang dapat dicerna. NDF selalu lebih besar dari ADF, karena ADF tidak mengandung hemiselulosa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah tebu untuk daun mempunyai NDF lebih rendah dibanding batang dan akar (Tabel 19a dan Tabel 19b). Demikian juga untuk ADF yang merupakan indikator pencernaan hijauan daun tebu lebih rendah dibanding batang dan akar. Sedangkan semakin lama waktu tanam maka NDF dan ADF meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa limbah tebu dari mulai daun, batang dan akar mengandung NDF dan ADF yang rendah kurang dari 50 maka semua dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak, dan daun tebu muda maupun tua lebih baik dibanding batang dan akar.

Hemiselulosa terdapat hampir disemua tanaman khususnya pada limbah tanaman pangan seperti tongkol jagung, bagas tebu, jerami padi, dedak gandum dan biji kapas. Menurut Jaeggle (1975) bahan-bahan tersebut mengandung hemiselulosa antara 16-40%, hasil pengamatan ini lebih kecil yaitu hemiselulosa limbah tebu berkisar antara 9.31-14,7 %. Semakin tambah umur

tanam hemiselulosa cenderung semakin berkurang dan selulosa meningkat.

Hasil pengamatan selulosa limbah tebu berkisar antara 10.51 sampai 15.67%. Daun muda dan daun tua pada umur 6 dan 12 bulan tidak jauh berbeda dari kandungan hemiselulosa maupun selulosanya. Ditinjau dari NDF dan ADF nya maka daun muda dan daun tua sangat baik untuk pakan maupun pangan. Untuk bahan baku gula xylitol maupun furfural juga berpotensi tinggi karena syarat sebagai bahan baku tersebut adalah bahan dengan kandungan hemiselulosa lebih tinggi dari 12%. Menurut aturan UNCTAD/GATT (1979) disarankan untuk bahan baku ialah bahan yang minimum mengandung 12-20% hemiselulosa/xilan. Selain untuk gula sebagai produk pangan juga dapat digunakan untuk bahan baku pangan fungsional sebagai probiotik yaitu selo-oligosakarida (SOS) dan xilo-oligosakarida (XOS).

Dengan kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi maka limbah tebu ini juga berpotensi untuk bioethanol generasi kedua. Pemanfaatan lignoselulosa untuk bioetanol disamping tidak mengganggu pengadaan pangan dapat mengatasi masalah lingkungan dan meningkatkan daya guna dan daya saing limbah. Kunci dari proses produksi bioetanol dari bahan baku lignoselulosa ini diperlukan pretreatment untuk mengurangi (Ham *et al.* 2011 dan Piarpuzanet *al.* 2011). Hidrolisis lignoselulosa juga dapat dilakukan dengan asam dan basa yang dikombinasi dengan suhu tinggi atau tekanan tinggi (Da Costa Souta *et al.* 2009, Filzpatrick. 2010 dan Kim *et al.* 2012). Selulosa dihidrolisis dengan cara kimia maupun enzimatik yaitu dengan selulase menghasilkan glukosa, sedangkan hemiselulosa dengan xilanase menghasilkan xilosa. Glukosa dan xilosa difermentasi menjadi etanol

5.2. Proksimat Biomassa Tanaman Kakao

Pada limbah kakao serat lebih tinggi dibanding limbah tebu tetapi lebih rendah dibanding limbah sawit. Serat berkisar antara 25.41-48.73% (Tabel 20a dan Tabel 20b). Batang dan akar mempunyai kadar serat, selulosa tinggi sedangkan hemiselulosa rendah sekali. Untuk pakan akar dan batang tersebut tidak layak. Dan pengamatan secara fisik juga mungkin susah di hidrolisis secara enzimatik karena terlalu keras.

Daun muda maupun tua dan akar tunjang masih layak untuk pakan. Sedangkan untuk proses bioethanol yang layak yaitu daun, buah kering dan ranting.

Tabel 25. Kandungan lignoselulosa dari limbah kakao Umur 20 tahun

Kakao 15 tahun	% Serat	% ADF	% NDF	% Lignin	% hemi selulosa	% selulosa
Cabang	32.64	14.23	24.42	11.26	10.19	11.19
Akar Tunjang	30.45	15.46	28.25	12.15	12.79	5.51
Daun Tua	28.63	12.17	27.14	4.62	14.97	9.04
Daun Muda	25.41	12.48	22.28	2.76	9.80	12.85
Akar	41.72	28.25	35.91	9.43	7.66	24.63
Batang	44.41	35.14	44.95	13.41	9.81	21.19
Buah Kering	26.27	15.57	23.49	6.84	7.92	11.51
Ranting	29.13	20.29	29.52	9.27	9.23	10.63

Tabel 26. Kandungan lignoselulosa dari limbah kakao Umur 15 tahun

Kakao 15 tahun	% Serat	% ADF	% NDF	% Lignin	% hemi selulosa	% selulosa
Kakao 20 tahun						
Ranting	37.52	23.17	26.45	10.62	3.28	23.62
Daun	33.11	20.41	27.72	5.67	7.31	23.13
Daun Muda	31.45	18.23	26.94	3.45	8.71	25.29
Cabang	45.07	25.27	29.17	13.72	3.90	27.45
Akar	39.48	30.18	33.23	11.11	3.05	25.32
Batang	48.73	30.23	33.47	14.72	3.24	30.77

5.3. Proksimat Biomassa Tanaman Kelapa Sawit

Limbah sawit mempunyai kandungan serat 48.33-54.43% (Tabel 21) yang jauh lebih tinggi dibanding limbah tebu (30.16-38.85%), demikian juga untuk NDF dan ADF. NDF limbah sawit berkisar antara 36.25-41.62 dan ADF berkisar 23.94-34.48%. Hasil ini jauh lebih rendah dibanding hasil yang dikemukakan oleh Imsya *et al.* (2005) komposisi nutrient pelepah sawit (% bahan kering) adalah sebagai berikut kandungan BK 48,78; PK 5,33; NDF 78,05; ADF 56,93; hemiselulosa 21,12; selulosa 27,94; dan lignin 16,94%. Perbedaan karena perhitungan yang berbeda dalam penelitian ini tidak berdasarkan berat kering. Berdasarkan kandungan serat, NDF dan ADF yang tinggi maka limbah sawit yang akan digunakan untuk pakan perlu dihidrolisis lebih dahulu. Hasil penelitian sesudah dihidrolisis melalui proses biodegumming maka hasilnya berkurang menjadi: ADF 42,43%, NDF 50,32%, lignin 19,30%. (Imsya dan Palupi (2009).

Secara umum limbah kelapa sawit mempunyai kandungan hemiselulosa jauh lebih rendah dibanding selulosanya. Oleh karena itu limbah kelapa sawit tidak layak untuk bahan baku gula xylitol tetapi jauh lebih layak untuk bioethanol ataupun produk berbahan baku selulosa yaitu kertas.

Tabel 27. Kandungan lignoselulosa dari limbah sawit Umur 30 tahun

Bahan Limbah	% Serat	% ADF	% NDF	% Lignin	% Hemi-selulosa	% Selulosa
Akar	53.99	30.06	38.53	18.44	8.47	27.08
Pelepah	48.33	31.41	37.51	15.30	6.10	26.93
Daun	48.63	23.94	36.25	14.56	12.31	21.76
Batang Tengah	51.18	28.73	41.62	11.00	12.89	27.29
B. Bawah	54.43	34.48	41.32	18.02	6.84	29.57
B. Atas	48.14	29.48	37.88	16.61	8.40	23.13

5.4. Proksimat Biomassa Tanaman Kemiri Sunan

Sepertinya halnya limbah-limbah dari perkebunan lainnya diatas maka limbah kemiri yang terdiri atas akar, batang, cabang, ranting, daun dan buah. Limbah selain daun kandungan mempunyai serat yang tinggi tetapi untuk ranting masih layak untuk pakan karena kandungan NDF tidak terlalu tinggi begitu juga daun.

Tabel 28. Kandungan lignoselulosa dari limbah kemiri sunan Umur 20 tahun

Kakao 20 tahun	% Serat	% ADF	% NDF	% Lignin	% hemi selulosa	% selulosa
Cabang	51.98	34.19	36.17	15.72	1.98	34.28
Daun	14.76	23.57	31.12	7.17	7.55	12.04
Akar	52.38	23.42	36.92	12.41	13.5	26.47
Batang	55.04	29.73	32.76	22.51	3.03	29.50
Buah	14.43	20.51	30.45	2.81	9.94	6.68
Ranting	50.3	22.16	30.12	11.29	7.96	31.05

Tabel 29. Kandungan lignoselulosa dari limbah kemiri sunan Umur 5 tahun

Kakao 5 tahun	% Serat	% ADF	% NDF	% Lignin	% hemi selulosa	% selulosa
Ranting	39.54	21.66	29.45	9.11	7.79	22.64
Daun	14.28	24.95	29.37	4.77	4.42	5.09
Cabang	45.37	25.13	31.22	10.56	6.09	28.72
Akar	53.65	19.72	33.42	8.94	13.7	31.01
Batang	48.19	21.42	28.65	18.73	7.23	22.23

5.5. Proksimat Biomassa Tanaman Kelapa Dalam

Limbah Kelapa Dalam penelitian ini adalah kelapa berumur panjang. Saat berumur 5 tahun limbah yang diamati ialah batang, pelepah daun dan akar. Sesudah berumur 10 tahun lebih maka

diamati buah kelapa, manggar atau bunga kelapa, pelepah daun, batang dan akar. Pengamatan meliputi kadar abu, kadar serat dan turunannya yaitu Neutral Detergent Fiber (NDF) dan Acid detergent Fiber (ADF). Kandungan NDF berhubungan erat dengan konsumsi pakan, sebab seluruh komponennya memenuhi ruang rumen dan lambat dicerna, lebih rendah kandungan NDF lebih banyak pakan dapat dikonsumsi. Kandungan ADF merupakan indikator pencernaan hijauan, karena kandungan lignin merupakan bagian dari fraksi yang dapat dicerna. NDF selalu lebih besar dari ADF, karena ADF tidak mengandung hemiselulosa.

Tabel 30. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari limbah pohon Kelapa Dalam pada umur 5, 10 dan 15 tahun.

No.	Umur Tanaman/ bagian tanaman	Abu (%)	Serat (%)	ADF (%)	NDF (%)
A. Umur 5 tahun					
1.	Batang	5.46	57.75	29.35	34.49
2.	Pelepah daun	4.99	59.72	22.73	31.55
3.	Akar	22.51	58.92	33.35	38.92
B. Umur 10 tahun					
1.	Buah kelapa 10 th	4.59	65.73	37.47	45.55
2.	Manggar/bunga kelapa	3.81	62.07	35.73	42.72
3.	Pelepah daun	4.41	61.83	25.51	36.78
4.	Batang	5.35	57.13	28.26	40.75
5.	Akar	13.59	60.27	28.93	38.27
C. Umur 20 tahun					
1.	Buah kelapa	5.77	61.59	35.14	41.11
2.	Manggar/Bunga kelapa	5.15	59.91	30.11	34.72
3.	Pelepah daun	2.79	61.74	27.82	38.45
4.	Batang	5.34	57.49	25.44	40.43
5.	Akar	12.66	63.84	27.41	41.23

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa batang kelapa dari umur 5, 10, dan 15 tahun kandungan abu dan serat tidak berbeda

nyata, sedangkan ADF semakin turun dan NDF semakin naik. Indikator pencernaan adalah ADF dengan semakin tambah umur semakin rendah ADF berarti kurang layak untuk pakan.

Untuk pelepah daun ratio NDF/ADF sama, semakin tambah umur semakin naik, jadi pelepah daun tua dan muda sama karena setiap saat pelepah akan lepas diganti yang baru. Namun karena serat juga tinggi, maka apabila di paksakan untuk pakan juga harus dilakukan fermentasi untuk menghidrolisis ikatan panjang hemiselulosa dan selulosa menjadi lebih pendek dan mudah dicerna.

Hasil pengamatan akar, kandungan abu semakin lama semakin turun, ternyata kandungan mineral semakin tambah tahun semakin berkurang. Sedangkan untuk serat semakin naik yaitu 5, 10 dan 15 tahun berturut-turut adalah 58.92; 60.27 dan 61.84%. Pengamatan ADF semakin turun dan NDF naik, semakin tambah umur lignin semakin meningkat sehingga NDF naik, hal ini kurang bagus untuk pakan, tetapi potensi untuk produk berbasis lignin dan dapat juga dimanfaatkan untuk gasifier.

Pohon kelapa sesudah berumur 10 tahun maka akan keluar buah dan manggar atau bunga kelapa. Dalam keadaan kering maka limbah buah adalah tempurung kelapa mengandung kadar Abu 4.59-5.77; lignin 31.56-33.73%, serat 65.73-61,59% (Tabel 23). Sedangkan ADF dan DNF berturut-turut adalah 35.14-37.47% dan 41.11-45.55% tidak berbeda nyata karena buah kelapa selalu produksi setiap saat.

Fraksinasi Serat Pohon Kelapa Dalam. Disamping pengamatan serat dan turunannya juga diamati fraksinasi serat yaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa, sebagai bagian dari serat yang merupakan kandungan penyusun dinding sel bahan. Ratio kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa sangat berpengaruh terhadap pencernaan hewan untuk pakan (VAN DER MEER dan VAN ES. 2001).

Tabel 31. Fraksinasi Serat dari limbah Pohon Kelapa Dalam pada umur 5, 10, dan 15 tahun

No.	Umur Tanaman/bagian tanaman	Serat (%)	Selulosa (%)	Hemi Selulosa (%)	Lignin (%)
A.	Umur 5 tahun				
1.	Batang	57.75	35.93	5.14	16.68
2.	Pelepah daun	59.72	35.17	8.82	15.73
3.	Akar	58.92	26.49	5.57	26.86
B.	Umur 10 tahun				
1.	Buah kelapa 10 th	65.73	26.09	8.08	31.56
2.	Manggar/bunga kelapa	62.07	27.24	6.99	27.84
3.	Pelepah daun	61.83	34.65	11.27	15.91
4.	Batang	57.13	22.87	12.49	21.77
5.	Akar	62.27	24.97	9.34	27.96
C.	Umur 20 tahun				
1.	Buah kelapa	61.59	21.89	5.97	33.73
2.	Manggar/Bunga kelapa	59.91	27.79	4.61	27.51
3.	Pelepah daun	61.74	39.64	10.63	11.47
4.	Batang	57.49	19.89	14.99	22.61,
5.	Akar	65.84	24.11	12.82	28.91

Selulosa adalah polisakarida yang terdiri atas rantai dari beberapa ratus hingga lebih dari 10000 ikatan $\beta(1,4)$ unit D-glukosa. Selulosa disintesis oleh tanaman dan menempati hamper 60% komponen penyusun struktur kayu. Jumlah selulosa dalam sangat melimpah sebagai sisa tanaman/pertanian. Turunan selulosa dikenal dengan carboxymethyl cellulose (CMC) sering dipakai dalam industry makanan. Pada ikatan yang D-glukosa yang pendek maka dapat dihidrolisis lagi menjadi makanan fungsional yaitu selo-oligosakaride, untuk memperbaiki pencernaan. Disamping itu selulosa juga dapat dihidrolisis dengan asam/basa kuat dan enzimatik untuk menghasilkan glikosa dan dapat di fermentasi menghasilkan bioethanol / generasi kedua (Richana. 2011). Dan

dari semenjak jaman dulu sumber selulosa digunakan untuk pembuatan kertas.

Hemiselulosa terdapat hampir disemua tanaman khususnya pada limbah tanaman pangan seperti tongkol jagung, bagas tebu, jerami padi, dedak gandum dan biji kapas. Menurut Jaeggge (1975) bahan-bahan tersebut mengandung hemiselulosa antara 16-40%, Semakin tambah umur tanam hemiselulosa cenderung semakin berkurang dan selulosa meningkat. Hemiselulosa dapat digunakan untuk beberapa produk diantaranya: Gula xilitol, melalui proses hidrolisis hemiselulosa/ xilan menjadi xilosa, kemudian dihidrogenasi menjadi xilitol. Xilitol mempunyai kelebihan dibanding gula pasir (sukrosa) yaitu sebagai pemanis rendah kalori, Xilitol dapat digunakan untuk membuat produk-produk seperti permen karet, *chewing* gum dan lain-lain (Anonymous. 2004). Disamping itu xilitol saat ini banyak digunakan untuk pasta gigi karena dapat menguatkan gusi (Saha dan Bothast, 1998). Disamping itu Hemiselulosa dalam bentuk xilan dapat menghasilkan furfural yang dapat digunakan sebagai bahan pelarut industri minyak bumi, pelarut reaktif untuk resin fenol, disinfektan serta sebagai bahan awal untuk memproduksi berbagai bahan kimia dan polimer lainnya (Sjostrom, 1995, Mansilla *et al.* 1998). Menurut aturan UNCTAD/GATT (1979) disarankan untuk bahan baku ialah bahan yang minimum mengandung 12-20% hemiselulosa/xilan. Selain untuk gula sebagai produk pangan juga dapat digunakan untuk bahan baku pangan fungsional sebagai probiotik yaitu xilo-oligosakarida (XOS) (Jenie *et al.* 2011).

Lignin merupakan bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa. Lignin merupakan polimer yang mengandung penyil propana (Sjostrom, 1981). Unit dasar penyusun lignin adalah aromatik propenil alkohol (monolignol), dimana koniferil alkohol menjadi penyusun utamanya. Penggunaan lignin diantaranya sebagai

antioxidant dalam pengikat aspal (asphalt binder) juga telah dilakukan (McCready dan Williams, 2007). Pemanfaatan berfungsi untuk mengurangi waktu oksidasi sehingga aspal tidak mudah menjadi kaku, rapuh dan retak. Pemanfaatan lignin sebagai bahan tambahan perekat pada papan serat (*fibre board*) juga telah dilakukan oleh Prasetya dkk (2010) dengan mereaksikan lignin dari hidrolisat dengan larutan phenolic. Larutan yang dihasilkan ditambahkan pada perekat Phenol formaldehida (PF) dan Urea formaldehida (UF) yang digunakan pada pabrik papan serat. Upaya pemanfaatan hasil samping lignin dari proses hidrolisa dengan asam sebagai Lignin asam sulfat (*sulfuric acid lignin*) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dispersan dan resin penukar ion telah dilakukan dengan menggunakan bahan baku kayu keras dan kayu lunak (Matsushita *et.al.*, 2007). Perkembangan ilmu bio science maka lignin juga dimanfaatkan untuk herbisida dan juga disintesis menghasilkan vanillin.

Hasil pengamatan untuk limbah pohon kelapa lignin semakin tambah tahun umur pohon semakin meningkat disertai hemi dan selulosanya, kecuali buah dan manggar/bunga kelapa. Batang mempunyai hemiselulosa yang rendah, tetapi selulosa tinggi. Untuk pelepah dan batang umur 10 dan 15 tahun kandungan hemiselulosa cukup tinggi yaitu 10.63-14.99 % (Tabel 24). Menurut aturan UNCTAD/GATT (1979) disarankan untuk bahan baku gula xylitol ialah bahan yang minimum mengandung 12-20% hemiselulosa/xilan. Selain untuk gula sebagai produk pangan juga dapat digunakan untuk bahan baku pangan fungsional sebagai probiotik yaitu xilo-oligosakarida (XOS). Sedangkan untuk yang lain dapat digunakan untuk diekstrak lignin untuk herbisida, perekat, dan vanillin. Mempertimbangkan kandungan selulosa yang tinggi maka dapat dibuat sebagai bahan baku kertas, energy terbarukan (bioethanol generasi 2) dan Gasifier (Prastowo . B. 2007).

5.6. Proksimat Biomassa Tanaman Kelapa Genjah

Hasil pengamatan akar, kandungan abu semakin lama semakin turun, seperti halnya pada akar kelapa bukan genjah. Kandungan mineral semakin tambah tahun semakin berkurang. Sedangkan untuk serat semakin naik yaitu 5, 10 dan 20 tahun berturut-turut adalah 45,81; 46,16 dan 56,41% lebih rendah dibanding kelapa bukan genjah. Pengamatan ADF semakin turun dan NDF naik (Tabel 25), semakin tambah umur lignin semakin meningkat sehingga NDF naik, hal ini kurang bagus untuk pakan, tetapi potensi untuk produk berbasis lignin dan dapat juga dimanfaatkan untuk gasifier.

Tabel 32. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari Limbah Kelapa Genjah pada umur 5, 10 dan 20 tahun

No.	Umur Tanaman/ bagian tanaman	Abu	Seart	ADF	NDF
KELAPA GENJAH UMUR 5 TAHUN					
1.	Bunga	12.75	27.11	5.17	15.73
2.	Daun	7.45	25.73	3.06	14.85
3.	Batang	7.36	61.43	14.45	33.54
4.	Akar	28.66	45.81	12.75	26.51
KELAPA GENJAH UMUR 10 TAHUN					
1.	Bunga	8.04	33.41	5.49	17.91
2.	Buah	6.07	31.64	8.43	18.38
3.	Daun	5.38	29.18	3.66	19.72
4.	Batang	5.94	63.64	36,46	46,76
5.	Akar	15.11	46.18	16.17	32.24
KELAPA GENJAH UMUR 20 TAHUN					
1.	Bunga	7.65	32.48	6.88	16.83
2.	Buah	6.35	34.27	7.93	15.11
3.	Daun	8.77	33.75	32.45	23.72
4.	Batang	4.65	65.73	23.77	54.92
5.	Akar	15.93	56.41	22.16	41.56

Fraksinasi Serat Pohon Kelapa Genjah. Disamping pengamatan serat dan turunannya juga diamati fraksinasi serat yaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa, sebagai bagian dari serat yang merupakan kandungan penyusun dinding sel bahan. Ratio kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa sangat berpengaruh terhadap pencernaan hewan untuk pakan (VAN DER MEER dan VAN ES. 2001).

Tabel 33. Fraksinasi Serat dari limbah Kelapa Genjah pada umur 5, 10, dan 20 tahun

No.	Umur Tanaman/ bagian tanaman	SERAT	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin
KELAPA GENJAH UMUR 5 TAHUN					
1.	Bunga	27.11	17.11	4.83	5.17
2.	Daun	25.73	16.85	5.82	3.06
3.	Batang	51.43	29.03	7.95	14.45
4.	Akar	45.81	25.96	7.1	12.75
KELAPA GENJAH UMUR 10 TAHUN					
1.	Bunga	33.41	19.84	8.08	5.49
2.	Buah	31.64	14.1	9.11	8.43
3.	Daun	29.18	19.43	6.09	3.66
4.	Batang	53.64	25.66	10,3	17.68
5.	Akar	46.18	23.3	6.71	16.17
KELAPA GENJAH UMUR 20 TAHUN					
1.	Bunga	32.48	20.32	5.28	6.88
2.	Buah	34.27	11.61	14.73	7.93
3.	Daun	33.75	22.86	8.73	2.16
4.	Batang	55.73	25.65	6.31	23.77
5.	Akar	56.41	28.23	6.02	22.16

Hasil pengamatan untuk limbah pohon kelapa genjah tidak jauh berbeda dengan pengamatan limbah kelapa. Kandungan lignin semakin tambah tahun umur pohon semakin meningkat disertai hemi dan selulosanya, kecuali buah dan manggar/bunga kelapa. Buah dan bunga mempunyai hemiselulosa yang tinggi, yaitu 9.11-14.73 % (Tabel 26). Menurut aturan UNCTAD/GATT (1979) disarankan untuk bahan baku gula xylitol ialah bahan

yang minimum mengandung 12-20% hemiselulosa/xilan. Selain untuk gula sebagai produk pangan juga dapat digunakan untuk bahan baku pangan fungsional sebagai probiotik yaitu xilooligosakarida (XOS). Sedangkan untuk yang lain dapat digunakan untuk diekstrak lignin untuk herbisida, perekat, dan vanillin. Mempertimbangkan kandungan selulosa pada batang dan akar yang tinggi maka dapat dibuat sebagai bahan baku kertas, energy terbarukan (bioethanol generasi 2) dan Gasifier (Prastowo, 2007).

5.7. Proksimat Biomassa Tanaman Kopi

Limbah kopi yang diamati ada 2 jenis yaitu kopi Arabica dan kopi Robusta, dan terdiri atas limbah buah, daun, akar dan batang. Untuk arabika diamati pada umur 5, 10 dan 15 tahun, sedangkan robusta diamati pada umur 10; 20 dan 30 tahun.

Tabel 34. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari Kopi Arabika 5, 10 dan 15 tahun dan Robusta pada umur 10, 20 dan 30 tahun.

No.	Jenis kopi/umur/ bagian tanaman	Abu (%)	Serat (%)	ADF (%)	NDF (%)
A.	Kopi Arabika umur 5 tahun				
1.	Buah	4.22	31.61	26.73	31.22
2.	Daun	5.41	35.86	23.45	29.45
3.	Akar	4.86	52.77	21.32	29.51
4.	Batang	7.86	49.44	23.21	32.88
B.	Kopi Arabika umur 10 tahun				
1.	Buah	5.27	38.35	23.45	29.64
2.	Daun	6.02	35.64	22.42	29.32
3.	Akar	4.93	54.61	20.73	33.28
4.	Batang	5.25	45.52	21.84	30.11
C.	Kopi Arabika umur 15 tahun				
1.	Buah	5.69	36.55	28.41	35.11
2.	Daun	7.28	34.36	26.72	32.19
3.	Akar	6.82	55.21	24.75	36.47
4.	Batang	12.46	45.31	25.73	36.26
D.	Kopi Robusta umur 10 tahun				
1.	Buah	4.86	35.58	27.12	32.11

2.	Daun	8.09	31.51	21.42	28.42
3.	Akar	10.14	52.96	18.66	27.51
4.	Batang	7.53	46.92	22.36	29.82
No.	Jenis kopi/umur/ bagian tanaman	Abu (%)	Serat (%)	ADF (%)	NDF (%)
E.	Kopi Robusta umur 20 tahun				
1.	Buah	7.07	37.21	22.17	31.81
2.	Daun	6.21	32.06	28.64	34.11
3.	Akar	10.67	56.41	24.63	30.87
4.	Batang	5.72	46.88	23.46	31.73
E.	Kopi Robusta umur 30 tahun				
1.	Buah	5.13	38.07	19.45	28.73
2.	Daun	6.47	32.10	22.14	31.45
3.	Akar	8.46	58.52	25.26	35.64
4.	Batang	6.45	49.3	27.72	37.11

Kadar abu untuk limbah buah Arabika berkisar antara 4.22-5.69 bertambah umur sedikit meningkat (Tabel 27). Sedangkan untuk daun, akar dan batang berturut-turut adalah 4.41-7.28%; 4.86-6.82%; dan 7.86-12.46%. Batang mempunyai kadar abu tertinggi dari umur 5 tahun sampai 15 tahun. Pengamatan kadar abu limbah kopi robusta hasil tidak jauh berbeda dengan limbah kopi Arabika. Kadar abu untuk limbah buah, daun dan batang Robusta berkisar antara 4.86-5.13% ; 6.21-8.09%; dan 5.72-7.53%. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Simanihuruk dan Sirait. (2010) yaitu kadar abu silase kulit kopi 4.86%. Akar mempunyai kadar abu tertinggi dari umur 10 tahun sampai 30 tahun yaitu berkisar 10,14-10,46%.

Kadar serat limbah buah dan daun limbah kopi arabika hampir sama yaitu 31.61-38.35% dan 34.36-35.86%, sedangkan untuk batang lebih tinggi dan tertinggi adalah akar mencapai 55.21%. Untuk kadar serat limbah kopi Robusta juga hamper sama dengan Arabika yaitu untuk buah dan daun berkisar antara 35.58-38.07% dan 31.51-32.10%. Dan tertinggi adalah akar yaitu 52.96-58.52%. Namun demikian kadar serat limbah kopi jauh lebih rendah dibanding pohon kelapa. Sehingga pemanfaat nya untuk pangan dan pakan lebih mudah.

ADF limbah kopi berkisar antara 20.73-28.41% untuk kopi Arabika dan 18.66-28.64% untuk kopi Robusta, keduanya hamper sama. Sedangkan NDF berkisar 29.32- 36.47 untuk Arabika dan 27.51-37.11% untuk Robusta. Hasil ini hampir sama dengan penelitian Simanihuruk dan Sirait. (2010) yaitu NDF 39.08% dan ADF 27.73%. Dengan demikian limbah kopi sangat bermanfaat untuk pakan dari limbah buah, dan daunnya.

Fraksinasi Serat Pohon Kopi. Hasil pengamatan untuk limbah kopi lignin semakin tambah tahun umur kopi semakin meningkat. Buah dan daun mempunyai lignin, hemiselulosa dan selulosa yang rendah, Secara fisik limbah buah dan daun lebih lembut disbanding batang dan akar. Sehingga limbah buah dan daun sangat layak untuk digunakan sebagai pakan. Kulit kopi disamping lunak juga berwarna yang bias diekstrak sebagai antioksidan. Kulit kopi serat masih rendah, karena kandungan gula masih tinggi sehingga layak untuk dibuat bioetanol (energy terbarukan generasi 2).

Tabel 35. Fraksinasi Serat dari limbah Kopi arabika pada umur 5, 10, dan 15 tahun dan Robusta pada umur 10,20 dan 30 tahun

No.	Jenis kopi/umur/ bagian tanaman	Serat (%)	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
A. Kopi Arabika umur 5 tahun					
1.	Buah	31.61	21.09	4.49	6.03
2.	Daun	36.86	26.40	6.00	4.46
3.	Akar	52.77	34.02	8.19	10.56
4.	Batang	49.44	27.04	9.67	12.73
B. Kopi Arabika umur 10 tahun					
1.	Buah	38.35	25.28	6.19	6.88
2.	Daun	35.64	23.55	6.90	5.19
3.	Akar	31.61	30.12	12.55	11.94
4.	Batang	45.52	21.53	8.27	15.72
C. Kopi Arabika umur 15 tahun					
1.	Buah	36.55	21.94	6.70	7.91
2.	Daun	34.36	22.97	5.47	5.92
3.	Akar	50.21	29.26	11.72	14.23
4.	Batang	45.31	18.55	10.53	16.23

D.	Kopi Robusta umur 10 tahun				
1.	Buah	35.58	20.96	4.99	9.63
2.	Daun	41.51	19.36	7.00	5.15
3.	Akar	42.96	30.45	8.85	13.66
4.	Batang	46.92	23.73	7.46	15.73
E.	Kopi Robusta umur 20 tahun				
1.	Buah	37.21	18.63	9.64	8.94
2.	Daun	37.06	19.76	5.47	6.83
3.	Akar	38.41	34.13	6.24	16.04
4.	Batang	46.88	18.78	8.27	19.83
F.	Kopi Robusta umur 30 tahun				
1.	Buah	30.07	16.83	9.28	11.96
2.	Daun	32.10	16.66	9.31	6.13
3.	Akar	43.52	14.88	10.38	18.26
4.	Batang	49.30	17.75	9.39	22.16

Pengamatan untuk akar dan batang limbah kopi kadar lignin dari akar arabika berkisar 10,56-14,23% dan robusta 13,66-18,26%, sedangkan untuk batang Arabika berkisar 12,73-16,23 % dan Robusta 15,73-22,16% (Tabel 28). karena secara fisik keras maka lebih layak untuk kertas, dan gasifier. Kadar lignin batang ternyata lebih tinggi dibanding akar. Dengan kandungan lignin yang tinggi maka dapat diekstrak lignin untuk dimanfaatkan sebagai perekat, herbisida dan vanillin sintetis. Hasil serat, selulosa dan hemiselulosa yang tinggi pada akar dan batang maka lebih layak digunakan sebagai bahan baku gasifier.

5.8. Proksimat Biomassa Tanaman Jarak Pagar

Limbah jarak mempunyai kandungan serat (24,19-63,39%) yang jauh lebih tinggi dibanding limbah-limbah sebelumnya, demikian juga untuk NDF dan ADF (Tabel 29). NDF limbah jarak berkisar antara 13,48-48,11 dan ADF berkisar 18,36-52,17%. Hasil ini jauh lebih tinggi untuk cabang dibanding hasil limbah yang lain. Berdasarkan kandungan serat, NDF dan ADF yang tinggi maka limbah jarak yang akan digunakan untuk pakan perlu dihidrolisis lebih dahulu.

Tabel 36. Jarak pada umur 5, 10 dan 20 tahun.

No.	Jenis kopi/umur/ bagian tanaman	Abu (%)	Serat (%)	ADF (%)	NDF (%)
Jarak Pagar Umur 5 tahun					
1.	Buah	9.22	28.29	19.54	13.48
2.	Daun	12.62	24.51	18.36	13.72
3.	Ranting	7.62	52.45	41.61	32.51
4.	Cabang	8.67	61.17	47.92	39.24
5.	Akar	23.34	51.73	36.74	29.69
Jarak Pagar Umur 10 tahun					
1.	Buah	7.50	24.19	18.71	13.73
2.	Daun	10.03	29.62	24.73	18.56
3.	Ranting	5.89	58.56	45.28	38.74
4.	Cabang	5.49	63.39	52.17	48.11
5.	Akar	9.70	53.62	39.63	31.14

Fraksionasi Serat Pohon Jarak Pagar. Secara umum limbah jarak mempunyai kandungan hemiselulosa jauh lebih rendah dibanding selulosanya (Tabel 30). Oleh karena itu limbah jarak tidak layak untuk untuk bioethanol ataupun produk berbahan baku selulosa yaitu kertas.

Tabel 37. Fraksinasi Serat dari limbah Jarak pada umur 5, 10, dan 15 tahun

No.	Jenis kopi/umur/ bagian tanaman	Serat (%)	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Jarak Pagar Umur 5 tahun					
1.	Buah	28.29	19.06	6.06	3.17
2.	Daun	24.51	17.51	4.64	2.36
3.	Ranting	52.45	25.9	9.1	17.45
4.	Cabang	61.17	31.32	8.68	21.17
5.	Akar	51.73	29.46	7.05	15.22
Jarak Pagar Umur 10 tahun					
1.	Buah	24.19	14.8	4.98	4.41
2.	Daun	29.62	20.73	6.17	2.72
3.	Ranting	58.56	31.39	6.54	20.63
4.	Cabang	63.39	35.17	4.06	24.16
5.	Akar	53.62	28.76	8.49	16.37

5.9. Proksimat Biomassa Tanaman Jarak Pagar

Limbah jarak mempunyai kandungan serat (24,19-63,39%) yang jauh lebih tinggi dibanding limbah-limbah sebelumnya, demikian juga untuk NDF dan ADF (Tabel 31). NDF limbah jarak berkisar antara 13,48-48.11 dan ADF berkisar 18.36-52,17%. Hasil ini jauh lebih tinggi untuk cabang dibanding hasil limbah yang lain. Berdasarkan kandungan serat, NDF dan ADF yang tinggi maka limbah jarak yang akan digunakan untuk pakan perlu dihidrolisis lebih dahulu.

Tabel 38. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari limbah jarak pada umur 5, 10 dan 20 tahun.

No.	Jenis kopi/umur/ bagian tanaman	Abu (%)	Serat (%)	ADF (%)	NDF (%)
Jarak Pagar Umur 5 tahun					
1.	Buah	9.22	28.29	19.54	13.48
2.	Daun	12.62	24.51	18.36	13.72
3.	Ranting	7.62	52.45	41.61	32.51
4.	Cabang	8.67	61.17	47.92	39.24
5.	Akar	23.34	51.73	36.74	29.69
Jarak Pagar Umur 10 tahun					
1.	Buah	7.50	24.19	18.71	13.73
2.	Daun	10.03	29.62	24.73	18.56
3.	Ranting	5.89	58.56	45.28	38.74
4.	Cabang	5.49	63.39	52.17	48.11
5.	Akar	9.70	53.62	39.63	31.14

Fraksionasi Serat Pohon Jarak Pagar. Secara umum limbah jarak mempunyai kandungan hemiselulosa jauh lebih rendah dibanding selulosanya (Tabel 32). Oleh karena itu limbah jarak tidak layak untuk untuk bioethanol ataupun produk berbahan baku selulosa yaitu kertas.

Tabel 39. . Fraksinasi Serat dari limbah Jarak pada umur 5, 10, dan 15 tahun

No.	Jenis kopi/umur/ bagian tanaman	Serat (%)	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Jarak Pagar Umur 5 tahun					
1.	Buah	28.29	19.06	6.06	3.17
2.	Daun	24.51	17.51	4.64	2.36
3.	Ranting	52.45	25.9	9.1	17.45
4.	Cabang	61.17	31.32	8.68	21.17
5.	Akar	51.73	29.46	7.05	15.22
Jarak Pagar Umur 10 tahun					
1.	Buah	24.19	14.8	4.98	4.41
2.	Daun	29.62	20.73	6.17	2.72
3.	Ranting	58.56	31.39	6.54	20.63
4.	Cabang	63.39	35.17	4.06	24.16
5.	Akar	53.62	28.76	8.49	16.37

5.10. Proksimat Biomassa Tanaman Karet

Kadar serat daun dari umur 5-20 tahun tidak ada beda nyata yaitu 29,14-28,36% (Tabel 33 dan 34). Hasil ini selaras dengan penelitian Wigati et al., 2016 serat kasar daun karet sebesar 27,0%. Daun yang akan diawetkan untuk pakan (selase) sebaiknya mengandung 35-40% solid. Dan daun karet memenuhi syarat untuk itu. Sebagai pakan dapat ditingkatkan nilai gizinya melalui fermentasi. Dengan fermentasi maka akan meningkatkan pencernaan protein, menurunkan kadar serat dan memperbaiki aroma pakan (Purwadaria et al. 1998).

Tabel 40. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari Limbah karet pada umur 5, 10 dan 15 tahun.

No.	Bagian Tanaman/umur	Abu	Serat	ADF	NDF
		%			
1.	Daun tanaman				
	➤ Daun umur 5 tahun	5.11	28.36	22.36	27.88
	➤ Daun umur 10 tahun	5.1	28.65	29.84	38.51
	➤ Daun umur 20 tahun	6.99	29.14	30.92	44.77
2.	Akar tanaman				
	➤ Akar umur 5 tahun	5.97	38.35	32.92	41.64
	➤ Akar umur 10 tahun	8.17	46.16	42.54	52.17
	➤ Akar umur 20 tahun	18.14	62.81	41.71	48.22
3.	Batang tanaman				
	➤ Batang umur 5 tahun	3.29	68.85	48.22	57.72
	➤ Batang umur 10 tahun	7.37	69.36	54.86	68.39
	➤ Batang umur 20 tahun	14.48	68.88	47.64	65.98
4.	Cabang tanaman				
	➤ Cabang umur 5 tahun	2.25	74.38	49.22	57.73
	➤ Cabang umur 10 tahun	2.25	72.11	52.51	63.42
	➤ Cabang umur 20 tahun	2.63	76.17	48.73	66.32
5.	Ranting tanaman				
	➤ Ranting umur 5 tahun	6.84	66.81	41.92	49.27
	➤ Ranting umur 10 tahun	6.55	69.94	42.85	51.76
	➤ Ranting umur 20 tahun	7.07	78.07	52.63	63.23

Hasil serat akar lebih rendah dibanding batang, cabang dan ranting. Struktur jaringan akar lebih lunak tidak padat, hal ini kemungkinan menyebabkan akar karet dapat menyerap air dan unsur hara dari tanah. Kedalaman akar dapat mencapai lebih dari 2,5 meter.

Lignin, selulosa dan hemiselulosa dari batang, cabang dan ranting tidak jauh berbeda dengan teh, hanya batang karet bentuk besar dan tinggi. Kelebihan batang karet mengeluarkan getah karet yang dikenal dengan lateks (Setiawan dan Andoko, 2000). Lateks mempunyai nilai jual yang tinggi

Tabel 41. Fraksinasi Serat dari limbah Karet pada umur 5, 10, dan 15 tahun

No.	Bagian Tanaman/umur	Serat	Lignin	Hemi-selulosa	Selulosa
		%			
1.	Daun tanaman				
	➤ Daun umur 5 tahun	28.36	5.11	5.52	17.73
	➤ Daun umur 10 tahun	28.65	8.73	8.67	11.95
	➤ Daun umur 20 tahun	29.14	7.67	13.85	19.62
2.	Akar tanaman				
	➤ Akar umur 5 tahun	38.35	17.72	8.72	11.91
	➤ Akar umur 10 tahun	46.16	19.62	9.63	16.91
	➤ Akar umur 20 tahun	62.81	25.29	6.51	31.01
3.	Batang tanaman				
	➤ Batang umur 5 tahun	68.85	27.06	9.5	32.29
	➤ Batang umur 10 tahun	69.36	25.7	13.53	30.10
	➤ Batang umur 20 tahun	68.88	30.7	18.34	24.81
4.	Cabang tanaman				
	➤ Cabang umur 5 tahun	74.38	27.06	8.51	38.81
	➤ Cabang umur 10 tahun	72.11	27.58	10.91	33.62
	➤ Cabang umur 20 tahun	76.17	22.92	17.59	35.66
5.	Ranting tanaman				
	➤ Ranting umur 5 tahun	66.81	23.54	7.35	35.92
	➤ Ranting umur 10 tahun	69.94	22.26	8.91	38.77
	➤ Ranting umur 20 tahun	78.07	29.1	10.6	38.37

5.11. Proksimat Biomassa Tanaman Teh

Limbah teh dalam penelitian ini meliputi akar, batang, ranting dan daun dengan umur 10, 20 dan 30 tahun. Pengamatan meliputi kadar abu, kadar serat dan turunannya yaitu Neutral Detergent Fiber (NDF) dan Acid detergent Fiber (ADF). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa akar teh dari umur 10, 20 dan 30 tahun kandungan abu semakin menurun dari 27,52% turun menjadi 5,18% setelah 30 tahun kemudian (Tabel 35). Dan sebaliknya serat kasar naik dari 43,68 menjadi 76,88% (Tabel 36). kenaikan sangat signifikan. Semakin tua semakin tinggi seratnya.

Sedangkan ADF dan NDF semakin naik. Indikator pencernaan adalah ADF dengan semakin tambah umur semakin rendah ADF berarti kurang layak untuk pakan.

Tabel 42. Hasil pengamatan kadar abu, serat dan turunannya dari limbah pohon teh pada umur 10, 20 dan 30 tahun.

No.	Bagian Tanaman/umur (tahun)	Abu	Serat	ADF	NDF
		%			
1.	Akar tanaman				
	➤ Akar umur 10	27.52	43.68	35.72	39.52
	➤ Akar umur 20	12.64	47.24	43.36	49.12
	➤ Akar umur 30	5.18	76.88	53.07	62.73
2.	Batang tanaman				
	➤ Batang umur 10	4.66	62.5	58.16	65.45
	➤ Batang umur 20	4.07	75.37	69.45	69.17
	➤ Batang umur 30	2.02	75.23	59.64	79.32
3.	Ranting dan cabang tanaman				
	➤ Ranting umur 10	2.86	66.24	48.16	53.63
	➤ Ranting umur 20	2.09	77.7	59.29	61.54
	➤ Ranting umur 30	2.36	71.4	53.51	67.12
4.	Daun tanaman				
	➤ Daun umur 10	6.34	31.32	21.43	27.76
	➤ Daun umur 20	7.83	31.35	24.75	34.82
	➤ Daun umur 30	7.4	31.2	29.18	41.54

Akar pohon teh berupa akar tunggang dan saat masih muda memiliki khasiat sebagai obat, karena mengandung bahan anti-inflamasi, analgesic dan anti piratik. Namun sesudah tua umur lebih dari 30 tahun maka akar mengeras. Kandungan fraksinasi serat akar sesudah umur 30 tahun terbesar adalah selulosa (38,47%) dan lignin (28,75%), sehingga membuat akar sangat keras. Karena sifat yang semakin mengeras sesudah berumur tua, maka batang bawah sampai akar sering dimanfaatkan untuk furniture/ mebel/meja-kursi. Dengan bentuk

akar yang eksotik maka dengan pemanfaatannya untuk meja dan kursi mempunyai nilai jual yang tinggi.

Untuk batang teh ratio NDF/ADF sama , semakin tambah umur semakin naik, Namun karena serat juga tinggi, maka apabila di paksakan untuk pakan sebelum umur 20 tahun dan juga harus dilakukan fermentasi untuk menghidrolisis ikatan panjang hemiselulosa dan selulosa menjadi lebih pendek dan mudah dicerna. Kandungan serat tinggi 62,5-75.37%, dimulai dari umur muda 10 tahun. Batang dilihat dari komposisi kimia terutama kandungan lignoselulosanya maka baik dimanfaatkan untuk energy yaitu gasifier. Selain itu dimanfaatkan untuk furniture bersama akarnya.

Hasil pengamatan ranting kandungan abu tidak berbeda nyata. Sedangkan untuk serat semakin naik yaitu 10, 20 dan 30 tahun berturut-turut adalah 66,24, 71,4 dan 77,7%. Pengamatan ADF dan NDF kenaikan setiap tahun tidak berarti, demikian juga lignin. Hal ini memungkinkan dicampur daun yang bekas sortiran untuk pakan, Pemanfaatan ranting teh seperti halnya batangnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan furniture.

Daun teh kebanyakan dimanfaatkan untuk manusia sebagai bahan minuman. Kadar abu daun teh (6,34-7,83%) lebih tinggi dibanding batang (2,02-4,66%) dan ranting (2,09-2,86%) tetapi lebih rendah dari akar (5,18-27,52%). Untuk serat kasar daun teh berkisar antara 31,2-31,35 tidak berbeda nyata. Daun teh mengandung protein (16%), lemak (8%), klorofil (1,5%), pectin (4%), pati (0,5%), serat kasar (22%) (Setyamijaya.D. 2000). Hasil penelitian ini kandungan serat sedikit lebih tinggi. Daun teh biasa dimanfaatkan untuk minuman, yang dipercaya dapat menjaga kesehatan. Dengan demikian manfaat daun teh sampai saat ini sudah jelas dan cukup digemari.

Hasil pengamatan untuk limbah teh lignin semakin tambah tahun umur pohon semakin meningkat disertai hemi dan

selulosanya, kecuali daun teh. Batang, akar dan ranting mempunyai hemiselulosa yang rendah, tetapi selulosa dan lignin yang tinggi. Selulosa dan lignin pada batang, akar dan ranting teh sepertinya mempunyai ikatan yang kuat sehingga strukturnya keras. Paling memungkinkan pemanfaatannya untuk gasifier dan bahan furniture

Tabel 43. Fraksinasi Serat dari limbah teh pada umur 10, 20 dan 30 tahun

No.	Bagian Tanaman/umur (tahun)	Serat	Lignin	Hemi-selulosa	Selulosa
		%			
1.	Akar tanaman				
	➤ Akar umur 10	43.68	14.6	3.8	25.28
	➤ Akar umur 20	47.24	14.19	5.76	27.29
	➤ Akar umur 30	76.88	38.47	9.66	28.75
2.	Batang tanaman				
	➤ Batang umur 10	62.5	23.85	7.29	31.36
	➤ Batang umur 20	75.37	24.83	9.87	40.67
	➤ Batang umur 30	75.23	36.45	9.53	29.25
3.	Ranting dan cabang tanaman				
	➤ Ranting umur 10	66.24	32.23	5.47	28.54
	➤ Ranting umur 20	77.7	35.45	7.83	34.42
	➤ Ranting umur 30	71.4	30.71	8.03	32.66
4.	Daun tanaman				
	➤ Daun umur 10	31.32	18.61	6.33	6.38
	➤ Daun umur 20	31.35	15.93	10.07	5.35
	➤ Daun umur 30	31.2	11.83	12.36	7.01

BAB VI.

KONVERSI-BIO DAN KONVERSI TERMAL BIOMASSA KELAPA SAWIT

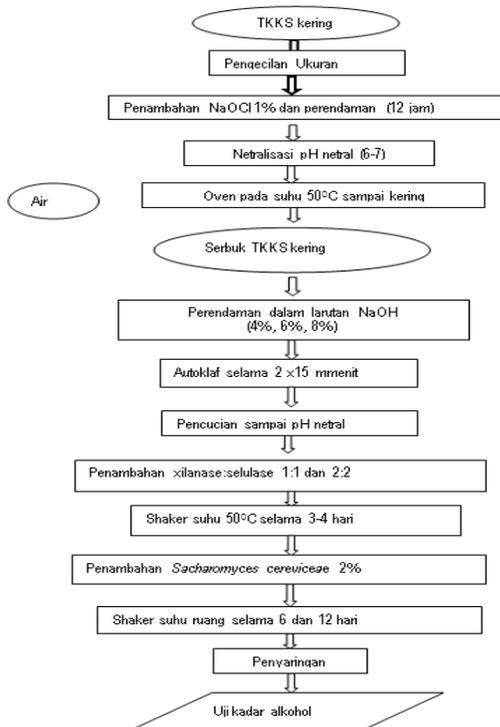
6.1. Konversi Bio : Pembuatan bioetanol dari TKKS

Produksi etanol dari TKKS melalui proses pretreatment dengan natrium hidroksida encer dan autoclave, sakarifikasi dengan proses enzimatik (selulase dan xianase), fermentasi dengan kultur *S. cerevisiae* dan terakhir destilasi. Peralatan untuk produksi dan analisis antara lain neraca analisis, pipet volume, peralatan gelas, pH meter, *hammer mill*, *oven*, *High Pressure Homogenizer*, *autoclave*, seperangkat alat destilasi. Peralatan pembantu meliputi kontainer plastik, ember plasti, tissue gulung, botol smpel dan lain lain. TKKS dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50°C. Hasil pengeringan dikecilkan ukurannya menggunakan *Hammer mill* hingga >100 mesh. TKKS dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50°C. Hasil pengeringan dikecilkan ukurannya menggunakan *Hammer mill* hingga >100 mesh. Prosedur pembuatan bioethanol adalah sebagai berikut :

- a) Bahan dihaluskan menggunakan *hammer mill*,
- b) Dihaluskan menggunakan *High power Milling*
- c) Tambahkan NaOCl 1% dan rendam selama 12 jam.
- d) Cuci dengan air sampai pH netral (6-7)
- e) Oven sampai kering pada suhu 50°C

- f) Dari hasil pengering, timbang sampel 6 gram dan tempatkan pada Erlenmeyer 100 ml.
- g) Tambahkan / rendam dalam NaOH 10 %, kemudian di autoklaf 2x 15 menit
- h) Cuci sampel dengan air sampai pH netral.
- i) Tambahkan enzim xilanase dan selulase 1% dan 1%, kemudian dishaker pada suhu 50°C selama 3-4 hari.
- j) Tambahkan *Sacharomyces cereviceae* 2% dan shaker selama 6 hari pada suhu ruang.
- k) Saring dan uji kadar alkoholnya pada 6 hari.

Diagram alir proses produksi bioetanol disajikan pada Gambar 2.



Gambar 13. Diagram alir proses produksi bioetanol dari TKKS dengan variasi perlakuan NaOH dan dosis enzim xilanase:selulase

Jika dilakukan analisis untuk beberapa komponen dalam proses pembuatan bioetanol adalah sebagai berikut :

Kadar Air (AOAC, 2006). Cawan aluminium dikeringkan dalam oven selama 15 menit dan didinginkan dalam desikator selama 10 menit dan ditimbang (A). Sampel ditimbang sebanyak ± 2 g dalam cawan (B). Cawan beserta isi dikeringkan dalam oven 100 °C selama 6 jam. Cawan dipindahkan ke dalam desikator lalu didinginkan dan ditimbang. Cawan beserta isinya dikeringkan kembali sampai diperoleh berat konstan (C).

$$\text{Perhitungan : Kadar Air (\% bb)} = \left[\frac{B - (C - A)}{B} \right] \times 100\%$$

Kadar Abu (AOAC, 2006). Disiapkan cawan untuk melakukan pengabuan, kemudian dikeringkan dalam oven selama 15 menit lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang (A). Sampel ditimbang sebanyak ± 3 g dalam cawan (B), kemudian dibakar dalam ruang asap sampai tidak mengeluarkan asap lagi. Selanjutnya dilakukan pengabuan di dalam tanur listrik pada suhu 400-600°C selama 4-6 jam sampai terbentuk abu berwarna putih atau memiliki berat yang tetap. Abu beserta cawan didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang (C).

$$\text{Perhitungan : Kadar Abu (\% bb)} = \frac{C - A}{B} \times 100\%$$

Kadar Serat Kasar (AOAC, 2006). Contoh sebanyak 5 g dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 500 ml kemudian ditambahkan 100 ml H₂SO₄ 0,325 N dan dididihkan selama kurang lebih 30 menit. Ditambahkan lagi 50 ml NaOH 1,25 N dan dididihkan selama 30 menit. Dalam keadaan panas disaring dengan kertas Whatman No.40 setelah diketahui bobot

keringnya. Kertas saring yang digunakan dicuci berturut-turut dengan air panas, 25 ml H₂SO₄ dan etanol 95%. Kemudian dikeringkan di dalam oven bersuhu 100-110°C sampai bobotnya konstan. Kertas saring didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

Bobot endapan kering

$$\text{Kadar serat kasar (\%)} = \frac{\text{—————}}{100\%} \times$$

Bobot contoh

Kadar lignin (AOAC, 2006). Sampel sebanyak 1 g ditimbang dalam labu erlenmeyer 250 ml kemudian ditambahkan H₂SO₄ 20 ml. Selanjutnya didiamkan selama 2 jam dan dikocok perlahan-lahan. Sampel kemudian ditambahkan aquades sebanyak 250 ml, dipanaskan dalam waterbath pada suhu 100°C selama 3 jam. Selanjutnya dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring yang telah diketahui bobotnya (A). Erlenmeyer dan corong dibilas dengan aquades sebanyak 3 kali. Kertas saring beserta residu diovenkan pada suhu 105°C selama 12 jam atau pada suhu 500°C selama 24 jam. Kertas saring didinginkan dan ditimbang bobotnya (B). Kertas saring dengan residu diabukan dengan muffle furnace pada suhu 600°C selama 34 jam. Kemudian didinginkan dan ditimbang (C).

$$B - A - C$$

$$\text{Kadar lignin (\%)} = \frac{\text{—————}}{\text{Bobot contoh}} \times 100\%$$

Keterangan:

B = bobot kertas saring dan residu setelah dioven (g)

A = bobot kertas saring (g)

C = bobot abu (g)

Kadar hemiselulosa dan selulosa, dianalisis sebagai berikut :

a. Kadar NDF (*Natural Detergen Fiber*) (Van Soest dalam Shofiyanto, E.M., 2008)

Sampel sebanyak A g, dimasukkan ke dalam gelas piala berukuran 500 ml serta ditambahkan dengan larutan NDS. Larutan NDS terdiri dari bahan kimia sebagai berikut : aquades 1 l; Natrium sulfat 30 g; EDTA 18,81 g; Natrium Borat 10 H₂O 6,81 g; NaHPO₄ anhidrat 4,5 g dan 2etoksi etanol murni 10 ml. Selanjutnya menimbang filter glass G3 (B). Sampel yang telah ditambahkan larutan NDS disaring dengan bantuan pompa vakum, dibilas dengan air panas dan aseton. Hasil penyaringan tersebut dikeringkan dalam oven 105°C, setelah itu dimasukkan dalam esikator selama satu jam, kemudian dilakukan penimbangan terakhir (C).

$$\% \text{ NDF} = \frac{C - B}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

A = bobot sampel (g), B = bobot filter glass (g)

C = bobot filter glass dan sampel setelah dioven

b. Kadar ADF (*Acid Detergen Fiber*) dan Hemiselulosa

Sampel sebanyak A g, dimasukkan ke dalam gelas piala serta ditambahkan dengan 50 ml larutan ADS. Larutan ADS terdiri dari : H₂SO₄; CTAB (*cethyle trimethyl ammonium bromide*). Sampel yang telah ditambahkan larutan tersebut dipanaskan selama satu jam di atas penangas listrik. Penyaringan dilakukan dengan bantuan pompa vacum dengan juga menggunakan filter glass

yang ditimbang (B).Pencucian dilakukan dengan aseton dan air panas.Dilakukan pengeringan dan memasukkan hasil penyaringan tersebut ke dalam oven.Setelah itu dimasukkan lagi ke dalam desikator untuk melakukan pendinginan dan ditimbang (C).

$$\% \text{ ADF} = \frac{C - B}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

A = bobot sampel (g)

B = bobot filter glass (g)

C = bobot filter glass dan sampel setelah dioven

Kadar Hemiselulosa = % NDF - %ADF

c. Kadar Selulosa

Residu ADF (C) yang berada di dalam filter glass diletakkan di atasnampan yang berisi air setinggi kirakira1 cm. Kemudian ditambahkan H₂SO₄ setinggi ¾ bagian filter glass dan dibiarkan selama 3 jam sambildiadukaduk.Penyaringan dilakukan dengan bantuan pompa vacum denganjuga menggunakan filter glass. Pencucian dilakukan dengan aseton dan airpanas.Dilakukan pengeringan dan memasukkan hasil penyaringan tersebutke dalam oven.Setelah itu dimasukkan lagi ke dalam desikator untukmelakukan pendinginan dan ditimbang (D).

$$\% \text{ Selulosa} = \frac{D - C}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

A = bobot sampel (g)

D = bobot filter glass dan residu ADF setelah dioven (g)

C = bobot filter glass dan residu ADF awal (g)

6.1.1. Hasil konversi bio tandan kosong kelapa sawit

Karakterisasi Bahan Baku. Selulosa adalah polimer glukosa yang membentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan (Holtzaple, 1993).

Kebanyakan selulosa berasosiasi dengan lignin sehingga sering disebut sebagai lignoselulosa. Selulosa, hemiselulosa dan lignin dihasilkan dari proses fotosintesis. Pada saat yang sama, komponen-komponen utama penyusun tanaman ini diuraikan oleh aktifitas mikroorganisme. Beberapa mikroorganisme mampu menghidrolisis selulosa untuk digunakan sebagai sumber energi, seperti bakteri dan fungi (Enari, 1983). Rantai selulosa terdiri dari satuan glukosa anhidrida yang saling berikatan melalui atom karbon pertama dan keempat. Ikatan yang terjadi adalah ikatan β -1,4-glikosidik.

Selulosa dapat dikonversi menjadi produk-produk bernilai ekonomi yang lebih tinggi seperti glukosa, etanol dan pakan ternak dengan jalan menghidrolisis selulosa dengan bantuan selulase sebagai biokatalisator atau dengan hidrolisis secara asam/basa (Ariestaningtyas, 1991).

Lignin adalah bagian utama dari dinding sel tanaman yang merupakan polimer terbanyak setelah selulosa. Lignin yang merupakan polimer aromatik berasosiasi dengan polisakarida pada dinding sel sekunder tanaman dan terdapat sekitar 20-40 %. Komponen lignin pada sel tanaman (monomer guasil dan siringil) berpengaruh terhadap pelepasan dan hidrolisis polisakarida.

Lignin adalah molekul kompleks yang tersusun dari unit *phenylpropane* yang terikat di dalam struktur tiga dimensi. Lignin adalah material yang paling kuat di dalam biomassa. Lignin sangat resisten terhadap degradasi, baik secara biologi, enzimatik, maupun kimia. Karena kandungan karbon yang relative tinggi dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa, lignin memiliki kandungan energi yang tinggi.

Bahan baku TKKS yang digunakan berasal dari PTP Nusantara VIII, pabrik pengolahan sawit Kertajaya, Malimling Banten. Karakterisasi bahan baku yang dilakukan yaitu kadar air, abu, serat, selulosa dan lignin. Hasil pengamatan karakterisasi disajikan pada Tabel 37.

Tabel 44. Komposisi bahan baku TKKS

Komposisi	Air	Abu	Serat	ADF	NDF	Selulosa	Lignin
TKKS	8.25	4.01	55.75	65.71	38.18	45.59	20.12

Kandungan serat yang tinggi diharapkan akan meningkatkan rendemen selulosa yang dihasilkan. Kandungan terbesar dari tandan kelapa sawit adalah kandungan serat yaitu antara 55,75%. Hasil pengamatan kadar abu 4,01% lebih tinggi sedikit dibanding penelitian sebelumnya. Hasil selulosa cukup tinggi 45,59% lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yaitu 28,27-34,71% (Prastowo *et al.* 2010).

Delignifikasi. Delignifikasi merupakan proses penghilangan lignin dari TKKS dengan penambahan pelarut natrium hipoklorit (NaOCl). Pelarut NaOCl mengandung ion-ion hipoklorit yang menyebabkan renggangnya ikatan-ikatan karbon dalam struktur lignin sehingga hemiselulosa dihasilkan. Selama delignifikasi berlangsung, jumlah selulosa yang larut hanya sedikit dibandingkan dengan hemiselulosa karena struktur selulosa

berbentuk kristal sedangkan hemiselulosa berbentuk amorf yang lebih mudah dimasuki pelarut.

Tabel 45. Komposisi TKKS sebelum dan sesudah delignifikasi

Komposisi	Sebelum delignifikasi	Sesudah delignifikasi
Serat	55.75	td
Selulosa	45.59	44.89
Lignin	20.12	8.72
Hemiselulosa	14.36	10.29

Td: tidak dianalisis

Serbuk TKKS sebelum delignifikasi dan sesudahnya dianalisis serat, selulosa, lignin dan hemiselulosa. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui komposisi kimia dari bahan lignoselulosa yang akan di hidrolisis secara kimia maupun enzimatis

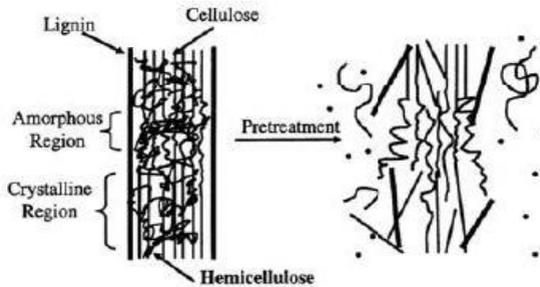
Sebelum delignifikasi kadar serat 55,75% dengan kandungan selulosa 45,59%, hemiselulosa 14,36% dan lignin 20,12% . Setelah delignifikasi maka terjadi penurunan lignin sampai 8,72%, sedangkan selulosa sedikit terjadi penurunan yaitu 44,89%. Hemiselulosa 10,29% terjadi penurunan 4,07%, cukup tinggi dibanding penurunan selulosa (Tabel 38.) Hal tersebut disebabkan hemiselulosa lebih mudah terhidrolisis dibanding selulosa. Hemiselulosa membentuk ikatan matrik antara lignin dan selulosa, sehingga mudah ikut terurai pada kondisi basa/asam kuat.

6.1.2. Optimasi proses produksi bioethanol dari tandan kosong kelapa sawit

Optimasi proses produksi bioetanol berdasarkan ukuran bahan baku. Pembuatan bahan-bahan lignoselulosa hingga menjadi etanol melalui empat proses utama: pretreatment, hidrolisa, fermentasi, dan terakhir adalah pemisahan serta pemurnian

produk etanol (Mosier *et al.*, 2005). Bahan-bahan lignosellulosa umumnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa secara alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin. Adanya senyawa pengikat lignin inilah yang menyebabkan bahan-bahan lignosellulosa sulit untuk dihidrolisa (Iranmahboob *et al.*, 2002).

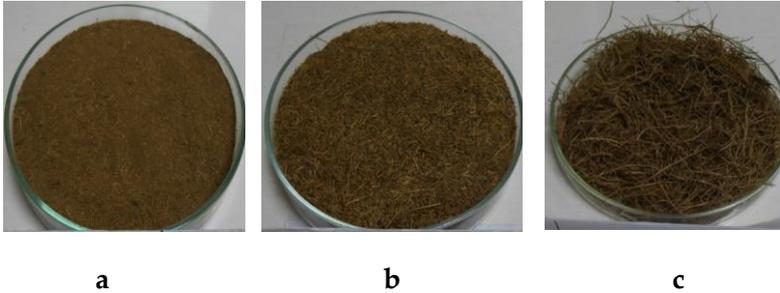
Berdasarkan hal tersebut dan kandungan serat yang cukup tinggi (Tabel 1) maka perlu dilakukan *pretreatment* baik pengecilan bahan baku maupun penggunaan bahan kimia. Proses *pretreatment* dan hidrolisa merupakan tahapan proses yang sangat penting yang dapat mempengaruhi perolehan hasil etanol. Proses *pretreatment* dilakukan untuk mengkondisikan bahan-bahan lignosellulosa baik dari segi struktur dan ukuran. Proses perlakuan awal dilakukan karena beberapa faktor seperti kandungan lignin, ukuran partikel serta kemampuan hidrolisis dari selulosa dan hemiselulosa (Hendriks dan Zeeman, 2009). Proses *pretreatment* yang sekaligus proses hidrolisa meliputi : perlakuan secara fisik, fisik-kimiawi, kimiawi dan enzimatik (Mosier *et al.*, 2005; Sun and Cheng, 2002). Tujuan dari *pretreatment* adalah untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polimer sakarida menjadi monomer gula. *Pretreatment* menyediakan akses yang lebih mudah untuk enzim sehingga akan mengalami peningkatan hasil glukosa dan xilosa. Tujuan *pretreatment* secara skematis ditunjukkan oleh Gambar 17 dibawah ini.



Gambar 14. Skema Tujuan Pretreatment Biomassa Lignoselulosa (Mosier, *et.al.*, 2005)

Proses pretreatment dilakukan untuk mengkondisikan bahan-bahan lignoselulosa baik dari segi struktur ukuran dengan memecah dan menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur Kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan (Sun dan Cheng, 2002). Rusaknya struktur Kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Selain itu hemiselulosa akan turut terurai menjadi senyawa gula sederhana yaitu glukosa, galaktosa, manosa, heksosa, pentose, xilosa dan arabinosa. Hidrolisis selulosa dan hemiselulosa antara lain dipengaruhi oleh ukuran partikel bahan dan aktivitas enzim yang digunakan.

Proses pretreatment awal yang dilakukan sesudah menghilangkan kandungan lignin yaitu merubah struktur ukuran dengan memecah, mencacah dan mengecilkan ukuran. Pengecilan TKKS melalui beberapa tahapan. Alat yang digunakan antara lain disk mill dengan pisau giling 5000 rpm di giling dengan penggiling kering dengan 30 000 rpm, kemudian menggunakan alat penggiling high power mil. (Gambar 18).



Gambar 15. Tandan kosong kelapa sawit setelah dilakukan penghancuran menggunakan a. Hammer mill, b. Disk mill dan c. High Power mill

Dengan pengecilan ukuran diharapkan semakin kecil ukuran semakin mudah asam/basa ataupun enzim masuk ke sel jaringan, sehingga hidrolisis lebih meningkat. Dari percobaan pengaruh pengecilan ukuran terhadap hasil etanol disajikan pada Tabel 39.

Dari hasil percobaan ternyata pengecilan ukuran yang menggunakan hammer mill saja lolos 40 mesh jauh lebih rendah hasil etanolnya. Dalam percobaan dilakukan juga pengaruh perbedaan tahapan di proses lignifikasi. Bahan yang sudah di kecilkan ukurannya lewat hammer kemudian di lignifikasi lalu di kecilkan ukurannya menggunakan high power milling sampai sangat halus.

Perlakuan lain setelah di hammer mill langsung di kecilkan dengan high power milling kemudian dilakukan lignifikasi. Ternyata tahapan hammer mill- lignifikasi-high power milling paling tinggi menghasilkan etanol. Dengan demikian tahapan tersebut digunakan untuk proses selanjutnya.

Tabel 46. Hasil etanol dari perlakuan kombinasi lignifikasi dan high power mill

Perlakuan	Kadar alkohol (%)
Pengecilan ukuran dengan <i>Hammer mill</i>	2.23 ^a
Pengecilan ukuran dengan <i>High Power Milling</i> sebelum delignifikasi	6.06 ^b
Pengecilan ukuran dengan <i>High Power Milling</i> setelah delignifikasi	3.33 ^a

Keterangan: - Data rerata diambil dari 6 kali ulangan.

- angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf 5%

Optimasi proses produksi bioetanol berdasarkan perlakuan konsentrasi NaOH dan dosis enzim xilanase:selulase.

Perlakuan kombinasi penambahan NaOH (4, 6, dan 8%) dan dengan xilanase dan selulase (1, 2, 3 dan 4%) (Tabel 40). Dari hasil penelitian ternyata semakin tinggi kadar NaOH dan enzim etanol yang dihasilkan semakin tinggi. Capaian tertinggi etanol yang dihasilkan adalah 19,52%. Dan kadar etanol ini sudah tertinggi untuk proses fermentasi, karena bila lebih tinggi dari 20% etanol maka proses fermentasi atau kehidupan mikroba akan terganggu.

Tabel 47. Hasil pengamatan etanol pada perlakuan NaOH, selulase dan xilanase

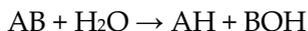
Enzym	NaOH 4%	NaOH 6%	NaOH 8%
Selulase dan xilanase 1%	3.44	6,04	7,73
Selulase dan xilanase 2%	4.98	7,06	8,04
Selulase dan xilanase 3%	6.47	9,51	16,83
Selulase dan xilanase 4%	4.24	16,18	19,52

Data diperoleh dari rata2 4x ulangan

Proses hidrolisis bertujuan memecah ikatan lignin, menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak

struktur kital dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan (Sun and Cheng, 2002). Rusaknya struktur kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Selain itu, hemiselulosa turut terurai menjadi senyawa gula sederhana: glukosa, galaktosa, manosa, heksosa, pentosa, xilosa dan arabinosa. Selanjutnya senyawa-senyawa gula sederhana tersebut yang akan difermentasi oleh mikroorganisme menghasilkan etanol (Mosier *et al.*, 2005).

Hidrolisis merupakan reaksi kimia yang memecah molekul menjadi dua bagian dengan penambahan molekul air (H₂O), dengan tujuan untuk mengkonversi polisakarida menjadi monomer-monomer sederhana. Satu bagian dari molekul memiliki ion hidrogen (H⁺) dan bagian lain memiliki ion hidroksil (OH⁻). Umumnya hidrolisis ini terjadi saat garam dari asam lemah atau basa lemah (atau keduanya) terlarut di dalam air. Reaksi umumnya yakni sebagai berikut :



Akan tetapi, dalam kondisi normal hanya beberapa reaksi yang dapat terjadi antara air dengan komponen organik. Penambahan asam, basa, atau enzim umumnya dilakukan untuk membuat reaksi hidrolisis dapat terjadi pada kondisi penambahan air tidak memberikan efek hidrolisis. Asam, basa maupun enzim dalam reaksi hidrolisis disebut sebagai katalis, yakni zat yang dapat mempercepat terjadinya reaksi (Lowry, 1987).

Penggandaan Skala. Setelah optimasi untuk perbaikan proses dari hasil penelitian sebelumnya, maka hasil optimasi tersebut sebagai dasar untuk penggandaan skala. Penggandaan skala untuk skala <100 liter sebagai contoh, dapat dilakukan di Puspitek dengan contoh peralatan skala industri untuk bioetanol dari limbah pertanian/sumber lignoselulosa seperti pada Gambar 19.

Dari hasil peninjauan di pilot plant bioethanol sawit tersebut, peralatan proses dan enzim selulase dan xilanase yang digunakan berasal dari Korea. Proses delignifikasi dilakukan menggunakan NaOH 10%, kemudian dicuci sampai pH 7. Selanjutnya di proses enzimatik lalu fermentasi. Produksi bioethanol dari TKKS dengan skala 50 liter di pusat produksi Bioetanol di Puspitek.



Gambar 16. Peralatan untuk delignifikasi sekaligus hidrolisis awal dengan NaOH



Gambar 17. Peralatan untuk proses enzimatik dan fermentasi

6.1.3. Optimasi proses produksi bioetanol dari TKKS skala 50 liter

Proses pretreatment bertujuan untuk membuka struktur rapat dari bahan lignoselulosa agar air dan enzim selulase dapat mencapai selulosa. Proses *pretreatment* ini juga akan mempertegas perbedaan karakteristik selulosa, hemiselulosa dan lignin (Chen, *et al.*, 2010). Selain itu, *pretreatment* bertujuan untuk mengurangi kristalinitas dari selulosa, meningkatkan porositas biomassa dan mencapai fraksinasi yang diinginkan (Keshwani dan Cheng, 2009). Pada penelitian ini, kadar lignin setelah proses pretreatment mengalami penurunan dari 20.43 % menjadi 7.5 % (Tabel 43). Dengan semakin banyaknya lignin yang terdegradasi maka proses hidrolisis akan semakin sempurna sehingga proses fermentasi untuk mengkonversi menjadi etanol akan optimal (Samsuri *et al.*, 2007).

Tabel 48. Kadar air serbuk TKKS sebelum dan setelah pretreatment

Batc h	Bahan Baku (Kg)	Kadar air (%)	Volume + NaOH 10%	Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Kadar air Setelah pretreatment (%)	Berat kering (Kg)
1	50	7.22	200 L	150	20	72.40	16.28
2	50	7.33	200 L	130	20	75.17	23.24

Tabel 49. Kadar lignin, selulosa, hemiselulosa dan abu serbuk TKKS sebelum dan setelah pretreatment

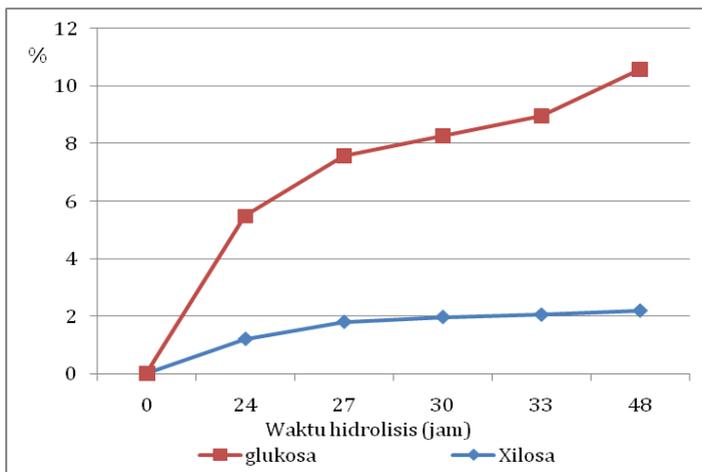
Kondisi	Bahan	Lignin (%)	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Kadar Abu (%)
Sebelum pretreatment	TKKS	20.43	44.65	14.72	3.04
Setelah pretreatment	Batch 1	7.09	45.89	10.59	0.035
	Batch 2	8.04	45.67	9.93	0.075

Penambahan NaOH 8% juga dapat menaikkan kandungan selulosa dan hemiselulosa, dimana komponen tersebut yang akan dihidrolisis untuk menghasilkan glukosa dan xilosa. Lima gula netral, yaitu glukosa, mannososa, dan galaktosa (heksosan) serta xilosa dan arabinosa (pentosan) merupakan konstituen utama hemiselulosa (Fengel dan Wegener 1984). Berbeda dari selulosa yang merupakan homopolisakarida dengan monomer glukosa dan derajat polimerisasi yang tinggi (10.000–14.000 unit), rantai utama hemiselulosa dapat terdiri atas hanya satu jenis monomer (homopolimer), seperti xilan, atau terdiri atas dua jenis atau lebih monomer (heteropolimer), seperti glukomannan. Rantai molekul hemiselulosa pun lebih pendek daripada selulosa. Hidrolisis sempurna akan menghasilkan monomer selulosa yaitu glukosa, hidrolisis tidak sempurna akan menghasilkan disakarida dari selulosa yaitu selobiosa, jika dihidrolisis lebih lanjut menjadi glukosa (Samsuri, 2008).

Hidrolisis lignoselulosa menjadi glukosa dan xilosa dapat menggunakan enzim β -glukosidase (Sunarti dan Richana, 2004). Hidrolisis juga dapat dilakukan dengan enzim selulase dan xilanase. Setelah melalui hidrolisis enzimatis, proses selanjutnya yaitu sakarifikasi dimana selulosa menghasilkan glukosa, sedangkan xilanase menghidrolisis xilan atau hemiselulosa menjadi xilosa. Pada penelitian ini digunakan enzim selulose:xilanase dengan perbandingan 1:1 % sesuai perlakuan yang dipilih pada percobaan II. Selain itu digunakan penambahan H_2SO_4 dengan konsentrasi 10% hingga pH larutan menjadi sekitar 5 dan juga digunakan penambahan *Sacharomyces cerevisiae* 1%. Proses fermentasi ini bersifat anaerob dengan pH substrat/larutan 5. Berdasarkan Tabel 7. dan Gambar 21, kadar glukosa dan xilosa semakin meningkat pada selang waktu 1-2 hari selama proses sakarifikasi. Dimana kadar xilosa berbanding lurus dengan kadar glukosa (Gambar 21).

Tabel 50. Kadar glukosa dan xilosa selama proses sakarifikasi untuk produksi bioetanol dari TKKS

Parameter	Batch	Waktu sakarifikasi (Jam)						
		0	24	27	30	33	48	49.5
Glukosa (%)	1	0	4.31	5.58	6.37	6.37	6.87	8.54
	2	0	4.23	5.98	6.23	6.23	6.98	8.29
Xilosa (%)	1	0	1.12	1.81	1.98	1.97	2.01	2.23
	2	0	1.31	1.79	1.97	1.97	2.09	2.16



Gambar 18. Grafik hubungan glukosa dan xilosa dengan lama waktu sakarifikasi untuk produksi bioetanol dari TKKS

Fermentasi alkohol pada dasarnya adalah suatu cara produksi alkohol (etanol) menggunakan bantuan mikroorganisme. Alkohol yang dihasilkan sering disebut sebagai bioetanol. Dalam perkembangannya produksi alkohol yang paling banyak digunakan adalah metode fermentasi dan destilasi (Chemiawan, 2007). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti dalam proses fermentasi,

pH substrat dipertahankan pada pH 4,5 –5,0 (Okunowo, 2007; Prasetyaningasih, 2007).

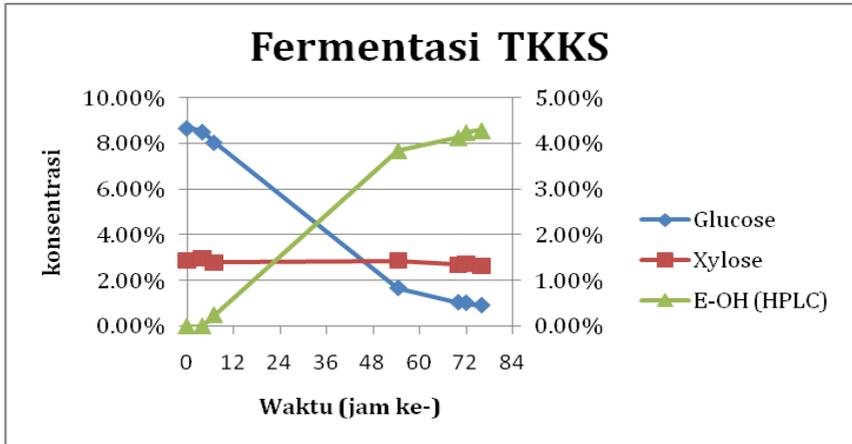
Secara teoritis, hidrolisis glukosa akan menghasilkan etanol dan karbondioksida. Perbandingan mol antara glukosa dan etanol dapat dilihat pada reaksi berikut ini:



Satu mol glukosa menghasilkan 2 mol ethanol dan 2 mol karbondioksida, atau dengan perbandingan bobot tiap 180 g glukosa akan menghasilkan 90 g etanol. Dalam penelitian ini kadar glukosa pada saat sakarifikasi berkisar 8% dan menjadi etanol sebanyak 4% pada saat proses fermentasi selama 72 jam (3 hari) (Tabel 44). Kandungan etanol akan mencapai maksimum terjadi pada saat proses fermentasi selama 76 jam yaitu 4,3% (Tabel 44.). Hubungan kadar glukosa dengan kadar etanol berbanding terbalik, dimana semakin tinggi kadar etanol maka semakin menurun kadar glukosanya, grafik hubungan tersebut disajikan pada Gambar 22.

Tabel 51. Kadar glukosa, xilosa dan etanol selama proses fermentasi untuk produksi bioetanol dari TKKS

Batches	Parameter	Waktu (Jam)						
		0	4	7	54.5	70	72	76
1	Glukosa (%)	8.54	8.41	8.037	1.664	1.037	1.013	0.907
	Xylosa (%)	2.23	2.09	2.03	2.12	2.01	2.05	2.01
	E-OH (HPLC) (%)	-	-	0.247	3.846	4.133	4.248	4.290
	E-OH (Densito) (%)	-	-	-		4.650	5.070	5.020
2	Glukosa (%)	8.29	8.11	7.987	1.464	1.035	1.003	0.897
	Xylosa (%)	2.16	2.09	2.03	2.09	2.08	2.05	2.01
	E-OH (HPLC) (%)	-	-	0.257	3.896	4.163	4.267	4.289
	E-OH (Densito) (%)	-	-	-		4.645	5.050	5.000



Gambar 19. Grafik hubungan glukosa, xilosa dan etanol dengan lama waktu fermentasi untuk produksi bioetanol dari TKKS

Setelah dilakukan proses fermentasi selama 3 hari maka dilanjutkan proses destilasi. Destilasi dilakukan untuk memisahkan etanol. Destilasi merupakan pemisahan komponen berdasarkan titik didihnya. Titik didih etanol murni adalah 78°C sedangkan air adalah 100°C (Kondisi standar). Dengan memanaskan larutan pada suhu rentang 78 – 100 °C akan mengakibatkan sebagian besar etanol menguap, dan melalui unit kondensasi akan bisa dihasilkan etanol dengan konsentrasi 95 % volume. Pada penelitian ini dihasilkan kadar alkohol sekitar 82,1 – 84,5% dengan rendemen 14,2 – 15,5 % (Tabel 45). Rendemen tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan rendemen yang diperoleh Mangunwidjaya *et al* (2009), dimana rendemen yang diperoleh 12,1 % dari bahan baku tanaman jagung. Dari proses pretreatment hingga proses destilasi dibutuhkan waktu selama 6 hari, hal ini sesuai pada percobaan II yang menunjukkan kadar alkohol tertinggi terjadi pada 6 hari setelah fermentasi.

Tabel 52. Kadar dan rendemen alkohol setelah proses destilasi untuk produksi bioetanol dari TKKS

Batch	Rendemen (% liter/kg)	Kadar alkohol (%)
1	15,5	84,5
2	14,2	82,1
Rata-rata	14,85	83,3

Contoh optimalisasi proses pembuatan bioethanol dari tandan kosong kelapa sawit menunjukkan bahwa :

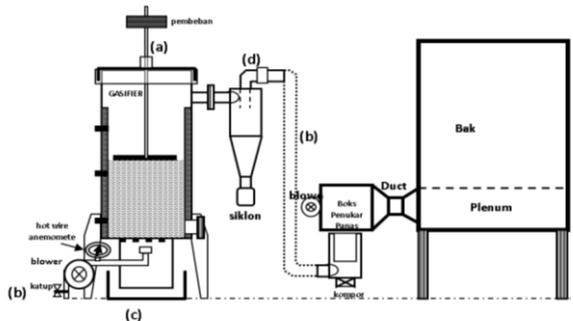
1. Pengecilan ukuran TKKS dapat meningkatkan kadar alkohol yang dihasilkan.
2. Penambahan NaOH 10% pada saat proses pretreatment menghasilkan kadar selulosa, xilosa dan kadar alkohol yang tinggi dibandingkan perlakuan penambahan NaOH yang lainnya, serta menurunkan kadar lignin yang cukup besar.
3. Rendemen dan kadar alkohol yang dihasilkan selama proses produksi bioetanol adalah 14,85% pada kadar alcohol sekitar 83,3 %.

6.2. Konversi Termal Biomassa : Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Pengeringan Produk Pertanian dan Pengoperasian Motor Diesel

Laju gasifikasi sangat dipengaruhi laju input udara di zone pembakaran (Purwantana, 2007a). Untuk keperluan pengaturan laju udara tersebut maka diperlukan pengatur debit udara yang sesuai. Purwantana (2009) juga melaporkan tentang perlunya pengeluaran abu sisa gasifikasi secara teratur untuk menjaga stabilitas suhu proses gasifikasi. Untuk tujuan tersebut maka pada pengembangan gasifier ini akan dipasang suatu mekanisme pengeluaran abu berupa *auger* yang dipasangkan di bagian bawah zone gasifikasi yang dioperasikan secara manual. Meskipun gas yang dihasilkan pada gasifier tipe aliran kebawah

relatif lebih bersih daripada tipe aliran keatas, namun Purwantana (2007b,c) masih mendapatkan prosentase tar pada gas yang akan cukup mengganggu apabila gas digunakan sebagai bahan bakar motor. Untuk itu dalam rancangan gasifier dapat dilengkapi dengan mekanisme siklon untuk membersihkan gas yang dihasilkan, khususnya apabila gas akan digunakan sebagai bahan bakar motor.

Berikut adalah contoh suatu pengujian dilakukan di Laboratorium Energi dan Mesin Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, dan di Badan Litbang Perkebunan, Cimanggu, Bogor, mulai bulan Januari sampai dengan Desember 2014. Gambar 23 memperlihatkan bagian-bagian gasifier. Sistem pengumpanan (a) dibuat agar pemasukan bahan bakar dapat dilakukan secara kontinu dengan tetap mempertahankan kerapatan pintu input. Dilakukan juga penambahan hopper di atas reaktor dengan memberikat sekat geser yang berfungsi sebagai pintu buka-tutup bahan. Untuk mengurangi keluarnya gas produksi dari pintu hopper maka dapat dilakukan perubahan letak dan jenis blower yang digunakan.



Gambar 20. Skema Bagian-bagian Gasifier dan Rangkaianannya untuk Pengeringan

Untuk mengurangi kebocoran gas maka dilakukan pergantian jenis dan letak blower yaitu dengan mengganti fan blower menjadi blower sentrifugal dan memindahkannya dari yang semula sebagai penghembus udara di bagian bawah ruang pembakaran menjadi blower penghisap yang diletakkan setelah siklon (b). Berdasarkan uji kinerja awal mekanisme hasil modifikasi memberikan hasil yang baik yaitu gas tidak keluar lewat hopper pada saat periode pemasukan bahan dan operasional gasifikasi.

Mekanisme penampungan abu sisa gasifikasi dari yang semula menggunakan sistem basah menggunakan bak air di bagian bawah ruang pembakaran diubah menjadi sistem tertutup tetapi dapat dibuka-tutup secara periodik (c). Penggantian ini dimaksudkan agar reaktor gasifier lebih mudah dipindahkan dan lingkungan lebih bersih (tidak becek)

Dengan mengubah sistem aliran udara dan gas dari yang semula didorong menjadi ditarik, ada konsekuensi yaitu akan lebih banyak uap tar dan uap air yang tercampur dalam gas produksi. Untuk itu maka diperlukan sebuah sistem penyaring (filter) yang diletakkan setelah sistem siklon (d). Filter dirancang berupa silinder dengan penyekat busa atau glasswool yang diletakkan di bagian tengah silinder.

6.2.1. Komponen rancangbangun gasifier yang harus diperhatikan

Gambar 24a dan 24b memperlihatkan sistem gasifier secara keseluruhan yang memuat rancangan gasifier khususnya pada sistem pengumpulan bahan dan pengeluaran abu, sistem pemasukan udara, dan sistem pendinginan dan penyaringan gas. Pada bagian pengumpulan telah dilakukan pemasangan pembatas berupa pintu geser yang dipasang di antara hopper dan reaktor (Gambar 24c). Dengan sistem ini maka

pengumpanan bahan dilakukan dengan cara membuka-tutup pintu atau katup geser secara cepat sehingga memperpendek peluang masukkan udara berlebihan ke dalam reaktor. Disamping itu dengan sistem pengumpanan ini dapat dilakukan peneraan dan perhitungan periode waktu pengisian dengan cara memuatkan bahan bakar di dalam hopper dengan volume tertentu berdasarkan perhitungan laju penurunan bahan. Berdasar pengukuran awal laju bahan bakar pada gasifier adalah 8-10 kg per jam sehingga di dalam hopper dapat ditampung 2,5 kg bahan yang diumpankan setiap 15 menit.

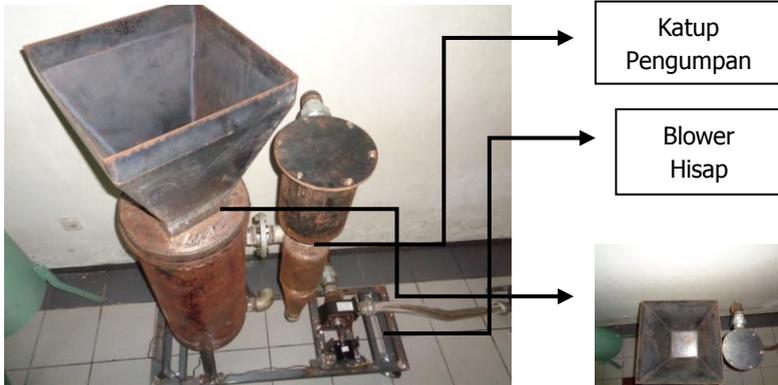
Pada sistem pengeluaran abu, telah dilakukan perubahan dari sistem basah yaitu dengan memasang bak air di bawah reaktor yang sekaligus berfungsi sebagai katup menjadi sistem kering berupa bak abu tertutup yang dapat dibuka dan dikeluarkan abunya secara periodik. Volume bak abu dibuat sedemikian sehingga periode pembukaan untuk pengeluaran abu dilakukan setiap minimal 4-5 jam sekali.

Bersamaan dengan modifikasi sistem pengeluaran abu, juga telah dilakukan perbaikan bagian *grate* (angasang) (Gambar 24d) sedemikian sehingga bagian angasang dapat diputar secara terbatas untuk membantu kelancaran pengeluaran abu. Pemutaran angasang dilakukan melalui tuas yang dihubungkan dengan poros angasang. Berdasarkan uji pendahuluan kinerja angasang sudah cukup baik dalam membantu kelancaran penurunan abu sekaligus membantu penurunan biomassa di ruang reaktor gasifier.



Gambar 21. Bagian-bagian gasifier yang harus menjadi perhatian kualitasnya

Sistem aliran input yang tepat untuk mengurangi kebocoran gas. Sistem aliran input dilakukan secara simultan dapat dengan modifikasi bak penampung bahan bakar (hopper) dan perubahan tata letak blower. Pada disain sebelumnya, blower dipasang pada bagian bawah reaktor dan menyemburkan udara di zona pembakaran sekaligus mendorong gas yang diproduksi ke atas keluar melalui pipa outlet. Pada kondisi tertentu maka karena tekanan yang besar dari gas produksi menyebabkan gas tersebut keluar melalui hopper. Karena gas membawa uap air dan juga uap tar menyebabkan bahan di bagian hopper cenderung basah dan lengket sehingga sulit untuk bergerak turun. Akibatnya terjadi rongga atau *cold spot* di dalam reaktor sehingga proses gasifikasi terputus. Dengan perbaikan ini maka dalam percobaan awal diperoleh kinerja yang relatif baik dimana kebocoran gas dapat diatasi dan biomassa di dalam hopper cenderung kering (Gambar 25).



Gambar 22. Bagian katup pengumpan dan blower penghisap

Sistem pendinginan (*cooler*) dan penyaringan gas (*filter*). Untuk membantu mendinginkan dan membersihkan gas produksi maka dalam rancangan gasifier yang baru, ditambahkan tabung filter yang dipasangkan di atas bagian siklon (Gambar 26). Tabung filter terdiri atas suatu silinder dengan diameter 200 mm tinggi 300 mm dengan sekat tengah yang diisi glasswool atau spons. Inlet gas berada di bagian bawah sementara outlet berada di bagian atas samping. Disain ini dimaksudkan agar uap air dan tar yang tersaring bisa secara gravitasi turun dan dikeluarkan dari bagian dasar filter. Dari hasil percobaan awal, filter yang dibuat telah dapat bekerja secara baik.



Gambar 23. Filter pendingin dan penyaring gas

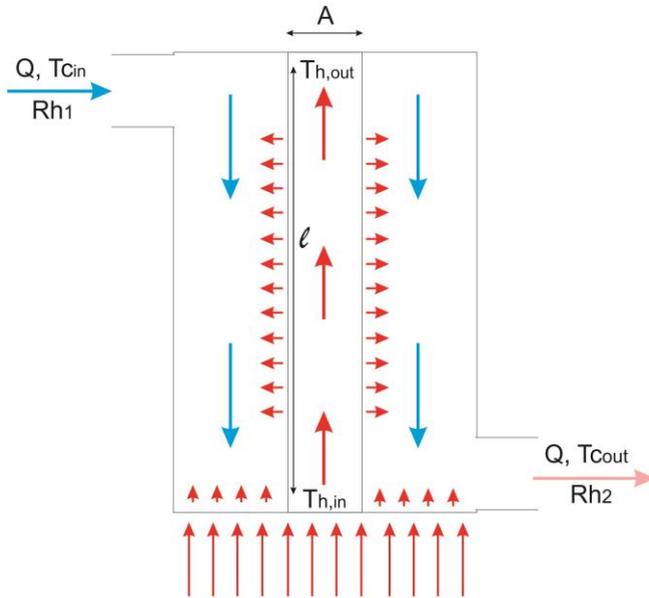
6.2.2. Pengembangan penukar panas dari gasifikasi untuk pengeringan

Untuk penerapan pada pengeringan produk perkebunan seperti kopi, kakao, diperlukan sistem pemanasan tidak langsung yaitu melalui udara yang dipanaskan, tidak langsung dari panas pembakaran bahan bakar. Untuk itu dikembangkan model pemanas berupa ketel pipa udara atau penukar panas. Penukar panas dirancang untuk memenuhi kebutuhan panas untuk alat pengering kakao. Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, kebutuhan suhu untuk pengeringan kakao kurang lebih 50°C . Pemilihan pada suhu tersebut tujuannya adalah untuk mencegah kerusakan pada bahan. Sedangkan sumber panas yang pada praktiknya akan digunakan adalah gasifier.

Kompur pada rangkaian gasifier dapat menghasilkan panas hingga suhu 600°C . Dengan suhu sebesar itu, akan mustahil digunakan secara langsung untuk pengeringan kakao. Selain

suhu yang dihasilkan terlalu tinggi, dari proses pembakaran gas pada kompor gasifier juga menghasilkan jelaga yang nantinya akan mempengaruhi kualitas kakao jika digunakan untuk sumber energi pengeringan secara langsung. Oleh karena itu, alat penukar panas ini dibuat dengan tujuan untuk dapat menghasilkan udara panas yang bersih dengan suhu yang sesuai untuk proses pengeringan kakao. Alat penukar panas ini menggunakan prinsip pemanasan udara secara tidak langsung. Sehingga udara untuk pengeringan tidak terkontaminasi dengan bahan-bahan asing yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Dengan memperhitungkan kebutuhan suhu yang masuk pada alat pengering, serta kemungkinan kehilangan panas selama proses pemindahan udara panas dari alat penukar panas ke alat pengering. Maka alat penukar panas dibuat, dengan patokan suhu keluar minimal adalah 65°C.

Dalam pembuatan alat penukar panas ini ada banyak hal yang perlu diperhatikan, diantaranya adalah pipa api. Pipa api berperan dalam proses pemanasan udara. Karena pipa api adalah saluran tempat mengalirnya udara panas dari kompor. Sehingga jumlah dan berapa luasan (A) pipa api akan mempengaruhi besarnya panas yang dapat disebarkan ke dalam alat penukar panas untuk memanaskan udara yang masuk ke dalam alat penukar panas (Gambar 27). Hal lain yang perlu diperhatikan adalah udara. Karena pada pengeringan, udaralah yang dipanaskan dan pergerakan udara juga yang membawa air yang menguap dari bahan yang dikeringkan. Untuk menentukan pasokan udara yang dibutuhkan dalam pengeringan, harus ditentukan suhu udara yang dibutuhkan saat kontak dengan bahan, dan suhu udara yang dihasilkan setelah proses pengeringan. Dari penentuan suhu masuk dan keluar pada pengering, akan diperoleh jumlah udara yang dibutuhkan untuk mengeringkan bahan dari kadar air awal menjadi kadar air akhir yang diinginkan.



Gambar 24. Skema penukar panas untuk pengeringan

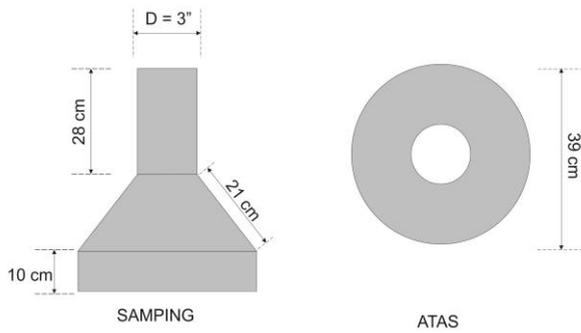
Setelah diketahui jumlah udara dan suhu yang harus dipenuhi oleh alat penukar panas, maka dapat direncanakan besarnya debit udara yang masuk ke dalam alat penukar panas dan juga besarnya energi panas minimal yang harus diberikan oleh kompor ke alat penukar panas. Agar panas yang dihasilkan dan juga debit udara terpenuhi, maka dimensi alat penukar panas perlu disesuaikan.

Pada Gambar 27 dapat dilihat sumber panas akan memanasi bagian bawah penukar panas. Panas yang diberikan pada bagian bawah penukar panas akan menyebabkan perpindahan panas secara konduksi sehingga bagian dasar selongsong akan memancarkan energi panas sejumlah tertentu. Begitu pula pada pipa api, perpindahan panas secara konduksi

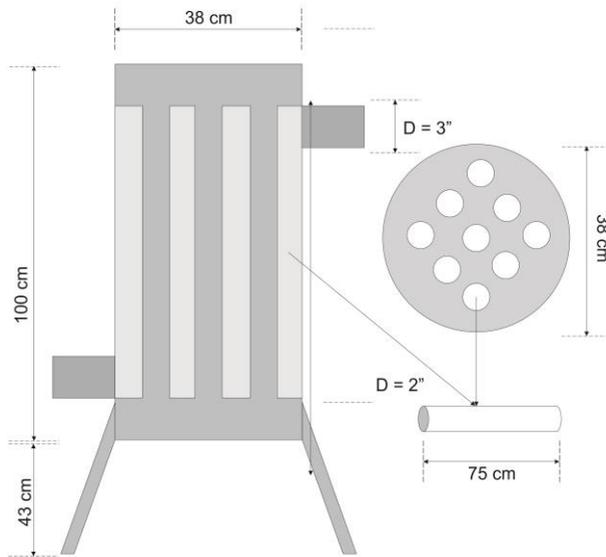
akan terjadi pada seluruh bagian pipa api. Panas yang dihantarkan oleh pipa api dan selongsong penukar panas inilah yang akan memanaskan udara yang masuk ke dalam selongsong. Dengan inilah prinsip pemanasan udara secara tidak langsung terjadi.

Perpindahan panas secara umum dipengaruhi oleh debit fluida yang digunakan (\dot{m}), kalor jenis (c_p) dan perubahan suhu yang terjadi. Disini debit fluida berbanding lurus dengan laju perpindahan panas. Artinya semakin besar debit fluida yang dipanaskan maka akan semakin besar kalor yang dipindahkan. Sehingga jika sumber panasnya (Q) bernilai tetap, maka udara yang suplai debitnya lebih besar akan membutuhkan waktu lebih lama dalam proses pemanasan dibandingkan dengan yang debitnya lebih kecil atau alirannya lebih lambat.

Rancang Bangun Alat Penukar Panas. Alat yang dikembangkan sebagai penukar panas dapat berupa tipe selongsong dan tabung (*shell and tube heat exchanger*). Penukar panas berbentuk tabung dengan bagian atasnya mengerucut ke arah cerobongnya (Gambar 28 dan 29). Di bagian dalamnya terdapat pipa-pipa (*tube*) berjumlah 9 buah. Pada proses pembuatannya, bagian cerobong dibuat terpisah dengan bagian selongsongnya, agar lebih mudah dalam pembongkaran baik untuk pembersihan maupun pemindahan alat.



(a) Disain cerobong penukar panas



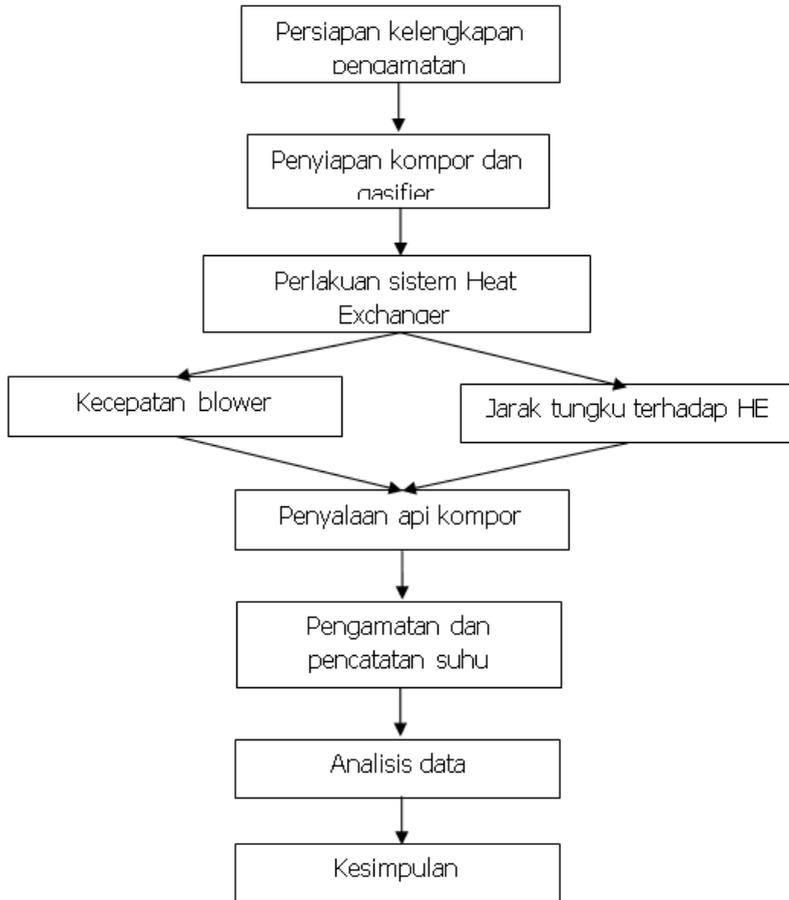
(b) Disain selongsong penukar panas

Gambar 25. Skema rancangan Penukar Panas



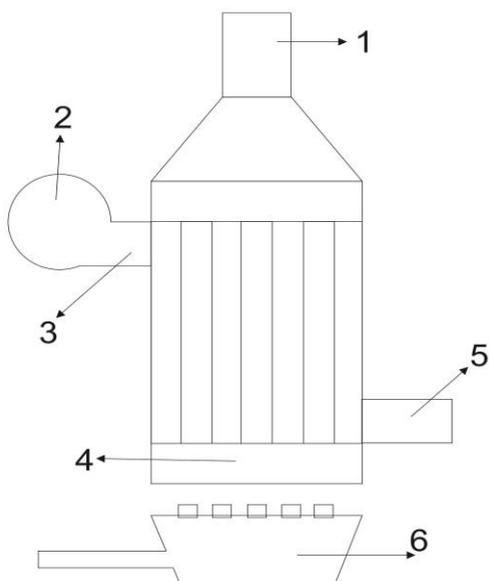
Gambar 26. (a) Skema tiga dimensi alat penukar panas, (b) Alat penukar panas.

Contoh prosedur pengujian secara ringkas digambarkan dalam diagram alir Gambar 30 berikut :



Gambar 27. Diagram alir prosedur uji kinerja alat

Secara skematik konstruksi alat dan instrument dalam proses pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 31 berikut.



Keterangan :

1. Cerobong (T4)

2. Blower

3. Inlet (T1)

4. Inlet panaan (T3)

5. Outlet (T2)

6. Kompor

Gambar 28. Skema posisi pengujian alat pengering

Prosedur pelaksanaan sebagai berikut :

- a. Pemasangan blower pada *inlet* penukar panas dan pengaturan variasi pada kompor (tanpa bata/bata merah/bata api).
- b. Pemasangan instrument pengukur suhu yang akan digunakan dan dipastikan berfungsi dengan baik.
- c. Kompor dinyalakan.
- d. Pengambilan data suhu dilakukan selang setiap menit.

- e. Percobaan dilakukan sampai 3 kali ulangan dengan perlakuan variasi kecepatan blower pada penukar panas dan variasi pada kompor (tanpa bata, dengan bata merah, dan dengan bata api).

Sebelum termokopel dipasang pada reaktor dan kompor, dilakukan pengkalibrasian termokopel terlebih dahulu. Kalibrasi dilakukan dengan cara menghubungkan salah satu ujung termokopel kedalam termodigital dan ujung lainnya dimasukkan kedalam air yang mendidih. Suhu air yang terukur pada termodigital yang terhubung oleh termokopel dicatat. Selain itu suhu air juga diukur dengan termometer air raksa sebagai pembanding. Kemudian termokopel dihubungkan di empat titik pengukuran yang telah ditentukan pada penukar panas (T1, T2, T3 dan T4). Kemudian data yang diperoleh selama proses pengukuran dianalisa. Dari data tersebut, perubahan suhu yang terjadi diplotkan menjadi sebuah grafik untuk masing-masing termokopel .

Analisis uji kinerja Gasifier untuk Pengerinan. Analisis dapat dilakukan terhadap debit udara, efisiensi oeindahan panas maupun efektifitas perpindahan panas sebagai berikut :

- a. Penentuan debit udara

Penentuan debit udara dilakukan dengan mengukur kecepatan udara menggunakan Anemometer. Anemometer diletakkan di depan *outlet* blower. Pengukuran dilakukan dengan menentukan kecepatan tertinggi dan terendah terlebih dahulu masing-masing sebanyak tiga kali pengulangan. Kemudian hasil dari ketiga pengulangan dirata-rata. Dari rata-rata kecepatan terendah dan rata-rata kecepatan tertinggi dicari nilai tengahnya, untuk dijadikan variasi debit blower sedang. Debit udara dapat dihitung dengan persamaan.

$$\dot{m} = VA \rho$$

keterangan :

\dot{m} : debit udara (kg/s)

V : kecepatan udara (m/s)

A : luas outlet blower (m²)

P : massa jenis udara (kg/m³)

b. Penghitungan efisiensi (η)

Efisiensi perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot \Delta h \cdot t \cdot 0,24}{Q_{lpg} \cdot m}$$

keterangan :

η : efisiensi (%)

\dot{m} : debit udara (m³/s)

Δh : perubahan entalphi (kJ/kg)

t : waktu (s)

Q_{lpg} : nilai kalor gas LPG (Kkal/kg)

m : massa lpg yang terpakai selama proses (kg)

c. Penghitungan efektivitas (ϵ)

Efektivitas perpindahan panas dihitung dengan persamaan :

$$\epsilon = \frac{q}{q_{maks}}$$

Laju pindah panas aktual.

$$q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{Cout} - T_{Cin}) \text{ atau } q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{Hin} - T_{Hout})$$

Laju pindah panas maksimal.

$$q_{maks} = \dot{m} \cdot c_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})$$

Dimana :

Q maks ditentukan dari nilai $(\dot{m} \cdot c_p)$ yang paling kecil antara fluida panas dan fluida dingin.

Keterangan :

- q : perpindahan panas nyata (kJ/jam)
 q maks : perpindahan panas maksimum yang mungkin (kJ/jam)
 \dot{m} : debit udara panas dan dingin (m^3/s)
 c_p : koefisien pindah panas udara panas dan dingin (kJ/kg. $^{\circ}C$)
 T_h dan T_c : suhu udara panas dan suhu udara dingin($^{\circ}C$)

Uji Fungsional Pemanfaatan Gasifier untuk Pengeringan.

Mengacu pada hasil-hasil penelitian tentang gasifikasi yang telah diperoleh, teknologi gasifikasi akan diberdayakan untuk membantu permasalahan pengeringan bahan pertanian/perkebunan. Melalui kegiatan ini akan dikembangkan model penerapan teknologi gasifikasi TKKS sebagai sumber panas guna pengeringan kakao. Kegiatan dilakukan melalui pengembangan model gasifier dan model mesin pengering yang sesuai. Gasifier dilengkapi dengan kompor tekanan rendah digunakan untuk pembakaran gas untuk sumber panas pengeringan kakao. Melalui kegiatan ini akan dihasilkan prototipe paket *gasifier* dan mesin pengering, serta model penerapan teknologi gasifikasi sebagai wujud pengembangan energi bersih dan terbarukan. Gambaran teknologi pengeringan bahan pertanian yang akan dikeringkan menggunakan gasifier ditunjukkan pada Gambar 23.

Untuk penilaian kinerja penerapan gasifikasi untuk pengeringan, maka harus diukur :

- a) Kapasitas pengeringan per satuan berat tandan kosong kelapa sawit

- b) Karakteristik panas/suhu yang dihasilkan dalam proses gasifikasi
- c) Efisiensi panas setiap tahapan proses
- d) Perbandingan sifat fisik dan kimia bahan yang dikeringkan dengan gas hasil gasifikasi dengan panas gas dari sumber lainnya
- e) Biaya pengeringan produk pertanian menggunakan gasifikasi

6.2.3. kinerja alat penukar panas.

Suhu Penukar Panas. Alat penukar panas yang digunakan bertipe selongsong dan tabung (*shell and tube*), dengan tipe aliran fluidanya adalah *counter flow* dimana aliran fluidanya berlawanan antara fluida yang dingin dengan fluida yang panas. Dalam posisi vertikal, fluida panas bergerak melalui *tube* ke arah atas menuju cerobong atau *outlet* fluida panas. Sedangkan fluida dingin mengalir ke arah bawah, dari *inlet* fluida dingin menuju ke *outlet* fluida dingin. Kalor yang dipancarkan oleh fluida panas melewati dinding selongsong dan pipa api diserap oleh fluida dingin yang melewati ruang di dalam selongsong sehingga ketika mencapai *outlet*, suhu fluida dingin sudah bertambah.

Beberapa perlakuan telah dilakukan untuk menguji kinerja penukar panas. Salah satu perlakuan yang diberikan adalah variasi debit udara. Variasi dilakukan dengan cara merubah bukaan pada blower sehingga diperoleh kecepatan udara yang berbeda-beda. Dugaan awal terhadap kemungkinan yang terjadi yakni, pada kecepatan udara yang lebih tinggi akan mengakibatkan temperatur udara panas yang dihasilkan oleh penukar panas menjadi semakin rendah dibandingkan dengan kecepatan udara yang lebih rendah. Hal ini dimungkinkan, karena dengan udara yang bergerak lebih cepat, maka waktu pemanasan udaranya menjadi lebih singkat sehingga temperatur

udara panas yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan yang kecepatan udaranya lebih lambat.

Penentuan variasi debit udara dilakukan dengan cara mencari debit udara masuk terbesar dan terkecil yang dikirim oleh blower masuk ke dalam alat penukar panas. Alat ukur yang digunakan adalah anemometer atau alat pengukur kecepatan angin. Alat tersebut digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang keluar dari blower. Untuk menentukan nilai yang terbesar dan terkecilnya, dilakukan dengan merubah tutup *inlet* udara pada blower. Dimana pengukuran pertama tutup blower dibuka penuh, lalu kemudian diukur kecepatan angin yang keluar. Lalu berikutnya blower ditutup rapat, dengan perkiraan udara yang masuk ke baling-baling dibuat seminimal mungkin. Dari cara ini diperoleh kecepatan angin besar dan kecil. Setelah memperoleh kecepatan angin terbesar dan terkecil, berikutnya mencari kecepatan sedang. Kecepatan angin sedang, diambil dari nilai tengah dari kecepatan terbesar dan terkecil. Selanjutnya, untuk debitnya dihitung dari pengalihan kecepatan udara yang keluar dari blower dengan luas lubang keluaran blower. Dari penghitungan debit udara diperoleh, untuk debit udara kecil adalah $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$, debit udara sedang $0,072 \text{ m}^3/\text{s}$ dan untuk debit udara besar $0,085 \text{ m}^3/\text{s}$.

Variasi berikutnya diberikan pada kompor. Variasi yang dilakukan pada kompor adalah dengan memberikan bata api dan bata merah pada bagian atas kompor untuk dibandingkan dengan kondisi kompor tanpa diberi perlakuan apa-apa atau tanpa bata. Bata-bata yang dijadikan sebagai variasi perlakuan diletakkan diatas kompor yang menyala, sehingga panas yang ditangkap oleh penukar panas bukan panas dari api secara langsung melainkan radiasi panas yang dihasilkan dari pemanasan bata api atau bata merah. Untuk awal penentuan jarak penempatan kompor terhadap alat penukar panas sendiri, ditentukan berdasarkan hasil trial beberapa kali pengambilan

data dengan kondisi kompor tanpa bata. Data yang dicari adalah, pada jarak berapa antara kompor dengan penukar panas diperoleh T2 bisa mencapai suhu sekitar 70°C. Setelah mendapatkan titik yang sesuai, maka titik tersebut yang dijadikan patokan posisi kompor terhadap penukar panas selama pengamatan berlangsung. Dari hasil pengujian jarak kompor dengan penukar panas, diperoleh jarak permukaan kompor dengan alas penukar panas sebesar 12 cm.

Pengamatan uji kinerja alat penukar panas ini dilakukan dengan cara mengamati perubahan suhu yang masuk dan keluar dari alat penukar panas, baik suhu udara dingin (dari blower) maupun suhu udara panas (suhu dari kompor). Pengambilan data dilakukan dengan cara mencatat perubahan suhu dari setiap titik-titik pengamatan yang telah ditetapkan. Titik-titik tersebut diberi simbol T1 untuk suhu udara masuk dari blower, T2 untuk suhu udara dingin keluar, T3 untuk suhu udara panas dari kompor, dan T4 untuk udara panas keluar (cerobong). Data suhu diambil dengan berpatokan pada T2. Data diambil sampai suhu T2 stabil. Selain suhu pada alat penukar panas, data lainnya yang dicari adalah suhu lingkungan dan kelembaban udara lingkungan. Data suhu diambil setiap selang satu menit. Rata-rata hasil pengamatan suhu yang diperoleh, dapat dilihat pada Tabel 46.

Tabel 53. Rata-rata hasil pengamatan suhu penukar panas

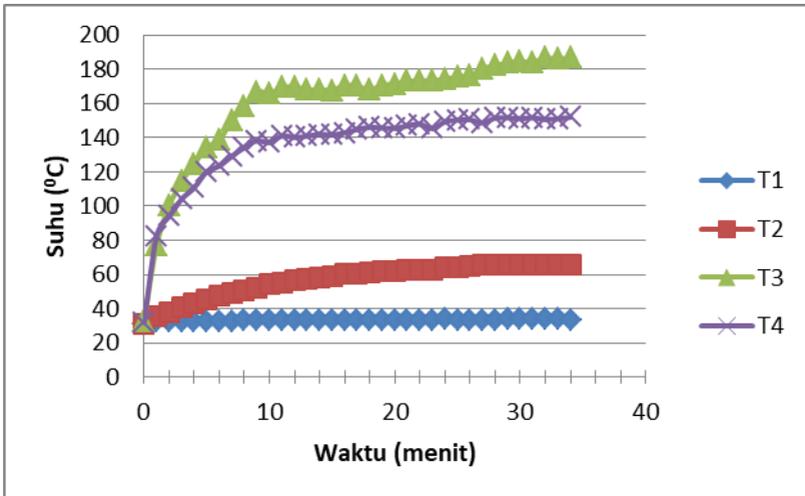
Perlakuan	Ulangan 1			
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)
Debit kecil/ tanpa bata	33.27	56.77	159.32	135.29
debit sedang/ tanpa bata	32.86	64	220.93	162.83
debit besar/ tanpa bata	33.95	52.46	150.26	124.71
debit kecil/ bata merah	36.54	63.55	318.69	118.9
debit sedang/ bata merah	36.67	50.73	175.67	83.614
debit besar/ bata merah	33.84	58.92	381.68	124.23
debit kecil/ bata api	36.81	62.41	241.85	109.86
debit sedang/ bata api	32.1	59.09	244.86	118.9
debit besar/ bata api	33.6	51.24	331.21	99.076
	Ulangan 2			
Debit kecil/ tanpa bata	34.66	66.85	191.63	155.42
debit sedang/ tanpa bata	32.67	56.42	180.56	138.3
debit besar/ tanpa bata	35.73	52.43	140.72	112.14
debit kecil/ bata merah	36.38	73.25	452.06	140.29
debit sedang/ bata merah	34.32	50.85	198.53	88.196
debit besar/ bata merah	31.68	53.57	334.94	112.84
debit kecil/ bata api	34.55	62.88	247.8	118.52
debit sedang/ bata api	34.88	56.05	204.21	101.14
debit besar/ bata api	35.14	53.09	190.04	94.099
	Ulangan 3			
Debit kecil/ tanpa bata	34.711	70.78	218.82	167.54
debit sedang/ tanpa bata	30.495	56.6	186.11	140.32
debit besar/ tanpa bata	34.612	51.46	137.54	112.39
debit kecil/ bata merah	34.752	55.19	250.16	90.372
debit sedang/ bata merah	34.763	46.36	160.58	76.812
debit besar/ bata merah	33.489	62.33	367.26	131.37
debit kecil/ bata api	31.954	57.59	218.15	101.5
debit sedang/ bata api	34.549	62.83	281.95	123.47
debit besar/ bata api	34.19	53.04	205.17	94.6

Keterangan :

- T1 : suhu udara dingin masuk
- T2 : suhu udara dingin keluar
- T3 : suhu udara panas masuk
- T4 : suhu udara panas keluar

Rata-rata perubahan suhu digunakan untuk menghitung nilai efisiensi dan efektifitas penukar panas. Berdasarkan data

pada Tabel 46 nilai T2 terlihat kecil, hal ini karena rata-rata diambil dari keseluruhan suhu mulai dari awal penyalaan api hingga mencapai suhu konstan. Suhu konstan yang dicapai setiap pengulangan cukup tinggi. Namun karena lama setiap pengambilan data berbeda, sehingga rata-rata perubahan suhunya juga terlihat cukup mencolok. Misalnya pada ulangan kedua perlakuan kompor tanpa bata pada debit 0,065 m³/s, suhu konstannya mencapai 79,3 °C tetapi suhu rata-ratanya hanya 66,86 °C.



Gambar 29. Grafik perubahan suhu perlakuan kompor tanpa bata pada debit kecil

Pada grafik Gambar 32, T3 merupakan suhu pada kompor. Dari ketiga grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada ulangan satu waktu yang dibutuhkan hingga suhu stabil paling singkat. Dan jika dikaitkan dengan kondisi suhu pada T3, grafik suhu T3 pada ulangan satu terlihat lebih stabil dibandingkan dengan ulangan 2 maupun ulangan 3. Sehingga dapat disimpulkan

kestabilan suhu kompor mempengaruhi lama suhu T2 mencapai titik konstan nya.

Selain itu perubahan suhu lingkungan dan kelembaban udara lingkungan juga dapat memungkinkan adanya pengaruh terhadap perpindahan panas dalam sistem alat penukar panas. Perubahan suhu dan kelembaban udara lingkungan yang cukup ekstrim dapat mempengaruhi dinding selongsong alat penukar panas. Dimana jika suhu lingkungan rendah dengan kelembaban udara yang tinggi, maka pemanasan udara dalam alat penukar panas akan menjadi lebih lama untuk mencapai kondisi stabil. Berbeda jika, suhu lingkungan tinggi dengan kelembaban udara yang rendah. Karena proses pemanasan akan menjadi lebih cepat mencapai titik stabil.

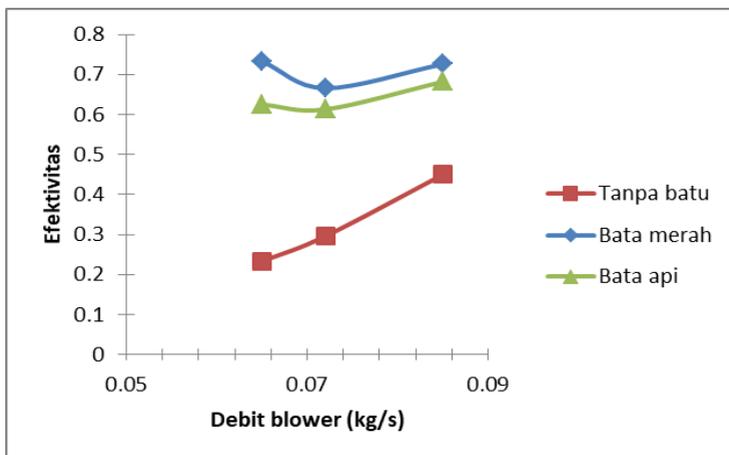
Efektivitas Penukar Panas (ϵ). Efektivitas penukar panas (*heat exchanger effectiveness*) dapat diartikan sebagai perbandingan antara perpindahan kalor nyata dengan perpindahan kalor maksimum yang mungkin terjadi. Menurut Wahjudi (2000), efektifitas akan berkurang jika kecepatan masuk udara dingin (V_c) meningkat dan efektifitas akan meningkat jika kecepatan masuk udara panas (V_h) meningkat. Pada penghitungan nilai efektifitas perpindahan kalor menunjukkan nilai rata-rata efektifitas untuk setiap perlakuan adalah sebagai berikut.

Tabel 54. Hasil perhitungan efektivitas penukar panas

Kontrol	Perlakuan					Rata-rata	
	Tanpa bata	Rata-rata	Bata merah	Rata-rata	Bata api		
Blower kecil	1	0,19	0,23	0,71	0,73	0,64	0,63
	2	0,23		0,75		0,61	
	3	0,28		0,74		0,63	
Blower sedang	1	0,31	0,30	0,66	0,67	0,59	0,61
	2	0,29		0,67		0,61	
	3	0,29		0,67		0,64	
Blower besar	1	0,22	0,25	0,74	0,73	0,78	0,68
	2	0,27		0,73		0,62	
	3	0,24		0,71		0,65	

Dari data pada Tabel 47 dapat dilihat, dengan berpatokan pada dua jenis perlakuan maka diperoleh bahwa perlakuan blower tidak berpengaruh pada nilai efektivitas perpindahan kalor pada alat penukar panas, lain halnya dengan perlakuan pada kompor. Perlakuan pada kompor menunjukkan perbedaan yang seragam untuk tiap penyesuaian perlakuan blower. Sehingga dapat dikatakan, perlakuan pada kompor atau lebih tepatnya variasi penggunaan bata pada kompor mempengaruhi efektivitas perpindahan kalor alat penukar panas.

Rata-rata nilai efektivitas yang ditunjukkan oleh bata merah terhadap perubahan kecepatan udara adalah paling tinggi, sedangkan untuk efektivitas paling rendah adalah perlakuan kompor tanpa bata. Karena seragam, sehingga menunjukkan kemungkinan adanya pengaruh pada perlakuan kompor. Berbeda dengan perlakuan pada blower. Perlakuan pada blower menunjukkan nilai yang tidak menentu, hal ini terlihat bahwa ketika pada perlakuan kompor “tanpa bata” nilai efektivitas terkecil terdapat pada “blower kecil” dan nilai terbesar pada “blower sedang”, sedangkan pada perlakuan kompor “bata merah” nilai efektivitas terkecil pada perlakuan “blower sedang” dan yang terbesar pada “blower kecil”, dan berbeda lagi untuk perlakuan pada kompor yang menggunakan bata api.



Gambar 30. Grafik perubahan efektivitas untuk tiap perlakuan debit udara

Pada grafik Gambar 33 diatas, yang dimaksud perlakuan blower ke-1 adalah blower dengan kecepatan kecil, ke-2 blower kecepatan sedang dan ke-3 blower kecepatan tinggi. Dari grafik tersebut ada dua grafik yang bentuknya sama yaitu grafik untuk bata api dan bata merah, sedangkan untuk perlakuan tanpa bata grafiknya sama sekali berbeda. Dengan hasil yang demikian akan sulit untuk menentukan secara pasti, perlakuan mana yang akan meningkatkan nilai efektivitas alat penukar panas yang sebenarnya.

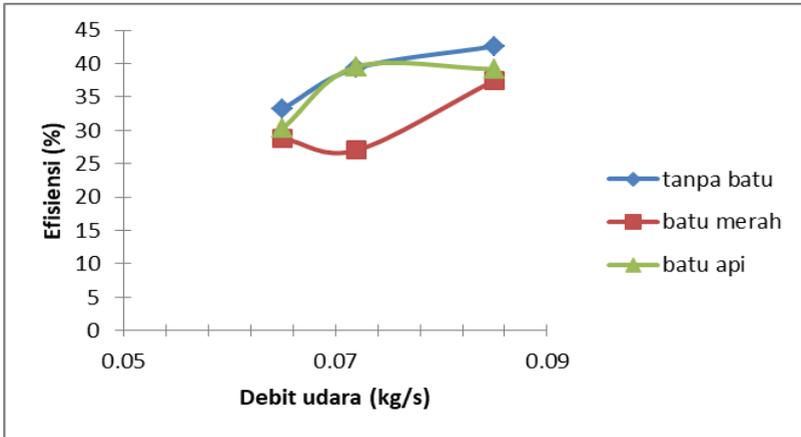
Efisiensi Penukar Panas. Efisiensi penukar panas merupakan persentase perbandingan antara panas yang diserap oleh fluida dingin dengan jumlah panas yang dihasilkan oleh sumber panas atau fluida panas. Pada penghitungan nilai efisiensi perpindahan kalor diperoleh rata-rata efisiensi untuk setiap perlakuan adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 48 dan Gambar 34.

Dari sisi perlakuan pada blower, blower besar memberikan efisiensi yang besar. Sementara dari sisi perlakuan kompor tidak

ada perlakuan yang signifikan berbeda. Dari gambar dan grafik tersebut dapat diketahui untuk setiap perlakuan pada kompor jika kecepatan pada blowernya dirubah dari kecil hingga yang paling besar, maka efisiensinya tidak menunjukkan perubahan yang serupa, atau dapat dikatakan datanya tidak beraturan. Sehingga akan sulit untuk menentukan, pada perlakuan blower yang seperti apa yang akan meningkatkan efisiensi alat penukar panas.

Tabel 55. Hasil perhitungan efisiensi penukar panas

Kontrol		Efisiensi (%)					Rata-rata
		Tanpa bata	Rata-rata	Bata merah	Rata-rata	Bata api	
Blower kecil	1	23,31	33,21	20,48	28,79	24,40	30,26
	2	38,24		42,83		32,49	
	3	38,09		23,06		33,90	
Blower sedang	1	37,78	39,32	16,97	27,03	34,84	39,55
	2	24,82		42,32		47,23	
	3	55,36		21,81		36,58	
Blower besar	1	37,44	42,60	45,35	37,47	42,88	39,17
	2	45,54		37,27		44,57	
	3	44,83		29,78		30,05	



Gambar 31. Grafik perubahan efisiensi untuk setiap perlakuan debit udara

6.2.4. Pemanfaatan gas hasil gasifikasi untuk bahan bakar motor diesel dengan sistem bahan bakar Ganda (*Dual Fuel*)

Uji penerapan pemanfaatan gas hasil gasifikasi untuk bahan bakar motor diesel dilakukan dengan menggunakan gasifier tipe downdraft seperti ditunjukkan pada Gambar 35, dilengkapi dengan pendingin dan filter tambahan (Gambar 36).



Gambar 32. Gas bakar hasil dari kinerja unit gasifier tipe downdraft



(a) Cooler



(b) Filter

Gambar 33. Unit pendingin dan filter tambahan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan motor diesel dengan spesifikasi seperti pada Tabel 49.

Tabel 56. Spesifikasi motor diesel untuk bahan pengujian

Model	DH R180
Jenis	single-cylinder, horizontal, 4-cycle
Sistem pembakaran	indirect injection
Diameter x panjang langkah (mm)	80x80 mm
Displacement	402
Tenaga continue (HP/Rpm)	8/ 2600
Sistem pendingin	Hopper
Sistem start	Dengan Engkol
Berat bersih (kg)	86kgs
Dimension	49x32x42cm

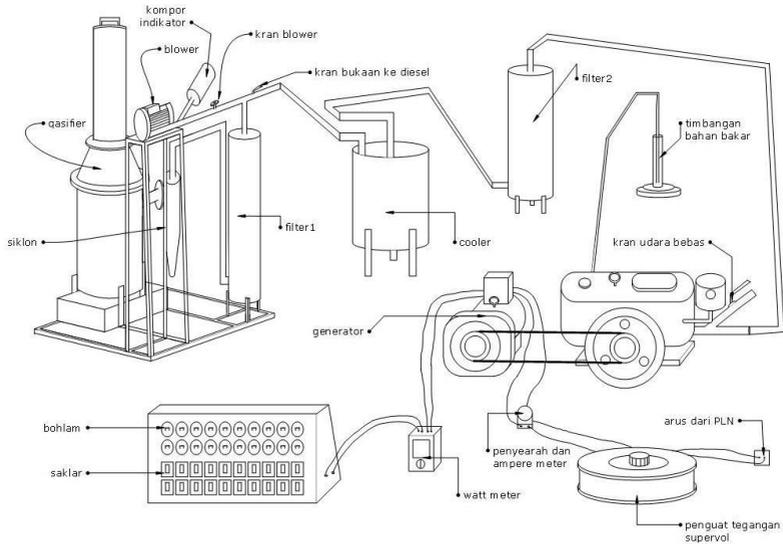
Adapun peralatan yang digunakan antara lain: timbangan, gelas ukur, tachometer, anemometer, stopwatch, dinamo/generator listrik, penguat luar generator, pengukur daya (watt meter), dan pengukur tegangan (volt meter).

Uji Penerapan Alat. Hal yang paling penting dalam persiapan alat adalah memastikan gasifier dapat beroperasi dengan baik yang menghasilkan gas gasifikasi bersih tidak berasap. Dibawah ini adalah contoh ketika gasifier menghasilkan gas hasil gasifikasi yang bersih sehingga dapat digunakan untuk substitusi bahan bakar motor diesel.

Seluruh peralatan dirangkai seperti ditunjukkan pada Skema Gambar 4.3. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data antara lain:

- a. Menghidupkan mesin diesel sekitar 15 menit sebelum diuji untuk memperoleh kerja mesin yang stabil.
- b. Atur *throttle* untuk memperoleh putaran mesin 1500 rpm.

- c. Pastikan solar dalam gelas ukur kondisi cukup (hampir penuh).
- d. Nyalakan stopwatch bersamaan dengan membaca dan mencatat nilai yang terukur pada timbangan bahan bakar.
- e. Baca dan catat kecepatan udara yang terukur oleh anemometer yang terpasang pada pipa asupan udara ke mesin diesel.
- f. Setelah lima menit matikan stopwatch, baca dan catat nilai yang terukur pada timbangan bahan bakar.
- g. Untuk perlakuan beban, pada perlakuan beban 500 Watt, nyalakan 5 buah lampu dengan menekan saklar ke posisi 'ON', kemudian lakukan langkah-langkah poin c sampai h. Langkah-langkah yang sama juga dilakukan pada perlakuan beban 1000 Watt, 1500 Watt, dan 2000 Watt.
- h. Untuk variasi bukaan gas hasil gasifikasi, hubungkan selang gas hasil gasifikasi dengan pipa asupan udara mesin diesel bersamaan dengan mengecilkan bukaan ke blower, kemudian atur kran penghisap udara bebas sehingga nilai yang terukur pada anemometer $\frac{3}{4}$ dari total laju udara (gas hasil gasifikasi+udara bebas) untuk variasi $\frac{1}{4}$ gas hasil gasifikasi. Setelah itu lakukan langkah-langkah poin c sampai g.
- i. Untuk variasi $\frac{1}{2}$ gas hasil gasifikasi, anemometer yang terpasang pada pipa penghisap udara bebas menunjukkan nilai $\frac{1}{2}$ dari nilai laju total udara, dan untuk variasi $\frac{3}{4}$ gas hasil gasifikasi anemometer udara bebas menunjukkan $\frac{1}{4}$ dari laju total udara.



Gambar 34. Skema Rangkaian Pengujian Gasifikasi untuk Pengoperasian Motor Diesel

Perhitungan Teknis :

- a. Putaran mesin (n)

$$n = 2 \times n_{engkol}$$

Dimana: n = Kecepatan putaran mesin (rpm)

n_{engkol} = kecepatan putar poros engkol

(rpm)

- b. Aliran bahan bakar (FF)

$$FF = \frac{KB \times \rho \times 60}{t}$$

Dimana: KB = Konsumsi bahan bakar (g)

ρ = massa jenis bahan bakar (g/L)

t = waktu (menit)

FF = Aliran bahan bakar (L/jam)

6.2.5. Kinerja pemanfaatan gas hasil gasifikasi untuk bahan bakar motor diesel dengan sistem bahan bakar ganda (*Dual Fuel*)

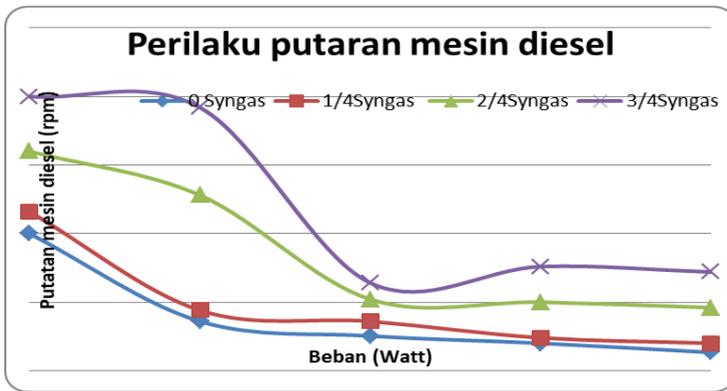
Dalam pengujian penerapan gas hasil gasifikasi sebagai umpan bahan bakar motor diesel, aspek teknis yang dikaji meliputi perilaku putaran mesin diesel, konsumsi bahan bakar, perilaku tegangan keluaran generator, dan perilaku daya keluaran generator setelah ditambahkan gas hasil gasifikasi dengan beberapa variasi.

Perilaku putaran mesin. Penambahan gas hasil gasifikasi pada asupan udara ke mesin diesel mempengaruhi perilaku putaran mesin. Gambar 38 memperlihatkan perilaku perubahan konsumsi solar masing-masing variasi konsentrasi gas hasil gasifikasi. Pada kondisi tanpa gas gasifikasi, putaran mesin saat kondisi awal diatur 1500 rpm mengingat generator listrik akan menghasilkan frekuensi listrik 50 hz pada putaran tersebut. Kemudian generator diberikan beban berupa lampu yang masing-masing spesifikikasi daya lampu 100 watt. Untuk beban 500 watt maka lampu yang dinyalakan 5 buah, untuk 1000 watt lampu yang dinyalakan 10 buah, begitu juga dengan pembebanan-pembebanan berikutnya. Diawal pembebanan putaran mesin turun tajam dari 1500 rpm menjadi 1436 rpm, berbeda dengan pembebanan berikutnya yang lebih landai misalnya saat beban 10 buah lampu ke 15 buah lampu hanya turun dari 1425 rpm menjadi 1420 rpm. Pada bukaan katup gas gasifikasi sebesar $\frac{1}{4}$, kondisi awal sebelum ditambahkan gas hasil gasifikasi putaran mesin diatur 1500 rpm. Setelah ditambahkan gas hasil gasifikasi $\frac{1}{4}$ dari total udara yang masuk ke mesin diesel putaran mesin naik menjadi 1516 rpm.

Untuk variasi asupan udara $\frac{1}{2}$ gas hasil gasifikasi diperoleh peningkatan putaran mesin sedikit lebih besar dari variasi asupan udara $\frac{1}{4}$ gas hasil gasifikasi. Putaran mesin meningkat

dari 1500 rpm menjadi 1560 rpm. Selanjutnya variasi asupan udara $\frac{3}{4}$ gas hasil gasifikasi memberikan efek peningkatan putaran mesin paling besar dari sebelumnya 1500 rpm menjadi 1600 rpm, sedikit lebih besar dari variasi $\frac{1}{2}$ gas hasil gasifikasi.

Dari semua variasi penambahan gas hasil gasifikasi pada asupan udara ke mesin diesel yang telah diamati menunjukkan bahwa adanya peningkatan putaran mesin dari kondisi awal. Semakin banyak gas hasil gasifikasi dialirkan (25%-75%) maka semakin meningkat putaran mesin yang dihasilkan.

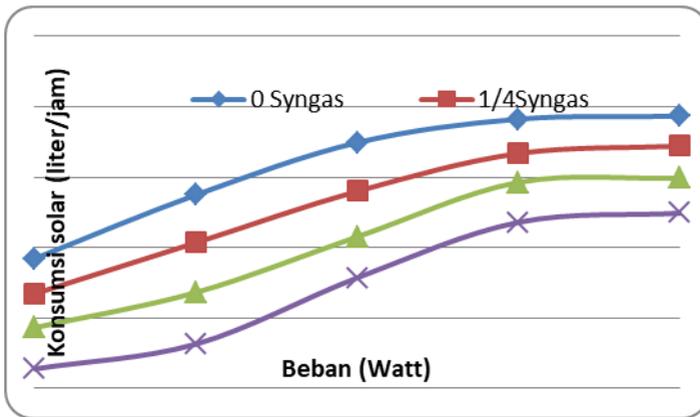


Gambar 35. Grafik pembebanan terhadap putaran mesin

Konsumsi bahan bakar solar. Penambahan gas hasil gasifikasi pada asupan udara ke mesin diesel sangat berpengaruh terhadap konsumsi solar. Pada kondisi awal, motor dijalankan dengan tanpa input gas gasifikasi. Kondisi ini digunakan sebagai acuan atau pembandingan. Gambar 39 memperlihatkan bahwa secara umum semakin meningkat besarnya pembebanan maka konsumsi solar semakin meningkat, sementara semakin besar gas gasifikasi diinputkan maka kebutuhan bahan bakar solar semakin turun, atau penghematan yang diberikan semakin besar (Gambar 40).

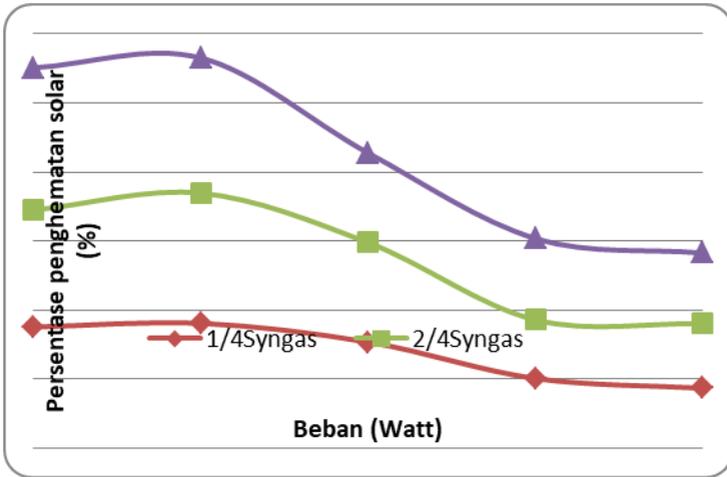
Pada saat kondisi tanpa beban dengan dengan putaran mesin 1500 rpm, konsumsi solar 0,285 l/jam. Konsumsi solar meningkat seiring bertambahnya pembebanan pada generator listrik dengan menyalakan lampu. Saat penambahan beban dari 0 ke 500 dan dari 500 ke 1000 tampak peningkatan konsumsi solar berbanding lurus dengan perlakuan beban, namun saat penambahan beban dari 1000 ke 1500 dan 1500 ke 2000 peningkatan konsumsi solar tidak linier lagi namun cenderung menurun per pertambahan beban. Pada saat beban 500 dan 1000 masing-masing konsumsi solar 0,375 l/jam dan 0,449 l/jam, sedangkan pada saat beban 1500 dan 2000 masing-masing konsumsi solar 0,483 l/jam dan 0,487 l/jam.

Perilaku konsumsi solar mesin diesel



Gambar 36. Grafik pengaruh pembebanan terhadap konsumsi solar

Penghematan konsumsi solar



Gambar 37. Grafik pembebanan terhadap persentase penghematan solar

Pada saat kondisi asupan udara ke mesin diesel $\frac{1}{4}$ gas hasil gasifikasi ($\frac{1}{4}$ gas gasifikasi + $\frac{3}{4}$ udara bebas) tanpa pembebanan dengan putaran mesin sebelum ditambahkan gas 1500 rpm, konsumsi solar 0,235 l/jam. Ini berarti pada kondisi ini menghemat solar 17,57%. Puncak penghematan terjadi pada pembebanan 5 buah lampu yaitu 18,10%, kemudian turun dengan bertambahnya pembebanan.

Pada saat kondisi asupan udara ke mesin diesel $\frac{1}{2}$ gas hasil gasifikasi ($\frac{1}{2}$ gas gasifikasi + $\frac{1}{2}$ udara bebas) tanpa pembebanan dengan putaran mesin sebelum ditambahkan gas 1500 rpm, konsumsi solar 0,186 l/jam. Pada kondisi ini menghemat solar 34,51%. Puncak penghematan terjadi pada pembebanan 500 Watt yaitu 36,96%, kemudian turun dengan bertambahnya pembebanan.

Pada saat kondisi asupan udara ke mesin diesel $\frac{3}{4}$ gas hasil gasifikasi ($\frac{3}{4}$ gas gasifikasi + $\frac{1}{4}$ udara bebas) tanpa pembebanan dengan putaran mesin sebelum ditambahkan gas 1500 rpm, konsumsi solar 0,128 l/jam. Ini berarti pada kondisi ini menghemat solar 55,11%. Puncak penghematan terjadi pada pembebanan 5 buah lampu yaitu 56,51%, kemudian turun dengan bertambahnya pembebanan.

Dari semua variasi penambahan gas hasil gasifikasi pada asupan udara ke mesin diesel tampak menunjukkan trend yang mirip. Konsumsi solar mesin diesel akan bertambah seiring peningkatan pembebanan. Penambahan gas hasil gasifikasi melalui asupan udara ke mesin diesel memberikan efek penghematan konsumsi solar.

Peningkatan penghematan konsumsi solar seiring dengan penambahan kadar gas hasil gasifikasi yang dialirkan (25%-75%). Diawal pembebanan penghematan konsumsi solar tinggi, namun berangsur turun seiring bertambahnya pembebanan.

Perilaku daya keluaran generator. Daya yang dikeluarkan oleh generator listrik tergantung pada pembebanan yang diberikan. Pada prinsipnya semakin besar pembebanan yang diberikan maka semakin besar pula daya yang dikeluarkan. Pada kondisi awal (tanpa beban) putaran mesin 1500 rpm dan tegangan keluaran generator 218 Volt dengan daya 0 Watt (Gambar 41). Setelah dilakukan pembebanan daya generator untuk menyalakan 5 buah lampu adalah 415 Watt. Sedangkan untuk menyalakan 10 lampu daya yang dikeluarkan generator listrik 700 Watt, kemudian untuk menyalakan 15 dan 20 lampu masing-masing daya yang dikeluarkan 805 Watt dan 755 Watt. Untuk beban 5 buah lampu dan 10 buah lampu nampak daya yang dikeluarkan mempunyai korelasi terhadap nilai beban, namun untuk pembebanan 15 buah lampu dan 20 buah lampu daya yang dikeluarkan mengalami penurunan yang tajam (anjlok). Ini

terjadi karena nilai efisiensi generator berbeda-beda tergantung besar kecilnya beban; kemudian penguat yang masuk ke generator merupakan penguat eksternal yang besar penguatannya diatur tetap; selain itu slip belt-pulley mempengaruhi tergantung besar kecilnya beban; dan hal yang nampak adalah penurunan putaran mesin dengan dilakukannya pembahan beban.

Pada kondisi awal putaran mesin 1500 rpm tegangan keluaran generator 218 Volt, dan setelah ditambahkan gas hasil gasifikasi 25% tegangan keluaran generator menjadi 221 Volt. Ketika dilakukan pembebanan dengan 5 buah lampu daya yang dikeluarkan oleh generator listrik sebesar 425 Watt dan 725 Watt untuk pembebanan dengan 10 lampu. Sedangkan pada pembebanan dengan 15 lampu dan 20 lampu daya yang dikeluarkan masing-masing 815 Watt dan 775 Watt.

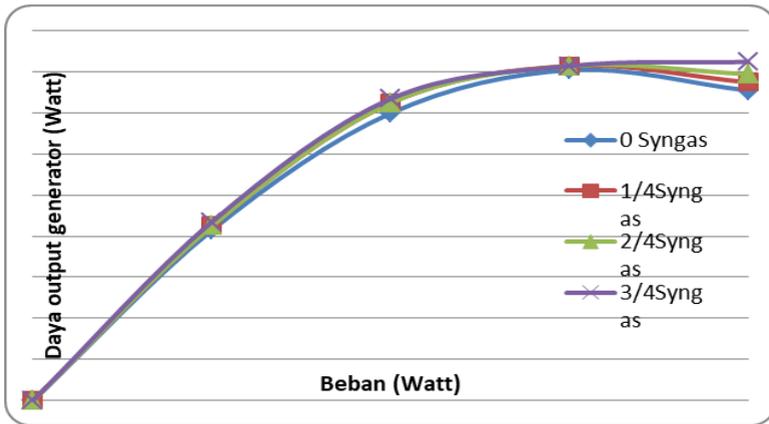
Pada perlakuan $\frac{1}{2}$ bukaan katup udara, kondisi awal putaran mesin 1500 rpm tegangan keluaran generator 218 Volt, dan setelah ditambahkan gas hasil gasifikasi 50% tegangan keluaran generator menjadi 229 Volt. Setelah dilakukan pembebanan dengan 5 buah lampu diperoleh daya keluaran generator listrik sebesar 425 Watt, sedangkan untuk pembebanan 10 lampu dan 15 lampu masing-masing 725 Watt dan 815 Watt. Angka ini sama dengan variasi gas hasil gasifikasi 25%. Untuk pembebanan 20 lampu daya keluaran generator 795 Watt, sedikit lebih besar dari variasi gas hasil gasifikasi 25%.

Pada perlakuan $\frac{3}{4}$ bukaan katup udara, kondisi awal putaran mesin 1500 rpm tegangan keluaran generator 218 Volt, setelah ditambahkan gas hasil gasifikasi 75% tegangan keluaran generator menjadi 231 Volt. Kemudian ketika dilakukan pembebanan 5 buah lampu diperoleh daya keluaran generator listrik sebesar 435 Watt. Untuk pembebanan dengan 10, 15, dan

20 buah lampu masing-masing daya keluarannya adalah 735 Watt, 815 Watt, dan 825 Watt.

Dari semua variasi penambahan gas hasil gasifikasi melalui asupan udara pada mesin diesel yang dilakukan, secara umum daya keluaran generator listrik tidak berbeda dengan yang hanya menggunakan solar saja.

Perilaku daya output generator



Gambar 38. Grafik pembebanan terhadap daya keluaran

Berdasarkan uji kinerja downdraft gasifier dan penerapan pemanfaatan gas gasifikasi sebagai bahan bakar motor diesel maka dapat dijelaskan bahwa:

- 1) Gas hasil gasifikasi setelah melalui tahapan pendinginan (*cooling*) dan pembersihan (*filtering*) dapat digunakan sebagai bahan bakar campuran motor diesel dengan mekanisme bahan bakar ganda (*dual fuel*)
- 2) Untuk menghasilkan output daya yang sama pemanfaatan input gas gasifikasi yang semakin besar menyebabkan putaran motor yang lebih tinggi.

- 3) Semakin banyak gas gasifikasi dipakai sebagai substitusi solar, semakin besar prosentase solar yang tergantikan. Penggunaan gas gasifikasi dapat menggantikan maksimum 56% solar yang dicapai pada bukaan katup gas gasifikasi $\frac{3}{4}$.

BAB VII.

BIOMASSA PERKEBUNAN

Biomassa perkebunan seperti juga halnya dengan biomassa pertanian umumnya sangat potensial untuk bahan bioenergy, bahkan secara teoritis angka mutlak nominalnya ada yang menaksir melebihi potensi panas bumi. Sedemikian potensialnya sehingga banyak pihak ingin mengambilnya dan memanfaatkannya seluruhnya tanpa mempertimbangkan lagi bahwa sektor pertanian sendiri juga membutuhkannya, baik untuk bahan organik maupun pakan. Pertanian masih membutuhkan bahan organik. Data menunjukkan bahwa sebagian besar (sekitar 73 %) tanah pertanian di Indonesia kekurangan bahan organik. Untuk mengoptimalkan dan merinci seberapa potensinya biomassa tanaman terutama perkebunan untuk bahan bioenergi maka diperlukan rincian kuantitas pisik maupun kualitas (antara lain proksimatnya), rincian bagian-bagian tanaman yang sesuai untuk bahan organik, pakan dan yang sebaiknya untuk bahan bioenergy.

Berdasarkan uraian dalam buku ini terinci bahwa karena sifatnya tidak semua bagian tanaman sesuai untuk bahan organik, pakan maupun untuk bioenergi. Tebu misalnya, bagian pucuk tanaman sejak jaman dulu peternak sudah memanfaatkannya untuk pakan. Hal ini terbukti bahwa keremahannya cukup bagus yang ditunjukkan dengan kandungan ADF maupun NDF nya mendukung hal tersebut. Sebaliknya akar-akar tanaman termasuk akar kopi, kakao, kelapa

dan semua akar tanaman lainnya memiliki kandungan serat yang tinggi (cukup keras dan tidak keremahannya rendah) dan nilai ADF dan NDF yang kurang mendukung. Bagian-bagian tanaman yang seperti ini dapat dipertimbangkan jika ingin dipakai sebagai bahan bioenergy, baik dibakar langsung maupun melalui konversi bio dan konversi termal gasifikasi. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) misalnya, secara umum limbahnya mempunyai kandungan hemiselulosa jauh lebih rendah dibanding selulosanya. Oleh karena itu limbah kelapa sawit tidak layak untuk bahan baku gula xylitol tetapi jauh lebih layak untuk bioethanol ataupun produk berbahan baku selulosa yaitu kertas.

Perhitungan seperti ini yang tercantum dalam buku ini diharapkan dapat menuntun pemanfaatan biomassa yang optimal baik untuk bioenergy, bahan organik maupun untuk pakan. Ilustrasi pemanfaatan biomassa untuk bioenergy melalui konversi bio menjadi bioethanol maupun melalui konversi termal melalui gasifikasi diharapkan dapat menjadi gambaran alternative pemanfaatan biomassa ke depan.

KNOWLEDGMENT

Terima kasih disampaikan kepada Badan Litbang Pertanian atas bantuannya sehingga buku ini dapat diterbitkan. Terima kasih juga disampaikan atas kerjasamanya kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan (Puslitbangbun), Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Badan Litbang Pertanian serta Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada. Kepada Kelompok Peneliti Puslitbangbun serta berbagai pihak yang tidak disebutkan satu per satu disampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya atas bantuan dan kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvira, PE.,Tomas-Pejo, M. Ballesteros, dan M.J. Negro. 2010. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology* 101: 4851-4861.
- Anonimous, 2006. <http://static.teriin.org/division/eetdiv/beta/biomass.htm>
- Anonymous. 2004. Alternative Sweeteners: A Balancing Act. J. Asia Pacific Food Industries. September pp: 51-54.
- AOAC [Association of Official Analytical Chemist]. 2006. *Official Methods of Analytical of The Association of Official Analytical Chemist*. Washington, DC: AOAC.
- AOAC. 1995. Official Methods Analysis The Association of Official Analytical Chemist. AOAC, Inc. Arlinton. Virginia.
- AOAC. 1995. Official Methods Analysis The Association of Official Analytical Chemist. AOAC, Inc. Arlinton. Virginia.
- Astima A.A. 2002. Preparation of cellulose from oil palm empty fruit bunches via ethanol Digestion: effect of acid and alkali catalysts. *J.oil Palm Research*, Vol 14: 9-14.
- Barrio, M., Fossum, M., Hustad, J.E. 2004. A small-scale stratified downdraft gasifier coupled to a gas engine for combined heat and power production. Norwegian Univ of Science and Technology, 7491 Trondheim, Norway

- Beg QK, M Kapoor, L.Mahajan, GS Hoondal. 2001. Microbial xylanases and their industrial applications. *J Appl Microbiol Biotechnol* 56: 326-338.
- Bertrand Matthäus and Friedrich Spener, "Introduction: What we know and what we should know about virgin oils – a general introduction", *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2008, 110, 597–601.
- Bridgewater, A. 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 91:87-102
- Chen M, L Xia, P Xue. 2007. Enzymatic hydrolysis of corncob and ethanol production from cellulosic hydrolysate. *J. International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol 59:85-89.
- Chen M, L Xia, P Xue. 2007. Enzymatic hydrolysis of corncob and ethanol production from cellulosic hydrolysate. *J. International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol 59:85-89.
- Chen, Hongzhang,dan Qiu, W. 2010. Key Technologies for bioethanol production from lignocellulose. *Biotechnology Advances* 28: 556 – 562.
- Commission regulation (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Communities*, 44 (L 77) : 1–13
- Dhawan, A., M. Bajpayee., A.K.Pandey, and D. Parmar. 2003. *Protocol for the single cell gel electrophoresis / comet assay for rapid genotoxicity assessment.* www.cometassayindia.org/Protocol (diunduh tanggal 10 Maret 2010).
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugar and Related Substances. *Anal. Chem.* 28(3): 350-356.

- Dunlap, J.L., Payne, F.A. 1988. Microcomputer control of two stage combustor. Transaction of the ASAE 31(3):974-980
- Foody, B.J., S. Tohan dan J.D. Bernstein.1999. Pretreatment Process for Conversion of Cellulose to Fuel Ethanol. U.S. pat. No..6.090.595.
- Frazier W.C. dan DC Westhoff. 1978. Food Microbiology. Third Edition. McGraw-Hill Book, New York.
- Frida, T. 1989. Pengaruh Cara Delignifikasi Terhadap Sakarifikasi Limbah Lignoselulolitik. Skripsi. Fateta IPB. Bogor.
- Gnansounou, E. 2010. Review: Production and use of lignocellulosic bioethanol in Europe: Current situation and perspectives. Bioresource Technology 101: 4842-4850.
- Harrison E, and JGJ Graham. 1970. Yeast in destilery practice. Academic Press, New York.
- Hoki, M., Sato, K., Miao, Y., Nishidate, J., 2002. The study of biomass gasification system – temperature control of rice husk gasifier. Proceeding of the International Agricultural Engineering Conference, Wuxi, China, November 28-30, 2002:578-582.
- Hoki, M., Sato, K., Sakai, K., Tanibuchi, Y. 1995. Biomass gasifier for small scale energy development. Proceeding of International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing, Kobe, Japan:317-324
- Hoki, M., Sato, K., Umezawa, Y. 1992. Sawdust gasification for small poer plant. The ASAE Paper No. 926032
- Hoki, M., Sato, K., Yamada Y., Umezawa, Y. 1994. The development study of biomass gasification system. Proceeding of the International Agricultural Engineering Conference.
- Kheswani, Deepak R, dan J. J. Cheng. 2009. Switchgrass for bioethanol and other value-added applications: A review. Bioresource Technology 100: 1515-1523.

- Kim, H. 1995. Characterization and Substrate Specificity of an EndoBeta1,4Dglukanase (Avicelase I) from An Extracellular Multienzyme Complex of *Bacillus Circulans*. *Appl Environ Microbiol* 61: 959965.
- Kittikun, A.H. Prasertsan, P. Srisuwan, G. Krause. 2000. Environmental Management for Palm Oil mil. Conference on Material Flow Analysis of Integrated Bio-System.
- Knauf, M. dan M. Moniruzzaman. 2004. Lignocellulosic biomass processing: A perspective. *Intl. Sugar J.* 106(1263): 147–150.
- Koesnandar. 2001. Biokonversi selobiosa langsung menjadi etanol menggunakan Ko-immobilisasi sel *Lipomyces starkeyi* dan *Saccharomyces cerevisiae* secara Fed-Batch. *J. Mikrob. Ind* Vol 6(1): 15-18.
- Kosaric, N., A Wieczorek, G.P. Cosentino, R.J. Magee and J.E. Prenosil. 1982. Etanol fermentation *In* Rehm and Reed (Eds). *Biotechnology*. Vol 3. Verlag Chemie, Weinheim.
- Kunkee K.D, and CJ Mardon. 1970. *Yeast Wine Making*. Academic Press, London.
- Li, Xuan, Tae Hyun Kim, dan N. P. Nghiem. 2010. Bioethanol production from corn stover using aqueous ammonia pretreatment and two-phase simultaneous saccharification and fermentation (TPSSF). *Bioresource Technology* 101: 5910-5916.
- Lim, K., Sims, R. 2003. Liquid and gaseous biomass fuels, in R Sims (ed.), *Bioenergy option for a cleaner environment*, Elsevier, the United Kingdom
- Lopez M.J, N.N. Nichols, BS Dien, J. Moreno. 2004. Isolation of microorganism for biological detoxification of lignocellulosic hydrolyzates of spruce. *J. Applied Biochemistry and Biotechnology* 77:91-103.
- McKendry, P. 2002a. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*. Vol. 83:47-54

- McKendry, P. 2002b. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. *Bioresource technology*. Vol. 83:55-63
- Miller, G.L. 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Anal. Chem.* 31:426-428.
- Najafpour G, A. Ideris, S Salmanpour, M Norouzi. 2007. Acid Hydrolysis of pretreated palm oil lignocellulosic wastes. *IJE Transactions B: Applications*. Vol 20(2): 147-155
- Orchidea R, *et al.* 2010. Pengaruh metode pretreatment pada bahan lignoselulosa terhadap kualitas hidrolisat yang dihasilkan.
- Oura, E. 1983. Reaction Product of Yeast Fermentation. Dalam H. Dellweg(ed). *Biotechnology Volume III*. Academic Press, New York.
- Payne, F.A., Chandra, P.K. 1985. Mass balance for biomass gasifier combustor. *Transaction of the ASAE* 28(6):2037-2041
- Payne, F.A., Dunlap, J.L., Caussanel, P. 1985. Effect of wood chip size on gasifier combustor operation. *Transaction of the ASAE* 28(3):903-906,914
- Prastowo, B., Chandra, I. dan Dedi, S. E. 2010. Mekanisasi Pertanian dalam Perspektif Pengembangan Bahan Bakar Nabati. *Perspektif: Review Penelitian Tanaman Industri* 9(1): 47-54.
- Prastowo, Bambang dan Nur Richana. 2014. *Biofuel Generasi 1 dan Generasi 2*. IAARD Press.
- Prastowo, Bambang. 2007. Potensi Sektor Pertanian Sebagai Penghasil dan Pengguna Energi Terbarukan (The agriculture sector as source and user of the renewable energy). *Indonesia Center for Estate Crops Research and Development*. *Perspektif: Review Penelitian Tanaman Industri* 6 (2): 85-93.
- Prastowo, Bambang. 2010. Strategi Pengembangan Energi Biomasa Agar Tidak Terulang Pengalaman Kasus Gas di Indonesia. Makalah di DEN tahun 2010.

- Prescott, S. C. dan C.G. Dunn.1981. *Industrial Microbiology*. MCGrawHillBookCo.Ltd., New York.
- Purwantana, B. 2007a. Pengembangan gasifier untuk gasifikasi limbah padat pati aren (*Arenga Pinnata Wurmb*). *Agritech*, Vol.27 No. 03
- Purwantana, B. 2007b. Pengembangan Gasifikasi Limbah Padat Pati Aren Untuk Aplikasi Pemanasan. Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia, Yogyakarta, 3 Juli 2007
- Purwantana, B. 2007c. Pengaruh Penambahan Serpihan Kayu Terhadap Kinerja Gasifikasi Limbah Padat Pati Aren. Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian, Balai Besar Mekanisasi Pertanian, Serpong 28 Agustus 2007.
- Purwantana, B. 2009. Pengaturan Debit pengeluaran Abu Untuk Meningkatkan Stabilitas Suhu Pada Gasifikasi Limbah Biomassa. Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia, Mataram, 8-9 Agustus 2009.
- Purwito dan A. Firmanti. 2005. Pemanfaatan limbah sawit dan asbuton untuk bahan pencegah serangan rayap tanah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman. Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. <http://www.pu.go.id/publik/INO/Produk/>
- Ragauskas, A.J., C.K. Williams, B.H. Davison, G.Britovsek, J. Cairney, C.A. Eckert, W.J.Frederick Jr., J.P. Hallett, D.J. Leak, C.L.Liotta, J.R. Mielenz, R. Murphy, R. Templer,dan T. Tschaplinski. 2006. The path forwardfor biofuels and biomaterials. *Science* 311:484-489.
- Rajeev J., dan Rajvanshi, A.K. 1997. Sugarcane leaf-bagasse gasifier for industrial heating application. *Biomass and Bioenergy* Vol.13, No.3:141-146
- Richana N, Lestina P dan Irawadi TT. 2004. Karakterisasi lignoselulosa dari limbah tanaman pangan dan pemanfaatannya untuk pertumbuhan bakteri RXA III-5

- penghasil xylanase. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 23: 171-176.
- Richana N. 2008. Bahan bakar nabati dan kebijakan energy nasional. Kolom opini, surat kabar Republika. Senin 10 Maret 2008.
- Richana, N. dan B. Prastowo. 2012. Teknologi biofuel generasi kedua: Bioetanol dari lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit. *Warta Litbang*. Vol 34:3 (19-20).
- Richana, Nur., Bambang Prastowo. 2012. Teknologi Biofuel Generasi Kedua : Bioetanol dari Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 34 (3) 2012 : 19-20.
- Richana. N. 2011. Bioetanol :Bahan Baku, Teknologi Produksi, dan Pengendalian Mutu. Penerbit Nuansa Cendekia. Bandung.
- Rose, A.H. 1987. *Microbial Technology*. Reinhold, New York.
- Ruiz-Arribas A, J.M Fernandez-Abalos, P Sanches, AL Gardu, RI Santamaria. 1995. Over production, purification and biochemical characterization of xylanase I (xys 1) from *Streptomyces halstedii*. *JM8. Appl And Environ Microbiol* 61 (6): 2414 - 2419.
- Saha BC, Bothast RJ. 1998. Enzymology of xylan degradation, diambil dari : <http://www.usda.gov/ttich/tektran/data/000009/20/0000092095htm-2.9kb>. 18 Dec 98.
- Sasidharan, P., Murali, K.P., Sasidharan, K. 1995. Designanddevelopment of a ceramic based biomass gasifier. *Energy for Sustainable Development*, Vol.2, No.4: 49-52.
- Schubert, C. 2006. Can biofuels finally takecenter stage? *Nature Biotechnol.* 24(7):777-784.
- Simeh, M. A. 2004. *Comparative advantage of the European rapeseed industry vs Other oils and fats producers*. *Oil Palm Industry Economic Journal* , 4(2), 14-22, Malaysian Palm Oil Board.

- Singh, N.O., M. T. McCoy., R. R. Tice and E. L. Schneider. 1988. *A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells*. Exp. Cell Res. 175 : 184-191.
- Sjostroom, E. 1995. Wood Chemistry. Jilid II. Diterjemahkan oleh Hardjono S. UGM Pres, Yogyakarta.
- Soerawidjaja dan Tatang H. 2008. Bioethanol generasi II: Bahan Ajar Pengantar Kuliah Teknologi Kemurgi.
- Spangler D.J. and G.H. Emert. 1986. Simultaneous saccharification/fermentation with *Zymomonas mobilis*. Biotech Bioeng. 28:115-118
- Spangler D.J. and G.H. Emert. 1986. Simultaneous saccharification/ fermentation with *Zymomonas mobilis*. Biotech Bioeng. 28:115-118
- Stassen, H.E. 1995. Small-scale biomass gasifier for heat and power; a global review. The World Bank: 49-50.
- Sunarti and Richana. 2006. Bioethanol production from corncob residue by two successive fermentations. Final report of Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange Research Grant FY 2005/2006.
- Sunarti T.C. dan N. Richana. 2007. Produksi selulase oleh *Trichoderma viride* pada media tongkol jagung dan fraksi selulasenya. J. Penelitian Pascapanen Pertanian. Vol 4(2):57-64.
- Taherzadeh MJ, Karimi K. 2007. Acid-Based Hydrolysis Processes for Ethanol from lignocellulosic materials. J. BioResourches 2:472-499.
- Taherzadeh MJ, Karimi K. 2007. Enzyme-based Hydrolysis Process for Ethanol from lignocellulosic materials. J. BioResourches 2(4):707-738
- Tice, R. R., E. Agurell., D. Anderson., B. Burlinson., A. Hartmann., H. Kobayashi., Y. Miyamae., E. Rojas., J.C. Ryu., and Y. F. Sasaki. 2000. *Single cell gel/comet assay: guidelines for in vitro and in vivo genetic toxicology testing*. Environmental and Molecular Mutagenesis 35:206-221.

- UNCTAD/GATT. 1979. Making and marketing Furfural. Added value for Agro-industrial waste. *In* Abstracts for Information Services. International Trade Centre, Geneva. Pp 3-7.
- VAN DER MEER, J.M. and A.J.H. VAN ES. 2001. Optimal degradation of lignocellulosic feeds by ruminants and *in vitro* digestibility tests. Proceedings of a Workshop, Degradation of Lignocellulosics in Ruminant and Industrial Processes. March 17-20, 1986, Lelystad, Netherlands. pp. 21-34.
- Van Soest, P.J. 1963. Use of detergent in analysis of fibrous feeds III. In M.L. Dreher (ed.). The Handbook of Dietary Fiber. New York, USA.
- Wright JD, CE Wymen and K. Grohmann K. 1988. Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulose. *Appl. Biochem Biotechnol.* 18:75-90.
- Wu B, Zhao Y, Gao PJ. 2000. A new approach to measurement of saccharifying capacities of crude cellulose. *J. Bioresources* Vol 1(2):189-200.
- Wulan.S.N. 2001. Kemungkinan Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L) Sebagai Sumber Zat Pewarna (B-Karoten). *Jurnal Teknologi Pertanian*, Vol.2 No.2, Agustus 2001 : 22 – 29.
- Wyman, C.E. 2002. Potential Synergies and Challenges in Refining Cellulosic Biomass to Fuels. *Biotechnol Progress*.
- Wyman, C.E., ed. 1996. Handbook on Bioethanol: Production and Utilization. Applied Energy Technology Series. Taylor & Francis, Washington, DC. 424 pp.
- Zhang, Jian, Xiusheng Wang, Deqiang Chu, Yanqing He, Jie Bao. 2011. Dry pretreatment of lignocellulose with extremely low steam and water usage for bioethanol production. *Bioresource Technology* 102: 4480-4488.

ZREU (Zentrum für rationell Energieanwendung und Umwelt GmbH), 2000. Biomass in Indonesia-Business Guide. German Energy Saving Project.

TENTANG PENULIS



H. Andi Amran Sulaiman, Dr., MP., Ir., adalah Menteri Pertanian pada Kabinet Kerja Jokowi-JK sejak 2014. Doktor lulusan UNHAS dengan predikat Cumlaude (2002) ini memiliki pengalaman kerja di PG Bone serta PTPN XIV, pernah mendapat Tanda Kehormatan Satyalancana Pembangunan di Bidang Wirausaha Pertanian dari Presiden RI (2007) dan Penghargaan FKPTPI Award (2011). Beliau anak ketiga dari 12 bersaudara, pasangan ayahanda A. B. Sulaiman Dahlan Petta Linta dan ibunda Hj. Andi Nurhadi Petta Bau. Memiliki seorang istri Ir. Hj. Martati, dikaruniai empat orang anak: A. Amar Ma'ruf Sulaiman, A. Athirah Sulaiman, A. Muhammad Anugrah Sulaiman dan A. Humairah Sulaiman. Pria kelahiran Bone (1968) yang memiliki keahlian di bidang pertanian dan hobi membaca ini, dalam kiprahnya sebagai Menteri Pertanian telah berhasil membawa Kementerian Pertanian sebagai institusi yang prestise.



H. Muhammad Syakir, Prof (R), Dr., MSi., lahir di Watampone, Sulawesi Selatan, dan merupakan anak keempat dari 8 bersaudara dari Bapak H. Andi Husain (Almarhum) dan Ibu Hj. Andi Matahari (Almarhumah). Gelar Sarjana Pertanian dari Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan tahun 1983 dan memperoleh gelar Magister Sains jurusan Agronomi, Institut

Pertanian Bogor, tahun 1990 dan Doktor dari Institut Pertanian Bogor tahun 2005. Profesor Riset ke-132 Kementerian Pertanian ini merupakan ahli budidaya lada perdu di Indonesia.



Fadjry Djufry, Dr., MS., Ir., dilahirkan di Makassar pada tanggal 14 Maret 1969. Peneliti Madya bidang Agroklimatologi/Pemodelan Tanaman di Puslitbangbun yang juga menjabat sebagai Kepala Puslitbang Perkebunan ini memperoleh gelar Sarjana Pertanian (S1) tahun 1993 pada bidang studi Agronomi Universitas Hasanuddin, Makassar. Pendidikan S2 dan S3 ditempuh di Institut Pertanian Bogor masing-masing selesai pada tahun 2000 dan 2005.



Haris Syahbuddin, Dr. DEA., Ir., menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Pertanian, Jurusan Ilmu Tanah, Universitas Lampung tahun 1990. Pendidikan S2 diselesaikan di Ecole Nationale de la Meteorologie Toulouse Meteo France Perancis dan S3 di Kobe University, pada Departement for Science and Technology, Planetary and Earth Sciences, Laboratory for Atmospheric and Hydrospheric Scienes. Peneliti dengan bidang keahlian Agrometeorologie Tropical ini juga menjabat sebagai Kepala Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian (BBP2TP) sejak 2016 di Bogor. Penghargaan yang pernah diperoleh yakni Penghargaan Inovasi Pangan dan Pertanian dan Peneliti Berprestasi Tingkat Nasional Tahun 2015.



Sumanto, lahir pada tahun 1959 di Klaten, Jawa Tengah. Memperoleh gelar Sarjana Pertanian (Jurusan Agronomi) di Universitas Slamet Riyadi Surakarta pada tahun 1987. Berkariier di lingkungan Badan Litbang Pertanian sebagai peneliti budidaya tanaman pada Pusat Penelitian

dan Pengembangan Tanaman Industri (Puslitbangtri) sekarang Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan (Puslitbangbun) yang ditugaskan sejak tahun 1989 sampai sekarang. Tugas yang pernah diembannya diantaranya sebagai Kepala Sub Bidang Program Pada Pusat Penelitian Perkebunan. Pemimpin Proyek dan Bagian Proyek Penelitian dan Pengembangan Tanaman Perkebunan (2002-2006). Jenjang fungsioal Peneliti Madya diperoleh pada tahun 2005 sampai sekarang. Sejak tahun 2006 berkecimpung dan mendalami tanaman bioenergi, khususnya biodiesel. Karya ilmiahnya terkait budidaya tanaman perkebunan seperti kelapa, kelapa sawit, lada, kunyit, serai wangi dan tanaman bioenergi seperti kemiri sunan dan jarak pagar tersebar di berbagai prosiding dan jurnal ilmiah.



Bambang Purwantana, Prof. Dr. Ir. , M.Agr, lahir di Bantul 16 Desember 1961, menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama di desa kelahirannya Imogiri, Bantul. Pendidikan Sekolah Menengah Atas ditempuh di SMA Negeri 1 Yogyakarta. Pada tahun 1982 melanjutkan kuliah S1 di Jurusan Mekanisasi Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada dan lulus tahun 1987. Pendidikan Master (S2) ditempuh pada tahun 1995-1997 di Kobe University Jepang dengan mengambil bidang Environmental and Bioproduction Engineering. Pendidikan Doktor (S3) juga ditempuh di Kobe university Jepang pada periode 2001-2004 dengan mengambil bidang System Science.

Karier bekerja ditempuh sebagai dosen di Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem (sebelumnya Jurusan Mekanisasi Pertanian) Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada mulai tahun 1989 sampai sekarang. Beberapa jabatan yang telah diemban antara lain sebagai Sekretaris Jurusan, Wakil Dekan bidang Kemahasiswaan dan Alumni, Wakil Dekan bidang Akademik dan Penelitian, dan Ketua Departemen. Bidang yang ditekuni banyak terkait dengan pengembangan Energi dan Mesin Pertanian. Hasil-

hasil penelitiannya banyak dimuat dalam Jurnal Ilmiah Nasional dan Internasional. Aktif dalam organisasi profesi dan menjadi pengurus pusat Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). Dalam pengembangan kebijakan, berperan aktif sebagai anggota Tim Teknis Komisi Pengembangan Mekanisasi Pertanian Kementerian Pertanian.



Nur Richana, Prof (R), Dr. MS., Ir, adalah peneliti utama di bidang Teknologi Pascapanen dan telah menghasilkan penelitian biofarm dari amprok jagung telah dipublikasikan sebanyak 118 karya ilmiah (104 publikasi ilmiah dalam bahasa Indonesia dan 14 publikasi ilmiah dalam bahasa Inggris). Nur Richana merupakan profesor riset Kementerian Pertanian yang ke-105 yang dikukuhkan pada Desember 2012 dan telah meraih Penghargaan Satya Lancana Karya Satya XX dan Peneliti Utama Berprestasi pada 24 Juni 2011.



Bambang Prastowo, Prof (R), Dr., MS., Ir, adalah Purnabakti Peneliti Utama di bidang Teknologi Pertanian dan Mekanisasi Pertanian yang pernah bekerja di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. Sepanjang kariernya Bambang banyak menghasilkan inovasi bidang mekanisasi pertanian, khususnya alat dan mesin pertanian (alsintan) sederhana sampai yang bisa digunakan untuk memanfaatkan energi ternak, air dan angin. Inovasi alsintan pompa air bersumber tenaga ternak, manusia (tangan dan kaki) dan angin dikembangkan di Indonesia Timur terutama di Sulawesi Selatan. Pompa air ini pernah dikembangkan di Sulawesi, Nusa Tenggara Timur, Timor Timur dan bahkan beberapa di antaranya pernah dipasang di areal PLG di Kalimantan Tengah; serta inovasi mesin prosesing ubikayu pada tahun 1989. Sebagai peneliti Ia juga pernah aktif sebagai Ketua Tim Sertifikasi Nasional Alat dan Mesin Pertanian Peraih Adhicipta Rekayasa dari Persatuan Insinyur

Indonesia tahun 1996, selain itu juga menerima penghargaan dan Satyalancana Karya Satya 10 tahun dan 20 tahun serta Satya lancana Wirakarya dari Presiden Republik Indonesia pada tahun 2001.

INDEKS

- A**
- agroindustri 2
- B**
- bahan alternatif 8
- bahan bakar 1, 2, 4, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 19, 20, 38, 54, 108, 110, 111, 113, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 144
- bahan bakar cair 1
- bahan bakar nabati 1, 2, 38
- BBN 1, 2, 8
- biodiesel 1, 3, 14, 39
- bioetanol *viii, xii, xiii*, 3, 4, 13, 21, 22, 23, 24, 26, 33, 59, 63, 77, 87, 88, 89, 96, 99, 100, 102, 104, 105, 106, 107
- biofuel 3, 13, 155
- biomassa *iv, v, ix, x, xii, xiii*, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 61, 94, 102, 111, 112, 147, 148
- E**
- emisi 11, 15, 16
- energi 2, 3, 8, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 28, 54, 58, 93, 94, 114, 115, 116, 123
- Enzim selulase 25
- etanol *xi, xii, xiii*, 5, 9, 21, 23, 26, 27, 28, 64, 87, 90, 91, 93, 96, 98, 99, 100, 102, 104, 105, 106, 153
- F**
- fosil 1, 2
- G**
- gasifiern *xii, xiv*, 9, 11, 17, 18, 19, 20, 68, 72, 78, 84, 85, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 123,

133, 134, 135, 144, 150, 152,
154, 155, 156
glukosa xii, xiii, 3, 5, 13, 21, 23,
24, 25, 26, 27, 28, 59, 64, 69,
93, 97, 100, 103, 104, 105,
106

H

hidrogen 4, 9, 11, 13, 14, 15,
100

I

Instruksi Presiden 1

J

jerami 3, 10, 14, 15, 62, 70

K

karbon dioksida 9, 11, 14, 15,
38

karbon monoksida 4, 9, 11, 13,
14, 15

Kebijakan energi 1

Kementerian Pertanian 2

konversi-bio 3, 13, 23

konversi-termal 3, 13

kulit kelapa 10, 15

kulit padi 3

L

limbah x, xi, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 13,
15, 21, 23, 25, 33, 56, 61, 62,
63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79,
80, 82, 83, 85, 101, 148, 154,
155

M

mekanisasi pertanian 2

mesin-mesin pertanian 2

minyak 1, 2, 4, 8, 9, 11, 19, 22,
38, 59, 70

minyak solar 1

P

pakan v, 3, 8, 9, 22, 30, 33, 34,
58, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68,
69, 72, 73, 76, 78, 80, 81, 83,
84, 85, 93, 147, 148

pangan v, 3, 8, 14, 22, 23, 58,
59, 62, 63, 70, 72, 74, 76, 155

Peraturan Presiden 1

polusi lingkungan 3

R

reaktor 4, 13, 18, 20, 108, 109,
110, 111, 121

S		TKKS	viii, xi, xii, xiii, 10, 87,
sasaran	1		89, 94, 95, 97, 101, 102, 104,
Sektor pertanian	2		105, 106, 107, 123, 148
seresah tebu	4, 20	tongkol jagung	5, 6, 9, 14, 21,
			23, 25, 62, 70, 156
T		X	
tandan kosong kelapa sawit	3,	xylosa	5, 21, 23, 24
	4, 13, 23, 93, 96, 107, 123,		
	155		

BIOMASSA

TANAMAN PERKEBUNAN

Fisik dan Proksimat serta Konversi Bio dan Termal
Biomassa untuk Bioenergi

Modernisasi pertanian ke depan termasuk agroindustri serta mekanisasi pertanian akan semakin berperan dalam pembangunan pertanian. Mekanisasi pertanian mengandalkan ketersediaan bahan bakar minyak asal energi fosil (BBM) yang semakin langka. Bioenergi termasuk bahan bakar nabati yang bahan bakunya dari biomassa pertanian tersedia melimpah di sektor pertanian dan kehutanan, menjadi alternatif yang harus dipikirkan untuk mengatasi masalah tersebut. Di Indonesia ratusan juta ton limbah pertanian seperti jerami, kulit padi, seresah tebu, tandan kosong kelapa sawit dan-lain-lain dihasilkan setiap tahunnya. Pemanfaatan limbah biomassa padat tanaman sebagai bahan bakar sampai saat ini masih sangat terbatas. Limbah biomassa pertanian termasuk perkebunan dapat menjadi sumber energi alternatif, baik diproses menjadi cairan bioetanol maupun proses gasifikasi menjadi gas. Teknologi biofuel generasi kedua yang banyak dibahas di dunia saat ini adalah dengan mengembangkan proses konversi-bio untuk menghasilkan dan konversi-termal untuk menghasilkan gas, yang sebenarnya dapat diproses menjadi biodiesel ataupun bioavtur dan sejenisnya.

Buku ini menguraikan jenis tanaman perkebunan dan jumlahnya yang sesuai dimanfaatkan sebagai bahan baku bioenergi tersebut, disertai teori dan teknologinya serta contoh teknologi generasi kedua produksi bioenergi.



Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Jalan Ragunan No. 29, Pasarminggu, Jakarta 12540
Telp. 021-7806202, Faks. 021-7800644

ISBN 978-602-344-246-1

