

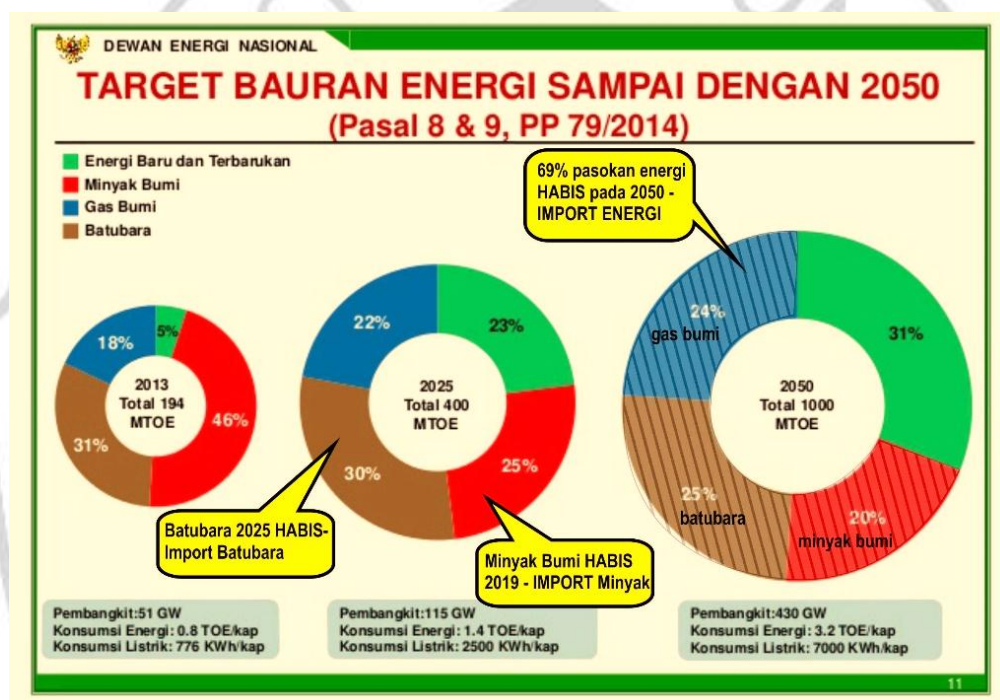
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Target Bauran Energi

Fenomena pemanasan global dipicu oleh penggunaan bahan bakar dan pembangkit listrik berbahan bakar fosil (*fossil fuel*) antara lain batubara, minyak dan gas bumi, sehingga penggunaan energi baru terbarukan dianggap menjadi solusi tepat dalam mencegah dampak buruk dari kenaikan suhu dan perubahan iklim. Pemerintah Indonesia melalui target bauran energi terbarukan hingga tahun 2050 yang mencapai 31% dapat tercapai (Gambar 2.1.).

Gambar 2.1. Road Map Target Bauran Energi hingga tahun 2050 (DEN)



Program yang telah tertuang didalam penyusunan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) dimana didalamnya terdapat berbagai program akselerasi energi hijau yang mengarah terhadap tercapainya bauran EBT 31% pada tahun 2050 (DEN, 2019).

Terdapat berbagai macam sumberdaya energi terbarukan antara lain adalah energi surya (matahari), air/mikrohidro, angin (bayu), *geothermal* (panas bumi), bioenergy (*biofuel*), biogas, biodiesel), pada penelitian kali ini penulis membahas salah satu sumber energi bio (*bioenergy*) biogas dimana potensinya banyak terdapat di daerah penelitian.

II.2. Pengertian Biogas

Biogas merupakan zat gas yang diproduksi dari proses penguraian material organik yang dibantu oleh mikroorganisme pada kondisi minim oksigen atau secara anaerob, sehingga gas

tersebut memiliki kandungan energi yang setara dengan kandungan energi dari bahan bakar yang fosil. Diketahui bahwa nilai kalori dari 1 m³ biogas setara dengan 0,6-0,8 liter minyak solar. Berdasarkan penjabaran tersebut maka biogas dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif untuk minyak tanah, elpiji, kayu bakar dan bahan bakar fosil lainnya (Wahyuni, 2013)

Biogas mengandung nilai energi yang besar dimana dalam memproduksi listrik 1 kwh hanya memerlukan biogas sebesar 0,62-1 m³. Biogas dapat dihasilkan dari material organik yang dapat ditemukan di sekitar peternakan, pertanian dan perkebunan salah satunya adalah biomassa, *biofuel* dan *bioethanol* dengan memanfaatkan limbah di masing-masing sektor (Wahyuni, 2013).

Material utama penyusun biogas adalah gas metana (CH₄) serta gas karbondioksida (CO₂) yang memiliki komposisi paling besar lalu disusun dari bermacam-macam gas lainnya yang tertulis pada Tabel 2.1. senyawa gas tersebut memiliki sifat mudah dibakar dan melalui proses oksidasi dengan oksigen sehingga dapat melepaskan energi (Wahyuni, 2013).

Tabel. 2.1. Komposisi Senyawa Kimia dari Biogas (Hambali, 2007)

Komponen	Simbol	Konsentrasi
Metana	CH ₄	50-75%
Karbon Dioksida	CO ₂	24-40%
Air	H ₂ O	2-7%
Hidrogen Sulfida	H ₂ S	< 2%
Nitrogen	N ₂	< 2%
Oksigen	O ₂	< 2%
Hidrogen	H ₂	< 1%

II.3. Karakteristik Limbah Ternak Sapi

Pengolahan limbah dari peternakan sapi dan hewan ternak lainnya adalah bagian dari langkah yang tepat untuk dijadikan salah satu cara dalam mengatasi harga pupuk yang semakin tinggi dan berkurangnya stok minyak dan gas elpiji, melalui pengolahan kotoran ternak sapi, kerbau maupun domba sebagai salah satu sumber bahan bakar dalam bentuk biogas. Pemanfaatan bahan baku energi biogas berkaitan dengan teknologi dan pengolahannya merupakan hal baru bagi para petani dan peternak. Pengolahan limbah peternakan sebagai sumber energi alternatif tidak mengurangi dan tidak mempengaruhi kualitas pupuk organik dari limbah peternakan, proses pembuatan biogas dari limbah ternak yang sudah diproses tetap memiliki tekstur, struktur dan material yang sama dengan kondisi semula karena hanya

mengambil kandungan gas metana (CH_4) pada material tersebut (Rahayu, 2008), terlihat pada Gambar 2.2. di bawah ini



Gambar 2.2. Pengolahan biogas dari limbah kotoran sapi (Dropshiper, 2020)

Sumber energi alternatif yang sering ditemukan pada daerah pedesaan, yang banyak memiliki peternakan dan persawahan salah satunya merupakan kotoran ternak, hal ini didasari oleh mayoritas warga yang memiliki mata pencaharian sebagai petani dan peternak, dewasa ini pemanfaatan limbah ternak belum banyak diolah dan dimanfaatkan oleh warga sekitar dikarenakan mereka belum mengetahui manfaat kotoran ternak selain sebagai pupuk, serta masyarakat belum paham bagaimana teknis dan pengolahan limbah ternak menjadi sumber energi alternatif serit kurangnya pengetahuan mengenai kandungan senyawa yang terkandung di dalam limbah ternak kaitannya dengan senyawa dalam pemanfaatan energi, limbah peternakan memiliki beragam senyawa antara lain adalah protein, lemak, material ekstraksi bebas nitrogen, mineral, mikroba, vitamin dan zat lainnya. Limbah peternakan dapat digunakan sebagai bahan baku pakan ternak lainnya, pupuk kandang organik, sumber energi alternatif dan manfaat lainnya (Sihombing, 2000). Semua limbah peternakan dapat diolah menjadi sumber bahan bakar alternatif, jenis kotoran ternak yang banyak ditemukan di wilayah pedesaan salah satunya adalah limbah ternak sapi karena limbah kotoran sapi memiliki serat atau zat selulosa yang tinggi sehingga merupakan komponen yang dapat dijadikan substrat pada digester beserta dengan kandungan senyawa metana, karbon, jenis mikroba dan senyawa lainnya untuk dapat memproduksi biogas.

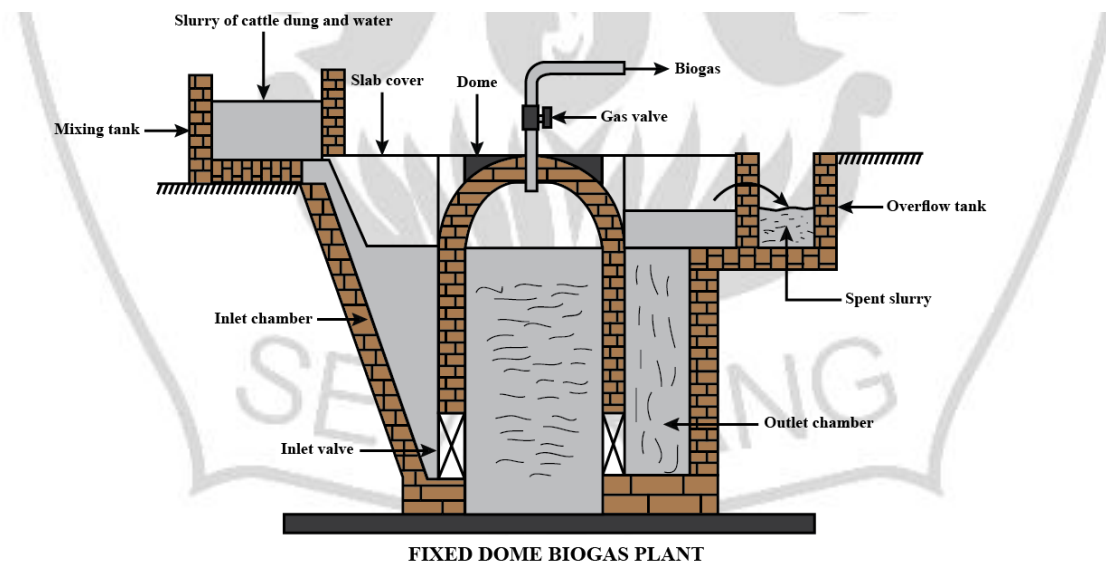
II.4. Digester Biogas

Digester merupakan bagian penting sebagai wadah dalam proses pembuatan metana dimana berbagai macam material organik bercampur dan diuraikan dengan bakteri secara anaerob (tanpa adanya oksigen) menjadi senyawa CH_4 dan CO_2 . Secara penggunaan dan bentuknya digester dibagi menjadi berbagai jenis digester gas metana yang dapat digunakan antar lain digester jenis kubah tetap (*fixed dome*), digester terapung (*floating dome*) dan *puxin digester* (Agency., 2012).

a. Digester Permanen

Digester biogas kubah tetap tersusun dari sebuah digester dengan penutup berbentuk kubah (*dome*) yang dilengkapi dengan pipa saluran gas konstan serta memiliki lubang untuk proses perpindahan material substrat atau yang disebut dengan tangka kompensasi atau penyimpanan dimana gas tersebut akan terakumulasi di bagian atas dari digester. Saat produksi awal gas dibentuk dari bahan baku yang berbentuk seperti material endapan yang biasa disebut dengan *slurry* berpindah dari dalam tangki kompensasi. Tekanan gas mengalami penambahan apabila muatan gas yang disimpan mengalami peningkatan. Perbedaan kegiatan pada *slurry* di dalam digester tangki kompensasi dapat dijadikan sebagai pertanda, apabila terdapat sedikit gas di tabung penahan maka tekanan gas menjadi berkurang (Agency *et al.*, 2012).

Fixed Dome Digester merupakan salah satu contoh digester permanen terlihat pada Gambar 2.3. dibawah ini,



Gambar 2.3. *Fixed Dome Digester* (IntechOpen, 2021)

Digester jenis *fixed dome* (kubah tetap) memiliki keunggulan dan kekurangan seperti pada tabel Tabel 2.2. berikut ini

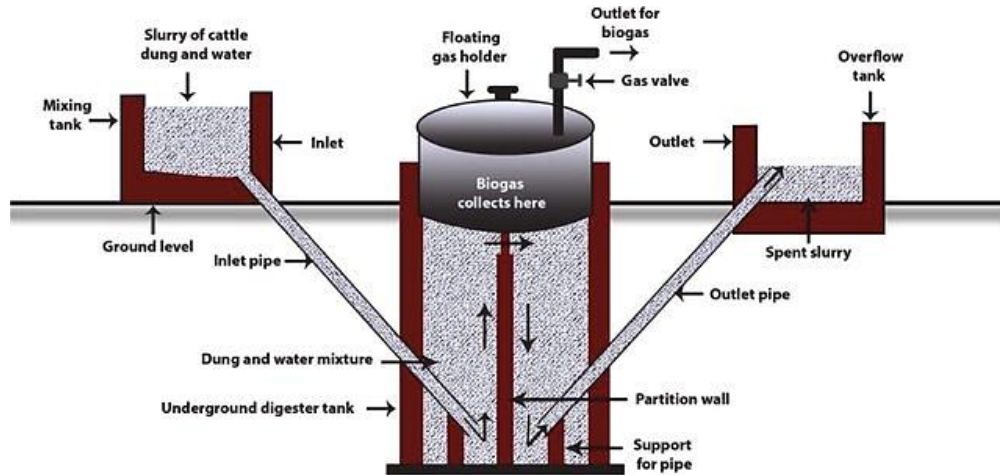
Tabel 2.2. Keunggulan dan Kelemahan Digester Tipe *Fixed Dome*

No	Kelebihan	Kelemahan
1	Rancangan bangun sederhana dan relatif mudah dikerjakan	Bagian tubuh dalam digester tidak terlihat terutama yang dibuat tertimbun di dalam tanah sehingga apabila terdapat kebocoran sulit terdeteksi.
2	Tidak terdapat bagian yang bergerak	Tekanan gas mengalami fluktuasi yang tidak stabil
3	Biaya relative lebih murah	Temperatur digester cenderung rendah tergantung Tingkat kedalaman digester
4	Pemilihan material yang tahan karat dan awet	

b. Floating Drum Digester

Digester biogas tipe *floating drum* (bagian tabung yang mengapung) terdiri dari digester yang dibangun di bawah tanah namun terdapat bagian atas tabung gas yang mampu bergerak naik dan turun. Senyawa gas yang terakumulasi dalam tabung bagian atas, yang dapat bergerak naik dan turun menyesuaikan dengan jumlah gas yang disimpan. Bagian tabung gas terus diamati agar selalu dalam posisi tegak dan mengantisipasi kemiringan dengan menggunakan

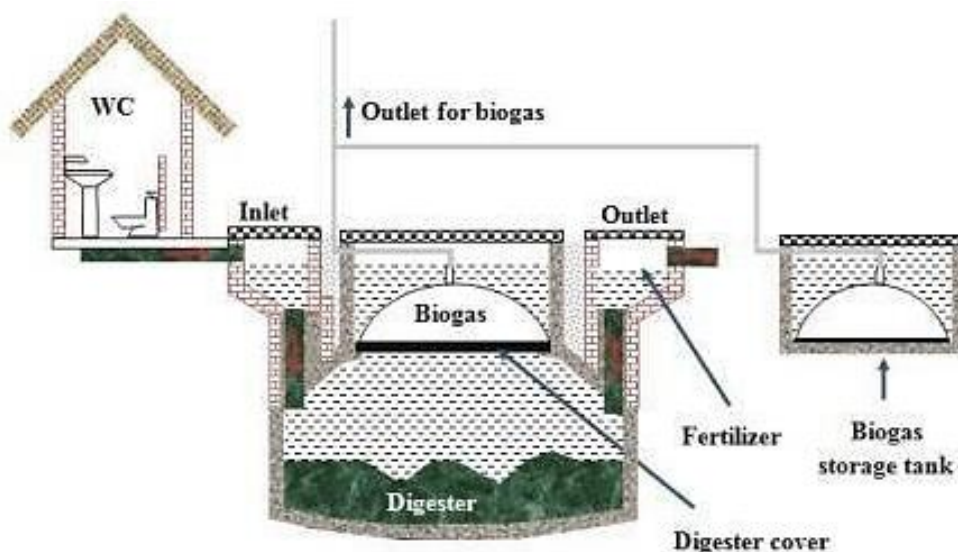
kerangka yang dipenuhi dengan air tawar atau sering disebut dengan *water jacket* seperti pada Gambar 2.4. Apabila kandungan gas di dalam digester meningkat, maka tabung gas tersebut akan tertekan hingga bergerak naik ke atas. Akan tetapi jika konsentrasi gas menurun, maka tabung gas tersebut akan berangsur turun (Agency *et al.*, 2012).



Gambar.2.4. Digester tipe *floating-drum and cylindrical digester* (KVIC model, 2021).

c. Digester Puxin

Digester puxin merupakan digester biogas yang memanfaatkan tekanan hidrolik yang terdiri dari wadah fermentasi terbuat dari material bahan beton. Digester Puxin terbuat dari penguatan serat gelas dengan penambahan material plastik dan penutup saluran pembuangan digester dibuat dari serat gelas yang diperkuat plastik atau bahan beton. Tabung gas tersebut diletakkan di bagian atas digester seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Bagian tabung dan digester ditutupi oleh air (Agency *et al.*, 2012).

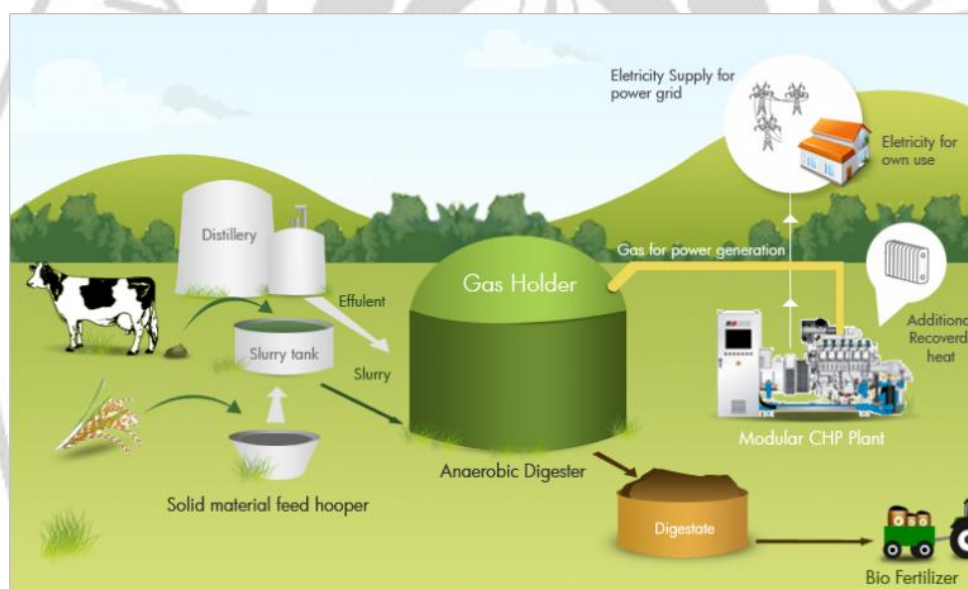


Gambar 2.5. *Puxin Digester* (IntechOpen, 2021)

II.5 Proses Pembentukan Gas Metana

Proses pembentukan gas metana melalui proses anaerob yaitu proses disgesti yang tidak melibatkan adanya unsur oksigen sehingga disebut dengan proses digesti anaerob dimana menghasilkan berbagai macam unsur gas (*Six et al., 2006*).

Substansi organik tersedia di dalam berbagai macam bentuk dan tersebar di berbagai macam limbah organik yang tersusun dari unsur carbon (C), dikombinasikan dengan unsur lainnya seperti unsur Hidrogen (H), unsur Oksigen (O), Nitrogen (N) and unsur Sulfur (S) dan mengubahnya ke dalam berbagai macam bentuk komponen organik seperti karbohidrat, protein dan lipids (lemak) melalui proses digesti untuk memecahkan kompleksitas komponen menjadi subsansi yang lebih kecil (*Gally, 1996*). Seperti pada Gambar 2.6. berikut.



Gambar 2.6. Proses Pembentukan Gas Metana
(sentrakalibrasiindustri.com , 2023)

Proses pengolahan gas metana (CH_4) dari limbah ternak ternak sapi di dalam kondisi tanpa oksigen atau *anaerob* di dalam digester melibatkan empat tahapan proses yaitu proses hidrolisis, *acidogenesis*, *asetogenesis*, dan *metanogenesis*. (Purwandari, 2013).

1. Tahap Hidrolisis/Proses Pelarutan

Proses hidrolisis merupakan fase pemecahan berbagai material organik mudah larut yang terdapat pada limbah ternak sapi sehingga pemisahan bahan organik yang beragam menjadi senyawa yang sederhana melalui proses pelarutan di dalam air sehingga terjadi perubahan struktur dan bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang terlarut dalam air

berbagai macam senyawa ini meliputi protein, lemak, dan karbohidrat, dengan bantuan enzim yang diproduksi oleh bakteri anaerob dimana senyawa ini akan diubah menjadi bentuk monomer (Purwandari, 2013).

Berikut merupakan bentuk bahan senyawa yang mengalami perubahan :

- Protein = asam amino yang dipecah oleh enzim protease.
- Selulosa = glukosa yang dipecah oleh enzim selulase.
- Lemak = asam lemak yang dipecah oleh enzim lipase.

2. Acidogenesis

Acidogenesis adalah proses penguraian senyawa bentuk monomer organik menjadi asam organik dan alcohol, dalam proses ini bentuk monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh bakteri *acidogenic* menjadi berbagai macam jenis asam organik antara lain asam asetat, asam format, asam laktat, asam butirat, *propionate*, ammonia, senyawa CO₂, H₂ dan etanol. (Purwandari, 2013)

3. Asetogenesis/Tahap Pengasaman

Tahap asetogenesis adalah elemen monomer atau gula yang dihasilkan pada proses hidrolisis dan selanjutnya digunakan sebagai sumber makanan bagi bakteri penghasil asam. Bentuk monomer yang dihasilkan dari proses hidrolisis akan mengalami penurunan pada tahap asetogenesis, dimana pembentukan berbagai senyawa asam organik tersebut terjadi akibat adanya bantuan bakteri seperti *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Falvobacterium* dan *Alcaligenes*. Asam organik rantai pendek yang dibentuk dari tahapan proses fermentasi menghasilkan asam lemak yang didapatkan dari proses hidrolisis sehingga lemak akan mengalami fermentasi menjadi asam asetat, H₂, dan CO₂ oleh bakteri asetogenetik. Pada tahap ini, mikroorganisme homoastogenik akan mengubah senyawa H₂ dan CO₂ untuk diubah menjadi asam asetat (Purwandari, 2013).

4. Metanogenesis

Tahap metanogenesis dimana metana terbentuk dengan bantuan bakteri pengurang kadar senyawa sulfat yang terdapat dalam material sehingga proses ini akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hidrogen sulfida. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus*. Tahap metagenesis memproses bakteri metana perlahan membentuk gas metana di dalam kondisi anaerob. Lama waktu yang diperlukan dalam proses ini kurang lebih berlangsung selama 14 hari dengan suhu

25°C dalam digester, hasil dari proses metagenesis ini akan menghasilkan sebesar 70% senyawa CH₄, 30% senyawa CO₂, dan senyawa H₂S, H₂ yang minim (Haryati., 2013).

II.6. Faktor yang Mempengaruhi Produksi Metana

Proses produksi metana sangat dipengaruhi oleh banyak faktor yang mempengaruhi antara lain mikroorganisme, suhu, tingkat keasaman, tekanan, kandungan nutrisi dan faktor penghambat bagi bakteri anaerob, waktu degradasi dan rasio kandungan karbon dan nitrogen dengan penjelasan seperti dibawah ini :

1. Suhu (*Temperature*)

Suhu berpengaruh terhadap lama waktu perubahan di dalam digester dengan kondisi suhu yang tinggi dan terus meningkat produksi metana mengalami peningkatan sesuai dengan kapasitas dari bakteri untuk mencerna dan menguraikan sampah organik, berbagai jenis bakteri dalam proses fermentasi secara anaerob, antara lain : bakteri *Psychrophilic* (<15°C), bakteri *Mesophilic* (15° – 45°C), bakteri *Thermophilic* (45°C – 65°C) (Budiman, 2010).

2. Tekanan

Pengaruh nilai tekanan di dalam tabung digester mempunyai peran dalam pembentukan biogas dimana semakin tinggi tekanan maka produksi metana yang dihasilkan di dalam digester akan semakin rendah begitupun sebaliknya, terutama pada proses hidrolisis dan *acidifikasi*, terdapat batas nilai tekanan yang disarankan yaitu sebesar 1,15 – 1,2 bar di dalam digester (Budiman, 2010).

3. Derajat Keasaman (pH)

Proses penyederhanaan komposisi oleh bakteri anaerob sangat dipengaruhi oleh tingkat derajat keasaman (pH) dimana faktor ini berperan sesuai pada rentang tingkat nilai pH tertentu maka mikroba mengalami pertumbuhan yang tidak optimal. Bahkan dapat menyebabkan kematian pada bakteri yang mengakibatkan metana tidak dapat diperoleh. Bakteri anaerob memerlukan pH optimal antara 6,2 – 7,6 namun nilai pH yang paling optimal adalah di rentang 6,6 – 7,5 dengan nilai pH yang tidak sesuai dapat bersifat racun bagi bakteri selama proses pembentukan metana pH dapat berkisar di rentang 7 – 7,8 (Budiman, 2010).

4. Kandungan Nutrisi dan Faktor Penghambat Bakteri Anaerob

Bakteri anaerob merupakan mikroorganisme yang memerlukan kandungan nutrisi sebagai sumber energi untuk melakukan proses reaksi anaerob, dimana kandungan nutrisi tersebut terus dari asam amino dan vitamin esensial yang dapat disalurkan melalui obyek tujuan dengan memberikan sejumlah nutrisi tertentu sebagai syarat pertumbuhan serta

metabolisme bakteri tersebut. Disamping membutuhkan nutrisi mikro untuk mengoptimalkan aktifitas organisme mikro, antara lain senyawa magnesium, besi, kalsium natrium, selenium, barium, kobalt dan senyawa lainnya. Bakteri anaerob memerlukan nutrisi sebagai sumber energi yang mengandung kalsium, nitrogen, magnesium, fosfor, mangan, sodium, kobalt (Budiman, 2010). Seperti terlihat pada Tabel 2.3 di bawah ini menggambarkan komposisi kimia dan kandungan mineral dalam proses metabolisme limbah organik :

Tabel 2.3. Kandungan komposisi kimia pada limbah organik.

Kandungan Metal	Mg/Liter
Natrium Klorida	40.000
Sulfat	5.000
Amonia	3.000
Natrium	5.500
Kalium	4.500
Kalsium	4.500
Magnesium	1.500
Nikel	200-500
Krom	200
Tembaga	100
(Alkyl Benzene Sulfonate)	40 ppm
Sianida	25

5. Waktu Proses Degradasi Material

Waktu yang diperlukan dalam proses degradasi bahan organik atau sering disebut dengan istilah *Hydraulic Retention Time/HRT* merupakan jangka waktu yang diperlukan dalam proses penguraian material organik di dalam tangki *anaerob* yang diawali dari proses masuknya bahan material organik hingga ke tahap awal pembentukan biogas dalam digester dengan kondisi anaerob. *HRT* mencakup porsi sebesar 70-80% dari total keseluruhan waktu pembentukan biogas. Waktu yang digunakan dalam proses *Hydraulic Retention Time/HRT* ini sangat berpengaruh terhadap jenis material organik dan proses persiapan yang dilakukan terhadap material organik sebelum proses penguraian pada tabung digester (Budiman, 2010).

6. Proses Pencampuran Bahan Organik

Proses penggabungan bahan organik dapat memberi manfaat bagi material organik yang terdapat di dalam *digester* dalam kondisi anaerob sehingga memberikan peluang material organik tetap tercampur dengan bakteri dan menjaga besaran suhu di seluruh bagian *digester*. Proses pencampuran melalui pengadukan berfungsi mengurangi kemungkinan material organik mengendap di dasar tabung *digester* hingga seluruh bahan material organik dapat tercampur sepenuhnya akan memperbesar peluang untuk seluruh material mengalami proses fermentasi di lingkungan anaerob (Budiman, 2010).

7. Carbon Nitrogen Ratio (C/N)

Senyawa karbon (C) dan nitrogen (N) merupakan asupan utama bagi bakteri anaerob sehingga pertumbuhan bakteri dapat berkembang secara optimal, dimana senyawa karbon diperlukan untuk menyuplai tenaga sedangkan senyawa nitrogen diperlukan dalam pembentukan struktur sel bakteri. Limbah material organik yang bernilai rasio C/N tinggi dapat dicampurkan dengan unsur yang lebih rendah sehingga diperoleh nilai rasio C/N yang optimal sehingga produksi biogas dapat berjalan dengan efektif. Aktivitas metabolisme dari bakteri *methanogenic* dapat berjalan optimal pada angka rasio C/N 8-12 (Budiman, 2010). Seperti terlihat pada uraian Tabel 2.4 dibawah ini

Tabel 2.4. Nilai Rasio C/N Material Organik.

Deskripsi Bahan	Rasio C/N
Serbuk Gergaji	> 200
Limbah Gandum	90
Limbah Padi	70
Kotoran Gajah	43
Limbah Jagung	60
Air Bakau	25
Kotoran Sapi	24
Kotoran Domba	19
Kotoran Babi	18
Kotoran Kambing	12

Kotoran Ayam	10
Kotoran Bebek	8
Kotoran Manusia	8

8. Konsentrasi Padatan Total (*Total Solid Content/TS*)

Konsentrasi padatan merupakan jumlah material padat yang terkandung dalam limbah pada material organik selama proses penguraian terjadi mencirikan tingkat laju perubahan material padat limbah organik. Konsentrasi ideal material padat yang dapat menghasilkan biogas memiliki rentang nilai 7 - 9% dari kandungan material kering. Kondisi tersebut dapat membuat proses digesti anaerob pada digester dapat berjalan dengan ideal. Nilai total solid memiliki pengaruh yang signifikan dalam proses digesti bahan material organik (Budiman, 2010).

9. Jumlah Kadar Metana

Kadar metana yang terkandung di dalam gas yang diproduksi dari proses pembentukan biogas dapat dianalisis menggunakan alat yang bernama *Gas Chromatography (GC)* untuk mengetahui jenis komposisi yang terdapat dalam gas tersebut antara lain gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2).

II.7. Peralatan dan Teknis Pembuatan Gas Metana

Penentuan dan perhitungan volume kapasitas alat sangat penting dalam tahap persiapan dan instalasi alat. Dua perlakuan tersebut dipersiapkan sebagai pedoman dalam menentukan ukuran tabung dan memilih peralatan yang paling tepat melalui perhitungan kapasitas alat yang disesuaikan dengan jumlah limbah ternak yang dihasilkan melalui rumus perhitungan sebagai berikut: (Pembab Kudus, 2017)

1. Satu ekor sapi diasumsikan dapat menghasilkan ± 2 ember limbah/hari
2. Pengenceran limbah ternak sapi dengan penambahan ± 3 ember air.
3. Kisaran volum ember = ± 10 liter
4. Jumlah ternak yang dilakukan percobaan 4 ekor sapi atau bisa berapapun.
5. Lama waktu pembentukan biogas melalui fermentasi selama ± 30 hari.

Mengacu pada penjabaran tersebut didapatkan jumlah campuran limbah ternak setiap hari yang dapat dimasukkan ke dalam digester adalah $2 + 3 \text{ ember} = 5 \text{ ember}$ atau 50 liter limbah feses dan air untuk tiap ekor sapi. Menggunakan asumsi lama waktu pembentukan gas ± 30 hari,

sehingga tiap ekor sapi membutuhkan ruang digester $30 \times 50 \text{ liter} = 1.500 \text{ liter}$. Dari penjelasan diatas dapat menggunakan rumus sebagai berikut ⁽¹⁾ :

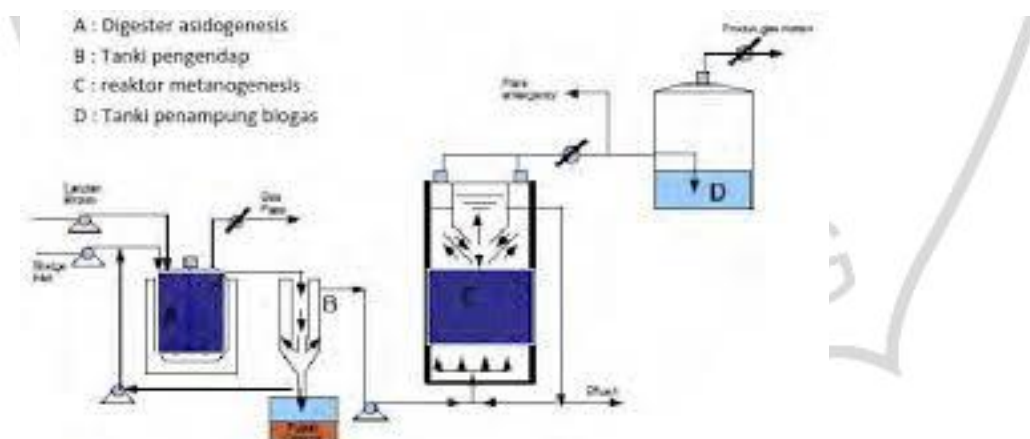
$$Vd = Sd \times RT \quad \dots\dots\dots 1$$

- **Vd** = Kapasitas wadah
- **Sd** = Jumlah isi material per hari = Jumlah kotoran + air
- **RT** = Lama pencernaan (*retention time*)

Menentukan tempat pemasangan .tabung digester merupakan hal dasar dan krusial dalam menentukan lokasi yang paling ideal adalah berada dekat sumber bahan baku berupa limbah peternakan, sehingga mudah diakses dari kandang ternak yang akan digunakan limbah dan fesesnya, terlebih lagi dekat dengan sumber air sebagai bahan pengencer kotoran ternak, alangkah lebih baik apabila lokasi biogas tidak terlalu jauh dari dapur, dimana kisaran jarak yang direkomendasikan adalah 100 m (Pembab Kudus, 2017)

II.7.1 Pengoperasian Alat

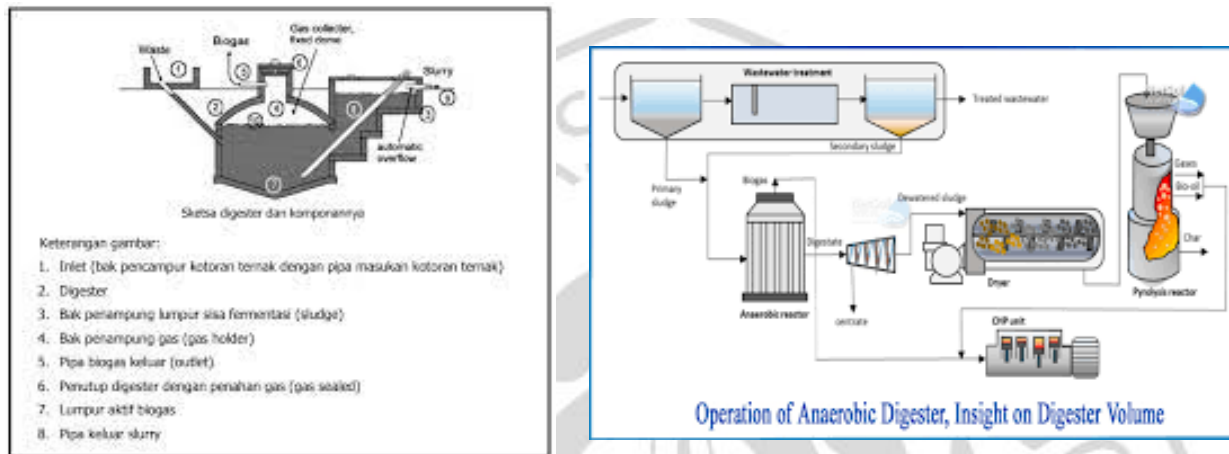
Tahap persiapan wajib melakukan uji ketahanan dan kebocoran pada alat sebelum menjalankan instalasi biogas, sehingga perlu mengetahui berbagai hal yang dapat mempengaruhi optimalisasi proses pembentukan biogas. Hal ini wajib dilakukan sebagai pedoman dasar dalam mengoperasikan peralatan dan kegiatan harian yang wajib dilakukan agar memperoleh produksi gas yang optimal (Pembab Kudus, 2017).



Gambar. 2.7. Skema Proses Pembentukan Biogas dalam Digester (researchgate.net, 2014.)

II.7.2 Peralatan Pembuatan Gas Metana

Komponen penting dalam instalasi peralatan biogas adalah digester, merupakan tempat proses limbah kotoran ternak menjadi gas, terdapat beberapa macam digester pembentukan biogas berdasarkan bahan pembuatan dan lokasi cara peletakan digester yaitu digester kubah tetap, digester terapung, digester puxin. (Pekab Kudus, 2017) :



Gambar 2.8. Skema cara kerja digester (researchgate.net, 2014)

II.7.3 Pemanfaatan Gas Metana

Gas metana merupakan jenis gas yang memiliki tingkat emisi yang berbahaya bagi lingkungan sebagai penyebab efek gas rumah kaca (GRK) yang dapat menyebabkan pemanasan global namun ditinjau dari struktur dan kandungannya serta pengelolaannya maka gas metana ini dapat dimanfaatkan khususnya dalam kehidupan sehari-hari, antara lain sebagai berikut :

1. Bahan Bakar

Perkembangan teknologi industri serta banyaknya alat konversi yang mumpuni maka gas metana dapat dijadikan sebagai salah satu bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermotor, instalasi peralatan rumah tangga seperti oven atau alat masak di dapur, pemanas air serta di dunia industri dan pabrik gas ini dapat dicairkan untuk bahan bakar mesin pengolah atau peluncur roket.

2. Pembangkit Listrik Skala Kecil-Menengah

Melimpahnya sumber bahan baku Biogas (Gas Metana) di Indonesia melalui limbah organik, limbah pertanian, limbah perkebunan (kelapa sawit, padi) dan limbah peternakan membuat kandungan gas metana semakin melimpah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga pembangkit listrik dimana pada dasarnya adalah pemanfaatan teknologi turbin.

Berikut adalah salah satu contoh Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) PT *Austindo Aufwind New Energy* (AANE) yang terletak di Belitung Provinsi Bangka Belitung yang memanfaatkan gas dari limbah kelapa sawit. (Kementerian ESDM, 2017)

3. Pemanfaatan di Dunia Industri atau Pabrik

Bidang Industri dan pabrik pengolahan pupuk banyak menggunakan senyawa dan zat kimia dalam proses pembuatannya bahkan mayoritas (90%) menggunakan senyawa gas metana untuk bahan bakar dan bahan utamanya selain itu juga menggunakan senyawa ammonia dan urea sebagai bahan produksinya. Gas metana yang dihasilkan kebanyakan merupakan gas metana (CH_4) hasil dari limbah peternakan dan pertanian.

II.7.4 Dampak Negatif dari Gas Metana.

Gas metana (CH_4) menjadi salah satu faktor efek gas rumah kaca yang berkontribusi utama pada penyebab fenomena perubahan iklim hasil dari beragam aktifitas sehari-hari dari limbah peternakan dan pertanian serta dari sektor industri yang limbahnya mengandung gas metana. Berikut ini diuraikan beberapa dampak negatif dari gas metana (CH_4)

1. Polusi Udara Industri Pabrik dan Rumah

Pertumbuhan pembangunan industri menimbulkan efek yang memiliki dampak negatif berupa pencemaran udara dan kebisingan hingga dapat menyebabkan gejala penyakit infeksi saluran pernafasan (ISPA) akibat terlalu sering menghirup gas metana atau asap yang dihasilkan oleh proses pengolahan di industri sehingga menyebabkan penurunan kualitas udara di lingkungan sekitar.

2. Polusi Metana dari Sektor Peternakan dan Pertanian

Kadar gas metana (CH_4) yang melimpah di udara dapat berakibat pada berkurangnya kadar oksigen pada atmosfer bumi hingga setara $\pm 19,5\%$ bahkan dapat mencapai kadar yang lebih tinggi apabila gas metana tercampur dengan udara bebas sehingga menimbulkan potensi yang mudah terbakar. Sektor pertanian dan peternakan menjadi salah satu penyumbang terbesar gas metana (CH_4) yang berasal dari pakan ternak, limbah pertanian dan peternakan hal ini menimbulkan dampak yang besar terhadap pemanasan global menurut *Human Society International*, 2014 menyatakan bahwa dalam jangka waktu 20 tahun, metana memiliki angka *GWP (Global Warming Potential)* setidaknya 25 kali lipat lebih besar dibanding karbondioksida, dapat disimpulkan bahwa gas metana yang dihasilkan dari kegiatan hasil peternakan memiliki dampak yang lebih signifikan dimana sektor peternakan dapat menghasilkan sebanyak 35-40% dari total gas metana yang terbentuk secara global

II.8. Aspek Lingkungan Pengelolaan Gas Metana

2.8.1. Konsep *Nett Zero Emission*

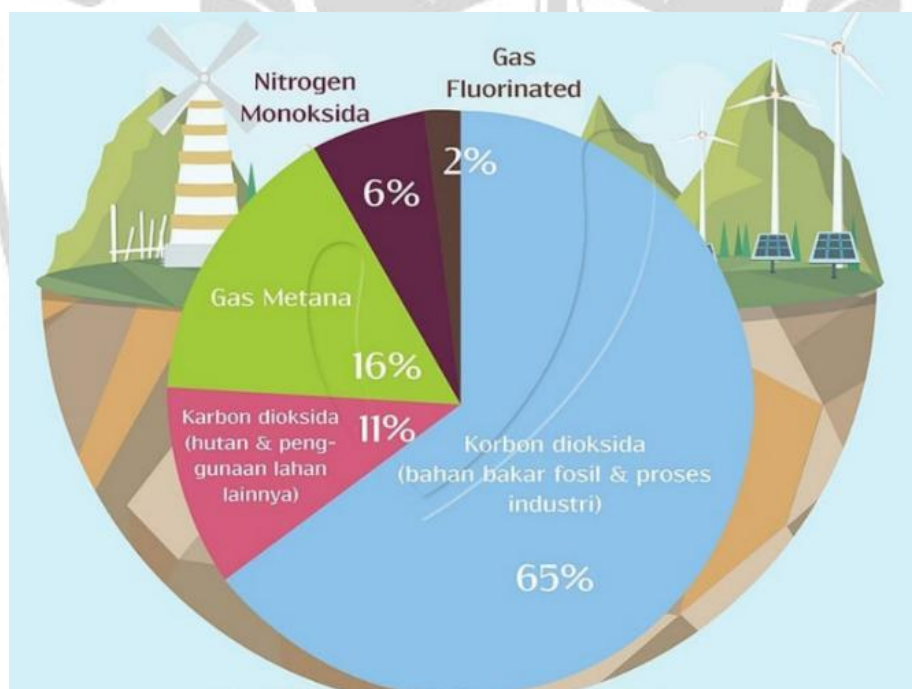
Net Zero Emissions atau kondisi tanpa emisi karbon merupakan keadaan dimana nilai total emisi karbon yang terdapat pada lapisan udara atmosfer tidak melebihi dari nilai emisi yang dapat terserap oleh lapisan tanah melalui tanaman di bumi. Transisi energi dari sistem energi konvensional ke sistem energi baru dan ramah lingkungan merupakan salah satu cara untuk mencapai target tersebut melalui pengkondisian untuk mencapai keadaan seimbang antara aktifitas manusia dengan kelestarian alam.

Beberapa langkah yang dapat dilakukan demi mencapai target tersebut adalah mengurangi jumlah penggunaan bahan bakar yang menghasilkan banyak karbon atau emisi gas karbon dan gas metana yang dihasilkan melalui berbagai bentuk aktifitas manusia dalam kurun waktu tertentu atau lebih sering disebutkan dengan jejak karbon, hasil tersebut akan memberikan dampak yang negatif bagi kehidupan dan kelestarian makhluk hidup di bumi, seperti perubahan cuaca yang ekstrim dan tidak menentu, sehingga menimbulkan kekeringan, sumber mata air bersih yang berkurang, dan bencana alam akibat eksploitasi hutan dan lingkungan skala besar, berkurangnya populasi hewan dan tanaman tertentu sehingga mengganggu jalannya siklus rantai makanan, dan pencemaran udara lainnya. Dampak perubahan iklim yang ekstrim dan tidak menentu menciptakan rasa peduli dan tanggung jawab bersama antar negara-negara di dunia untuk berperan aktif dalam menanggulanginya, bentuk rasa tanggung jawab tersebut diwujudkan dalam *Paris Climate Agreement* atau Perjanjian Iklim Paris yang dibentuk pada tahun 2015 oleh negara-negara yang sepakat salah satunya adalah menjaga agar suhu bumi lebih stabil dan tidak naik lebih dari 20⁰ C. Indonesia merupakan salah satu negara yang ikut berpartisipasi dan memiliki kewajiban untuk mencapai kondisi *Net Zero Emission (NZE)* atau kondisi nol bebas emisi. Langkah yang diambil untuk mencapai tujuan dari program *NZE* tersebut, Indonesia menargetkan beberapa upaya dan komitmen untuk mewujudkan nol bersih emisi pada tahun 2060. Pengembangan sumber daya manusia dalam memahami tentang pentingnya menjaga lingkungan dan dampak negatif dari efek rumah kaca diharapkan dapat mendukung kontribusi Indonesia dalam pembangunan rendah karbon menuju target *Nett Zero Emission* Indonesia pada tahun 2060, yang meliputi pengembangan SDM bidang energi, limbah, industri pengolahan (*Industrial Processing And Product Use/IPPU*), pertanian, dan kehutanan. Perlu adanya konsep konsep strategi pengembangan sumber daya manusia sektor energi menuju *Nett Zero Emission* tahun 2060,

yaitu dengan: pelaksanaan kegiatan penyusunan Rencana Induk Pengembangan Kompetensi SDM Sektor Energi untuk menuju NZE 2060, pelaksanaan kegiatan penyusunan Standard Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) SDM Sektor Energi. (PPSDM Ketenagalistrikan, 2023).

2.8.2. Emisi Gas Rumah Kaca.

Pemerintah Indonesia terus bekerja untuk dapat mengurangi tingkat emisi gas rumah kaca (GRK) sesuai dengan target yang tercantum dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC), demi mencapai target penurunan emisi sebesar 29% pada tahun 2030 dapat dikonversikan ke dalam angka sebesar 834 juta ton CO₂e untuk seluruh sektor aktifitas manusia, diantaranya sektor energi dibebankan target menurunkan emisi sebesar 314 juta ton CO₂e, seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. di bawah ini menggambarkan kontribusi gas buang yang berperan terhadap efek gas rumah kaca. (Kementerian ESDM, 2017)



Gambar 2.9. Kontribusi Gas Penyumbang Emisi Gas Rumah Kaca (ForSains, 2022)

Berdasarkan ilustrasi Gambar 2.9 diatas didapatkan dua metode yang digunakan untuk mengidentifikasi langkah menurunkan emisi gas yang dihasilkan. Pertama, dengan menghitung

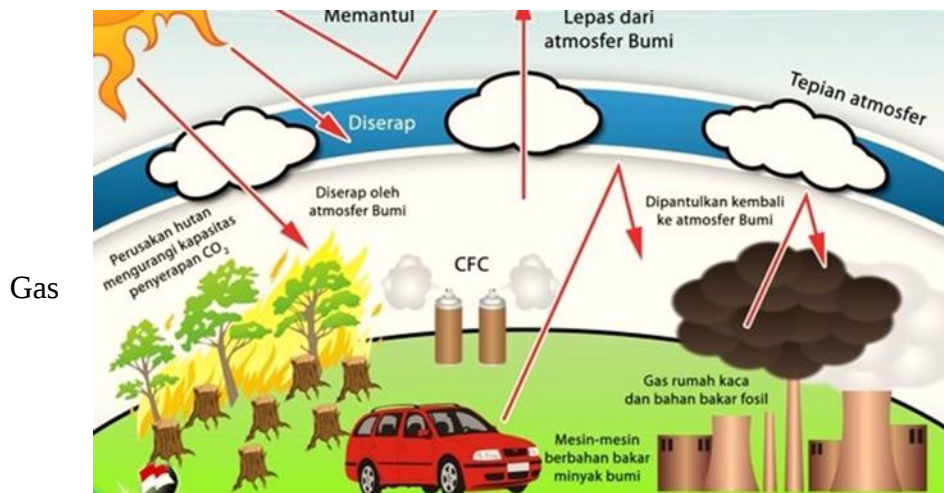
perbedaan antara *baseline* emisi GRK melalui skenario *Business as Usual* (BaU) menggunakan data inventarisasi emisi pada kondisi sebenarnya. Selisih ini dianggap sebagai penurunan nilai emisi gas dan dapat dihitung secara sejarah kejadian sebelumnya. Kedua, dengan melakukan perhitungan nilai penurunan emisi gas dari setiap langkah mitigasi yang telah dilaksanakan. Untuk memahami penurunan emisi melalui kedua metode tersebut perlu mengumpulkan data emisi yang komprehensif, data yang akurat agar nilai pengurangan tersebut dapat terukur. Data emisi yang lengkap dan akurat didapatkan melalui inventarisasi rutin terhadap semua data yang diperlukan untuk menghitung nilai emisi. Data emisi yang akurat diperoleh melalui penggunaan metodologi yang tepat sesuai dengan panduan internasional. Dalam rangka mendukung hasil inventarisasi data emisi yang diharapkan, melalui Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional memberikan amanat kepada seluruh pimpinan dua Kementerian terkait, salah satunya Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), untuk melaksanakan inventarisasi gas rumah kaca sesuai dengan tugas, dan tanggung jawab masing-masing pengelola seperti yang tertuang dalam Pasal 4 Peraturan Presiden dijelaskan bahwa perhitungan emisi dan penyerapan gas rumah kaca melalui metode penyimpanan karbon dilakukan dengan memanfaatkan data aktifitas dari pengelompokan sumber emisi dan langkah penyimpanannya menggunakan faktor emisi dan faktor penyerapan yang bersifat lokal. (Kementerian ESDM, 2017)

2.8.3 Emisi Gas Rumah Kaca di berbagai sektor

Pemanasan global sangat berdampak buruk bagi kehidupan di permukaan bumi ini yang dapat dirasakan langsung oleh seluruh makhluk hidup yang hidup di bumi ini terutama oleh manusia dampak yang terlihat dan dapat dirasakan diantaranya adalah meningkatnya suhu udara yang tinggi dengan menyebabkan hutan-hutan mudah terbakar sehingga menyebabkan kerugian yang lain yaitu kabut asap akibat kebakaran hutan, mencairnya es di kutub sehingga menaikkan permukaan air laut dan meningkatnya suhu di sekitar air laut, tercemarnya laut sehingga menyebabkan rusaknya ekosistem terumbu karang dan terdapat beberapa fenomena terdamparnya hewan laut di pantai akibat suhu di air laut yang tidak menentu, krisis air bersih karena kurangnya pengawasan dan pembersihan pada lingkungan yang tercemar oleh limbah dan residu-residu lingkungan sekitar serta perubahan iklim dan pola curah hujan yang tidak dapat diperkirakan (Lintangrino, 2022).

Penyebab utama dalam pemanasan global adalah karena adanya emisi gas rumah kaca (GRK) yang merupakan gas-gas buang yang berasal dari berbagai macam aktivitas di

permukaan bumi yang masuk ke dalam lapisan atmosfer bumi sehingga dapat menahan sirkulasi hawa panas di bumi seperti pada Gambar 210.



Gambar. 2.10.
Berbagai
Macam
Aktifitas
Penyebab Emisi
Rumah Kaca.
(pasardana.id,
2020)

Gas yang ada di atmosfer bumi penyebab efek gas rumah kaca antara lain adalah gas karbondioksida (CO_2), gas nitrogen oksida (N_2O), gas metana (CH_4), serta gas mengandung flourinasi tinggi seperti Freon pada pendingin (PFC, HFC dan SF_6) (Lintangrino, 2022).

a. Gas Karbon dioksida (CO_2)

Gas karbon dioksida dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam dan minyak tanah, limbah padat, sisa pepohonan dan bahan biologis lainnya, hasil dari proses kimiawi pembuatan industri semen.

b. Gas Nitrogen Oksida (N_2O)

Gas Nitrogen (N_2O) dihasilkan selama aktifitas pertanian dan industri, pembakaran bahan bakar fosil, limbah pada dan pengolahan air limbah.

c. Gas Metana (CH_4)

Gas Metana dilepaskan selama produksi dan pengangkutan batu bara, gas alam, dan minyak tanah selain itu juga dihasilkan dari kegiatan dan limbah peternakan dan kegiatan pertanian serta disebabkan oleh pembusukan sampah organik di tempat pembuangan sampah akhir (TPA).

d. Gas berflourinasi (Gas F)

Hidroflourokarbon, Perflourokarbon, sulfur heksaflorida dan nitrogen triflorida merupakan GRK sintetis yang kuat dipancarkan dari berbagai proses industri. Gas berflouronisasi bersifat merusak lapisan ozon di stratosfer bumi dan termasuk gas yang dihasilkan oleh aktifitas manusia dan dapat bertahan di atmosfer dengan jangka waktu lama maka cukup berkontribusi pada efek rumah kaca. Terdapat empat jenis gas F yaitu: hidroflourokarbon (HFC) banyak digunakan dalam industri mesin pendinginan maupun komersial serta pendingin udara pada peralatan pompa dan alat pemadam kebakaran, aerosol, Perflourokarbon (PFC) terdiri dari senyawa flour dan karbon banyak terdapat di industri elektronik, kosmetik farmasi dan mesin pendingin, sulfur heksaflorida (SF_6) terdapat pada penekan busur dan gas isolasi serta produksi magnesium dan Nitrogen triflorida (NF_3) dimanfaatkan dalam etsa untuk konstruksi mikroelektrika.

2.8.4 Karakteristik Gas Metana dari sektor Peternakan.

Gas metana (CH_4) merupakan senyawa penyusun hidrokarbon sederhana berbentuk gas. Gas metana murni tidak memiliki bau namun apabila dimanfaatkan dalam kegiatan industri paling umum ditambahkan dengan senyawa belerang (FeS) bertujuan agar dapat diketahui apabila terjadi kebocoran. Gas metana diproduksi secara alami melalui proses metanogenesis oleh bakteri atau mikroorganisme anaerobi merupakan salah satu bentuk respirasi anaerob yang umumnya terdapat pada tempat pembuangan sampah akhir dan limbah hewan ternak khususnya hewan mamalia/ruminansia khususnya di peternakan sapi selain dari feses sapi itu sendiri terdapat hasil samping yang menghasilkan gas metana melalui sendawa sapi, angin buangan dari perut sapi, dimana dari berbagai aktifitas di peternakan sapi tersebut menyumbang hampir lebih dari 16% emisi gas rumah kaca tahunan dari aktifitas yang dilakukan oleh manusia khususnya melalui sektor peternakan dan pertanian (Lintangrino, 2022).

Selain itu bakteri pengurai di dalam tanah juga menghasilkan gas metana karena adanya respirasi anaerob yang disebabkan oleh mikroorganisme metanogenik dari domain *Archaeobacteria* dimana gas metana ini kemudian terbawa oleh udara ke stratosfer di iklim tropis sehingga proses ini menyebabkan terakumulasi menjadi Gas Rumah Kaca (GRK) seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11.
Pernakan
Sapi Salah
Satu
Penyebab
Emisi Gas
Rumah Kaca
(KAN

Jabung, 2023)

Mikroba *Archaeobacteria* membutuhkan karbon dioksida (CO_2) sebagai makanan dan aliran listrik (elektron) untuk mengolah makanan tersebut sehingga proses metabolisme ini menghasilkan gas metana (CH_4) yang dilepaskan ke udara bebas sehingga disebut juga dengan mikroorganisme methanogen atau dalam kata lain dikenal dengan proses metanogenesis yang memerlukan karbon dioksida (CO_2), aseta, methanol, metil sulfida dan metilamin untuk dapat menghasilkan energi mikroorganisme bersel tunggal ini biasa dijumpai pada lapisan tanah yang dalam, endapan-endapan/sedimen laut, pabrik pengolahan limbah dan didalam pencernaan/usus hewan mamalia khususnya hewan herbivora, methanogen di dalam usus ruminansia memiliki peran untuk memecah selulosa dari material tumbuhan sehingga membantu pencernaan pada hewan ruminansia hal ini juga menghasilkan gas metana dalam tubuh hewan mamalia yang dikeluarkan melalui sendawa dan angin buangan pencernaan hewan. (Lintangrino, 2022)

2.8.5 Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca

Gas Metana (CH_4) adalah senyawa konsisten yang hadir di permukaan bumi yang berasal dari aktifitas manusia khususnya di sektor peternakan dan pertanian karena gas ini terbentuk secara alami sehingga yang dapat dilakukan hanyalah mengurangi produksinya. Salah satu penyumbang terbanyak produksi gas metan adalah oleh aktifitas peternakan dan

pertanian terutama berasal dari limbah dari masing-masing sektor tersebut, alangkah lebih baik dan bijak apabila kita dapat memanfaatkan dan mengolah limbah tersebut menjadi salah satu sumber energi baru terbarukan berbentuk biogas yang dapat dimanfaatkan serta dapat mengurangi pencemaran udara dan lingkungan sekitar.

Berikut ini adalah berbagai upaya mitigasi gas metana dalam menekan kandungan dan produksi gas metana di atmosfer agar tidak semakin merusak lapisan ozon di permukaan bumi ini (Lintangrino, 2022),

a. Pemanfaatan Bakteri Metanotrof

Sebagian besar emisi gas metana (CH_4) di alam terbuka berasal dari lahan pertanian basah dan sawah. Indonesia yang dikenal sebagai negara agraris atau negara yang didominasi oleh pertanian dan peternakan karena tanahnya yang subur tentunya hal ini berdampak terhadap kontribusi terhadap pelepasan emisi gas metana ke atmosfer yang tinggi. Bakteri metanotrof yang terdapat dalam *rhizosfer* padi berguna untuk menurunkan metana yang diproduksi oleh bakteri metanogenik sehingga menghambat terbentuknya emisi gas metana ke atmosfer. Rizosfer adalah lapisan tanah yang melingkupi permukaan akar tanaman dan memiliki aktifitas metabolisme tertinggi, area ini menjadi tempat yang efektif untuk pertumbuhan mikroba karena akar tanaman menyediakan berbagai material organik yang dapat mempercepat pertumbuhan mikroba. Bakteri metanotrof adalah organisme bersifat anaerob yang mampu berkembang dengan menggunakan gas metana sebagai sumber energi yang terdapat di lahan pertanian..

b. Penggunaan Padi Varietas Rendah Emisi Gas Metana.

Bakteri *Archaea* merupakan jenis bakteri anaerob yang menghasilkan gas metana umumnya terdapat pada lingkungan anoksik alami, seperti pada tanah lembab, air tawar, termasuk persawahan sebagai tempat pertumbuhan tanaman padi. Bakteri tersebut berperan krusial di ekosistem ini melalui dekomposisi anaerobik dari material alami sehingga menghasilkan gas metana dan karbon dioksida. Tanaman padi berperan penting dalam menjaga keseimbangan atmosfer bumi terhadap emisi gas metana dimana proses metanogenesis melalui pelepasan elemen akar padi yang kaya akan sumber karbon sehingga tanaman padi menjadi salah satu penyumbang gas metana dan karbon dioksida. Sebuah studi menunjukkan bahwa telah ditemukan varian baru padi yang memproduksi kadar gas metana yang tergolong rendah bila dibandingkan dengan jenis lainnya. Varietas padi dengan emisi metan rendah adalah Ciherang, Cisantana, Tukad Balian, Memberamo, Inpari 1, Dodokan,

Way Apoburu, dan IR64 jenis padi ini dapat membantu pengkondisian dalam menekan emisi gas di permukaan bumi.

c. Pengolahan Lahan Hijau

Penggunaan pupuk anorganik lebih sering digunakan sebagai penyedia nutrisi bagi tanaman. Pupuk jenis ini terkandung banyak unsur hara yang diperlukan oleh tanaman, yang dapat segera dimanfaatkan dalam sistem metabolisme tanaman. Pupuk anorganik mengurangi keberadaan pupuk organik yang sesungguhnya lebih bersahabat untuk lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian, kandungan sulfat yang dikandung dalam pupuk anorganik dapat menimbulkan kompetisi antara bakteri metanogen dan bakteri reduksi sulfat untuk mendapatkan hidrogen. Prosedur yang berlangsung inilah yang dapat menghalangi pembentukan gas metana. Strategi pengelolaan emisi metana dari lahan sawah dilakukan melalui mengelola lahan melalui langkah integrasi pada berbagai komponen teknologi, termasuk penggunaan varietas unggul yang memiliki Tingkat emisi rendah, penerapan pupuk organik tepat guna, pemupukan nitrogen yang mengandung sulfur (ZA) atau pupuk yang terlambat diuraikan, sistem irigasi putus, dan sistem tanpa pengolahan tanah konservasi.

d. Memanfaatkan Tanin pada Pakan Ternak

Sektor peternakan merupakan penyumbang emisi gas metana salah satunya adalah komposisi pakan ternak ruminansia yang menyebabkan tingginya senyawa gas metana dalam sistem pencernaan ternak hal ini dapat diatasi dengan memanipulasi kandungan dalam pakan ternak dengan menggabungkan bahan pakan lokal dengan senyawa tannin. sehingga cara tersebut sangat efektif dalam mereduksi emisi gas metan secara signifikan, karena tannin mampu mengurangi produksi emisi gas metan saat proses pencernaan berlangsung. Hal ini disebabkan oleh terhambatnya perkembangan bakteri metanogen dalam proses pencernaan ternak.

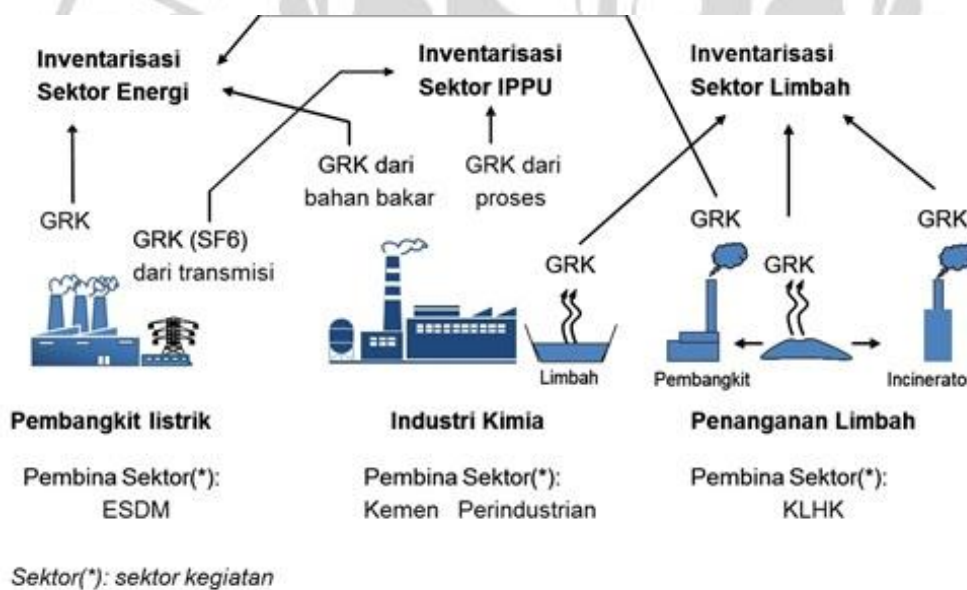
e. Memberikan Hijauan pada Hewan Ternak

Sektor pertanian harus diperhatikan sebagai salah satu sebab meningkatnya gas metana. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian di Kementerian Pertanian menggunakan dedaunan hijau yang kadar emisi gas metana relatif rendah sebagai pakan alternatif bagi peternak salah satunya adalah menambahkan rumput laut serta berbagai hijauan memiliki nilai tanin dan saponin tinggi berasal dari tumbuhan *Kaliandra*, *Gliricida* *Leucaena* dan *Leguminosa*.

2.8.6 Inventarisasi Efek Gas Rumah Kaca dengan Pedoman IPCC

Penyusunan inventarisasi efek gas rumah kaca penulis mengacu pada buku panduan untuk melengkapi referensi yaitu IPCC *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* yang diterima IPCC tahun 2000 dan *The Good Practice Guidance on Land Use, Land-Use Change and Forestry (GPG for LUUCF)* pada tahun 2003 diterima oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Metode perhitungan emisi gas rumah kaca terdiri dari lima jenis tingkatan dengan tingkatan pertama menggambarkan langkah dasar dalam perkembangan inventaris dan petunjuk umum mengenai emisi gas rumah kaca berdasarkan pengalaman dari tahun 1980. Pedoman dalam memperkirakan analisis didapatkan dari sektor ekonomi terdapat pada tingkatan dua sampai tingkatan lima. Dalam memperkirakan hasil analisis emisi gas rumah kaca terdapat tiga metode yang digunakan yaitu metode Tier-1, Tier-2 dan Tier-3 (IPCC, 2022).



Gambar 2.12. Skema Inventarisasi Gas Rumah Kaca (IPCC, 2022)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) berperan penting dalam mengumpulkan laporan yang berkaitan dengan tema dan pembahasan yang relevan dengan pelaksanaan *UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* bertujuan untuk mengolah informasi ilmiah yang berhubungan dengan perubahan iklim yang disebabkan oleh dampak perubahan iklim, aktifitas manusia, serta langkah pilihan untuk melakukan identifikasi, dan langkah mitigasi seperti pada Gambar 2.12. diatas. Perhitungan emisi gas rumah kaca dibedakan berdasarkan tingkat ketelitian berbeda

yang dikelompokkan ke dalam tiga tingkat ketelitian. Tingkat ketelitian ini juga dikenal dengan *Tier* yang digunakan sebagai tingkat ketelitian dalam perhitungan yang terkait dengan data dan metode perhitungan yang digunakan dengan penjelasan sebagai berikut:

a. *Tier-1*

Estimasi *Tier-1* dalam perhitungan emisi didasarkan pada data aktifitas dan faktor emisi standar yang telah ditentukan oleh IPCC. *Tier-1* terdapat sumber data aktivitas yang tersedia secara global (contoh : laju deforestasi, statistik produksi pertanian, peta tutupan lahan global, pemakaian pupuk, data populasi ternak dan lain-lain).

b. *Tier-2*

Estimasi *Tier-2* perhitungan emisi didasarkan pada aktifitas yang lebih spesifik dan tingkat akurasi yang lebih tinggi dan faktor emisi standar yang telah ditentukan oleh IPCC atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik. *Tier-2* penggunaan data aktifitas yang digunakan lebih terperinci dengan besaran yang telah ditetapkan pada daerah tertentu dan kategori penggunaan lahan sumber emisi yang lebih rinci contoh : berbagai sumber N seperti pupuk organik, sisa tanaman, mineralisasi N dan tanah organik, pupuk anorganik. Khusus untuk populasi ternak menggunakan sub kategori khusus berdasarkan umur, pengelolaan limbah dan pemberian pakan.

c. *Tier-3*

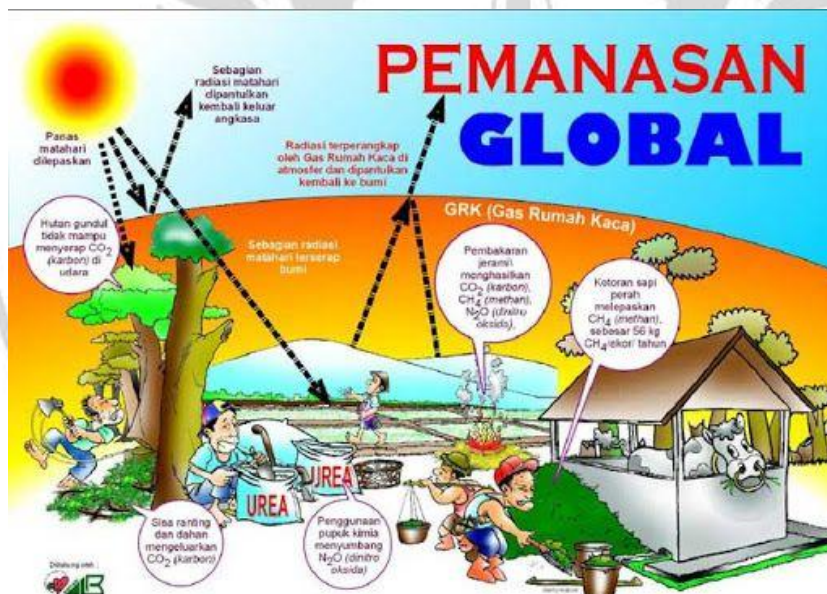
Estimasi *Tier-3* perhitungan emisi didasarkan pada metode spesifik suatu negara dengan data aktifitas yang lebih akurat (pengukuran secara langsung) dan factor emisi spesifik di suatu negara atau suatu pabrik. *Tier-3* bisa digunakan untuk pengelompokkan lebih rinci mengenai populasi ternak menurut hewan, usia, berat badan dan lain-lain. Pemeriksaan kualitas, audit, validasi serta dokumentasi wajib dilaksanakan dalam model *Tier-3*.

Indikator penentuan *tier* inventarisasi gas rumah kaca berdasarkan pada ketersediaan data dan tingkat kemajuan suatu negara atau suatu pabrik dalam penelitian dan pengolahannya guna menyusun suatu metodologi atau menentukan faktor emisi yang spesifik dan berlaku di dalam suatu negara atau pabrik tersebut. Peningkatan akurasi dan mengurangi ketidakpastian secara umum menggunakan *Tier* dengan tingkatan yang lebih tinggi sehingga kompleksitas dan sumber daya yang diperlukan untuk melakukan inventarisasi menjadi meningkat sejalan dengan *Tier* yang lebih tinggi. Prinsipnya kombinasi dari *Tier* dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan, contoh *Tier-1* untuk karbon tanah dan *Tier-2* untuk biomassa (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

2.8.7 Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca di Sektor Peternakan.

Sektor peternakan merupakan salah satu sektor yang berperan besar dalam peningkatan suhu global dimana sektor ini didominasi dari kotoran dan ekstraksi hewan ternak. Sektor ini menyumbang berbagai senyawa emisi gas buang seperti gas metana (CH_4), karbondioksida (CO_2), dinitrogen oksida (N_2O) dan ammonia sebagai salah satu penyebab terjadinya hujan asam karena adanya kegiatan manusia. Metode perhitungan emisi gas rumah kaca dari sektor peternakan dihitung dari emisi gas metana (CH_4) yang berasal dari fermentasi enterik kotoran ternak dan senyawa gas dinitrogen oksida (N_2O) yang dihasilkan dari pengolahan kotoran ternak (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Sektor peternakan termasuk dalam kategori sektor *AFOLU* (*Agriculture, Forest and Other Land Use System*). Terdapat banyak proses yang menyebabkan emisi dan penyerapan Gas rumah kaca yang tersebar salah satunya bersumber dari sektor peternakan di sektor *AFOLU* (*Agriculture, Forest and Other Land Use System*) (IPCC, 2006). Emisi gas non-karbondioksida (CO_2) yang menjadi focus untuk sektor *AFOLU* (*Agriculture, Forest and Other Land Use System*) yaitu gas metana (CH_4) dan gas dinitrogen oksida (N_2O). seperti pada Gambar 2.13. berikut



Gambar 2.13. Ilustrasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Peternakan (Indonesiana.id, 2021)

Terdapat dua macam proses yang dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca di dalam sektor peternakan dibedakan berdasarkan tempat pembentukannya yaitu sebagai berikut

a. Fermentasi Enterik

Fermentasi enterik di sektor peternakan adalah suatu proses yang berlangsung di sistem pencernaan hewan ternak dan menghasilkan gas metana (CH_4). Jenis hewan ternak yang menghasilkan gas metana (CH_4) yaitu hewan ternak ruminansia (pemamah biak) dimana hewan ini mencerna dua kali makanannya di dalam tubuh, contoh dari hewan ruminansia adalah sapi, kerbau, kuda dan herbivora lainnya, Hewan ternak jenis ini menghasilkan gas metana (CH_4) lebih tinggi dibandingkan dengan hewan ternak *non*-ruminansia. Disamping itu, dalam sistem pengelolaan kotoran ternak juga menghasilkan gas metana (CH_4) serta gas dinitrogen oksida (N_2O). Sistem pencernaan hewan ternak ruminansia ini menghasilkan gas metana (CH_4) dari karbohidrat yang terbelah menjadi molekul yang lebih sederhana akibat adanya mikroorganisme *archaebacteria* (mikroorganisme methanogen) yang kemudian diserap kedalam aliran darah. Perkiraan emisi gas metana (CH_4) dan gas dinitrogen oksida (N_2O) yang dihasilkan dari peternakan menggunakan metode yang membutuhkan informasi sub kategori ternak dan populasi tahunan. Data kegiatan yang diperlukan untuk tingkat *Tier*-1 yaitu merupakan data mengenai populasi ternak dan faktor emisi fermentasi enterik dari berbagai jenis ternak atau salah satu jenis ternak (IPCC, 2006).

Dibawah ini merupakan tabel faktor emisi fermentasi pencernaan yang dikelompokkan berdasarkan jenis hewan ternak seperti pada Tabel 2.5 berikut ini, (IPPC, 2006).

Tabel. 2.5. Faktor Emisi Pencernaan Hewan Ternak

Jenis Hewan Ternak	Faktor Emisi
Sapi Perah	61
Sapi Potong	47
Kerbau	55
Kuda	18
Kambing	5
Domba	5
Babi	1

b. Pengelolaan Kotoran Ternak

Sektor peternakan banyak menghasilkan produk hasil pencernaan hewan berupa kotoran ternak berupa cair dan padat dimana kedua jenis kotoran ini memiliki dalam menghasilkan emisi gas metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) mulai dari proses pengeluaran, penumpukan, penyimpanan baik disengaja maupun terendapkan dan pengolahan maka semua hal tersebut dapat mempengaruhi jumlah emisi gas rumah kaca.

Karakteristik kotoran ternak yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh komposisi atau bahan pakan ternak yang diberikan contohnya seperti pakan ternak berbahan dasar jagung menghasilkan emisi gas metana yang lebih kecil dibandingkan dengan pakan ternak yang berbahan dasar rumput yang memiliki tekstur kasar dan kaya akan serat dimana kedua bahan ini diolah secara berbeda di dalam pencernaan dimana pakan berbahan dasar rumput akan menghasilkan banyak memproduksi gas metana. Perhitungan perkiraan emisi gas metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) dari pengelolaan kotoran ternak menggunakan pedoman IPCC, 2006.

2.8.8 Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca di Sektor Pembangkit.

Mitigasi emisi gas rumah kaca adalah penurunan tingkat emisi yang terjadi pada suatu aktifitas industri tertentu contohnya adalah pengkonversian bahan bakar fosil nilai faktor emisi tinggi ke faktor emisi rendah, pemanfaatan bahan bakar *biomass-based fuel*, , pemanfaatan teknologi yang lebih efisien, penangkapan dan penyimpanan karbon atau *Carbon Capture and Storage (CCS)*. Langkah mitigasi ini umumnya beberapa sudah terlaksana khususnya pada sebagian unit pembangkit listrik, sehingga emisi gas rumah kaca menurun namun produksi listrik tetap stabil.

Emisi CO_2 yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada unit pembangkit listrik dapat ditangkap dan disimpan dalam sebuah formasi geologi bawah tanah untuk menanggulangi pelepasan emisi CO_2 ke atmosfer yang disebut dengan metode *Carbon Capture and Storage (CCS)* metode ini masih dalam fase penelitian, pengembangan, dan telah ada uji coba penangkapan dan penyimpanan gas CO_2 di beberapa lokasi di Indonesia, baik untuk penyimpanan dan pemanfaatan untuk *enhanced oil recovery (EOR)* yang dikenal sebagai *Carbon Capture Storage and Use (CCSU)*. Jika CO_2 yang dihasilkan melalui pembakaran bahan bakar fosil ditangkap dan dipindahkan ke dalam suatu unit pengolahan oleh suatu perusahaan maupun bidang usaha maka dapat mengurangi langsung emisi CO_2 di lingkup perusahaan dan industri. Gas CO_2 yang telah disimpan dapat dijual sebagai bahan baku industri lainnya antara lain di sektor industri minyak dan gas bumi dapat digunakan sebagai

bahan *Enhanced Oil Recovery (EOR)*, laboratorium gas, pelarut bahan bakar sampingan yang diekspor, di sektor industri pangan dapat berupa minuman berkarbonasi, *dry ice*, bahan pemadam kebakaran, *refrigerant* dan industri pengolahan bahan kimia lainnya.

Berikut ini adalah rumus perhitungan tingkat emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fosil dalam sistem pembangkit listrik .

a. Metode Penghitungan Emisi

Secara umum, emisi gas rumah kaca merupakan perkalian antara data aktifitas (konsumsi bahan bakar) dengan nilai faktor emisi bahan bakar, dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$E = KE \times FE \times GWI \dots\dots\dots 2$$

Dimana :

E = Emisi yang dihasilkan

KE = Konsumsi Energi

FE = Faktor Emisi

GWP = Nilai *Global Warming Potential*

Metode penghitungan emisi gas rumah kaca GRK tersebut sesuai dengan IPCC-2006. Penghitungan emisi GRK dalam Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi GRK Bidang Energi Sub Bidang Ketanagalistrikan ini juga disusun dengan mengacu kepada IPCC *Guideline*, tahun 2006. Terdapat tiga jenis emisi gas rumah kaca GRK yaitu meliputi (CO₂, CH₄ dan N₂O) pembakaran bahan bakar fosil dan *biomass-based fuel* pada unit pembangkit listrik dalam buku pedoman dibedakan menjadi empat metode dimana masing-masing metode tersebut menunjukkan tingkat ketelitian dari perhitungan emisi gas rumah kaca.

II.9. Peta Persebaran Potensi Limbah Kotoran Ternak Sapi Potong

II.9.1 Pengertian Pemetaan Potensi

Peta merupakan representasi bentuk muka bumi dan disajikan dalam bidang datar dengan skala tertentu dan dapat ditampilkan melalui beragam media yang berbeda, antara lain peta cetak sederhana dan peta digital yang ditampilkan melalui layar komputer maupun layar televisi. Peta adalah gambaran dua dimensi yang digambarkan berdasarkan bentuk tiga dimensi. Menurut *ICA (International Cartographic Association)*, peta merupakan representasi

yang memiliki skala dan sesuai dengan kondisi permukaan bumi maupun informasi bentuk lainnya. Selanjutnya, ada pengertian peta menurut Bakosurtanal atau Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional.

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), peta dimaknai sebagai suatu gambar atau lukisan pada bidang kertas yang menggambarkan lokasi tanah, laut, sungai, gunung, dan lain sebagainya (Buku Panduan Pemetaan Partisipatif, 2007).

Manfaat peta dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Mencatat Keadaan Setempat

Menggambarkan kondisi, kualitas dan kuantitas suatu lokasi, maka peta dapat berperan untuk menggambarkan situasi di suatu tempat.

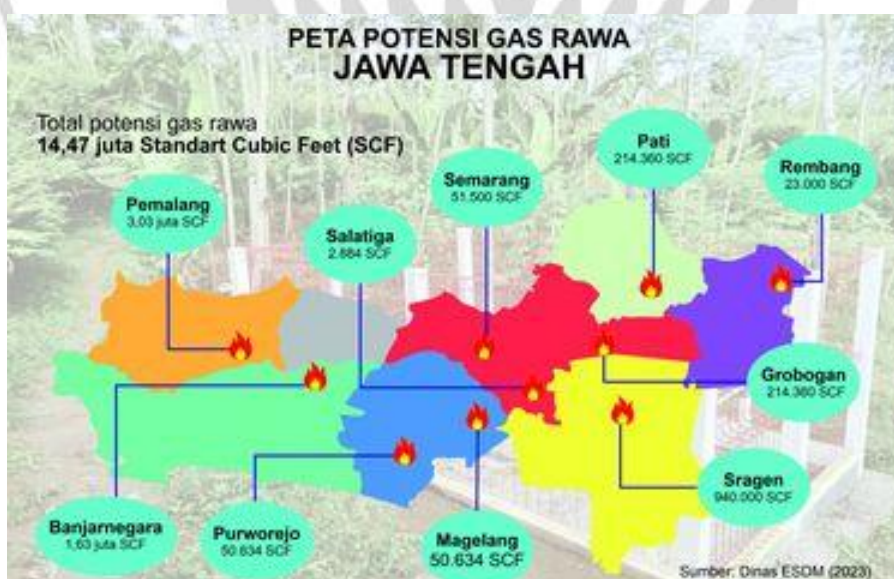
2. Perencanaan, Pengelolaan dan Pemanfaatan sumber daya alam.

Pengelolaan lahan yang berkelanjutan perlu tahapan perencanaan terlebih dahulu maka diperlukan gambaran melalui peta.

3. Alat Komunikasi Masyarakat Setempat dengan Pihak Luar

Peta dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi dan media komunikasi antara masyarakat dan pihak eksternal, yang bertujuan untuk menciptakan keselarasan atau kesamaan pandangan dalam berinteraksi.

Pemetaan potensi merupakan representasi dalam bidang datar yang memiliki skala dan keterangan terkait suatu potensi kekayaan atau melimpahnya sumber daya alam di suatu daerah seperti contoh Gambar 2.14 dibawah ini yang menggambarkan peta potensi sebaran gas rawa di Provinsi Jawa Tengah.



Gambar 2.14. Peta Potensi Sebaran Minyak dan Gas Bumi di Indonesia.

Gambar diatas merupakan contoh peta sebaran potensi gas rawa di masing-masing kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yang dicirikan dengan tiap warna yang berbeda di masing-masing area sebagai penciri terhadap batas wilayah kabupaten dengan jumlah besaran potensi masing-masing.

