



TESIS TF092324

**PEMETAAN POTENSI LIMBAH TONGKOL JAGUNG
SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DIWILAYAH
PROVINSI GORONTALO**

SIRADJUDDIN HALUTI

2412201 005

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK INSTRUMENTASI

JURUSAN TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014



THESIS TF092325

**MAPPING POTENTIAL WASTE OF CORN COB AS
AN ALTERNATIVE ENERGY IN THE DISTRICT OF
GORONTALO PROVINCE**

SIRADJUDDIN HALUTI
2412201005

SUPERVISOR
Dr. Ridho Hantoro, ST. MT.

MAGISTER PROGRAM
SPECIALIZATION INDUSTRIAL INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2014

LEMBAR PENGESAHAN

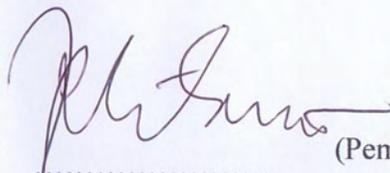
Tesis Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Megister Teknik
(M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Siradjuddin Haluti
NRP. 2412201005

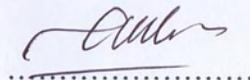
Tanggal Ujian : 15 Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh :

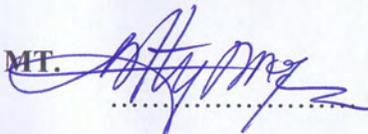
Dr. Ridho Hantoro, ST. MT.
NIP : 19761223 200501 1 001


..... (Pembimbing I)

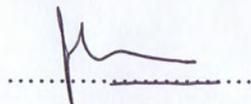
Dr. Rer.nat.Ir. Aulia M.T.N. MSc.
NIP : 19671117 199702 1 001


..... (Penguji I)

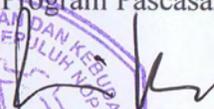
Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST. MT.
NIP : 19740903 199802 2 001


..... (Penguji II)

Dr.Ir. Aulia Siti Aisjah, MT.
NIP : 19660116 198903 2 001


..... (Penguji III)

Direktur Program Pascasarjana,


PROF. DR. IR. ADI SOEPRIJANTO, MT.
NIP. 19640405 199002 1 001

PEMETAAN POTENSI LIMBAH TONGKOL JAGUNG SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DIWILAYAH PROPINSI GORONTALO

Nama : Siradjuddin Haluti
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, ST, MT

ABSTRAK

Jagung merupakan komoditi unggulan Propinsi Gorontalo. Walaupun mengalami fluktuasi tidak mempengaruhi produksi jagung di Provinsi Gorontalo. Dalam beberapa tahun terakhir kebutuhan jagung makin meningkat, dengan meningkatnya kebutuhan jagung berdampak pada tingginya limbah tongkol jagung yang dihasilkan tentunya ini akan menimbulkan masalah bagi lingkungan. Salah satu sektor yang belum dimanfaatkan di Gorontalo secara maksimal adalah pemanfaatan limbah tongkol jagung yang hanya dibuang dan dibakar. Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah (1) Bagaimana produksi limbah tongkol jagung di wilayah Provinsi Gorontalo dapat dipetakan sehingga dapat menginformasikan seberapa besar potensi produksi limbah tongkol jagung sebagai energi alternatif bahan bakar. (2) Bagaimana potensi energi alternatif dari bahan bakar (Briket, Gasifikasi, Biomassa, Bioetanol) sebagai pemanfaatan dari bahan baku limbah tongkol jagung. Metode melakukan survei lokasi, pengumpulan data, studi literatur, pengolahan data, analisis data. Hasil potensi bahan bakar yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan limbah tongkol jagung untuk wilayah Provinsi Gorontalo dapat mencapai 172.931 ton limbah tongkol jagung. Untuk bahan bakar briket menghasilkan massa briket 51.121 ton dan nilai kalorinya sebesar 148.865.352 MJ, untuk bahan bakar gasifikasi menghasilkan syngas sebesar 92.852 ton dan nilai kalor sebesar 262.450.707 MJ, untuk bahan bakar biomassa menghasilkan nilai kalor sebesar 1.293.153.000 MJ dan Daya yang dihasilkan sebesar 539.206 MW, untuk bahan bakar Bioetanol menghasilkan bioetanol sebesar 18.174.011 liter dan nilai kalor sebesar 1.559.233.200. Kabupaten Pohuwato daerah yang paling cocok sebagai lokasi pembangkit bahan bakar biomassa dan tempat penampung limbah tongkol jagung dan pemrosesannya menjadi bahan bakar alternatif. Hal ini disebabkan karena masih banyak lahan kosong yang tak terpakai, dengan biaya transportasi yang harus dikeluarkan paling sedikit dari kabupaten dan kota lainnya sebesar (Rp. 5.791.450.000/tahun).

Kata Kunci : Pemetaan, Potensi, Limbah, Tongkol Jagung, Energi.

MAPPING POTENTIAL WASTE OF CORN COB AS AN ALTERNATIVE ENERGY IN THE DISTRICT OF GORONTALO PROVINCE

Nama : Siradjuddin Haluti
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, ST, MT

ABSTRACT

Corn is one of the main commodities of Gorontalo. Despite the fluctuations it did not affect the production of corn in the province of Gorontalo. In a few years the need of corn increasing and with this, the impact of waste corn cob raising this and will cause problems for the environment. One of the sectors that have not been used maximum is the utilization of waste corn cobs, it just thrown away and burned. Issues raised in this research are (1) How does the production of waste corn cob region of Gorontalo Province can be mapped so that can inform how much the potential production of corn cob waste as an alternative energy fuel. (2) How can the potential of alternative energy fuels (briquettes, Gasification, Biomass, Ethanol) as a raw material utilization of waste corn cobs. The methods by conducting site surveys, data collection, literature studies, data processing, data analysis. Results potential fuel that can be produced from corn cobs waste utilization for the province of Gorontalo to reach 172.931 tons of waste corn cobs. To mass produce fuel briquettes 51.121 tons and caloric value of 148.865.352 MJ, for the gasification produces syngas fuel for 92.852 tons and the calorific value of 262.450.707 MJ, to produce biomass fuel calorific value of 1.293.153 billion MJ and will produce amounted to 539.206 MW, for bioethanol fuel produce 18.174.011 liters of bioethanol and calorific value of 1.559.233.200. Pohnato areas most suitable as a biomass fuel plant site and the waste container and processing corn cobs into alternative fuels. This is because there are many unused landsite, with transportation costs to be incurred at least from the county and other cities by (Rp.5.791.450.000 each year).

Keywords: Mapping, Potential, Waste, Corn Cobs, Energy.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, rizki, ilmu dan kesehatan serta kemudahan-kemudahan sehingga Tesis yang berjudul “PEMETAAN POTENSI LIMBAH TONGKOL JAGUNG SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DiWILAYAH PROVINSI GORONTALO“ ini dapat diselesaikan. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang diwajibkan kepada setiap mahasiswa program studi teknik Strata dua. Tiada sesuatupun keberhasilan tanpa jasa bantuan orang lain, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua dosen, semua karyawan jurusan Teknik Fisika ITS, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Bambang L, Widjiantoro, ST, MT, Dekan Fakultas Teknologi Industri
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA. Ketua Jurusan Teknik Fisika
3. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT. Kepala Program Study Teknik Fisika
4. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT, atas segala jasa dan bantuannya sebagai dosen pembina mata kuliah sekaligus sebagai dosen pembimbing Tesis yang telah memberikan arahan dan bimbingan dengan segala kemampuan dan penuh tanggung jawab, penuh dorongan semangat dan pengharapan hingga akhirnya Tesis ini dapat diselesaikan.
5. Bapak dan Ibu team penguji Tesis yang telah bersungguh-sungguh dalam menjalankan tugas dalam rangka mencari kebenaran ilmiah, sehingga dapat memberi masukan dan saran demi sempurnanya laporan Tesis ini
6. Istri dan anakku tercinta, atas segala bantuannya baik berupa moril maupun materiil dengan penuh semangat dan keikhlasan yang menimbulkan dorongan kepada penulis untuk dapat segera menyelesaikan Tesis ini.
7. Kepada semua pihak yang telah membantu dalam bentuk apapun selama penulis menjalani studi dan mengerjakan Tesis.

Semoga amal baik yang diberikan kepada penulis selama mengerjakan Tesis ini mendapat balasan yang berlipat dari Allah Yang Maha Pemurah, amiin. Tiada gading yang retak, demikian pepatah mengatakan, mohon dikoreksi atas segala kesalahan. Penulis berharap semoga hasil penelitian dalam Tesis ini dapat dimanfaatkan sebagai pemer kaya ilmu pengetahuan dan memberikan dorongan bagi pembaca untuk meneliti lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2014
Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Tujuan Penelitian	2
1.4.Manfaat Penelitian	3
1.5.Batasan Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Jagung.....	5
2.2. Pemetaan	5
2.3. Limbah.....	7
2.4. Tongkol Jagung	8
2.5. Bahan Bakar Padat	10
2.6. Bahan Padat Untuk Proses Pirolisis dan Gasifikasi	12
2.7. Briket Arang	13
2.7.1. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Sifat Briket Arang	14
2.7.2. Syarat Dan Kriteria Briket Yang Baik.....	15
2.8. Gasifikasi.....	22
2.9. Bioetanol.....	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian	35
3.2. Rancangan Sistem.....	35
3.3. Langkah-langkah Rancangan Sistem Penelitian.....	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Data Produksi Jagung Provinsi Gorontalo	39
4.2. Produksi Limbah Tongkol Jagung	41
4.3. Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung.....	44
4.3.1. Arang Briket.....	45
4.3.2. Gasifikasi	47
4.3.3. Pemanfaatan Tongkol Jagung Untuk Pembangkit Listrik Dengan Cara Membakar Langsung (Biomassa).....	50

4.3.4. Bioetanol.....	54
4.4. Optimasi Pemilihan Lokasi	56

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	59
5.2. Saran.....	59

DAFTAR PUSTAKA	61
----------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Limbah Tongkol Jagung	8
Gambar 2.2. Potensi Rill Energi Limbah Jagung di Indonesia	10
Gambar 2.3. Berbagai Macam Tipe Gasifier	25
Gambar 3.2. Rancangan Sistem.....	35
Gambar 4.1. Grafik Produksi Jagung per Tahun Tiap Kabupaten/ Kota Di Wilayah Provinsi Gorontalo.....	40
Gambar 4.2. Grafik produksi Limbah Tongkol Jagung per Tahun Tiap-tiap Kabupaten dan Kota Diwilayah Provinsi Gorontalo	42
Gambar 4.3. Peta produksi Limbah Tongkol Provinsi Gorontalo	42
Gambar 4.4. Briket Arang yang Telah Di Konfaksi	46
Gambar 4.5. Proses Konversi Energi Pada PLTU	51
Gambar 4.6. Diagram T-s Siklus PLTU (Siklus Rankine).....	51

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1. Analisis kimia Tongkol Jagung	11
Tabel 2.2. Gas, Abu, Arang, Tar, dan Likuida dalam Proses Karbonisasi Tongkol Jagung	13
Tabel 2.3. Sifat Fisika dan Kimia Ethanol	30
Tabel 4.1. Data Produksi Jagung Provinsi Gorontalo	39
Tabel 4.2. Data Produksi Limbah Tongkol Jagung Ideal	41
Tabel 4.3. Data Produksi Limbah Tongkol Jagung Aktual.....	43
Tabel 4.4. Data Potensi Produksi Limbah Tongkol Jagung Aktual	44
Tabel 4.5. Data Produksi Limbah Tongkol Jagung dan Massa Briket	46
Tabel 4.6. Data Pengukuran Fisik dan Kimia Briket Arang Jagung	46
Tabel 4.7. Data potensi Nilai Kalori Briket dan Daya	47
Tabel 4.8. Kadar Kandungan Gas Sintesis dan Nilai Kalori Arang Tongkol Jagung	48
Tabel 4.9. Gas Hasil Proses Gasifikasi, Nilai Kalor dan Daya	49
Tabel 4.10. Analisis Kimia Tongkol Jagung	52
Tabel 4.11. Daya yang Dihasilkan berdasarkan Produksi Limbah Aktual	53
Tabel 4.12. Potensi Ethanol dan Energi Nilai Kalor.....	56
Tabel 4.13. Perbandingan Potensi Energi	56
Tabel 4.14. Jarak Antara Daerah Diwilayah Provinsi Gorontalo	57
Tabel 4.15. Biaya Transfortasi tiap Daerah Kabupaten dan Kota di Provinsi Gorontalo	57
Tabel 4.16. Biaya Transfortasi Total Setiap Daerah Provinsi Gorontalo	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jagung merupakan salah satu komoditi unggulan provinsi Gorontalo, dimana produksi jagung Gorontalo dari tahun ketahun mengalami fluktuasi. Disamping untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakat gorontalo, jagung juga telah dieksport ke luar negeri seperti Malaysia dan Singapura untuk bahan baku berbagai produk seperti tepung jagung (*maizena*), pati jagung, minyak jagung, dan pakan ternak. Dari setiap panen jagung diperkirakan jagung (rendemen) yang dihasilkan sekitar 65%, sementara 35% dalam bentuk limbah berupa batang, daun, kulit, dan tongkol jagung (Anonymous, 2003).

Badan Pusat Informasi Jagung Provinsi Gorontalo (BPIJ) melaporkan bahwa luas lahan pertanian jagung di Provinsi Gorontalo pada tahun dari 2008 sekitar 156.898 Ha dengan hasil produksi 753.598 ton, dan pada tahun 2010 sekitar 164.999 Ha dengan hasil produksi mencapai 679.168 ton. Tingginya produksi jagung tiap tahunnya berdampak pada tingginya limbah yang dihasilkan terutama limbah tongkol jagung. Limbah tongkol jagung khususnya untuk daerah gorontalo belum terolah secara maksimal dalam meningkatkan nilai ekonomisnya. Limbah tongkol jagung tersebut oleh masyarakat hanya dibuang dan dibakar.

Provinsi Gorontalo yang dikenal sebagai Provinsi penghasil jagung di Indonesia, hasil utama jagung adalah biji jagung yang digunakan terutama untuk makanan manusia dan ternak. Hasil survey bahwa limbah tongkol jagung di Gorontalo belum dimanfaatkan. Limbah tongkol jagung tersebut hanya menimbulkan masalah serius bagi lingkungan, terutama karena pembakaran limbah akan menimbulkan polusi yang hebat dan juga membahayakan lingkungan. Padahal energi yang terkandung dalam limbah organik padat dapat dimanfaatkan melalui pembakaran langsung atau dengan terlebih dahulu mengkonversikannya dalam bentuk lain yang bernilai ekonomis, yang lebih efisien dan efektif penggunaannya, diantaranya penggunaan tongkol jagung kering berdasarkan pada proses pengeringan, briket tongkol jagung melalui proses

karbonisasi, syngas (*synthesis gas*) melalui proses gasifikasi, biomassa melalui proses pirolisis, Bioetanol melalui proses fermentasi gula atau molase sebagai alternatif bahan bakar.

Mengamati kondisi potensi produksi limbah tongkol jagung tersebut, maka perlu dilakukan analisa untuk mengetahui pemanfaatan energi yang dihasilkan, jika limbah tongkol tersebut akan digunakan sebagai bahan baku dari pembuatan bahan bakar (Briket, Gasifikasi, Bioetanol, Biomassa). Untuk mengetahui potensi energi yang dihasilkan dapat dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata produksi limbah tongkol, memetakan daerah potensi limbah tongkol, dan menghitung nilai energi kalor dengan konversi satuan perbandingan. Perhitungan energi yang dihasilkan dapat memberikan informasi tentang kandungan energi dalam limbah tongkol jagung tersebut, melalui pemanfaatan bahan baku limbah yang akan berguna untuk keperluan masyarakat Gorontalo.

Dengan demikian data informasi kandungan energi yang dihasilkan pada limbah tongkol jagung sebagai bahan baku untuk pembuatan bahan bakar dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan teknologi tepat guna untuk pembuatan bahan bakar dari tongkol jagung dengan skala yang memadai.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana potensi limbah tongkol jagung diwilayah Propinsi Gorontalo dapat dipetakan sehingga dapat menginformasikan seberapa besar potensi produksi limbah tongkol jagung sebagai energi bahan bakar alternatif?
2. Bagaimana potensi energi alternatif yang dihasilkan bahan bakar (briket, gasifikasi, bioetanol, biomassa) sebagai pemanfaatan dari bahan baku limbah tongkol jagung?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui produksi limbah tongkol jagung yang bisa dimanfaatkan sebagai energi alternatif dan memetakan potensi produksi limbah tongkol jagung di setiap kabupaten dan kota di wilayah Provinsi Gorontalo.
2. Mengetahui potensi energi alternatif yang dihasilkan bahan bakar (briket, gasifikasi, bioetanol, biomassa) sebagai pemanfaatan dari bahan baku limbah tongkol jagung?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu hasil produksi limbah tongkol jagung dalam 5 (lima) tahun terakhir, pada lima daerah kabupaten dan satu kota di wilayah Provinsi Gorontalo dan potensi energi alternatif yang diperoleh dari pemanfaatan limbah tongkol jagung.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yakni memberikan kontribusi kepada pemerintah tentang jumlah hasil potensi limbah tongkol jagung di Provinsi Gorontalo yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif di Gorontalo. Selain itu penelitian ini juga dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk pengembangan limbah jagung di Provinsi Gorontalo yang dapat diolah menjadi energi alternatif khususnya dalam pengembangannya sebagai alternatif pengganti bahan bakar.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jagung

Jagung memiliki banyak kegunaan diantaranya yaitu: daun sebagai hijauan pakan ruminansia, biji jagung sebagai sumber energi ternak unggas, sedangkan limbah jagung lainnya seperti kulit jagung, bonggol jagung dan dedak jagung dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Pemanfaatan tongkol jagung untuk pakan ternak melalui proses fermentasi dengan cara mencampur tongkol jagung dengan bakteri *trikoderma* dan gula pasir (Prasetyo, 2002; Ditjen. Peternakan, 2003).

Di Indonesia Jagung merupakan sumber pangan yang sangat penting setelah beras. Bahkan di beberapa daerah komoditas ini menjadi makanan pokok. Karena selain nilai kalorinya hampir setara dengan beras, jagung mengandung lemak lebih tinggi. Lagi pula, didalamnya terdapat asam lemak esensial yang bermanfaat untuk pencegahan penyakit arteriosclerosis.

Gorontalo masuk sebagai penghasil jagung di Indonesia luas areal jagung Indonesia sebesar 120,317 ha pada tahun 2012. Peningkatan luas areal jagung menyebabkan peningkatan produksi dari tahun ke tahun. Produksi jagung pada tahun 2011 sebesar 605,781 ton jagung pipilan kering dan pada tahun 2012 meningkat tajam menjadi 651,970 ton jagung pipilan atau meningkat dari tahun 2011. (BPS Propinsi Gorontalo 2009).

2.2. Pemetaan

Dalam kamus bahasa Indonesia pemetaan atau visualisasi adalah pengungkapan suatu gagasan atau perasaan dengan menggunakan gambar, tulisan, peta, dan grafik. Sementara itu Spasser (1997:78), mengatakan bahwa “peta adalah alat relasi (relational tools) yang menyediakan informasi antar hubungan entitas yang dipetakan.”

Definisi pemetaan yang dirumuskan dalam kamus bahasa Indonesia menekankan ungkapan perasaan dalam bentuk gambar, tulisan, peta, dan grafik.

Definisi ini menekankan produk atau *output* dari peta. Sedangkan Spasser lebih menekankan proses kegiatan pemetaan. Kedua pendapat ini tidak berbeda melainkan saling melengkapi, karena sebuah produk atau *output* pemetaan dihasilkan melalui proses.

Sehingga dapat dinyatakan bahwa pemetaan merupakan sebuah proses yang memungkinkan seseorang mengenali elemen pengetahuan serta konfigurasi, dinamika, ketergantungan timbal balik dan interaksinya. Pemetaan pengetahuan digunakan untuk keperluan manajemen teknologi, mencakup definisi program penelitian, keputusan menyangkut aktivitas yang berkaitan dengan teknologi, disain, struktur berbasis pengetahuan serta pemrograman pendidikan dan pelatihan. Output dari kegiatan pemetaan adalah gambar, tulisan, peta, dan grafik yang menunjukkan hubungan antar elemen pengetahuan.

Menurut Chen dalam Ristiyono (2008: 21) bahwa “peta ilmu pengetahuan menggambarkan suatu hubungan ruang antara batas penelitian dalam bidang kegiatan yang signifikan, juga dimana bidang penelitian itu didistribusikan serta dapat memberikan makna dari hubungan tersebut”. Peta ilmu pengetahuan dapat menggambarkan dan memberikan makna dari hubungan ruang antara batas penelitian yang bidang kegiatannya signifikan dan bidang kegiatan tersebut dapat didistribusikan. Peta ilmu pengetahuan tidak hanya merupakan suatu alat yang praktis untuk menyampaikan informasi mengenai aktivitas ilmiah, tetapi juga dapat dijadikan sebagai suatu dasar untuk mengkaji atau memahami aktivitas ilmiah dengan menggambarkannya secara tersusun dan terstruktur. Visualisasi ilmu pengetahuan dapat diwujudkan dalam bentuk peta, sehingga munculah bidang pemetaan ilmu pengetahuan atau *knowledge mapping*. Pemetaan ilmu pengetahuan dapat dilakukan berdasarkan beberapa cara yang terkait erat dengan subjek dokumen.

Menurut Sulistyio-Basuki (2002:1) bahwa “pemetaan pengetahuan dapat dilakukan dengan bentuk pemetaan kronologis, pemetaan berbasis *co-word*, pemetaan kognitif dan pemetaan”. Dari pendapat Sulistyio-Basuki tersebut dapat diketahui pemetaan pengetahuan terdiri dari 4 (empat) bentuk yakni kronologis, berbasis *co-word*, kognitif dan konseptual.

2.3. Limbah

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Limbah mengandung bahan pencemar yang bersifat racun dan bahaya. Limbah ini dikenal dengan limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya). Bahan ini dirumuskan sebagai bahan dalam jumlah relatif sedikit tapi mempunyai potensi mencemarkan/merusakkan lingkungan kehidupan dan sumber daya. Sebagai limbah, kehadirannya cukup mengkhawatirkan terutama yang bersumber dari pabrik industri.

Adanya batasan kadar dan jumlah bahan beracun dan berbahaya pada suatu ruang dan waktu tertentu dikenal dengan istilah nilai ambang batas, yang artinya dalam jumlah demikian masih dapat ditoleransi oleh lingkungan sehingga tidak membahayakan lingkungan ataupun pemakai. Karena itu untuk tiap jenis bahan beracun dan berbahaya telah ditetapkan nilai ambang batasnya.

Tingkat bahaya keracunan yang disebabkan limbah tergantung pada jenis dan karakteristiknya baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam jangka waktu relatif singkat tidak memberikan pengaruh yang berarti, tapi dalam jangka panjang cukup fatal bagi lingkungan. Oleh sebab itu pencegahan dan penanggulangan haruslah merumuskan akibat – akibat pada suatu jangka waktu yang cukup jauh.

Melihat pada sifat – sifat limbah, karakteristik dan akibat yang ditimbulkan pada masa sekarang maupun pada masa yang akan datang diperlukan langkah pencegahan, penanggulangan dan pengelolaan (Perdana Gintings, 1992).

Kadar air sampah adalah sangat tinggi, yaitu 99,9% atau lebih. Benda – benda padat dalam sampah dapat berbentuk organik maupun anorganik. Zat organik dalam sampah terdiri dari bahan – bahan nitrogen, karbohidrat, lemak dan sabun. Mereka bersifat tidak tetap dan menjadi busuk, mengeluarkan bau – bau yang tidak sedap. Sifat – sifat khas sampah inilah yang membuat perlunya pembenahan sampah dan menyebabkan kesulitan – kesulitan yang maha besar

dalam pembuangannya. Benda – benda padat anorganik biasanya tidak merugikan (Mahida, 1984).

2.4. Tongkol Jagung

Tongkol jagung merupakan simpanan makanan untuk pertumbuhan biji jagung selama melekat pada tongkol. Panjang tongkol jagung bervariasi antara 8-12 cm (Effendi dan Sulistiati, 1991). Menurut Koswara (1991), jagung mengandung kurang lebih 30% tongkol jagung dan sisanya adalah biji dan kulit. Menurut Maynard dan Loosli (1993). tongkol jagung terdiri dari serat kasar 35.5%, protein 2.5%, kalsium 0.12%, fosfor 0.04%, kandungan selulosa sekitar 44,9%, kandungan lignin 33,3% dan zat-zat lain sisanya 38.16%.

Kandungan protein dan karbohidrat dalam bentuk monosakarida, disakarida atau polisakarida yang terdapat pada tongkol jagung merupakan nutrisi yang cukup potensial untuk pertumbuhan *A. flavus* karena *A. flavus* mampu tumbuh dengan baik pada substrat yang cukup mengandung sukrosa, glukosa, ribosa, xilosa dan gliserol serta protein, baik organik maupun anorganik (Diener dan Davist, 1969).



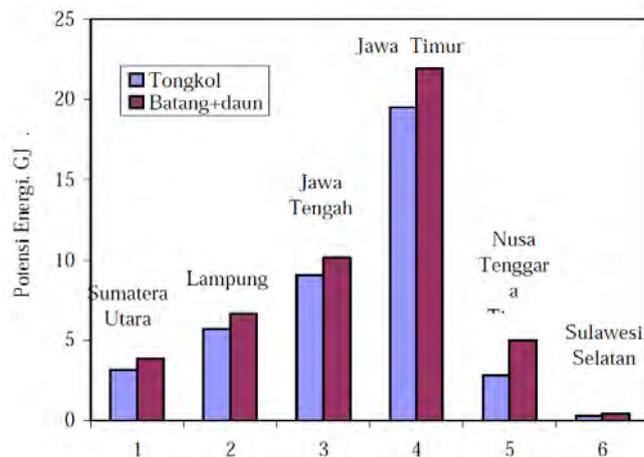
Gambar 2.1. Limbah tongkol Jagung

Limbah jagung meliputi jerami dan tongkol. Penggunaan jerami jagung semakin populer untuk makanan ternak, sedangkan untuk tongkol belum ada pemanfaatan yang bernilai ekonomi. Limbah jagung sebagian besar adalah bahan berlignoselulosa yang memiliki potensi untuk pengembangan produk masa depan. Seringkali limbah yang tidak tertangani akan menimbulkan pencemaran lingkungan.

Pada dasarnya limbah tidak memiliki nilai ekonomi, bahkan mungkin bernilai negatif karena memerlukan biaya penanganan. Namun demikian, limbah lignoselulosa sebagai bahan organik memiliki potensi besar sebagai bahan baku industri pangan, minuman, pakan, kertas, tekstil, dan kompos. Di samping itu, fraksinasi limbah ini menjadi komponen penyusun yang akan meningkatkan daya gunanya dalam berbagai industri. Lignoselulosa terdiri atas tiga komponen fraksi serat, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Dari ketiga komponen tersebut, selulosa merupakan komponen yang sudah dimanfaatkan untuk industri kertas, sedangkan hemiselulosa belum banyak dimanfaatkan.

Komponen penyusun hemiselulosa terbesar adalah xilan yang memiliki ikatan rantai β -1,4-xilosida, dan biasanya tersusun atas 150-200 monomer xilosa (Kulkarni et al. 1999). Rantai hemiselulosa dapat terdiri atas dua atau lebih jenis monomer penyusun (heteropolimer), seperti 4-O-metilglukoronoxilosa, dan dapat pula terdiri atas satu jenis monomer, seperti xilan yang merupakan polimer xilosa. Xilan dari sereal banyak mengandung Larabinosa dan arabinoxilan, sedangkan xilan dari tanaman keras mengandung glukuronoxilan yang dapat menghasilkan asam d-glukoromik. Xilan dapat larut dalam larutan alkali (NaOH atau KOH 2-15%) dan air. Xilan terdapat hampir pada semua tanaman, khususnya limbah tanaman pangan seperti tongkol jagung, bagas tebu, jerami padi, dedak gandum, dan biji kapas. Menurut Jaeggle (1975), bahan-bahan tersebut mengandung xilan 16-40%.

Potensi energi limbah pada komoditas jagung sangat besar dan diharapkan akan terus meningkat sejalan dengan program pemerintah dalam meningkatkan produksi jagung secara nasional. Namun, limbah jagung memiliki banyak kegunaan. Oleh karena itu, optimasi pemanfaatan limbah jagung sangat diperlukan untuk mendapatkan keuntungan yang optimal. Untuk memperkirakan potensi riil energi limbah jagung, penggunaan tongkol jagung untuk keperluan bahan bakar sekitar 90% sedangkan limbah batang dan daun sekitar 30% dari potensi yang ada. Menurut (Teguh Wikan Widodo, A. Asri, Ana N, dan Elita R)



Gambar 2.2. Potensi Rill Energi limbah Jagung Di Indonesia Tahun 2006 (Teguh Wikan Widodo, A. Asri, Ana N, dan Elita R)

Pada tahun 2006, luas panen jagung adalah 3,5 juta hektar dengan produksi rata-rata 3,47ton/ha, produksi jagung secara nasional 11,7 juta ton. Menurut Prasetyo (2002) limbah batang dan daun jagung kering adalah 3,46 ton/ha sehingga limbah pertanian yang dihasilkan sekitar 12.1juta ton. Dengan konversi nilai kalori 4370 kkal/kg (Sudradjat, 2004) potensi energi limbah batang dan daun jagung kering sebesar 66,35 GJ. Energi tongkol jagung dapat dihitung dengan menggunakan nilai *Residue to Product Ratio (RPR)* tongkol jagung adalah 0,273 (pada kadar air 7,53%) dan nilai kalori 4451 kkal/kg (Koopmans and Koppejan, 1997; Sudradjat, 2004). Potensi energi tongkol jagung adalah 55,75 GJ.

Potensi pemanfaatan dan pengembangan sumber energi terbarukan tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

2.5. Bahan Bakar Padat

Sifat tongkol jagung yang memiliki kandungan karbon yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengeringkan 6 ton jagung dari kadar air 32.5% sampai 13.7% bb selama 7 jam diperlukan sekitar 30 kg tongkol jagung kering per jam (Alkuino 2000).

Tabel 2.1. Analisis kimia tongkol jagung (Lachke, 2002)

Kadar air ^{a)}	13,9
Abu ^{b)}	1,17
Analisa kandungan zat kimia ^{c)}	
C	43,42
H	6,32
O	46,69
N	0,67
S	0,07
Abu	2,30
HHV (MJ/kg)	14,7 – 18,9

a) ASTM E 1756-95, b) ASTM E-1755-95,
c) jasa analisa komersial (Huffman Labs, Inc. USA).

Dalam bentuk arang (*char*), efisiensi penggunaan energi tongkol jagung dapat ditingkatkan. Proses pembentukan arang (*carbonization*) menggunakan prinsip dasar proses pirolisa cepat/karbonasi cepat, dimana terjadi proses pembakaran pada suhu berkisar 150-600°C dengan udara yang sangat terbatas. Hasil *Flash Carbonization* dari tongkol jagung (Lachke, 2002), adalah sebagai berikut:

Kandungan %		
Kadar Air	=	13,6
Karbon tetap (fixed carbon)	=	83,7
Abu	=	2,7
y char (%)	=	33,1
y fc (%)	=	28,0
HHV (MJ/kg)	=	32,0
y char	=	m char / m bio
y fc	=	y { %fc / 100 - % ash }

- y char : produktivitas arang
- m char : masa kering arang m
- bio : masa kering bahan
- y fc : produktivitas *fixed-carbon*
- y char : produktivitas arang

% fc : persentase kandungan *fixed-carbon*

% ash : persentase kandungan abu

HHV : Higher Heating Value

Karbonisasi pada tekanan 1,2 Mpa, menyala setelah 2 menit pemanasan dan aliran udara pada autoclave dihentikan setelah 18 menit. Produktivitas *fixed-carbon* mencapai 100%. Kandungan energi tongkol jagung: 3.500–4.500 kkal/ kg atau 14.7-18.9 MJ/kg, suhu pembakaran dapat mencapai 205°C Sedangkan sumber pustaka lain menyebutkan bahwa dengan karbonisasi tongkol jagung, kandungan energinya dapat mencapai 32 MJ/kg (Watson, 1988 dalam Prostowo, *dkk.*, 1998; Mochidzuki, *et al.*, 2002).

Energi termal dari hasil pembakaran merupakan teknologi konversi biomasa yang paling tua, dan menghasilkan efisiensi panas hanya sekitar 12% (Manurung, 2004). Pemanfaatan panas langsung yang paling banyak dilakukan orang adalah untuk memasak atau pengeringan dengan menggunakan tungku. Jika panas yang dihasilkan dipergunakan untuk memanaskan ketel uap maka dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga mekanis atau listrik.

2.6. Bahan Padat Untuk Proses Pirolisis dan Gasifikasi

Pirolisa merupakan proses pemanfaatan limbah dengan cara pembakaran tidak sempurna pada suhu yang relatif rendah yaitu sekitar 400-500°C. Proses pirolisa menghasilkan gas dengan nilai kalor 4000 kJ/Nm³ gas, minyak cair (bio-oil) dengan nilai kalor 16000-17000 kJ/kg dan arang. Gas yang terbentuk dapat dipergunakan untuk menghasilkan udara panas, menggerakkan motor atau membangkitkan tenaga listrik.

Limbah jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat untuk proses thermal gasifikasi. Pada proses gasifikasi, terjadi pembakaran tidak sempurna pada suhu yang relatif tinggi, yaitu sekitar 900-1200°C. Proses gasifikasi menghasilkan produk tunggal berupa gas dengan nilai kalori 4000-5000 kJ/Nm³. Gas yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan udara panas, menggerakkan motor dan dapat digunakan sebagai pembangkit listrik.

Penelitian pendahuluan mengenai kemungkinan penggunaan tongkol

jagung sebagai bahan padatan proses gasifikasi telah dilakukan dan presentasi gas, abu arang, tar dan likuida terkondensasi pada berbagai suhu pembakaran adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2. Gas, abu arang, tar dan likuida terkondensasi pada proses karbonisasi tongkol jagung.

Temperature (^o K)	550	650	750	850	950	1050	115
Abu arang (%)	31.8	26.0	23.2	21.5	20.2	19.8	19.1
Gas (%)	20.2	24.4	24.4	39.8	61.4	64.7	72.0
Liquida terkondensasi (%)	36.7	40.2	40.2	31.7	13.3	12.3	6.0
(%) Tar	11.3	10.5	10.5	7.0	5.1	3.2	1.7

2.7. Briket Arang (Literatur Menurut Ishak Isa)

Briket arang merupakan bahan bakar padat yang mengandung karbon, mempunyai nilai kalori yang tinggi, dan dapat menyala dalam waktu yang lama. Bioarang adalah arang yang diperoleh dengan membakar biomassa kering tanpa udara (pirolisis). Sedangkan biomassa adalah bahan organik yang berasal dari jasad hidup. Biomassa sebenarnya dapat digunakan secara langsung sebagai sumber energi panas untuk bahan bakar, tetapi kurang efisien. Nilai bakar biomassa hanya sekitar 3000 kal, sedangkan bioarang mampu menghasilkan 5000 kal (Seran, 1990).

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses ini atau disebut juga proses karbonasi atau yaitu proses untuk memperoleh karbon atau arang, disebut juga "High Temperature carbonization" pada suhu 4500 C-5000C. Dalam proses pirolisis dihasilkan gas- gas, seperti CO, CO₂, CH₄, H₂, dan hidrokarbon ringan. Jenis gas yang dihasilkan bermacam-macam tergantung dari bahan baku. Salah satu contoh pada pirolisis dengan bahan baku batubara menghasilkan gas seperti CO, CO₂, NO_x, dan SO_x. Yang dalam jumlah besar, gas-gas tersebut dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Proses pirolisis dipengaruhi faktor-faktor antara lain: ukuran dan distribusi partikel, suhu, ketinggian tumpukan bahan, dan kadar air.

Briket bioarang mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan arang

biasa (konvensional), antara lain:

- a. Panas yang dihasilkan oleh briket bioarang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kayu biasa dan nilai kalor dapat mencapai 5.000 kalori (Soeyanto,1982).
- b. Briket bioarang bila dibakar tidak menimbulkan asap maupun bau, sehingga bagi masyarakat ekonomi lemah yang tinggal di kota-kota dengan ventilasi perumahannya kurang mencukupi, sangat praktis menggunakan briket bioarang.
- c. Setelah briket bioarang terbakar (menjadi bara) tidak perlu dilakukan pengipasan atau diberi udara.
- d. Teknologi pembuatan briket bioarang sederhana dan tidak memerlukan bahan kimia lain kecuali yang terdapat dalam bahan briket itu sendiri.
- e. Peralatan yang digunakan juga sederhana, cukup dengan alat yang ada dibentuk sesuai kebutuhan (Soeyanto, 1982).

Oleh karena itu perlu dikembangkan pembuatan briket bioarang dalam upaya pemanfaatan limbah tongkol jagung. Untuk mencapai hal tersebut dilakukan penelitian untuk menghasilkan briket bioarang yang berkualitas baik, ramah lingkungan dan memiliki nilai ekonomis tinggi. Dengan memanfaatkan limbah tongkol jagung menjadi briket bioarang, maka diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan, memberikan alternatif sumber bahan bakar yang dapat diperbarui dan bermanfaat untuk masyarakat.

2.7.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sifat Briket Arang

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat briket arang adalah berat jenis bahan bakar atau berat jenis serbuk arang, kehalusan serbuk, suhu karbonisasi, dan tekanan pada saat dilakukan pencetakan. Selain itu, pencampuran formula dengan briket juga mempengaruhi sifat briket (Erikson 2011). Adapun faktor- faktor yang perlu diperhatikan dalam pembuatan briket antara lain:

1. Bahan baku

Briket dapat dibuat dari bermacam-macam bahan baku, seperti ampas tebu, sekam padi, serbuk gergaji kayu, dan bahan limbah pertanian. Bahan

utama yang terdapat bahan baku adalah selulosa. Semakin tinggi kandungan selulosa maka semakin baik kualitas briket, briket yang mengandung zat terbuang terlalu tinggi cenderung mengeluarkan asap dan bau tidak sedap.

2. Bahan perekat

Untuk merekatkan partikel-partikel zat bahan baku pada proses pembuatan briket maka diperlukan zat perekat sehingga dihasilkan briket yang kompak. Bahan perekat dapat dibedakan atas 3 jenis:

a. Perekat organik

Perekat organik yang dimaksud jenis ini adalah sodium silika, magnesium, semen dan sulfit. Kerugian dari penggunaan perekat ini adalah sifatnya meninggalkan abu sekam pembakaran.

b. Bahan perekat tumbuh-tumbuhan

Jumlah bahan perekat yang dibutuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan perekat hidrokarbon. Kerugian yang dapat ditimbulkan adalah arang cetak (briket) yang dihasilkan kurang tahan kelembaban.

c. Hidrokarbon dengan berat mekul besar

Bahan perekat jenis ini seringkali dipergunakan sebagai bahan perekat untuk pembuatan arang cetak batu bara cetak. Dengan pemakaian bahan perekat maka tekanan akan jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan briket tanpa memakai perekat (Josep dan Hislop dalam Noldi, 2009). Dengan adanya penggunaan bahan perekat maka ikatan antar partikel semakin kuat, butiran-butiran arang akan saling mengikat yang menyebabkan air terikat pada pori-pori arang (Komarayati dan Gusmailian dalam Noldi, 2009).

Penggunaan bahan perekat dimaksudkan untuk menahan air dan membentuk tekstur yang padat atau mengikat dua substrat yang direkatkan. Dengan adanya bahan perekat maka susunan partikel makin baik, teratur dan lebih padat sehingga dalam proses pengempaan keteguhan tekanan arang briket akan semakin baik. Dalam penggunaan bahan perekat harus memperhatikan faktor ekonomi maupun non-ekonominya (Silalahi dalam Noldi, 2009).

2.7.2. Syarat dan Kriteria Briket yang Baik

Syarat briket yang baik menurut Nursyiwani dan Nuryeti dalam Erikson

(2011) adalah briket yang permukaannya halus dan tidak meninggalkan bekas hitam ditangan. Selain itu, sebagai bahan bakar, briket juga harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Mudah dinyalakan
2. Tidak mengeluarkan asap
3. Emisi gas hasil pembakaran tidak mengandung racun
4. Kedap air dan hasil pembakaran tidak berjamur bila disimpan pada waktu lama
5. Menunjukkan upaya laju pembakaran (waktu, laju pembakaran, dan suhu pembakaran) yang baik.

Briket adalah bahan bakar padat yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang mempunyai bentuk tertentu. Kandungan air pada pembriket-an antara (10-20)% berat, Ukuran perbandingan dari (20–100) gram. Pemilihan proses pembriketan tentunya mengacu pada segmen pasar agar memperoleh nilai ekonomi, teknis lingkungan yang optimal. Pembriketan bertujuan untuk memperoleh suatu bahan bakar yang berkualitas yang dapat digunakan untuk semua sektor sebagai sumber energi pengganti.

2.8. Briket Arang (Literatur Menurut Romi Djafar)

Briket merupakan bahan bakar padat yang terbuat dari limbah organik, limbah pabrik maupun dari limbah perkotaan. bahan bakar padat ini merupakan bahan bakar alternatif atau merupakan pengganti bahan bakar minyak yang paling murah dan dimungkinkan untuk dikembangkan secara masal dalam waktu yang relatif singkat mengingat teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana (*Kementrian Negara Riset dan Teknologi @2004.ristek.go.id*). salah satu teknologi yang menjanjikan adalah proses pembriketan. Teknologi ini secara sederhana didefinisikan sebagai proses idensifikasi untuk memperbaiki karakteristik bahan baku. Sifat-sifat penting dari briket yang mempengaruhi kualitas bahan bakar adalah sifat fisik, kimia dan daya tahan briket. sebagai contoh adalah karakteristik densitas, ukuran briket, kandungan air, nilai kalor, kadar abu dan kepekatan asap. penelitian ini menyelidiki pemanfaatan biomassa

yang melimpah sebagai sumber energi dengan menjadikannya biobriket. dengan menggunakan analisis proximate diukur beberapa parameter seperti: kandungan air, *volatile matter*, kandungan abu, *fixed carbon* dan nilai kalor dari biomassa. parameter-parameter tadi memberikan sifat teknis dari energi biomassa sebagai bahan bakar potensial pengganti bahan bakar fosil. pemilihan biomassa berdasarkan nilai kalor yang tinggi, kandungan volatil yang tinggi, kadar abu rendah, kandungan *fixed carbon* sedang dan ketersediaannya yang melimpah.

Ada bermacam-macam jenis briket yang dapat digolongkan menurut bahan baku dan dalam masa proses pembuatannya meliputi:

1. Briket dilihat dari bahan baku
 - a. Organik, bahan baku ini biasanya berasal dari pertanian dan hutan.
 - b. Anorganik, bahan baku ini biasanya berasal dari limbah perkotaan dan limbah pabrik.
2. Briket dilihat dari proses pembuatan
 - a. Jenis Berkarbonisasi (super), jenis ini mengalami terlebih dahulu proses dikarbonisasi sebelum atau sesudah menjadi briket.
 - b. Jenis non Karbonisasi (biasa), jenis yang ini tidak mengalami proses karbonisasi sebelum diproses menjadi briket dan harganya pun lebih murah.
(Kementrian Negara Riset dan Teknologi @2004.ristek.go.id).

2.8.1. Karakteristik Briket

a. Sifat Fisik Briket

1. Nilai kalor

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari 3,50 C – 4,50 C, dengan satuan kalori (Koesoemadinata : 1980). dengan kata lain nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar didalam zat asam. Makin tinggi berat jenis bahan bakar, makin rendah nilai kalor yang diperolehnya.

2. *Kadar air*

Air yang terkandung dalam kayu atau produk kayu dinyatakan sebagai kadar air (*Haygreen dan Bowyer, 1989*). kadar air briket ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam briket dengan berat kering briket tersebut.

3. *Berat jenis*

Menurut *Haygreen dan Bower (1989)* berat jenis adalah perbandingan antara kerapatan kayu (atas dasar berat kering tanur dan volume pada kadar air yang telah ditentukan) dengan kerapatan air pada suhu 4oC.

b. Sifat Kimia Briket

1. *Kadar abu*

Kandungan abu merupakan ukuran kandungan material dan berbagai material anorganik didalam benda uji. metode pengujian ini meliputi penetapan abu yang dinyatakan dengan presentase sisa hasil oksidasi kering benda uji pada suhu $\pm 580-6000C$.

2. *Fixed carbon*

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas. *Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai panas batubara (Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – www.energyefficiencyasia.org).

3. *Volatile matter*

Volatile matter (VM) atau sering disebut dengan zat terbang, berpengaruh terhadap pembakaran briket. kandungan VM mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas api.

c. Sifat Ketahanan Briket

1. *Stability*

Pengujian *stability* adalah pengujian untuk mengetahui perubahan bentuk dan ukuran dari briket sampai briket mempunyai ketetapan ukuran dan bentuk (stabil). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sampai sejauh mana perubahan bentuk dan ukuran yang terjadi dan sampai ukuran berapa briket sudah tidak terjadi perubahan bentuk dan ukuran (mengalami kestabilan). dalam hal ini alat yang digunakan adalah jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm.

2. *Shatter index*

Pengujian *shatter index* adalah pengujian daya tahan briket terhadap benturan yang dijatuhkan pada ketinggian 1,8 meter.

3. *Durability*

Durability (daya tahan) merupakan tolok ukur yang penting untuk menggambarkan kualitas fisik dari berbagai bahan bakar padat yang berupa pellet maupun briket (Elsevier, 2006). pengujian *durability* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui perubahan dimensi dan berat dari briket setelah briket diputar dalam drum dengan kecepatan 30 rpm selama 60 detik.

4. *Kegunaan Briket Bioarang*

Briket bioarang merupakan bahan bakar alternatif yang cukup berkualitas. Bahan bakar ini dapat di manfaatkan dengan teknologi yang sederhana tetapi panas (Nyala Api) yang di hasilkan cukup besar, cukup lama dan aman. Bahan bakar ini cocok di gunakan oleh para pedagang atau pengusaha yang memerlukan pembakaran terus-menerus dalam jangka waktu yang cukup lama (Pari 2002)

5. *Keunggulan briket Bioarang*

Keuntungan yang di peroleh dari penggunaan briket bioarang antara lain adalah biayanya amat murah, alat yang di gunakan untuk pembuatan briket bioarang cukup sederhana dan bahan bakunya sangat

murah juga bahkan tidak perlu membelinya karena berasal dari sampah, daun-daun kering, limbah pertanian yang sudah tidak berguna lagi, Bahan baku untuk pembuatan arang umumnya telah tersedia di sekitar kita. Briket biasanya dalam penggunaannya menggunakan tungku yang relative kecil di bandingkan dengan tungku yang lainya.

2.8.2. Jenis Bahan Perekat

Tepung adalah partikel padat yang berbentuk butiran halus atau sangat halus tergantung pemakaiannya.

Adapun bahan perekat dapat di bedakan atas 3 jenis yaitu:

a. Perekat Anorganik

Termasuk dalam jenis ini sodium silikat, Magnesium, semen dan sulplite kerugian dari penggunaan bahan pemakai ini adalah sifatnya yang banyak meninggalkan abu sekam, pada waktu pembakaran

b. Bahan perekat tumbuh-tumbuhan Jumlah bahan perekat yang di butuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit bila di bandingkan dengan bahan perekat hidrokarbon, kerugian yang dapat di timbulkan adalah arang cetak yang di hasilkan kurang tahan terhadap kelembapan

c. Hidrokarbon dengan berat mekul besar bahan perekat jenis ini seringkali dipergunakan sebagai bahan perekat untuk pembuatan arang cetak maupun batubara cetak.

dengan pemakaian bahan perekat maka tekanan akan jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan briket tanpa memakai bahan perekat (Josep dan Hislop,1981)

Penggunaan bahan perekat yang di maksudkan untuk menarik air membentuk tekstur yang padat atau mengikat dua substruct yang akan di eratkan. dengan adanya bahan perekat maka susunan partikel akan semakin baik, teratur, dan lebih padat sehingga dalam dalam proses pengempaan keteguhan tekanan dan arang briket semakin baik. dalam penggunaan bahan perekat harus memperhatikan factor ekonomi maupun Non-ekonomisnya. (Silalahi, 2000)

Pada percobaan ini di gunakan bahan perekat dengan campuran bahan perekat tepung tapioca (Kanji),

Adapun sifat-sifat perekat kanji adalah :

- Daya terhadap air
- Mempunyai kekuatan perekatan yang baik, mudah di dapat dan tidak mengganggu kesehatan.

Cara kerja Pembuatan Briket :

1. Penyediaan bahan baku briket

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan briket adalah tongkol jagung yang kering dan tepung Kanji sebagai perekat.

2. Proses Karbonisasi (pengarangan)

Limbah tongkol jagung yang telah dipilih dimasukkan ke dalam drum pengarangan disusun sedemikian rupa hingga hampir penuh, drum ditutup rapat kemudian api dinyalakan melalui lubang ventilasi/tempat bagian dasar drum, proses pembakaran dibiarkan sehingga semua bahan habis terbakar. Setelah dingin dilakukan pembongkaran dan arang yang dihasilkan dipisahkan dari abu sisa pembakaran untuk proses lebih lanjut.

3. Proses Pembuatan Briket Arang (Pembriketan)

Arang dari proses karbonasi digiling atau dihaluskan dan diayak kemudian ditambahkan perekat dari lem kanji yang telah disiapkan dengan perbandingan 10% bagian perekat dari berat arang dan diaduk hingga semuanya tercampur secara merata. Adonan yang sudah jadi siap untuk dicetak menjadi briket dengan bentuk kubus atau silinder dengan cara memasukkan adonan ke dalam cetakan kemudian dipress dengan alat pengepres. Briket arang yang sudah dicetak kemudian dikeringkan/dijemur dibawah sinar matahari hingga kering betul dan briket siap digunakan untuk keperluan rumah tangga sebagai bahan bakar alternatif.

Dalam penelitian ini metode yang di pakai adalah metode observasi dan pengukuran langsung pada specimen yang telah di cetak, di bawah ini beberapa data yang di peroleh yaitu:

1. Diketahui ukuran panjang 70 mm Ø lubang 26 mm
2. Kemudian di isikan arang dan di padatkan dengan tangan sampai penuh,pada rumah cetakan.

3. Di press sampai stopper menyentuh batas maximum.
4. Ukuran briket setelah di press di peroleh variasi ukuran yaitu : panjang arang briket 46 -52mm dan diameter 24,9-25,1mm
5. Dari hasil pengepaksian bahwa 1kg arang tongkol jaggung di peroleh \pm 40 biji briket arang
6. Berat 1 buah briket setelah di cetak yaitu antara 30-35gram di ukur dengan timbangan biasa.

2.9. Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses konversi bahan padat menjadi gas yang mudah terbakar. Bahan padat yang dimaksud dari bahan bakar padat misalnya, biomassa, batubara, dan arang. Gas yang dimaksud adalah gas-gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi seperti CO, H₂, dan CH₄.

Gasifier adalah istilah untuk reaktor yang memproduksi gas produser dengan cara pembakaran tidak sempurna (oksidasi sebagian) bahan bakar biomassa pada temperatur sekitar 1000 °C. Ketika gasifikasi berlangsung, terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi di dalam *gasifier*. *Gasifier* yang digunakan menentukan kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi. (Rajvanshi, 1986).

1. Tahapan proses gasifikasi

Pada proses gasifikasi ada beberapa tahapan yang dilalui oleh biomass sebelum pada akhirnya menjadi gas yang flammable pada output reaktor. Proses tersebut meliputi :

a. Proses Drying

Proses drying dilakukan untuk mengurangi kadar air (moisture) yang terkandung di dalam biomass bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100 sampai 300° C.

Kadar air pada biomass dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang bergerak memiliki humidity yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air biomass. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses

difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomass sehingga proses drying akan berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi, yang terdapat beberapa tingkat di bawah zona drying, yang bersifat eksoterm menghasilkan energi panas yang cukup besar dan menyebar ke seluruh bagian reaktor. Disamping itu kecepatan gerak media pengering turut mempengaruhi proses drying yang terjadi.

b. Proses Pirolisis

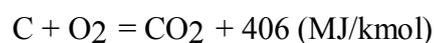
Proses pirolisis merupakan proses yang rumit sehingga pengertian sesungguhnya masih belum dapat dimengerti. Namun secara harafiah pirolisis merupakan proses pembakaran tanpa melibatkan oksigen. Produk yang dihasilkan oleh proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti temperatur, tekanan, waktu, dan heat losses. Pada zona ini biomass mulai bereaksi dan membentuk tar dan senyawa gas yang *flammable*.

Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi laju pemanasan selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 300 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis biasanya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar, dan arang. Secara umum reaksi yang terjadi pada pirolisis beserta produknya adalah:



c. Proses Oksidasi

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon di bawah. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya lebih dari 900° C. Pada temperatur setinggi ini pada gasifier downdraft, akan memecah substansi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut :



Proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen pada area terjadinya

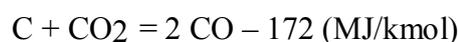
oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Distribusi oksigen yang merata akan menyempurnakan proses oksidasi sehingga dihasilkan temperatur maksimal.

Pada daerah pembakaran ini, sekitar 20% arang bersama volatil akan mengalami oksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dengan memanfaatkan oksigen terbatas yang disuplai ke dalam reaktor (hanya 20% dari keseluruhan udara yang digunakan dalam pembakaran dalam reaktor). Sisa 80% dari arang turun ke bawah membentuk lapisan reduction dimana di bagian ini hampir seluruh karbon akan digunakan dan abu yang terbentuk akan menuju tempat penampungan abu.

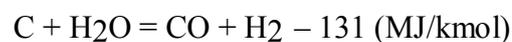
d. Proses Reduksi

Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Diantaranya adalah *Bourdouar reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation* yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa – senyawa yang berguna untuk menghasilkan flammable gas, seperti hydrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 400 sampai 900° C. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut :

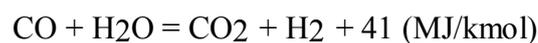
Bourdouar reaction:



Steam-carbon reaction :



Water-gas shift reaction:



CO methanation :



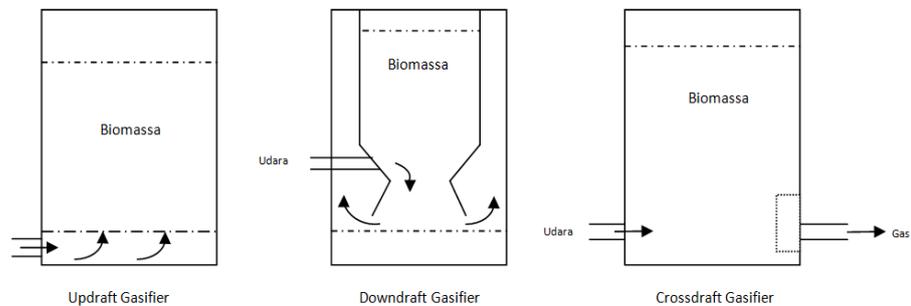
Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H₂ dan CH₄ mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai *producer gas*.

Dalam menentukan efisiensi gasifier dengan bahan baku biomass dalam penelitian ini digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{Energy syngas}}{\text{Energy input}} \times 100\%$$

2. Type gasifier

Terdapat dua tipe utama *gasifier* yakni tipe *fluidized bed* dan tipe *fixed bed*. Beberapa tipe *fixed bed gasifier*, jika ditinjau dari arah aliran udara, *gasifier* dibagi menjadi tiga tipe, yakni *downdraft*, *updraft*, dan *crossdraft*. Ketiga tipe *gasifier* ditampilkan pada Gambar 2.3. Masing-masing tipe *gasifier* memiliki kelebihan dan kekurangan yang ditampilkan pada Tabel 3 (Rampling, 2003).



Gambar 2.3. Berbagai macam tipe *gasifier*

Kelebihan dan kekurangan berbagai tipe *gasifier*

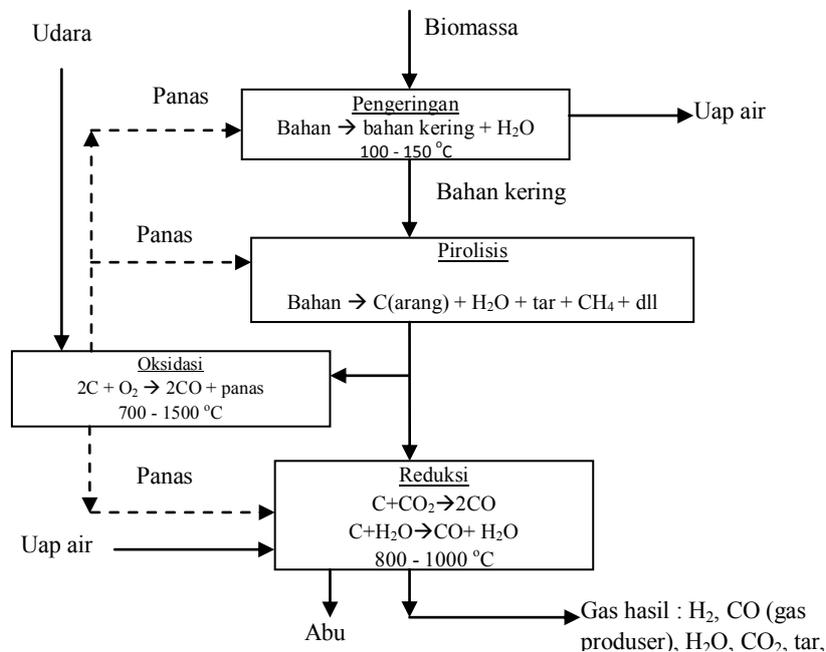
Tipe <i>Gasifier</i>	Kelebihan	Kekurangan
<i>Updraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Hilang tekan rendah - Efisiensi panas bagus - Kecenderungan membentuk terak sedikit 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensitif terhadap tar dan uap bahan bakar - Memerlukan waktu start up yang cukup lama untuk mesin <i>internal combustion</i>.
<i>Downdraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak terlalu sensitif terhadap tar - Dapat mudah beradaptasi dengan jumlah umpan biomassa 	<ul style="list-style-type: none"> - Desain <i>gasifier</i> tinggi - Tidak cocok untuk bahan bakar biomassa yang berukuran kecil
<i>Crossdraft</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Desain <i>gasifier</i> pendek - Sangat responsif ketika diisi umpan biomassa - Produksi gas fleksibel 	<ul style="list-style-type: none"> - Sangat sensitif terhadap pembentukan terak - Hilang tekan tinggi

3. Gasifying agent

Gasifying agent adalah gas yang dimasukkan ke dalam gasifier agar proses gasifikasi berjalan dengan semestinya. Dalam memasok udara proses gasifikasi memerlukan kapasitas tertentu, tidak boleh terlalu banyak karena menyebabkan pembakaran namun juga tidak terlalu sedikit karena akan berpotensi untuk mematikan nyala api gasifier. Udara yang memasuki gasifier sering direlasikan sebagai *equivalent ratio* (ER) yang besarnya dipengaruhi oleh udara dan stoichiometri bahan bakar.

Selain kuantitas gasifying agent, temperatur juga memiliki pengaruh terhadap syngas yang dihasilkan oleh gasifier. Melalui beberapa penelitian, temperatur gasifying agent mempengaruhi kuantitas flammable gas yang terkandung dalam syngas. Semakin tinggi temperatur gasifying agent maka kandungan H₂, CO, dan CH₄ di dalam syngas juga semakin pekat.

Adapun langkah-langkah pelaksanaan proses gasifikasi menggunakan alat gasifier downdraft sebagai berikut:



Secara umum, nilai kalor terbagi menjadi dua jenis yakni *Higher Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). HHV digunakan jika bahan

bakarnya berupa padatan atau cairan, sedangkan LHV digunakan jika bahan bakarnya berupa gas.

Secara umum untuk menentukan nilai kalor padatan dapat menggunakan *calorimeter bomb*. *Calorimeter bomb* adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor (nilai kalori) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O₂ berlebih). Prinsip kerja *calorimeter bomb* yaitu sebuah sampel ditempatkan pada tabung beroksigen yang tercelup pada medium penyerap kalor (*calorimeter*), dan sampel akan terbakar oleh api listrik dari kawat logam terpasang dalam tabung. Adapun focus pengamatan pada *calorimeter bomb* adalah temperature setiap waktu pada termokopel sebagai sensor suhu. Selain itu, perubahan panjang kawat dan massa arang dan asam benzoate juga diukur.

Rumus umum yang digunakan untuk menentukan nilai kalor suatu bahan (arang tongkol jagung) sebagai berikut.

$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times c_v \text{ (kJ/kg)}$$

dimana:

- T₁ = suhu air pendingin sebelum dinyalakan (C)
- T₂ = suhu air pendingin sesudah dinyalakan (C)
- T_{kp} = kenaikan suhu kawat penyalanya = 0,05 (C)
- c_v = panas jenis alat = 73.529,6 (kJ/kgC)

Rumus ini didasarkan pada persamaan konservasi energy (q lepas = q terima).

Adapun untuk menentukan nilai LHV menggunakan rumus:

$$LHV = HHV - 3240 \text{ kJ/kg}$$

Bila dilakukan n kali pengujian, maka:

$$HHV_{rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n HHV}{n} \text{ (kJ / kg) dan}$$

$$LHV_{rata-rata} = HHV_{rata-rata} - 3240 \text{ (kJ / kg)}$$

Selain menggunakan rumus di atas, untuk menentukan LHV suatu gas sintesis (syngas) digunakan rumus :

$$\text{LHV}_{\text{syngas}} = \sum(Y_a \times \text{LHV}_a)$$

Dimana : Y_a adalah kadar gas

LHV_a adalah nilai kalor senyawa a murni yang baku.

2.10. Bioetanol

Bioetanol adalah etanol yang diproduksi dengan cara fermentasi menggunakan bahan baku hayati. Etanol adalah ethyl alkohol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) yang dapat dibuat dengan cara sintesis *ethylen* atau dengan fermentasi glukosa. Etanol diproduksi melalui hidrasi katalitik dari *etilen* atau melalui proses fermentasi gula menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. Beberapa bakteri seperti *Zymomonas mobilis* juga diketahui memiliki kemampuan untuk melakukan fermentasi dalam memproduksi etanol (Bambang Prastowo, 2007).

Etanol adalah senyawa organik yang terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen, sehingga dapat dilihat sebagai derivat senyawa hidrokarbon yang mempunyai gugus hidroksil dengan rumus $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Etanol merupakan zat cair, tidak berwarna, berbau spesifik, mudah terbakar dan menguap, dapat bercampur dengan air dengan segala perbandingan.

a. Sifat-sifat fisis etanol

- 1) Rumus molekul : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- 2) Berat molekul : 46,07 gram / mol
- 3) Titik didih pada 1 atm : $78,4^\circ\text{C}$
- 4) Titik beku : -112°C
- 5) Bentuk dan warna : cair tidak berwarna

b. Sifat-sifat kimia etanol

- 1) Berbobot molekul rendah sehingga larut dalam air
- 2) Diperoleh dari fermentasi gula

Pembentukan etanol



- 2) Pembakaran etanol menghasilkan CO_2 dan H_2O

Pembakaran etanol



(Fessenden & Fessenden, 1997)

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. Dengan melihat kondisi tersebut, perlu diupayakan penggunaan substrat yang murah untuk dapat menekan biaya produksi etanol sehingga harganya bisa lebih mudah. Penggunaan bioetanol di antaranya adalah sebagai bahan baku industri, minuman, farmasi, kosmetika, dan bahan bakar. Beberapa jenis etanol berdasarkan kandungan alkohol dan penggunaannya adalah (1) *Industrial crude* (90-94,9% v/v), *rectified* (95-96,5% v/v), (2) jenis etanol yang netral, aman untuk bahan minuman dan farmasi (96-99,5% v/v), dan (3) etanol untuk bahan bakar, *fuel grade* etanol (99,5-100% v/v). Keuntungan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar *alternative* pengganti minyak bumi adalah tidak memberikan tambahan *netto* karbondioksida pada lingkungan karena CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran etanol diserap kembali oleh tumbuhan dan dengan bantuan sinar matahari CO₂ digunakan dalam proses fotosintesis. Di samping itu, bahan bakar bioetanol memiliki nilai oktan tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan peningkat oktan (*octane enhancer*) menggantikan senyawa eter dan logam berat seperti Pb sebagai *anti-knocking agent* yang memiliki dampak buruk terhadap lingkungan. Dengan nilai oktan yang tinggi, maka proses pembakaran menjadi lebih sempurna dan emisi gas buang hasil pembakaran dalam mesin kendaraan bermotor lebih baik. Bioetanol bisa digunakan dalam bentuk murni atau sebagai campuran bahan bakar *gasoline* (bensin). Dibanding bensin, etanol lebih baik karena memiliki angka *research octane* 108,6 dan *motor octane* 89,7, angka

tersebut melampaui nilai maksimum yang mungkin dicapai oleh gasolin, yaitu *research octane 88* (Perry, 1999).

Tabel 2.3. Sifat Fisika dan Kimia Etanol

Properti	Nilai
Berat mekul (g/mol)	46,1
Titik beku (°C)	-114,1
Titik didih normal (°C)	78,32
Densitas (g/ml)	0,7983
Viskositas pada 20°C (Cp)	1,17
Panas penguapan normal (J/kg)	839,31
Panas pembakaran 25°C (J/kg)	29676,6
Panas jenis pada 25°C (J/kg)	2,42
Nilai okta (penelitian)	106-111

Sumber: Kirk-Orthmer, Encyclopedia of Chemical Technology, vol 9, 1967)
*American Petroleum Institute

Fermentasi adalah proses terjadinya dekomposisi gula menjadi alkohol dan karbondioksida. Proses fermentasi ini dimanfaatkan oleh para pembuat bir, roti, anggur, bahan kimia, para ibu rumah tangga dan lain-lain. Alkohol dapat dibuat dari bahan penghasil karbohidrat apa saja yang dapat difermentasi oleh khamir. Apabila padi-padian seperti jagung dan karbohidrat kompleks yang lain dipergunakan sebagai bahan mentah, maka pertama-tama bahan tersebut perlu dihidrolisis menjadi gula sederhana yang dapat difermentasikan (Pelczar dan Chan, 1988).

Menurut Rukmana dan Yuniarsih (2001), berdasarkan produk yang difermentasi digolongkan menjadi dua macam yaitu sebagai berikut:

1. Fermentasi alkoholis yaitu fermentasi yang menghasilkan alkohol sebagai produk akhir disamping produk lainnya, misalnya pada pembuatan wine, cider dan tape 18.
2. Fermentasi nonalkoholis yaitu fermentasi yang tidak menghasilkan alkohol sebagai produk akhir selain bahan lainnya, misalnya pada pembuatan tempe, antibiotika dan lain -lain.

Hasil fermentasi dipengaruhi oleh teknologi yang dipakai. Pemilihan mikroorganisme biasanya didasarkan pada jenis karbohidrat yang digunakan sebagai medium. Misalnya untuk memproduksi alkohol dari pati dan gula dipergunakan *saccharomyces cerevisiae* dan kadang-kadang digunakan untuk bahan-bahan laktosa dari *whey* (air yang ditinggalkan setelah susu dibuat keju) menggunakan *candida pseudotropicalis*. Seleksi tersebut bertujuan didapatkan mikroorganisme yang mampu ditumbuhkan dengan cepat dan mempunyai toleransi terhadap konsentrasi gula yang tinggi, mampu menghasilkan alkohol dalam jumlah banyak dan tahan terhadap alkohol tersebut (Said, 1987).

Menurut Schlegel (1994), produksi utama alkohol adalah ragi, terutama dari strain *Saccharomyces cerevisiae*. Ragi-raji, seperti yang juga kebanyakan fungi merupakan organisme yang bersifat aerob. Dalam lingkungan terisolasi dari udara, organisme ini meragikan karbohidrat menjadi etanol dan karbon dioksida. Ragi sendiri adalah organisme aerob pada kondisi anaerob. Dengan mengalirkan udara, maka peragian dapat dihambat sempurna dengan memasukkan banyak udara. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan khamir yang penting pada fermentasi yang utama dan akhir, karena mampu memproduksi alkohol dalam konsentrasi tinggi dan fermentasi spontan (Sudarmaji, 1982)

Pembuatan etanol dengan menggunakan ragi ini hanya bisa dilakukan secara langsung pada bahan yang mengandung gula. Hal ini disebabkan karena ragi *Saccharomyces cerevisiae* tidak dapat menghasilkan enzim *amilase*. Oleh karena itu bahan yang mengandung pati seperti singkong, harus diubah dahulu menjadi glukosa. Konversi etanol maksimum yang bisa dihasilkan dari *Saccharomyces cerevisiae* adalah 8-12% (Hambali, 2009).

Berdasarkan pengukuran diperoleh kandungan etanol optimum yaitu pada perbandingan massa 2:20 b/v (penambahan ragi sebanyak 20 gram) dengan kandungan etanol sebesar 2,50% v/v (48 jam) dan 2,39% v/v (72 jam), kecuali pada waktu 24 jam (pada penambahan ragi 15 gram) kandungan etanol sebesar 1,61% v/v. Dalam penelitian ini proses fermentasi menghasilkan kadar etanol optimum pada waktu 48 jam dengan kandungan etanol sebesar 2,15% v/v (1,5:20 b/v) dan 2,50% v/v (2:20 b/v) setelah 48 jam terjadi penurunan kadar etanol yang

cukup signifikan, hal ini dapat disebabkan oleh suatu mekanisme oksidasi lanjutan yang mengubah etanol menjadi senyawa asam karboksilat dan turunannya.

Secara keseluruhan kondisi optimum proses fermentasi yaitu pada massa ragi sebesar 20 gram (2:20 b/v) pada waktu fermentasi selama 48 jam sesuai dengan literatur dimana pada kondisi larutan glukosa 8-15 % dengan masa ragi 10% dari volume fermentasi (2:20 b/v) optimum pada 40-50 jam (Wisnu dan Richana, 2006). Sedangkan kandungan etanol yang dihasilkan pada penelitian ini optimum pada 2,50% v/v, hasil ini tidak sesuai dengan literatur. Semestinya etanol yang dihasilkan bisa mencapai 8-10% v/v. Hal ini mungkin disebabkan besarnya kontaminan yang ada pada proses, mengingat bahan baku berasal dari sampah sehingga membuat proses fermentasi etanol terhambat (Hambali, 2009).

Fermentasi (pada pH 4 dan pH 5) menggunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang sebelumnya khamir ini ditumbuhkan dalam *Yeast Ekstrak* dan *Malt Ekstrak* (YM) medium. Identifikasi senyawa bioetanol dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS). Serbuk tongkol jagung seberat 70,011 gram menghasilkan etanol sebanyak 6,7 mL (pada pH 4) dan 8,9 mL (pada pH 5) dengan warna jernih bening berbau khas etanol. Data kromatogram GC hasil fermentasi menunjukkan kandungan etanol sebanyak 3,352% (pada pH 4) dan 4,452% (pada pH 5).

Ketika etanol dihasilkan dari biomassa yang mengandung pati atau selulosa, maka etanol mampu menjadi bioenergi. Atau lebih dikenal dengan istilah bioetanol. Salah satu proses pembuatan etanol dalam industri dengan cara fermentasi.

Proses fermentasi dilakukan dengan memakai berbagai macam bahan baku.

Bahan baku yang umum digunakan antara lain,

1. *Sugar*

Bahan – bahan ini mengandung gula atau disebut substansi sakarin yang rasanya manis. Bahan ini berasal dari gula tebu, gula bit, molase (tetes) buah-buahan yang langsung dapat difermentasikan menjadi alkohol

2. *Starches*

Starches adalah bahan yang mengandung pati, gandum, kentang, akar

tumbuh- tumbuhan, jagung, ubi kayu, padi padian dan lain-lain. Bahan jenis ini terlebih dahulu harus dihidrolisa dengan bantuan enzim atau katalis asam terlebih dahulu, agar dapat menjadi gula, kemudian difermentasikan menjadi etanol.

3. *Cellulose Material*

Bahan-bahan ini mengandung sellulosa, misalnya ampas kelapa, kayu, ampas tebu, kulit kerang, „*waste sulft liquor*“ yang merupakan residu dari pabrik pulp dan kertas.

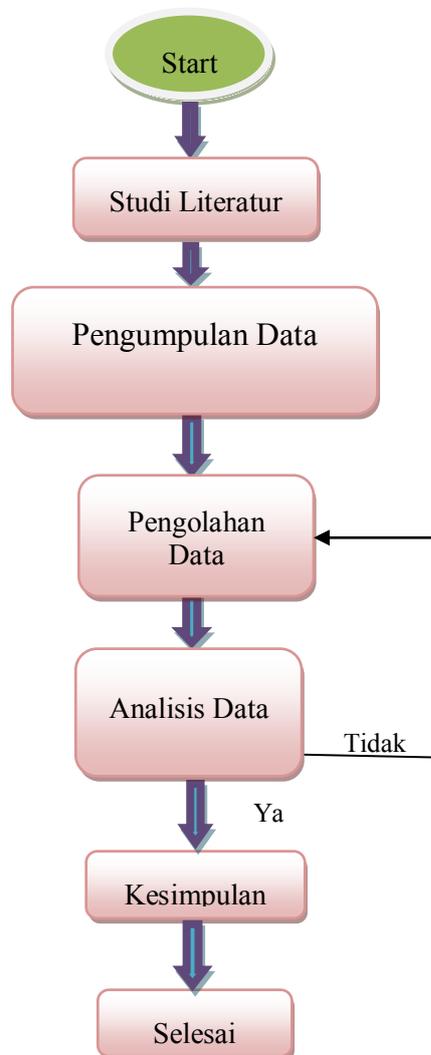
Untuk menghasilkan etanol sellulosa harus dihidrolisa dengan mineral atau larutan asam sebelum difermentasikan

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian

Lokasi tempat untuk melakukan penelitian yaitu di Provinsi Gorontalo karena para petani lebih banyak yang bertani jagung walaupun jenis pertanian yang lain tetap ada. masyarakat di Provinsi Gorontalo juga menjadikan Jagung sebagai makanan pokok kedua setelah beras.

3.2. Rancangan Sistem Penelitian



Gambar 3.1. Rancangan Sistem Penelitian.

3.3. Langkah-langkah Rancangan Sistem Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah tinjauan berbagai referensi pustaka yang berhubungan dengan data-data pemanfaatan limbah tongkol jagung sebagai sumber energi alternatif melalui buku, jurnal, artikel, skripsi atau penelitian yang sudah dilakukan.

2. Pengumpulan Data

pengumpulan data yaitu tentang data produksi jagung dalam 5(lima) tahun terakhir yang dihasilkan oleh tiap-tiap kabupaten dan kota diwilayah Provinsi Gorontalo.

3. Pengolahan Data

Data produksi jagung didapat selanjutnya mengetahui jumlah produksi limbah tongkol jagung yang dihasilkan oleh tiap-tiap kabupaten dan kota di Provinsi Gorontalo yaitu dengan menghitung berdasarkan pengambilan sampel. Setelah dapat data produksi limbah tongkol jagung maka dilakukan pemetaan potensi limbah tongkol jagung. Pemanfaatannya limbah tongkol jagung digunakan sebagai energi alternatif dalam bentuk bahan bakar Briket, Gasifikasi, Bioetanol, Biomassa. Dan optimasi pemilihan lokasi pembangkit berbahan bakar biomassa menentukan jarak tempuh dan biaya transportasi.

4. Analisa Data

Menghitung jumlah energi yang terkandung dalam bahan bakar Briket menghasilkan massa briket dan nilai kalor, Gasifikasi menghasilkan Gas dan nilai kalor, Bioetanol menghasilkan etanol dan nilai kalor, Biomassa menghasilkan nilai kalor dan Daya. Nilai-nilai energi ini dihitung berdasarkan satuan perbandingan dari masing-masing pemanfaatan limbah tongkol jagung berdasarkan literatur. Dan menghitung biaya transportasi yang di keluarkan oleh tiap-tiap kabupaten dan kota di provinsi Gorontalo

sampai ketempat penampung limbah tongkol jagung sebagai lokasi pembangkit.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Produksi Jagung Propinsi Gorontalo

Produksi jagung di Provinsi Gorontalo mengalami fluktuasi berdasarkan hasil analisa data produksi jagung diwilayah Kabupaten dan Kota di Provinsi Gorontalo dalam 5 (lima) tahun terakhir.

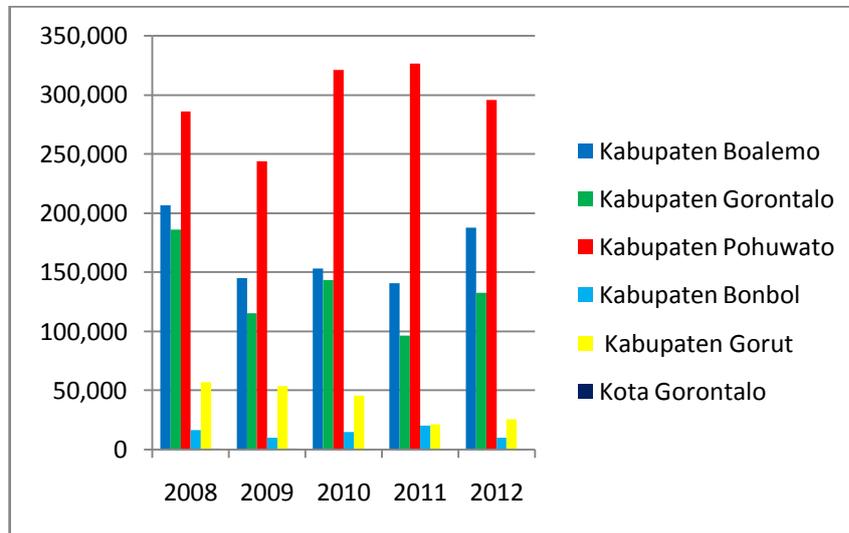
Table 4.1. Data Produksi jagung Propinsi Gorontalo 2008 sampai pada 2012

NO	URAIAN	2008	2009	2010	2011	2012	Rata-Rata
1	Kab. Boalemo						
	Produksi/Ton	206.593	144.820	153.248	140.653	187.667	118.401
2	Kab. Gorontalo						
	Produksi/Ton	186.221	115.293	143.313	96.563	132.726	99.428
3	Kab. Pohuwato						
	Produksi/Ton	285.726	243.837	321.115	326.142	295.286	231.674
4	Kab. Bone Bolango						
	Produksi/Ton	16.881	10.485	15.356	20.420	10.176	12.386
5	Kota Gorontalo						
	Produksi/Ton	883	529	250	303	166	426
6	Kab. Gorontalo Utara						
	Produksi/Ton	57.295	54.146	45.898	21.698	25.958	39.370

Sumber Data : Dinas Pertanian Propinsi Gorontalo, BPS Propinsi Gorontalo dan BPIJ Propinsi Gorontalo.

Tabel 4.1. diatas menunjukan bahwa Produksi jagung terbesar terdapat di Kabupaten Pohuwato sebanyak 231.674 ton dan terendah terdapat di Kota Gorontalo sebesar 426 ton dalam kurun 5 (lima) tahun terakhir. Walaupun Fluktuasi produksi jagung yang dihasilkan oleh Kabupaten dan Kota diwilayah Provinsi Gorontalo. Instabilitas produksi ini disebabkan oleh banyak faktor diantaranya iklim yang cenderung tidak menentu, dimana hal ini ditandai dengan pergeseran musim yang makin meningkat, sangat nyata pengaruhnya terhadap produksi tanaman, sebagai akibat dari penurunan luas tanam, luas panen. dan hasil (Boer, et al, 1999). Hal ini diperlihatkan pada tabel 4.1. dengan perbandingan produksi tahun 2008 sampai pada 2012.

Detail fluktuasi produksi jagung per tahun ditiap kabupaten dan kota diwilayah Provinsi Gorontalo dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2012 hal ini diperlihatkan pada gambar grafik 4.1. berikut ini :



Gambar. 4.1. Grafik produksi jagung per tahun diwilayah provinsi Gorontalo

4.2. Produksi Limbah Tongkol Jagung

Pengembangan jagung di Provinsi Gorontalo prospektif dilakukan karena ketersediaan lahan kering yang relatif luas, secara sosial jagung telah diterima oleh masyarakat walaupun masih dalam luasan relatif kecil, dan secara ekonomi menguntungkan karena pangsa pasar dalam dan luar negeri masih besar. Dukungan teknologi diperlukan untuk meningkatkan produksi.

Dengan melihat data produksi jagung pada tabel 4.1. ditiap Kabupaten dan Kota produksi jagung di Provinsi Gorontalo sangat potensial untuk pengembangan Pemanfaatan limbah tongkol jagung untuk dijadikan sebagai energi alternatif. Salah satu sektor yang belum dimanfaatkan di Provinsi Gorontalo secara maksimal adalah pemanfaatan limbah pertanian khususnya limbah tongkol jagung. Limbah tongkol jagung khususnya untuk daerah Gorontalo belum terolah secara maksimal dalam meningkatkan nilai ekonominya. Limbah jagung yang biasanya hanya dibuang dan dibakar.

Berdasarkan data produksi jagung pada tabel 4.1. diatas untuk mengetahui jumlah produksi limbah tongkol jagung maka diambil sample satu

buah jagung dengan berat 249 gram. Setelah di pisahkan antara biji dan tongkol jagung, berat biji jagung 196,6 gram dan berat tongkol kosong 52,4 gram.

$$\text{untuk 1 kg biji jagung} = \frac{0,0524}{0,1966} = 0,266 \text{ kg tongkol jagung.}$$

Sebagai contoh di Kabupaten Boalemo produksi jagung tahun 2008 sebesar 206.593 ton x 0,266 = 54.953 ton limbah tongkol jagung.

Berikut ini adalah Data hasil Limbah Tongkol Jagung secara keseluruhan dari tahun 2008 sampai pada tahun 2012 berdasar data produksi jangung, dapat kita lihat pada tabel 4.2

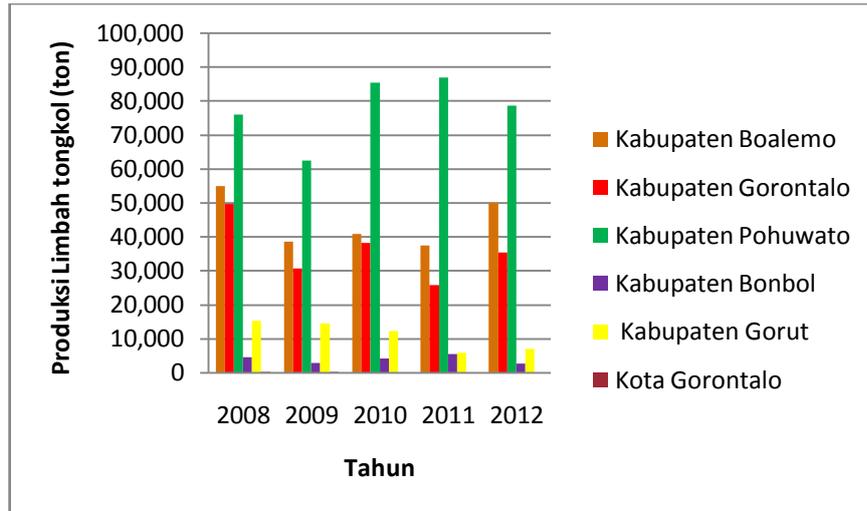
Tabel 4.2. Data Potensi Produksi Limbah Tongkol Jagung Ideal

No	Uraian	2008	2009	2010	2011	2012	Rata-rata
1	Kab. Boalemo						
	Limbah Ton	54.953	38.522	40.763	37.413	49.919	44.314
2	Kab. Gorontalo						
	Limbah Ton	49.534	30.667	38.121	25,685	35.305	35.862
3	Kab.Pohuwato						
	Limbah Ton	76.003	62.466	85.416	86.753	78.546	77.837
4	Kab. Bonebolango						
	Limbah Ton	4.490	2.789	4.084	5.431	2.706	3.900
5	Kab. Gorontalo Utara						
	Limbah Ton	15.240	14.402	12.208	5.771	6.904	10.905
6	Kota Gorontalo						
	Limbah Ton	234	140	66	80	44	113

Tabel 4.2. menunjukkan banyaknya potensi limbah tongkol jagung diwilayah kabupaten dan kota Provinsi Gorontalo yang bisa digunakan sebagai energi alternatif. Limbah tongkol jagung terbesar dalam waktu 5 (tahun) terakhir terdapat di Kabupaten Pohuwato. Secara grafik walaupun jumlah ini terlihat mengalami fluktuasi (naik turun), Namun penurunan tersebut bukan diakibatkan oleh pengolahan limbah tongkol jagung namun lebih pada alasan lainnya. Penyebab terjadinya pengurangan limbah dalam waktu 5 (lima) tahun terakhir antara lain diakibatkan oleh berkurangnya jumlah produksi jagung seperti diperlihatkan pada Tabel 4.1. Namun melihat dari hasil tabel 4.2. diatas

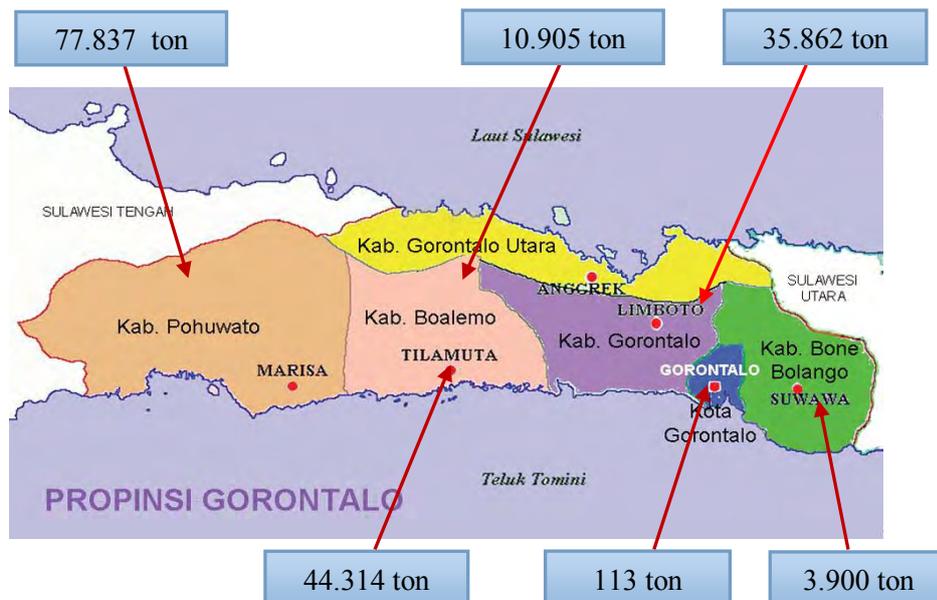
menunjukkan bahwa potensi limbah tongkol jagung yang di hasilkan Kabupaten dan kota diwilayah Provinsi Gorontalo sangat memungkinkan untuk dijadikan sebagai energi alternatif.

Detail perubahan produksi limbah tongkol per tahun ditiap kabupaten dan kota diwilayah Provinsi Gorontalo dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2012 hal ini diperlihatkan pada gambar grafik 4.2. berikut ini :



Gambar. 4.2. Grafik produksi limbah tongkol jagung per tahun

Berdasarkan tabel 4.2. diatas Produksi Limbah tongkol jagung yang dihasilkan kabupaten dan kota di Provinsi Gorontalo dalam 5 (lima) tahun terakhir dapat dipetakan pada Gambar 4.3. berikut ini :



Gambar 4.3. Peta produksi limbah tongkol jagung Provinsi Gorontalo

Produksi limbah tongkol jagung yang dihasilkan pada tabel 4.2 merupakan jumlah ideal jika seluruh limbah dapat terkumpul. Namun pada kondisi aktual jumlah yang telah disebutkan tidak akan dapat terkumpul 100%. Hal ini disebabkan oleh adanya berbagai kondisi misalnya pengumpulan tongkol jagung pada kecamatan yang menghasilkan tongkol jagung dalam jumlah besar dengan transportasi yang memadai. Sementara pada kecamatan dan desa dengan jumlah penghasil limbah tongkol jagung sedikit dengan transportasi yang sulit serta mahal dalam hal pembiayaan, maka sulit untuk mengumpulkan limbah tongkol jagung. Produksi limbah tongkol jagung yang aktual dihasilkan berdasarkan pada data produksi jagung per kecamatan yang ada di wilayah kabupaten dan kota provinsi Gorontalo. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut

Tabel 4.3 Data Produksi Jagung Aktual per kecamatan didaerah Gorontalo

No	Daerah	Kecamatan	Produksi Jagung	Total
1	Kab. Boalemo	Kec. Wonosari	53.363	130.140
		kec. Dulupi	40.213	
		kec. Paguyaman	36.564	
2	Kab. Gorontalo	Kec. Bongomeme	27.405	73.931
		kec. Mootilango	18.193	
		Kac. Tolangohula	14.292	
		Kec. Asparaga	14.041	
3	Kab. Pohuwato	Kec. Patilanggio	89.441	249.759
		Kec. Taluditi	50.993	
		Kec. Wanggarasi	25.492	
		Kec. Dengilo	26.259	
		Kec. Randangan	57.574	
4	Kab. Bonebolango	Kec. Bolango	2.624	8.752
		Kec. Suwawa	3.840	
		Kec. Tapa	2.288	
5	Kab. Gorontalo Utara	Kec. Atinggola	3.528	17.580
		Kec. Angrek	9.604	
		Kec. Kwandang	4.448	
6	Kota Gorontalo	Dungingi	104,55	2.328
		Kota Barat	59,20	
		Kota Utara	34,38	

Berdasarkan data produksi jagung yang aktual pada tabel 4.3 diatas maka untuk mengetahui jumlah produksi limbah tongkol jagung yang aktual sebagai pemanfaatan energi alternatif. Sebagai contoh kabupaten pohuwato produksi jagung yang aktual sebesar 249.759 ton x 0,266 = 66.435 ton tongkol jagung.

Berikut ini adalah jumlah produksi tongkol jagung aktual dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4. Data Potensi Produksi Limbah Tongkol Jagung Aktual

No	Daerah	Rata-rata Produksi Limbah yang Aktual (ton)
1	Kabupaten Boalemo	34.565
2	Kabupaten Gorontalo	19.724
3	Kabupaten Pohuwato	66.435
4	Kabupaten Bonebolango	2.340
5	Kabupaten Gorontalo Utara	4.689
6	Kota Gorontalo	53

Berdasarkan Tabel 4.4. di atas, dapat dilihat perbedaan jumlah produksi limbah tongkol jagung yang ideal dengan jumlah tongkol jagung aktual. Jumlah produksi tongkol jagung aktual pada setiap kabupaten dan kota diperoleh dari pembagian antara produksi limbah tongkol jagung aktual dengan persentase limbah tongkol jagung aktual yang dapat dikumpulkan. Secara matematis sebagai berikut:

$$= \frac{\text{jumlah tongkol jagung aktual}}{\text{jumlah tongkol jagung ideal}} \times 100 \%$$

Untuk persentase persen limbah tongkol jagung yang dapat terkumpul sebesar Kab. Boalemo (78%), kab. Gorontalo (55%), kab. Pohuwato (85%), kab. Gorontalo Utara (43%), kab. Bone Bolango (60%), dan kota Gorontalo (47%).

4.3. Pemanfaatan limbah tongkol jagung.

Sumber energi terbarukan yang berasal dari komoditas jagung di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Studi mengenai pengembangan potensi sumber energi terbarukan yang berasal dari komoditas jagung telah

dilakukan di berbagai negara. Potensi pemanfaatan dan pengembangan sumber energi terbarukan tersebut di antaranya adalah sebagai berikut:

4.3.1. Arang Briket Dari Limbah Tongkol Jagung

Salah satu pemanfaatan limbah tongkol jagung adalah untuk bahan baku Arang briket. Dari hasil pengujian yang dilakukan (Djafar Romi, 2010), bahwa dalam 1 kg tongkol dapat menghasilkan 40 biji briket kering dengan massa 10 gram/briket dimana ukuran briket Panjang 49 mm, diameter 25 mm, maka dapat di perkirakan dalam 1 kg Tongkol mendapatkan massa briket kering sebesar 0,4 kg.

Proses Pembuatan Briket Arang

a. Proses Karbonisasi (Pengarangan)

Limbah tongkol jagung yang telah dipilih dimasukkan kedalam drum pengarangan disusun sedemikian rupa hingga hamper penuh, drum ditutup rapat kemudian api dinyalakan melalui lubang ventilasi / tempat bagian dasar drum, proses pembakaran dibiarkan sehingga semua bahan habis terbakar. Setelah dingin dilakukan pembongkaran dan arang yang dihasilkan dipisahkan dari abu sisa pembongkaran untuk proses lebih lanjut.

b. Proses Pembuatan Briket Arang

Arang dari proses karbonisasi digiling atau dihaluskan dan di ayak kemudian ditambahkan perekat dari lem kenji yang telah disiapkan dengan perbandingan 10% bagian perekat dari berat arang dan di aduk hingga semuanya tercapur secara merata. Adonan yang sudah jadi siap untuk di cetak menjadi briket dengan bentuk kubus atau silender dengan cara memasukan adonan kedalam cetakan kemudian dipress dengan alat pengepress. Briket arang yang sudah dicetak kemudian dikeringkan / dijemur dibawah sinar matahari hingga kering betul dan briket siap digunakan untuk keperluan rumah tangga sebagai bahan bakar alternatif.



Gambar 4.4. Briket Arang yang telah dikonvaksi

Dengan nilai hasil pengujian ini maka jumlah briket yang dapat dihasilkan pada produksi limbah tongkol jagung berdasarkan nilai rata-rata produksi limbah tongkol dalam 5 (lima) tahun terakhir disetiap daerah kabupaten dan kota di Provinsi Gorontalo adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. Data Produksi Limbah tongkol jagung dan Massa Briket

No	Daerah	Rata-rata Produksi Limbah Tongkol Jagung aktual (ton)	Massa Briket Dhasilkan (ton)
1	Kab. Boalemo	34.565	13.826
2	Kab. Gorontalo	19.724	7.889
3	Kab. Pohuwato	66.435	26.574
4	Kab. Bonebolango	2.340	936
5	Kab. Gorontalo Utara	4.689	1.875
6	Kota Gorontalo	53	21

Dengan melihat tabel 4.5. di atas maka potensi energi kalor apabila limbah ini akan dimanfaatkan menjadi bahan bakar briket. Untuk mengetahui potensi energi kalor briket dapat ditentukan dengan mengacu pada data hasil penelitian, (Ishak Isa 2012). Dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.6. Data pengukuran sifat fisik dan kimia briket arang tongkol jagung

No	sifat fisika dan kimia	Komposisi Bahan Bakar Arang dan Perekat			
		1 : 3	1 : 4	2 : 3	2 : 5
1	Kadar Air (%)	6,66	7,30	8,66	7,50
2	Kadar Abu (%)	3,28	3,11	3,50	34,40
3	Dekomposisi Senyawa Polatil (%)	44,58	58,99	62,20	51,30
4	Kadar Karbon (%)	45,48	54,56	25,84	41,20
5	Kerapatan g/cm ³	0,63	0,60	0,56	0,55
6	Nilai Kalor (Kal/g)	6757	6150	3758	2912

Pada tabel 4.6. diatas, nilai kalor terendah dalam 1 gram briket mencapai 2912 kalori dengan variasi perbandingan 2 : 5, nilai kalor tertinggi dihasilkan dalam 1 gram briket mencapai 6757 kalori dengan perbandingan bahan pencampur 1 : 3. Data nilai kalor terendah dapat digunakan sebagai acuan untuk menghitung energi kalor yang dihasilkan limbah tongkol jagung.

Tabel 4.7. Data potensi nilai kalori briket dan Daya

No	Daerah	Massa Briket (ton)	Energi Kalor (MJ)	Daya (MW)
1	Kab. Boalemo	13.826	40.261.312	11.184
2	Kab. Gorontalo	7.889	22.972.768	6.381
3	Kab. Pohuwato	26.574	77.383.488	21.495
4	Kab. Bonbol	936	2.726.632	757
5	Kab. Gorut	1.875	5.460.000	1.516
6	Kota Gorontalo	21	61.152	16
	T o t a l	51.121	148.865.352	41.349

Dengan demikian produksi rata-rata limbah tongkol jagung di Provinsi Gorontalo jika di konversikan menjadi bahan bakar alternatif dapat menghasilkan bahan bakar briket sebesar 51.121 ton dan nilai energi kalor yang terkandung didalamnya mencapai 148.865.352 MJ, dan Daya yang dihasilkan 41.349 MW.

4.3.2. Gasifikasi

Gasifikasi merupakan salah satu teknologi proses konversi bahan padat menjadi gas yang mudah terbakar. Dalam proses ini, alat yang digunakan adalah gasifier jenis reaktor gasifikasi downdraft dengan *two stage air*.

Adapun proses gasifikasi terbagi menjadi 4 tahapan penting. Dimulai dari proses pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Pada setiap proses terdapat reaksi pembentukan dan pelepasan senyawa.

- Proses pertama pengeringan (*Drying process*) merupakan proses awal. Pada proses ini, bahan yang dalam hal ini adalah tongkol jagung menjadi berkurang kadar airnya dengan pemberian temperatur 200° C. semakin tinggi temperature yang diberikan, maka kadar air akan semakin cepat hilang.

- Proses kedua adalah proses pirolisis. Pada proses ini, bahan yang telah kering dibakar tanpa melibatkan oksigen. Produk yang dihasilkan berupa karbon (arang), tar, gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , CH_4 , dan C_xH_y).
- Proses ketiga merupakan proses Oksidasi. Pada proses ini, baik arang maupun gas hydrogen sebanyak 20% mengalami pembakaran dengan oksigen sehingga menghasilkan panas.
- Proses terakhir merupakan proses reduksi. Pada proses ini sebanyak 80% arang mengalami reduksi menjadi gas hasil produser (syngas) dan juga menghasilkan abu. Gas yang dihasilkan dari gasifikasi dengan menggunakan udara mempunyai nilai kalor yang lebih rendah tetapi di sisi lain, proses operasi menjadi lebih sederhana. Pada alat reactor terdapat gas *burner* yang merupakan tempat pengeluaran gas hasil proses gasifikasi.

Dalam menentukan efisiensi gasifier dengan bahan baku biomassa digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{Energi syngas}}{\text{Energi input}} \times 100 \%$$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Gita (2009), diperoleh nilai kalor dan kandungan penyusun gas sintesis (syngas) sebagai berikut.

Tabel 4.8. Kadar kandungan gas sintesis dan nilai kalori arang tongkol jagung

Biomassa	Tongkol Jagung
H_2	13,1%
O_2	8,61%
N_2	56,16%
CO_2	9,67%
CO	10,87%
CH_4	1,48%
C_2H_6	0,015%
HHV (Higher Heating Value)	6.066,53 kJ/kg
LHV (<i>Low Heating Value</i>)	2826,53 kJ/ kg
Efisiensi gasifikasi	33,58%

Berdasarkan Tabel 4.8. diatas, dapat kita lihat kadar setiap gas produser pada tongkol jangung. Gas nitrogen (N_2) memiliki kadar terbesar (56,16%) dan

gas etana (C_2H_6) memiliki kadar terendah (0,015%). Adapun nilai kalor bawah (LHV) yang dihasilkan sebesar 2826,53 kJ/kg. Nilai efisiensi gasifikasi yang diperoleh sebesar 33,58%. Kandungan gas produser yang terdapat pada tongkol jagung diperoleh dari reaksi-reaksi yang didasarkan pada proses reduksi.

Menurut Haifa Wahyu, dkk (tanpa tahun) dalam jurnalnya bahwa syngas mempunyai komposisi sekitar 18-20% H_2 , 18 – 20% CO , 2-3% CH_4 , 12% CO_2 , 2.5% H_2O , dan sisanya N_2 dengan nilai kalor sekitar 4,7 – 5,0 MJ/Nm³. Jika produk gasifikasi menggunakan uap air, maka komposisi gas berubah menjadi CO 50% dan H_2 40%, serta 10% gas-gas yang lain (metan, karbondioksida, nitrogen).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan gita (2009), dapat diasumsikan bahwa kadar kandungan gas produser dan nilai kalor bawah (LHV) syngas di provinsi Jawa Timur sama dengan kadar kandungan gas produser dan nilai kalor bawah (LHV) syngas di Provinsi Gorontalo, dengan pertimbangan bahwa kondisi topografi, suhu, curah hujan, intensitas cahaya dan keadaan tanah yang tidak jauh berbeda antara wilayah provinsi Gorontalo dan wilayah provinsi Jawa Timur. Dengan asumsi tersebut, nilai kalori arang tongkol jagung di Jawa Timur sama dengan nilai kalori arang tongkol jagung di Gorontalo.

Berdasarkan hal tersebut, dapat dihitung gas yang dihasilkan limbah tongkol jagung dan nilai kalori tongkol jagung hasil produksi di Provinsi Gorontalo sebagai berikut.

Tabel 4.9. Gas Hasil Proses Gasifikasi, Nilai kalor dan Daya

No	Daerah	Rata-rata Produksi Limbah Aktual (ton)	Gas Sintesis (ton)	Nilai Kalori (MJ)	Daya (MW)
1	Kab. Boalemo	34.565	25.112	70.979.821	19.716
2	Kab. Gorontalo	19.724	14.329	40.501.348	11.250
3	Kab. Pohuwato	66.435	48.266	136.425.628	37.896
4	Kab. Bonbol	2.34	1.700	4.805.101	1.334
5	Kab. Gorut	4.689	3.407	9.629.988	2.674
6	Kota Gorontalo	53	38,5	108.821	30
	T o t a l	180.753	92.814	262.450.707	72.900

Dari Tabel 4.9. di atas dapat kita lihat rata-rata produksi limbah untuk setiap kabupaten dan kota di provinsi Gorontalo. Dari 6 wilayah kabupaten

Pohuwato memiliki produksi limbah tongkol jagung aktual paling besar yakni 66.435 ton/tahun. Kota Gorontalo memiliki produksi limbah paling sedikit dengan rata-rata produksi limbah per tahunnya hanya sekitar 53 ton.

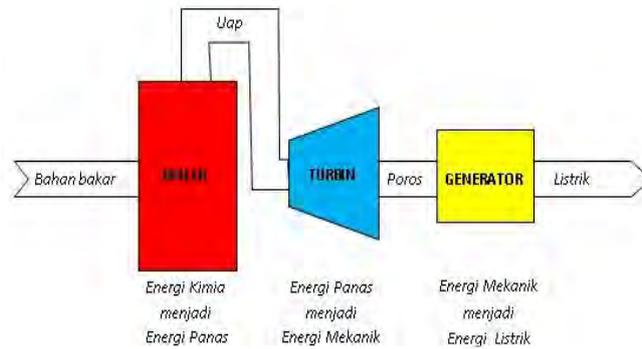
Jumlah syngas (gas sintesis) yang diperoleh didasarkan pada pengukuran dan perhitungan yang dilakukan Ashari (2012) yakni $m_{\text{syngas}} = (\eta_{\text{gasifikasi}} \times m_{\text{biomess}} \times \text{HHV}_{\text{biomess}}) / (100\% \times \text{LHV}_{\text{syngas}})$. Sebagai contoh untuk kabupaten Boalemo dengan rata-rata produksi limbah sebesar 34.565 ton, maka massa gas sintesisnya sebesar $= (33,85\% \times 34.565 \text{ ton} \times 6.066,53 \text{ kJ/kg}) / (100\% \times 2.826,53 \text{ kJ/kg}) = 25.112 \text{ ton}$. Begitu pula pada kabupaten lain di Provinsi Gorontalo.

Adapun nilai kalori pada setiap kabupaten/kota diperoleh dari perkalian antara nilai kalori yang berasal dari penelitian Gita sebesar 2826,53 kJ untuk 1 kg gas sintesis terhadap jumlah produksi gas. Jika dikonversi dalam ton, maka untuk 1 ton gas sintesis, nilai kalorinya sebesar $2826,53 \text{ kJ/kg} \times 1000 \text{ kg/ton} = 2.826,53 \text{ MJ/ton}$. Sebagai contoh di kabupaten Boalemo dengan 25.112 ton gas sintesis, maka nilai kalori yang dimiliki oleh kabupaten Boalemo sebesar $25.112 \text{ ton} \times 2.826,53 \text{ MJ/ton} = 70.979.821 \text{ MJ}$.

4.3.3. Pemanfaatan Tongkol Jagung Untuk Pembangkit Listrik Dengan Cara Membakar Langsung (Biomassa).

Pembakaran langsung yaitu dengan cara membakar biomassa (tongkol jagung) untuk memanaskan *boiler* untuk menghasilkan uap yang akan memutar turbin untuk menggerakkan generator.

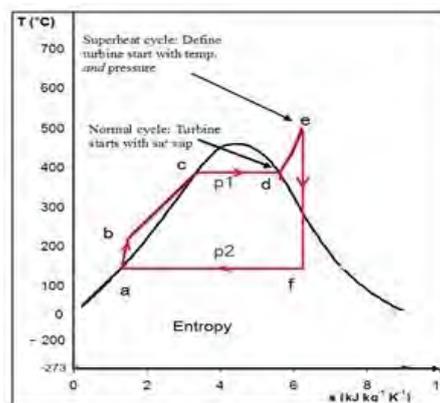
Boiler adalah sebuah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas kesuatu proses. Sistem boiler terdiri dari : sistem air umpan, sistem steam, sistem bahan bakar. Air adalah media yang dipakai pada proses bertemperatur tinggi ataupun untuk perubahan parsial menjadi energi mekanis pada sebuah turbin. Sistem pembakaran yang terjadi pada boiler hingga terbentuknya steam yang merupakan hasil pembakaran yang diperlukan untuk menggerakkan turbin sehingga akan tercipta tegangan listrik pada generator.



Gambar 4.5. Proses konversi energi pada PLTU

Cara kerja: Penggerak mula (prime mover) yang mengubah energi panas dalam uap menjadi energi mekanis berupa putaran poros turbin. Selanjutnya poros turbin dikopel dengan poros generator untuk menghasilkan energi listrik.

Siklus kerja PLTU yang merupakan siklus tertutup dapat digambarkan dengan diagram T-s (Temperatur – entropi). Siklus ini adalah penerapan siklus rankine ideal. Adapun urutan langkahnya adalah :



Gambar 4.6. Diagram T-s siklus PLTU (siklus rankine)

1. a – b : Air dipompa dari tekanan P_2 menjadi P_1 . Langkah ini adalah langkah *kompresi isentropis*, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi.
2. b – c : Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Terjadi di *LP heater*, *HP heater* dan *Economiser*.
3. c – d : Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut *vapourising* (penguapan) dengan proses *isobar isothermis*, terjadi di boiler yaitu di *wall tube (riser)* dan *steam drum*.

4. d – e : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi di *superheater* boiler dengan proses *isobar*.
5. e – f : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah *ekspansi isentropis*, dan terjadi didalam turbin.
6. f – a : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.

Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90%. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus :

$$\text{efisiensi boiler } (\eta) = \frac{\text{Energi keluar}}{\text{Energi masuk}} \times 100\%$$

sebelum tongkol jagung di gunakan untuk memanaskan boiler maka terlebih dahulu di ketahui karateristik dari tongkol jagung tersebut.

Tabel 4.10. Analisis kimia tongkol jagung (Lachke, 2002)

Kadar Air	13,9
Abu	1,17
Analisa Kandungan Zat Kimia	
C	43,42
H	6,32
O	46,69
N	0,67
S	0,07
Abu	2,30
HHV (MJ/kg)	14,7

Dalam bentuk arang (*char*), efisiensi penggunaan energi tongkol jagung dapat ditingkatkan. Proses pembentukan arang (*carbonization*) menggunakan prinsip dasar proses pirolisa cepat/karbonisasi cepat, dimana terjadi proses pembakaran pada suhu berkisar 150-600°C dengan udara yang sangat terbatas. Hasil *Flash Carbonization* dari tongkol jagung (Lachke, 2002), adalah sebagai berikut:

Kandungan %		
Kadar Air	=	13,6
Karbon tetap (fixed carbon)	=	83,7
Abu	=	2,7
y char (%)	=	33,1
y fc (%)	=	28,0
HHV (MJ/kg)	=	32,0
y char	=	m char / m bio
y fc	=	y { %fc / 100 - % ash }

- y char : produktivitas arang
m char : masa kering arang
m bio : masa kering bahan
y fc : produktivitas *fixed-carbon*
y char : produktivitas arang
% fc : persentase kandungan *fixed-carbon*
% ash : persentase kandungan abu
HHV : Higher Heating Value

Nilai kalor yang diperoleh dari limbah biomassa sekitar 14,7 MJ/kg. Jika dikonversi dalam ton, maka jumlahnya sekitar 14.700 MJ/ton. Nilai kalor dan daya total pada setiap kabupaten/kota dan nilai total di Provinsi Gorontalo dapat dilihat pada tabel 4.11. berikut.

Tabel 4.11. Daya Yang Dihasilkan Berdasarkan Produksi Limbah tongkol jagung aktual.

No	Daerah	Rata-rata Produksi Limbah Aktual (ton)	Nilai Kalor (MJ)	Konversi Nilai Kalor ($\eta = 70\%$) (MJ)	Daya (MW)
1	Kab. Boalemo	34.565	508.105.500	355.673.850	98.798
2	Kab. Gorontalo	19.724	289.942.800	202.959.960	56.377
3	Kab. Pohuwato	66.435	976.594.500	683.316.150	189.810
4	Kab. Bonebolango	2.340	3.439.800	2.407.860	668
5	Kab. Gorontalo	4.689	68.928.300	48.249.810	13.402
6	Kota Gorontalo	53	779.100	545.370	151
Total		125.700	1.847.790.000	1.293.153.000	359.206

Berdasarkan Tabel 4.11. dapat kita lihat daya pada setiap kabupaten/ kota dan daya total yang dapat dihasilkan dari limbah tongkol jagung per tahun.

Perhitungan daya didasarkan pada perkalian antara efisiensi bahan bakar tongkol jagung terhadap jumlah total nilai kalor tongkol jagung per tahun. Dari data tersebut dapat dilihat total daya yang diperoleh sebesar **359.206 MW** per tahun. Jika kita membandingkan daya yang dihasilkan PLN per tahun terhadap daya yang dibutuhkan masyarakat gorontalo maka kita dapat memperoleh daya sebagai berikut :

Daya terpasang PLN/tahun adalah sebesar 475.054,8 MW

Daya mampu PLN/tahun adalah sebesar 317.637,6 MW.

Jika dihitung defisit daya PLN provinsi Gorontalo dapat mencapai 157.417,2 MW. Artinya pemerintah masih harus menyiapkan daya sebesar 157.417,2 MW untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Dengan penambahan daya yang diperoleh dari bahan bakar tongkol jagung sebesar 359.206 MW per tahunnya, maka jumlah daya yang dihasilkan oleh bahan bakar tongkol jagung sebesar 359.206 MW telah menutupi kekurangan defisit daya sebesar 157.417,2 MW yang dibutuhkan oleh masyarakat provinsi Gorontalo.

Provinsi Gorontalo yang terdiri dari lima kabupaten dan satu kotamadya Rasio Elektrifikasinya baru mencapai 49,79 persen. Adapun daftar tunggu PLN telah mencapai 2.732 permintaan atau sebesar 38.719,2 MW.

4.3.4. Bioetanol

Bioetanol merupakan bahan bakar alkohol yang berasal dari proses fermentasi menggunakan bahan baku hayati. Etanol adalah ethyl alkohol (C_2H_5OH) yang dapat dibuat dengan cara sintesis *ethylen* atau dengan fermentasi glukosa.

Proses fermentasi dilakukan dengan memakai berbagai macam bahan baku. Bahan baku yang umum digunakan antara lain,

1. Sugar

Bahan – bahan ini mengandung gula atau disebut substansi sakarin yang rasanya manis. Bahan ini berasal dari gula tebu, gula bit, molase (tetes) buah-buahan yang langsung dapat difermentasikan menjadi alkohol

2. Starches

Starches adalah bahan yang mengandung pati, gandum, kentang, akar tumbuh-tumbuhan, jagung, ubi kayu, padi padian dan lain-lain. Bahan jenis ini terlebih dahulu harus dihidrolisa dengan bantuan enzim atau katalis asam terlebih dahulu, agar dapat menjadi gula, kemudian difermentasikan menjadi etanol

3. Cellulose Material

Bahan-bahan ini mengandung sellulosa, misalnya ampas kelapa, kayu, ampas tebu, kulit kerang, 'waste sulft liquor' yang merupakan residu dari pabrik pulp dan kertas. Untuk menghasilkan etanol sellulosa harus dihidrolisa dengan mineral atau larutan asam sebelum difermentasikan.

Efisiensi fermentasi ukuran banyaknya jumlah gram etanol yang terbentuk per 100 gr gula dalam substrat dibandingkan dengan gram etanol yang terbentuk secara teoritis menurut persamaan Gay lussac. Efisiensi fermentasi etanol menunjukkan banyaknya mol gula yang diubah menjadi alkohol.

Efisiensi fermentasi dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$(1) \text{Kadar alkohol (\%)} \times 0,794 = a (\%)$$

$$(2) a (\%) \times \text{volume media fermentasi} = b$$

$$(3) \frac{b}{\text{total gula awal}} = c$$

$$\blacktriangleright \text{Effisiensi fermentasi} = \frac{c}{0,511} \times 100\%$$

Keterangan: * 0,511 = Koefisien Gay-Lussac

* Berat Jenis Alkohol 100% = 0,794

Menurut Richana, (2008) dari BB pascapanen etanol dari tongkol jagung dengan rendemen 14,22 persen. Artinya satu ton tongkol jagung menghasilkan 142,2 liter etanol.

Bioetanol mempunyai nilai energi kalor 12,2 MJ/kg, jika di konversi kedalam ton maka jumlah nilai kalor sebesar 12.200 MJ/ton. Potensi bioetanol dan energi nilai kalor yang dihasilkan disetiap kabupaten dn kota di Provinsi Gorontalo dapat dilihat pada tabel 4.12. berikut :

Tabel. 4.12. Potensi bioetanol dan energi nilai kalor

No	Daerah	Rata-rata Produksi Limbah (ton)	Ethanol (liter)	Nilai Kalor (MJ)
1	Kab. Boalemo	44.314	4.915.143	4.216.930.000
2	Kab. Gorontalo	35.862	2.804.752	2.406.328.000
3	Kab. Pohuwato	77.837	9.447.057	8.105.070.000
4	Kab. Bonebolango	3.900	332.748	285.480.000
5	Kab. Gorontalo Utara	10.905	666.775	572.058.000
6	Kota Gorontalo	133	7.536	6.466.000
TOTAL		172.951	18.174.011	15.592.332.000

Hasil pemanfaatan potensi energi alternatif yang dihasilkan bahan bakar (Briket, gasifikasi, Biomassa, Bioetanol) dari bahan baku limbah tongkol jagung dapat kita bandingkan potensinya. Maka perbandingan potensi energi yang dihasilkan dari empat pemanfaatan bahan bakar Briket, Gasifikasi, Biomassa, Bioetanol dapat dilihat pada tabel 4.13. berikut :

Tabel. 4.13. Perbandingan potensi energi yang dihasilkan melalui bahan bakar (Briket, Gasifikasi, Biomassa, Bioetanol).

N0	Bahan Bakar	Nilai Kalor (MJ)
1	Briket	148.865.352
2	Gasifikasi	262.450.707
3	Bioetanol	1.559.233.200
4	Biomassa	1.847.790.000

Dari tabel 4.13. diatas menunjukkan bahwa total rata-rata perbandingan potensi energi kalor yang dihasilkan dari masing-masing pemanfaatan bahan bakar Briket, Gasifikasi, Biomassa, Bioetanol. Maka dapat dilihat bahwa energi kalor yang terbesar yaitu pada pemanfaatan bahan bakar Biomassa sebesar 1.847.790.000 MJ

4.4. Optimasi Pemilihan Lokasi Pembangkit.

Dalam pelaksanaan produksi limbah tongkol jagung menjadi energi alternatif maupun penentuan lokasi pembangkit berbahan bakar biomassa,

diperlukan optimasi terhadap jarak tempuh dari setiap kabupaten dan kota penghasil limbah tongkol jagung. Adapun jarak antar daerah di wilayah provinsi Gorontalo dapat dilihat pada tabel 4.11. berikut.

Tabel 4.14. Jarak antara daerah diwilayah Provinsi Gorontalo

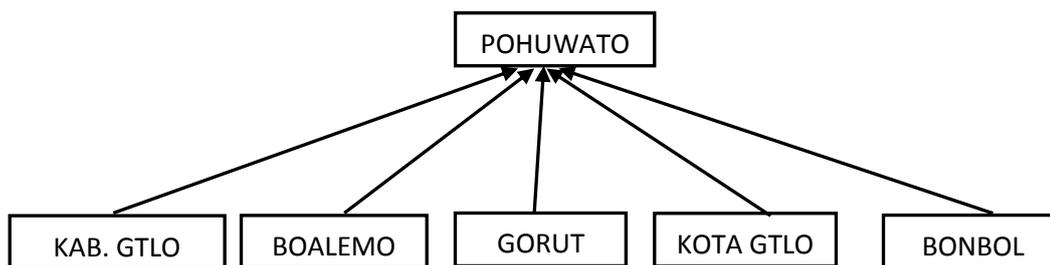
Daerah	Kab. Boalemo	Kab. Gorontalo	Kab. Pohuwato	Kab. Bonbol	Kab. Gorut	Kota Gorontalo	Total
Kab. Boalemo	0	89 km	53 km	119 km	48 km	105 km	414 km
Kab. Gorontalo	89 km	0	142 km	30 km	14 km	16 km	291 km
Kab. Pohuwato	53 km	142 km	0	172 km	101 km	158 km	626 km
Kab. Bonbol	119 km	30 km	172 km	0	71 km	14 km	406 km
Kab. Gorut	48 km	14 km	142 km	71 km	0	57 km	332 km
Kota Gorontalo	105 km	16 km	158 km	14 km	57 km	0	350 km

Seperti dalam tabel 4.14. diatas menjelaskan jarak tempuh dari setiap kabupaten dan kota diwilayah Provinsi Gorontalo. Adapun muatan jagung kelokasi berkapasitas biaya dalam 1 Truck dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15. Biaya transportasi tiap daerah kabupaten dan kota di Provinsi Gorontalo.

Daerah	Kab. Boalemo, (Rp/ton)	Kab. Gorontalo (Rp/ton)	Kab. Pohuwato (Rp/ton)	Kab. Bonbol (Rp/ton)	Kab. Gorut (Rp/ton)	Kota Gorontalo (Rp/ton)
Kab. Boalemo	0	100.000	90.000	100.000	85.000	100.000
Kab. Gorontalo	100.000	0	100.000	65.000	50.000	75.000
Kab. Pohuwato	90.000	100.000	0	100.000	100.000	100.000
Kab. Bonbol	100.000	65.000	100.000	0	100.000	50.000
Kab. Gorut	85.000	50.000	100.000	100.000	0	90.000
Kota Gorontalo	100.000	75.000	100.000	50.000	90.000	0

Dengan melihat tabel 4.15. diatas maka biaya transfortasi tiap daerah kabupaten dan kota sampai ke tempat daerah penampung limbah tongkol jagung biaya yang akan dikeluarkan adalah sebagai contoh kabupaten pohuwato :



$$\begin{aligned}
\text{Biaya : boalemo} &= 34.565 \times 90.000 & \text{Biaya : Gorut} &= 4.689 \times 100.000 \\
&= 3.110.850.000 & &= 486.900.000 \\
\text{Biaya : Kab. Gtlo} &= 19.724 \times 100.000 & \text{Biaya : Kota} &= 53 \times 100.000 \\
&= 1.972.400.000 & &= 5.300.000 \\
\text{Biaya : Bonbol} &= 2.340 \times 100.000 \\
&= 234.000.000
\end{aligned}$$

Jadi biaya total yang di keluarkan oleh masing-masing daerah ke tempat tujuan penampung limbah tongkol jagung adalah :

$$\begin{aligned}
&= 3.110.850.000+1.972.400.000+234.000.000+486.900.000+5.300.000 \\
&= \text{Rp. } 5.791.450.000
\end{aligned}$$

Adapun estimasi biaya transportasi total yang dikeluarkan pada masing-masing wilayah dapat dilihat pada tabel 4.16. berikut.

Tabel 4.16. Biaya transportasi total pada setiap daerah di Provinsi Gorontalo

Daerah	Rata-rata Produksi Limbah (ton)	Biaya Total per Tahun (Rp)
Kab. Boalemo	34.565	8.589.415.000
Kab. Gorontalo	19.724	10.490.525.000
Kab. Pohuwato	66.435	5.791.450.000
Kab. Bonbol	2.340	11.853.610.000
Kab. Gorut	4.689	10.806.495.000
Kota Gorontalo	53	12.118.310.000

Berdasarkan data jarak maupun biaya total pada tabel 4.14. dan 4.15. diatas maka dapat disimpulkan bahwa daerah yang paling cocok digunakan sebagai tempat penampung limbah tongkol jagung dan pemrosesannya menjadi bahan bakar adalah kabupaten pohuwato. Hal ini disebabkan karena masih banyak lahan kosong yang tak terpakai, biaya transportasi yang harus dikeluarkan paling sedikit (Rp. 5.791.450.000/tahun).

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Produksi limbah tongkol jagung di provinsi Gorontalo sangat potensial untuk pengembangan pemanfaatan limbah tongkol jagung untuk dijadikan sebagai energi alternatif, limbah tongkol yang dihasilkan berdasarkan data jumlah produksi jagung dalam 5 (lima) tahun terakhir, total pertahun produksi jagung sebesar 501.685 ton dengan potensi produksi limbah tongkol jagung total pertahun mencapai 172.913 ton.
2. Berdasarkan hasil potensi produksi limbah untuk pemanfaatan limbah tongkol sebagai bahan bakar alternatif Briket arang menghasilkan massa briket sebesar 51.212 ton dan energi kalor 148.865.352 MJ, bahan bakar alternatif Gasifikasi menghasilkan gas 92.852 ton dan energi kalor 126.025.079 MJ, bahan bakar alternatif Bioetanol menghasilkan ethanol sebesar 18.174.011 liter dan energi kalor 15.592.332 MJ, bahan bakar alternatif Biomassa menghasilkan daya 359.26 MW dan energi kalor 1.293.153.000 MJ.
3. Kabupaten Pohuwato daerah yang paling cocok sebagai lokasi pembangkit berbahan bakar biomassa. Dan tempat penampung limbah tongkol jagung dan pemrosesannya menjadi bahan bakar alternatif. Hal ini disebabkan karena masih banyak lahan kosong yang tak terpakai, dengan biaya transportasi yang harus dikeluarkan paling sedikit dari kabupaten dan kota lainnya sebesar (Rp. 5.791.450.000/tahun).

5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pembuatan bahan bakar alternatif limbah tongkol jagung di provinsi Gorontalo.

LAMPIRAN 1
DATA PRODUKSI DAN PERODUKTIVITAS JAGUNG PROVINSI
GORONTALO

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data produksi dan produktivitas jagung Diwilayah Provinsi Gorontalo.....	1-A
--	-----

DATA PRODUKSI JAGUNG PROVINSI GORONTALO

NO	URAIAN	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Kab. Boalemo												
	Luas Tanam				31,967	30,629	27,599	36,151	46,653	23,230	38,232	42,997	37,841
	Luas Panen	18,959	33,848	18,378	21,604	29,211	26,749	30,794	42,352	31,428	32,454	39,727	37,258
	Produktifitas	22,32	28,49	32,48	26,87	31,41	35,44	47,01	48,78	46,08	47,22	35,40	50,37
	Produksi	42,316	96,436	59,691	58,058	91,746	94,808	144,775	206,593	144,820	153,248	140,653	187,667
2	Kab. Gorontalo												
	Luas Tanam				38,417	37,180	34,388	43,479	40,069	23,259	30,853	26,411	25,096
	Luas Panen	17,637	11,427	25,262	22,603	32,611	29,575	27,580	39,953	26,185	30,350	20,127	25,138
	Produktifitas	22,32	28,49	30,07	27,30	29,16	30,34	45,17	46,61	44,03	47,22	47,98	52,80
	Produksi	39,366	32,557	75,963	61,705	95,109	89,742	124,579	186,221	115,293	143,313	96,563	132,726
3	Kab. Pohuwato												
	Luas Tanam				37,929	56,383	49,096	52,483	53,095	45,428	82,438	68,455	58,204
	Luas Panen			12,386	26,693	43,614	49,432	49,479	58,098	52,438	68,004	63,806	67,095
	Produktifitas			32,49	47,35	47,45	44,31	50,94	49,18	46,50	47,22	51,11	44,01
	Produksi			40,241	126,385	206,935	219,033	252,037	285,726	243,837	321,115	326,142	295,286
4	Kab. Bone Bolango												
	Luas Tanam				4,403	5,656	3,721	3,768	3,839	3,297	4,458	2,251	2,409
	Luas Panen			2,574	1,607	2,279	3,956	4,127	3,487	2,289	3,252	4,456	2,008
	Produktifitas			30,07	30,93	26,60	31,01	47,26	48,41	45,81	47,22	45,83	50,68
	Produksi			7,740	4,970	6,062	12,268	19,503	16,881	10,485	15,356	20,420	10,176
5	Kota Gorontalo												
	Luas Tanam				107	227	230	206	185	161	266	213	123
	Luas Panen	14	443	116	22	37	80	131	174	110	53	68	31
	Produktifitas	26,43	28,40	31,34	43,64	52,32	46,35	50,69	50,74	48,07	47,22	44,62	53,49
	Produksi	37	1,258	363	96	194	371	664	883	529	250	303	166
6	Kab. Gorontalo Utara												
	Luas Tanam								13,057	10,104	8,752	6,937	7,040
	Luas Panen							6,916	12,372	12,348	9,720	7,570	6,348
	Produktifitas							45,17	46,31	43,85	47,22	28,66	40,89
	Produksi							31,227	57,295	54,146	45,898	21,698	25,958
	Provinsi Gorontalo												
	Luas Tanam				112,823	130,075	115,034	136,087	156,898	105,479	164,999	147,264	130,713
	Luas Panen	36,610	45,718	43,756	72,529	107,752	109,792	119,027	156,436	124,798	143,833	135,754	137,878
	Produktifitas	22,32	28,49	31,09	34,64	37,13	37,91	48,12	48,17	45,60	47,22	44,62	47,29
	Produksi	81,719	130,251	136,017	251,214	400,046	416,222	572,785	753,598	569,110	679,168	605,781	651,978

Sumber : Subbag Program Sekertariat Dinas Pertanian dan KP Prov. Gorontalo (Sudah disesuaikan dengan data BPS Prov Gorontalo)

Keterangan : * 2012 Masih berdasarkan Angka Sementara (ASEM)

DAFTAR PUSTAKA

- Alkuino E.L. 2000. Gasifying farm wastes as source of cheap heat for drying paddy and corns. International Rich Research Organization, Philipines
- Anonimous, 2003, Provil Proyek Industri Briket Arang Tempurung Kelapa.
- BPS Provinsi Gorontalo, 2009, Gorontalo Dalam Angka.
- Agustina, S. E. 2004. Biomass Potential as Renewable Energy Resources in Agriculture. Proceedings of International Seminar on Advanced Agricultural.
- Bridgwater, A. (2003). *Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass*. Chem. Eng. J. (2003) 91, 87–102.
- Gita Astari Putri. 2009. Pengaruh Variasi Temperatur Gasifying Agent II Media Gasifikasi Terhadap Warna dan Temperatur Api pada Gasifikasi Reaktor *Downdraft* dengan Bahan Baku Tongkol Jagung. Surabaya: ITS
- Intan Aripin Ilmi, Ya'umar. Analisis Efisiensi Sistem Pembakaran Pada Boiler PLTU Unit III PT. PJB UP Gresik Dengan Metode Statistical Process Control
- Ishak Isa, Haris Lukum, Irfan H. Arif. 2012. Briket Arang dan Arang Aktif dari Limbah Tongkol Jagung. Gorontalo: UNG
- Koopmans, A. and Koppejan, J. 1997. Agricultural and Forest Residues-Generation, Utilization and Availability. Paper presented at the Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy, 6-10 January 1997, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Lehman, J., (2007). Engineering and Farm Work Operation. Bogor, 25-26 August 2004. *Bio-energy in the black. Concepts and question*. Front Ecology Environment 5, 381–387.

- Noldi, N, 2009, Uji Komposisi Bahan Pembuatn Briket Biorang Tempurung Kelapa dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu yang Dihasilkan. Skripsi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara
- Prasetyo, T, Joko Handoyo, dan Cahyati Setiani. 2002. Karakteristik Sistem Usahatani Jagung-Ternak di Lahan Irigasi. Prosiding Seminar Nasional: Inovasi Teknologi Palawija, Buku 2- Hasil Penelitian dan Pengkajian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi Pertanian, Badan Litbang Pertanian, hal. 581-605.
- Richana, 2008. Pascapanen Pertanian Etanol Dari Tongkol jagung.
- Seran, J.B. 1990.,”Bioarang untuk memasak “, Edisi II, Liberti., Yogyakarta.
- Soeyanto, T. 1982,” Cara Membuat Sampah Jadi Arang dan Kompos”, Yudhistira, Jakarta.
- Sudradjat, R. 2004. The Potential of Biomass Energy Resources in Indonesia for the Possible Developmnt of Clean Technologi Process (CTP). Proceedings (Complete Version) International Workshop on Biomass & Clean Fossil Fuel Power Plant Technology; Sustainable Energy Development & CDM, pp. 36 59.
- Wahyu, Haifa dkk. Tanpa tahun. Perancangan dan Pengembangan Reactor Circulating fluidized bed untuk gasifikasi Biomassa. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia bandung.
- Widodo, Teguh Wikan, A. sri, Ana N, dan Elita, R. *Bio Energi Berbasis Jagung dan Pemanfaatan Limbahnya*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong Badan litbang Pertanian, Departemen Pertanian.