

SKRIPSI

**ANALISIS KANDUNGAN BIOGAS DARI CAMPURAN
TONGKOL JAGUNG DENGAN KOTORAN SAPI**

Oleh :

AMIRUDDIN

D211 15 036



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

SKRIPSI

**ANALISIS KANDUNGAN BIOGAS DARI CAMPURAN
TONGKOL JAGUNG DENGAN KOTORAN SAPI**

Oleh :

AMIRUDDIN

D211 15 036

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**ANALISIS KANDUNGAN BIOGAS DARI CAMPURAN
TONGKOL JAGUNG DENGAN KOTORAN SAPI**

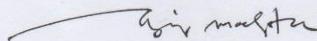
AMIRUDDIN

D211 15 036

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc.

NIP. 19760216 201012 1 002



Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 001

LEMBAR PENGESAHAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Amiruddin
NIM : D211 15 036
Departemen : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS KANDUNGAN BIOGAS DARI CAMPURAN TONGKOL JAGUNG DENGAN KOTORAN SAPI”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 Desember 2021

Yang membuat Pernyataan,



Amiruddin

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama lengkap : Amiruddin
Nama Panggilan : Amir
Tempat / Tanggal Lahir : Pattiro, 31 Desember 1997
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Golongan Darah : 0
Alamat : Jln.H.M Yasin Limpo
Telepon / No. HP : 082343361585
E-mail : amirbm701@fmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- SD INPERES 6/80 PAMMUSURENG (2003-2009)
- SMPN 1 BONTOCANI (2009-2012)
- SMAN 23 BONE (2012-2015)
- Universitas Hasanuddin (2015-2020)

RIWAYAT ORGANISASI

- HMM FT-UH
- OKFT-UH

ABSTRAK

Amiruddin. *Analisis Kandungan Biogas Dari Campuran Kotoran Sapi Dengan Tongkol Jagung* (dibimbing oleh Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar. ST., M.Sc. dan Dr. Eng. Jalaluddin. ST., MT)

Kotoran sapi merupakan limbah peternakan yang sangat bermanfaat untuk sumber energi terbarukan. Percepatan laju gas dalam fermentasi biogas kotoran sapi dapat dipercepat dengan penambahan katalis, tongkol jagung merupakan salah satu bahan organik yang dapat mempercepat laju produksi gas pada pembentukan biogas kotoran sapi. Penelitian ini menggunakan komposisi campuran : (D1) 3 kg kotoran sapi, 2 kg tongkol jagung, dan 5 Kg air. (D2) 3.5 kg kotoran sapi 1.5 tongkol jagung, dan 5 Kg air. (D3) 4 kg kotoran sapi, 1 kg tongkol jagung, dan 5 Kg air. (D4) 3 kg kotoran sapi, 1 kg tongkol jagung, dan 6 Kg air. (D5) 3.5 Kg kotoran sapi, 0.5 Kg tongkol jagung, dan 6 Kg air. (D6) 4 Kg kotoran sapi, dan 6 Kg air. (D7) 3 Kg kotoran sapi, 3 Kg tongkol jagung, dan 4 Kg air. (D8) 3.5 Kg kotoran sapi, 2.5 Kg tongkol jagung, dan 4 Kg air. (D9) 4 Kg kotoran sapi, 2 Kg tongkol jagung, dan 4 Kg air dengan fermentasi selama 22 hari. Pada proses penelitian dilakukan pengukuran pH di awal dan di akhir penelitian, tekanan gas, volume gas, temperatur biodigester, nilai kalor, serta pengujian uji nyala api. Pada penelitian ini didapatkan nilai pH berkisar antara 7-7.9 dan temperatur biodigester 27-31°C. Hasil penelitian ini menunjukkan campuran organik dengan campuran tongkol jagung tidak efektif untuk meningkatkan produksi gas. Hasil yang optimal terdapat pada variasi campuran 4 kg kotoran sapi dan 6 kg air dengan total produksi gas sebesar 6610.5 mL selama 22 hari fermentasi.

Kata kunci : kotoran sapi, biogas, tongkol jagung, fermentasi, pH.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohiim

Alhamdulillahirobbil alamiin dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dengan judul : **Analisis Kandungan Biogas dari Campuran Kotoran Sapi Dengan Tongkol Jagung** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata Satu pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Selama pengerjaan skripsi ini penulis juga mendapatkan begitu banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, bapak Takdir dan ibu Rabewati terimakasih sebesar-besarnya jeripayah dan do'a yang tak terhingga sehingga saya dapat sampai pada titik ini.
2. Keempat saudaraku atas dukungan dan motivasinya.
3. Seluruh keluarga di Makassar yang senantiasa memberi bantuan, semangat, dan nasehat sehingga karya tulis ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar,ST.,M.Sc selaku Pembimbing I dan Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT. selaku Pembimbing II dan sekaligus selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kawan-kawan seperjuangan Teknik Mesin 2015 UH (HYDRAULIC15).
7. Kawan-kawan seperjuangan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan FT-UH.
8. Sosok yang lahir tepatnya 08 Oktober 2000 yang telah memberi semangat motivasi, do'a, waktu, dan material sehingga karya tulis ini dapat terselesaikan.
9. Terimakasih kepada Saudara Rahmat Maulana, Adrian Dwi Nugraha, dan Febri Pangestu yang telah berkomitmen menjadikan gelar sarjana sebagai perlombaan sehingga jadi motivasi dalam penyelesaian karya tulis ini.
10. Kepada saudara Umar Spd saya ucapkan banyak terimakasih.

11. Teman-teman “SUKARIA” terimakasih supportnya.
12. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Semua kebaikan berasal dari Allah semata, segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis maka dari itu penulis memohon maaf atas segala kesalahan, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Gowa, 14 Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR RUMUR	xi
NOMENKLATUR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Terbarukan	5
2.2 Biogas	7
2.3 Biomassa	10
2.4 Metode	13
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas	14
2.6 Pemanfaatan Tongkol agung	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21

3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Metodologi penelitian	22
3.4 Pelaksanaan penelitian	26
3.5 Analisis Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Tekanan Biodigester	30
B. Volume Gas	32
C. Temperatur Biodigester	40
D. Laju Produksi Gas	43
E. pH Campuran Organik	45
F. Uji Nyala Api	45
G. Uji Kalor	48
BAB V PENUTUP	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kotoran Sapi (Edi dan Adi Susanto 2018)	11
Gambar 2.2 Tongkol Jagung (Siradjuddin Haluti 2014)	12
Gambar 2.3 Briket Arang yang Telah Dikonvaksi (Siradjuddin Haluti 2014) ...	18
Gambar 3.1 Skema Penelitian Tiga Dimensi	25
Gambar 3.2 Skema Penelitian Dua Dimensi	25
Gambar 4.1 Instalasi Biodigester	30
Gambar 4.2 Grafik Tekanan Biodigester	30
(a) Campuran dengan volume air 50%	30
(b) Campuran dengan volume air 60%	31
(c) Campuran dengan volume air 40%	31
Gambar 4.3 Skema Pengukuran Volume Gas Menggunakan Gelas Ukur	33
Gambar 4.4 Grafik Volume Gas Menggunakan Gelas Ukur	33
(a) Campuran dengan volume air 50%	33
(b) Campuran dengan volume air 60%	34
(c) Campuran dengan volume air 40%	34
Gambar 4.5 Diagram Batang Total Produksi Biogas	37
Gambar 4.6 (a) Instalasi Pengukuran Volume Gas (b) Skema Pengukuran Volume Gas	38
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Ketinggian pada Pipa	39
Gambar 4.8 Grafik Volume Gas Berdasarkan Perubahan Ketinggian pada Pipa.	39
Gambar 4.9 Grafik Temperatur	41
(a) Campuran dengan volume air 50%	41

(b) Campuran dengan volume air 60%	41
(c) Campuran dengan volume air 40%	41
Gambar 4.10 Diagram Batang pH Campuran organik	45
Gambar 4.11 Eksperimen Uji Nyala (a) Volume Gas Ter-rendah, (b) Volume Gas Sedang, (c) Volume Gas Ter-tinggi	46
Gambar 4.12 Skema Nyala Api	47
Gambar 4.13 Diagram Batang nilai Kalor	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rasio C/N pada Kotoran Mahluk Hidup (Werner et al 1989)	9
Tabel 2.2 Kandungan gas Dalam Biogas (Jorgensen,nd)	10
Tabel 2.3 Data Pengukuran Sifat FisikKimia Briket Arang Tongkol Jagung (Ishak Isa 2012)	18
Tabel 2.4 Kadar Kandungan Gas Sintetis dan Nilai Kalor Arang Tongkol Jagung	19
Tabel 2.5 Gas Hasil Gasifikasi, Nilai Kalor, dan Daya	20
Tabel 3.1 Jadwal Kerja Penelitian Biogas	21
Tabel 3.2 Komposisi Tiap Perlakuan	23
Tabel 4.1 Keterangan Campuran Tiap Biodigester	32
Tabel 4.2 Keterangan Campuran Tiap Biodigester	35
Tabel 4.3 Tabel Produksi Biogas Tiap Biodigester	39
Tabel 4.4 Keterangan Campuran Tiap Biodigester	40
Tabel 4.5 Keterangan Campuran Tiap Biodigester	42
Tabel 4.6 Laju Produksi Biogas Perhari	43
Tabel 4.7 Keterangan Campuran Tiap Biodigester	44

DAFTAR RUMUS

Rumus (I) Tekanan Biodigester	27
Rumus (II) Nilai Kalor	27
Rumus (III) Laju Produksi Gas	28
Rumus (IV) Volume Pipa	29

NOMENKLATUR

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
$V_{rata-rata}$	Laju produksi Biogas	mL/hari
V_{Total}	Volume Total Biogas	mL
T	Lama waktu fermentasi	hari
Q	Kalor yang diperlukan	kJ
C_p	Kalor Jenis Air	$(\frac{kJ}{Kg}^{\circ}C)$
P	Tekanan	N/m ²
h	Ketinggian	m
ρ_g	Massa Jenis Biogas	Kg/m ³
g	Gravitasi	m/s ²
m	Massa Air	Kg
r	Jari - Jari	mm
t	Waktu	Sec
ΔT	Perubahan Temperatur	(^o C)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan manusia yang sangat vital baik untuk masyarakat desa maupun masyarakat kota. Energi sangat penting dalam menjalankan perekonomian Indonesia baik untuk keperluan konsumsi maupun keperluan produksi di berbagai sektor utamanya sektor perekonomian.

Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan perlu dikembangkan mengingat peran dan harga Bahan Bakar Minyak terus meningkat dan melambung tinggi sebagai pengganti untuk penyedia sumber daya energi yang berkesinambungan. Bahan Bakar Minyak (BBM) berada pada posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan energi nasional.

Bagi penduduk dengan penghasilan dibawah standar, bahan bakar minyak sangat dibutuhkan utamanya masyarakat perdesaan. Minyak tanah dirasakan sangat terjangkau karena adanya subsidi oleh pemerintah. Persediaan minyak tanah utamanya di perdesaan sering kali mengalami kelangkaan karena digunakan untuk industri dan usaha lainnya. Masyarakat yang tinggal di kawasan memanfaatkan ranting-ranting kayu bahkan ada yang sengaja melakukan penebangan pohon untuk kebutuhan bahan bakar mereka. Kondisi ini sangat mengancam kelestarian lingkungan.

Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber energi baru terbarukan yang melimpah sebagai energi alternatif pengganti energi fosil. Salah satu energi alternatif tersebut adalah pemanfaatan energi biogas. Biogas adalah gas produk akhir dari pencernaan degradasi anaerobik dalam lingkungan tanpa oksigen atau tanpa udara oleh bakteri-bakteri mentanogen. Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif terbarukan yang paling efisien dan efektif. Teknologi biogas dilakukan dengan memanfaatkan kandungan bahan organik untuk pertumbuhan mikroorganisme yang potensial menghasilkan biogas (Nadiriah dan Triwikantoro, 2014).

Sumber non fosil seperti sampah perkotaan, kotoran ternak, limbah pertanian dan sumber biomassa lainnya perlu dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan untuk energi alternatif ataupun sebagai penghematan penggunaan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi. Fermentasi anaerobik dari bahan-bahan organik adalah salah satu cara untuk menghasilkan biogas sebagai teknologi tepat guna yang relatif sederhana. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan energi alternatif saat ini ialah biogas.

Biogas merupakan campuran beberapa gas dengan komponen utama metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dengan sejumlah kecil uap air. Komposisi biogas tergantung dari bahan baku yang digunakan. Apabila menggunakan bahan baku kotoran manusia, kotoran hewan, atau limbah cair tempat pemotongan hewan, gas metan yang diproduksi dapat mencapai 70%. Bahan baku dari tumbuh tumbuhan seperti batang padi, jerami, atau eceng gondok menghasilkan gas metana sekitar 55% (Herman Nawir dkk, 2018).

Kotoran sapi merupakan substrat yang cocok untuk pemanfaatan biogas, karena di dalam substrat kotoran sapi mengandung bakteri penghasil gas metan. Biogas dihasilkan melalui proses anaerobic, dimana bahan-bahan organik diubah menjadi biogas yang memiliki kandungan utama metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2).

Limbah tongkol jagung yang melimpah perlu ditangani karena akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Salah satu cara dengan mengubah tongkol jagung menjadi bioetanol. Kandungan hemiselulosa dan selulosa pada tongkol jagung berpotensi untuk diolah menjadi glukosa yang kemudian difermentasi sehingga menghasilkan bioetanol.. Berdasarkan latar belakang diatas peneliti tertarik melakukan penelitian **“ANALISIS KANDUNGAN BIOGAS DARI CAMPURAN TONGKOL JAGUNG DENGAN KOTORAN SAPI”**.

1.2.Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka diperoleh beberapa rumusan masalah yaitu :

1. Berapa komposisi produksi biogas yang optimal dari campuran tongkol jagung dengan kotoran sapi?
2. Bagaimana pengaruh penambahan katalis tongkol jagung terhadap produksi biogas?
3. Berapa nilai kalor yang terdapat dalam biogas dari campuran kotoran sapi dengan tongkol jagung?

1.3.Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan komposisi terbaik untuk mendapatkan biogas yang optimal menggunakan campuran tongkol jagung dengan kotoran sapi.
2. Menganalisis pengaruh penambahan katalis tongkol jagung terhadap produksi biogas.
3. Menghitung nilai kalor dalam biogas dari campuran kotoran sapi dengan tongkol jagung.

1.4.Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini penulis membatasi masalah pada hal-hal sebagai berikut:

1. Subyek penelitian
Subyek penelitian dalam penelitian ini adalah kotoran sapi dan tongkol jagung .
2. Objek Penelitian
Objek penelitian dalam penelitian ini adalah biogas.
3. Parameter
Parameter dalam penelitian ini adalah produksi biogas.

1.5. Manfaat penelitian

1. Penulis

Untuk menambah pengalaman dan pengetahuan yang lebih luas tentang pemanfaatan tongkol jagung dan kotoran sapi sebagai sumber biogas.

2. pembaca

Memberi pengetahuan terhadap pembaca tentang pemanfaatan tongkol jagung dan kotoran sapi untuk menghasilkan energi terbarukan berupa biogas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan (Contained Energy Indonesia, 2013). Energi Terbarukan (*renewable energy, ath - thaqahalmutajaddadah*) merupakan kebutuhan yang sangat penting dan tidak bisa ditunda lagi. Kita tidak bisa lagi terus-menerus bergantung pada energi fosil. Ketersediaan sumber energi fosil selain tidak dapat diperbarui juga semakin menipis baik di Indonesia maupun di dunia. Menurut beberapa ahli, dengan pola konsumsi seperti sekarang, dalam waktu hanya belasan hingga puluhan tahun cadangan minyak dan gas Indonesia akan habis. Ini antara lain bisa dilihat dari naiknya harga minyak dalam negeri dan tidak stabilnya harga minyak di pasar internasional. Oleh karena itu, demi keberlangsungan kehidupan umat manusia dan mengantisipasi kelangkaan energi, upaya-upaya menuju pengolahan energi terbarukan merupakan alternatif terbaik untuk dilakukan (Ghazali et al., 2017).

Sekitar seperlima penduduk dunia saat ini masih tetap hidup miskin. Kemiskinan dapat diukur antara lain dengan *Global Multidimensional Poverty Index* (MPI). MPI ini melibatkan variable kesehatan, pendidikan dan standar hidup masing – masing rumah tangga (Alkire, 2015). Menurut indeks ini sebanyak 1,45 milyar orang yang tinggal di 103 negara tergolong miskin. Kebutuhan untuk meningkatkan taraf hidup penduduk, termasuk lapisan miskinnya dan sekian banyak penduduk lagi yang akan lahir menuntut berbagai kemajuan di bidang ekonomi. Jika pola pertumbuhan yang dianut saat ini terus berlanjut, maka tekanan destruktif pada daya dukung lingkungan dan ketersediaan berbagai sumber daya alam akan terus meningkat Indonesia juga menghadapi masalah serupa (RachmawanBudiarto, Ahmad R Wardhana, & Aishah Prastowo, 2016).

Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Tenaga Air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah – daerah terpencil dan

perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah: yaknisekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi, sumber-sumber ini berada di tempat - tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas. Teknologi energi terbarukan lainnya adalah tenaga ombak, yang masih dalam tahap pengembangan (Contained Energy Indonesia, 2013).

- a. Manfaat energi terbarukan (Contained Energy Indonesia, 2013)
 - Tersedia secara melimpah.
 - Lestari :tidak akan habis.
 - Ramah lingkungan (rendah atau tidak ada limbah dan polusi).
 - Sumber energi bisa dimanfaatkan secara cuma-cuma dengan investasi teknologi yang sesuai.
 - Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan Sumber-sumber energi konvensional dan mengurangi biaya operasi.
 - Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja.
 - Mandiri :energi tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga.
 - Lebih murah dibandingkan energi konvensional dalam jangka panjang.
 - Bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil.
 - Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil.
 - Distribusi :Energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak terpusat.
- b. Kerugian Energi Terbarukan (Contained Energy Indonesia, 2013)
 - Biaya awal besar.
 - Keandalan pasokan :Sebagian besar energi terbarukan tergantung kepada kondisi cuaca.
 - Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan.

- Energi tambahan yang dihasilkan energi terbarukan harus disimpan, karena infrastruktur belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai, dijadikan cadangan di Negara - negara lain dalam bentuk akses terhadap jaringan listrik.
- Kurangnya tradisi / pengalaman :Energi terbarukan merupakan teknologi yang masih berkembang.
- Masing – masing energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosialnya sendiri.

2.2. Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (biodigester) dalam kondisi anaerob (tanpa udara). Reaktor yang digunakan untuk menghasilkan biogas umumnya disebut digester atau biodigester, karena di tempat inilah bakteri tumbuh dengan mencerna bahan-bahan organik. Untuk menghasilkan biogas dalam jumlah dan kualitas tertentu, maka digester perlu diatur suhu, kelembaban, dan tingkat keasaman supaya bakteri dapat berkembang dengan baik. Biogas sendiri merupakan gabungan dari gas metana (CH_4), gas CO_2 dan gas lainnya (Suyitno, Nizam, & Darmanto, 2010).

Di Indonesia, pemanfaatan biogas masih terbatas pada bahan bakar kompor untuk memasak. Pemanfaatan biogas untuk kebutuhan rumah tangga ini, beberapa penduduk di Indonesia sudah mampu membuat reaktor biogas sendiri dengan skala kecil. Reaktor biogas (biodigester) untuk skala kecil umumnya dibuat dari plastik maupun dari drum. Bahan baku biogas diperoleh dari kotoran sapi dengan jumlah sapi bervariasi dari 3-5 ekor untuk skala kecil (Suyitno et al., 2010).

Ketertarikan akan sumber energi biogas akhir-akhir ini meningkat. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa cadangan sumber energi fosil semakin berkurang. Salah satu buktinya adalah adanya kebijakan. Pemerintah dalam konversi minyak tanah ke gas (LPG). Dengan fakta ini sebenarnya beberapa anggota masyarakat yang mempunyai potensi mengolah bahan organik menjadi biogas dapat berperan

serta lebih aktif. Manfaatnya adalah masyarakat dapat memperoleh energi yang relatif lebih murah dan lingkungannya juga lebih bersih. Memang, karena biogas dihasilkan dari kotoran sehingga beberapa masyarakat masih canggung untuk menggunakan biogas khususnya untuk memasak (Suyitno et al., 2010).

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena kandungan methane (CH_4) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi. CH_4 sendiri mempunyai nilai kalor 50 MJ/kg. Methane (CH_4) yang memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat menghasilkan pembakaran yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang. Hal ini disebabkan karena jumlah CO_2 yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar berantai karbon pendek adalah lebih sedikit (Suyitno et al., 2010).

Biogas dapat dimanfaatkan juga sebagai bahan bakar untuk penerangan, untuk proses pengeringan, untuk penghasil panas, untuk pembangkit listrik, atau bahkan untuk kendaraan bermotor. Pada saat biogas dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dan kendaraan bermotor, maka biogas perlu diolah (treatment) (Suyitno et al., 2010).

2.2.1. Bahan Penghasil Biogas

Biogas dapat diproduksi dari bahan organik dengan bantuan bakteri untuk proses fermentasi anaerobnya. Pada umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diolah menjadi biogas. Untuk biogas sederhana, bahan organik yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah dari kotoran dan urine hewan. Beberapa bahan lain yang digunakan adalah dari kotoran manusia, sampah bio (organik), dan sisa proses pembuatan tahu (Suyitno et al., 2010).

Jenis-jenis bahan organik yang diproses termasuk beberapa contoh di atas sangat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Pemilihan bahan biogas dapat ditentukan dari perbandingan kadar C (karbon) dan N (nitrogen) dalam bahan tersebut. Bahan organik yang umumnya mampu menghasilkan kualitas biogas yang tinggi mempunyai rasio C/N sekitar 20-30. Perbandingan C dan N dalam bahan biogas merupakan faktor penting untuk berkembangnya bakteri yang akan menguraikan bahan organik tersebut. Pada perbandingan C/N kurang dari 8, dapat menghalangi aktivitas bakteri akibat kadar amonia yang berlebihan (Werner,

Stöhr, &Hees, 1989). Pada perbandingan C/N lebih dari 43 mengakibatkan kerja bakteri juga terhambat. Walaupun demikian, parameter ini bukan jaminan satu-satunya untuk kualitas biogas yang tinggi karena masih terdapat beberapa parameter lain yang harus diperhatikan khususnya pada reaktor biogas (biodigester)(Suyitno et al., 2010).

Untuk mendapatkan produksi biogas yang tinggi, maka penambahan bahan yang mengandung karbon (C) seperti jerami, atau N (misalnya: urea) perlu dilakukan untuk mencapai rasio C/N = 20–30. **Tabel 2.1.** adalah rasio C/N pada beberapa jenis kotoran hewan (Werner et al., 1989).

Tabel 2.1.Rasio C/N pada kotoran makhluk hidup (Werner et al., 1989)

Jeni Kotoran	Rasio C/N
Urine	0,8
Kotoran sapi	10 – 20
Kotoran babi	9 – 13
Kotoran ayam	5 – 8
Kotoran kambing	30
Kotoran manusia	8
Jerami padi	80 - 140
Jerami jagung	30 – 65
Rumput hijau	12
Sisa sayuran	35

Kandungan gas dalam biogas dapat dilihat pada **Tabel 2.2** (Jørgensen, n.d.).

Tabel 2.2.Kandungan gas dalam biogas.

Gas	%
Metana (CH ₄)	55 – 70
Karbondioksida (CO ₂)	30 – 45
Hydrogen sulfida (H ₂ S)	1 – 2
Hydrogen (H ₃)	1 – 2
Amonia (NH ₃)	1 – 2
Karbonmonoksida (CO)	Sangatrendah
Nitrogen (N ₂)	Sangatrendah
Oksigen (O ₂)	Sangatrendah

2.3. Biomassa

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerob. Dalam produksi biogas diperlukan digester yang tertutup dan kedap udara agar produksi biogasnya optimum (Haryanto, 2014). Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800-6700 kkal/m³, untuk gas metan murni mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m³ (Sutarto dan feris, 2007). Komponen utama biogas adalah gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂), sedikit kandungan hidrogen sulfurida (HS₂), ammonia (NH₃), serta hidrogen (H₂) dan nitrogen (N) yang kandungannya sangat sedikit (Sukmana dan Anni, 2011).

2.3.1. Kotoran sapi

Para peternak dalam beternak sapi pada umumnya bertujuan untuk memperoleh daging sapi dan juga susu sapi. Namun, selain menghasilkan daging dan susu beternak sapi juga menghasilkan kotoran.

Kotoran sapi adalah limbah dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas, seperti metana dan amoniak. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988).

Kotoran hewan lebih sering dipilih sebagai bahan pembuat biogas karena ketersediaannya sangat besar. Bahan ini memiliki keseimbangan nutrisi, mudah diencerkan dan relatif dapat diproses secara biologi (Tarigan, 2009).

Bila tidak dimanfaatkan dan ditangani dengan baik kotoran sapi dapat menimbulkan masalah karena selain mengotori lingkungan juga dapat menimbulkan penyakit terhadap masyarakat disekitarnya. Hal ini tentu tidak akan di biarkan begitu saja. Seekor sapi dapat menghasilkan kotoran 8 hingga 10 kg. Kotoran sapi mempunyai C/N rasio yang rendah yaitu 1 : 11 hal ini berarti dalam kotoran sapi banyak mengandung nitrogen (N). Kotoran sapi dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1. Kotoran sapi (Edi dan Adi Susanto,2018)

Kotoran sapi merupakan limbah hasil pencernaan sapi dan hewan dari subfamili Bovinae. Kotoran sapi memiliki warna yang bervariasi dari kehijauan hingga kehitaman, tergantung makanan yang dimakannya. Kotoran sapi cenderung menjadi lebih gelap apabila terpapar sinar matahari.

2.3.2. Tongkol jagung

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% (Maynard dan Loosli, 1993).

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).

Selama ini limbah tongkol jagung hanya dititipkan pada penggunaan sebagai pupuk organik tanpa pengelolaan padahal limbah tongkol jagung ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang lebih ekonomis dan menguntungkan. Limbah tongkol jagung dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Tongkol jagung (Siradjuddin Haluti, 2014)

Limbah jagung meliputi jerami dan tongkol jagung itu sendiri. Penggunaan jerami jagung populer sebagai makanan ternak sedangkan untuk tongkol jagung belum ada pemanfaatan yang bernilai ekonomi. Tongkol jagung memiliki potensi sebagai pemanfaatan dan pengembangan sumber energi terbarukan.

2.4. Metode

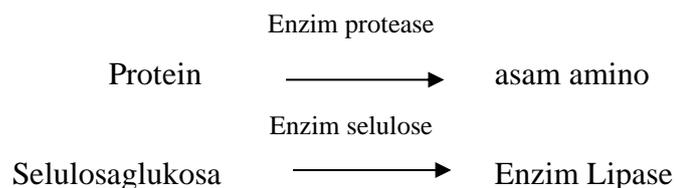
2.4.1. Penguraian anaerobik (*Anaerobic Digestion*)

Pembentukan biogas terjadi pada proses anaerob yaitu kedap udara. Kandungan metan sangat mempengaruhi energi yang terkandung dalam biogas. Semakin tinggi kandungan metan dalam biogas maka semakin tinggi pula kandungan energi atau kalornya begitupula sebaliknya.

Fermentasi anaerob yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap bahan organik yang menghasilkan gas yang dapat dibakar merupakan prinsip terbentuknya biogas. Biogas merupakan salah satu jenis yang dapat dibuat dari banyak jenis bahan buangan dan bahan sisa, jerami, kotoran ternak, eceng gondok, sampah serta banyak bahan-bahan lainnya. Proses terbentuknya biogas terdapat 3 tahapan yaitu hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis.

2.4.1.1. Tahap hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pada tahap ini terjadi perubahan struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi. Bakteri yang berperan dalam tahapan hidrolisis tersebut umumnya adalah clostridium yang dapat mendegradasi limbah yang mengandung selulosa (Yani dan Darwis, 1990).



2.4.1.2. Tahap pengasaman (asidifikasi)

Senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu pengasaman yang terdiri dari asidogenesis dan asitogenesis. Pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti asam propinat, asam butirat dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, hidrogen, dan zat amonia. Pembentukan asam-asam organik tersebut pada umumnya terjadi dengan bantuan bakteri *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (Yani dan Darwis, 1990).

2.4.1.3. Tahap pembentukan gas metan(metanogenesis)

Tahap metanogenesis merupakan tahap pembentukan gas metan oleh bakteri metanogenik seperti *Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanobacterium*, dan *Methanobacillus*. Ada dua kelompok utama bakteri yang bertanggung jawab dalam pembentukan metan, yaitu bakteri metanaogen asetoklastik dan bakteri metanaogen pengguna hidrogen. Metanaogen asetoklastik melakukan konversi asam asetat menjadi metana sedangkan metanaogen pengguna hidrogen melakukan penyisihan hidrogen untuk menghasilkan metana (Yani dan Darwis, 1990).

Pembentukan gas metana CH₄ sebagian besar didasarkan pada asam asetat, hidrogen dan karbondioksida dan sebagian lainnya terbentuk dari asam organik dan alkohol. Asam organik dan alkohol akan terlebih dahulu diubah menjadi asam asetat sebelum mengalami tahap metanogenesis (Gerardi, 2003).

2.5. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas

2.5.1. Jenis substrat

Jenis substrat yang digunakan sebagai bahan baku merupakan faktor yang sangat penting. Hal ini sangat berpengaruh terhadap lamanya waktu dekomposisi bahan sampai terbentuknya gas metan. Bahan organik yang mengandung selulosa dan lignin lebih lama terdekomposisi dibandingkan dengan limbah kotoran ternak, sehingga untuk menghasilkan proses yang optimal sebaiknya menggunakan bahan campuran limbah pertanian dan kotoran ternak (Haryanto, 2004)

2.5.2. Temperatur

Selama proses fermentasi untuk menghasilkan biogas dalam digester anaerob diperlukan pengendalian suhu atau temperatur yang tepat, karena temperatur berperan penting dalam mengatur jalannya reaksi metabolisme bagi bakteri khususnya bakteri metanogenik. Kisaran suhu yang baik untuk perkembangan bakteri metanogenik yaitu pada kisaran mesofilik, antara 25-30°C (Haryanto, 2014). Sedangkan menurut Tuti (2006), kondisi termofilik pembentukan biogas ideal pada kisaran 50-55°C. Temperatur yang melebihi batas akan menyebabkan rusaknya protein dan komponen sel esensial lainnya sehingga sel akan mati. Demikian pula bila temperatur dibawah batas akan menyebabkan transportasi nutrisi akan terhambat dan proses kehidupan sel akan terhenti, dengan demikian temperatur berpengaruh terhadap proses perombakan bahan organik dan produksi gas. Kondisi temperatur pada digester tidak hanya berpengaruh terhadap tingginya produksi biogas namun berpengaruh juga terhadap kecepatan waktu untuk menghasilkan produksi pada nilai optimum (Darmanto *et al.*, 2012).

2.5.3. pH

Derajat keasaman (pH) menunjukkan sifat asam atau basa pada suatu bahan. Faktor pH sangat berperan pada dekomposisi anaerob karena apabila pH tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metana. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8—7,8 (Simamora *et al.*, 2006).

2.5.4. Rasio C-N

Menurut Fry (1974), perbandingan C/N rasio dari bahan organik sangat menentukan aktivitas mikroba dan produksi biogas. Kebutuhan unsur karbon dapat dipenuhi dari karbohidrat, lemak, dan asam-asam organik, sedangkan kebutuhan nitrogen dipenuhi dari protein, amoniak dan nitrat. Perbandingan C/N untuk masing-masing bahan organik akan mempengaruhi komposisi biogas yang dihasilkan. Perbandingan C/N rasio yang terlalu rendah akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH₄ rendah, CO₂ tinggi, H₂ rendah dan N₂ tinggi. Perbandingan C/N yang terlalu tinggi akan menghasilkan biogas dengan

kandungan CH₄ rendah, CO₂ tinggi, H₂ tinggi dan N₂ rendah. Perbandingan C/N yang seimbang akan menghasilkan biogas dengan CH₄ tinggi, CO₂ sedang, H₂ dan N₂ rendah.

2.5.5. Total solid (TS) dan volatilitas solid (VS)

Menurut Sulistyono (2010), total solid (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah bahan organik selama proses pencernaan terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran atau pembusukan material padatan limbah organik. Total Solid merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses pendegradasian karena padatan ini akan dirombak pada saat terjadinya pendekomposisi bahan. Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % bahan baku. Pengertian volatile solid (VS) merupakan bagian padatan (total solid-TS) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. Volatile Solid merupakan jumlah indikasi awal pembentukan gas metane, jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % total solid (TS) atau mg/l leachate MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids).

2.5.6. Pengadukan

Pengadukan dan pembuatan biogas perlu dilakukan, hal ini bertujuan untuk menghomogenkan bahan baku agar mempercepat kontak substrat dengan mikroorganisme pada pembuatan biogas, seperti kotoran ternak, limbah pertanian, dan bahan-bahan lainnya. Karena pada saat pencampuran dilakukan, bahan-bahan tersebut tidak tercampur dengan baik dan merata. Pengadukan dapat dilakukan sebelum dimasukkan ke dalam digester atau ketika bahan sudah berada di dalam digester (Haryanto, 2014).

2.6. Pemanfaatan Tongkol jagung

2.6.1. 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.

2.6.1.1. Proses Pembuatan Briket Arang

2.6.1.1.1. Proses Karbonisasi (Pengarangan)

Limbah tongkol jagung yang telah dipilih dimasukkan kedalam 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 pembongkaran untuk proses lebih lanjut.

2.6.1.1.2. Proses Pembuatan Briket Arang

Arang dari proses karbonisasi digiling atau dihaluskan dan di ayak kemudian ditambahkan perekat dari lem kanji 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 silinder dengan cara memasukkan 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 2.3. Briket Arang yang telah dikonvaksi (Siradjuddin Haluti,2014)

Menurut Siradjuddin Haluti (2014), dengan menggunakan metode briket menghasilkan nilai kalor sebesar 148.865.352 MJ, sedangkan metode gasifikasi menghasilkan nilai kalor sebesar 262.450.707 MJ.

Apabila limbah tongkol jagung ini dimanfaatkan menjadi bahan bakar briket, dengan mengacu pada data hasil penelitian (Ishak Isa 2012) potensi energi kalor briket dapat dilihat pada **Tabel 2.3.** berikut:

Tabel 2.3. 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	62.50	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 2.3** 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.

2.6.2. 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.

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

Tabel 2.4. 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 ₂ H ₆	0.015%
HHV (<i>higher heating value</i>)	6.066,53 kJ/kg
LHV (<i>low heating value</i>)	2826,53 kJ/ kg
Efisiensi gasifikasi	33,58%

Berdasarkan **Tabel 2.4.** diatas, dapat kita lihat kadar setiap gas produser pada tongkol jangung. Gas nitrogen (N₂) memiliki kadar terbesar (56,16%) dan gas etana (C₂H₆) 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, sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5. 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. Pohuwatu	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
	Total	180.753	92.814	262.450.707	72.900

Dari **Tabel 2.5**. 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.