

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan tentang dasar-dasar argumentasi ataupun teori yang digunakan dalam penelitian. Penelitian yang dilakukan memerlukan dasar-dasar argumentasi ataupun teori yang berhubungan dengan konsep yang dipakai untuk analisis dan diaplikasikan dalam masalah yang diteliti.

2.1 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian yang sebelumnya telah dilakukan mengenai pemetaan dengan menggunakan metode *Analysis Cluster* yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan *review* dari penelitian terdahulu:

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Objek Amatan	Metode	Hasil Penelitian
1.	Rivani (2010)	Pengelompokan Provinsi di Indonesia Berdasarkan Produksi Padi, Jagung, Kedelai, dan Kacang Hijau Tahun 2009	<i>Partition, k-means</i>	1. Dari penelitian ini didapatkan hasil sebagai berikut: - <i>Cluster 3</i> terdiri dari 3 Provinsi antara lain : Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Provinsi tersebut merupakan provinsi dengan jumlah produksi padi, jagung, kedelai, dan kacang hijau terbanyak atau dapat dikatakan provinsi pada <i>Cluster 3</i> merupakan daerah produksi tinggi. - <i>Cluster 2</i> terdapat 4 Provinsi antara lain : Sumatra Utara, Sumatra Selatan, Lampung dan Sulawesi Selatan. Keempat Provinsi tersebut merupakan daerah produksi menengah - <i>Cluster 1</i> terdapat 10 Provinsi antara lain : Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatra Barat, Riau, DKI Jakarta, DI Yogyakarta, dan Banten. Kesepuluh Provinsi tersebut merupakan daerah produksi rendah karena memproduksi padi, jagung, kedelai, dan kacang hijau dalam jumlah paling sedikit.
2	Syafrianto (2010)	Pengelompokan Mahasiswa Stmik Elrahma Yogyakarta	<i>Clustering, k-means</i>	Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa algoritma K-Means bisa digunakan untuk mengelompokkan mahasiswa berdasarkan IPK dan frekuensi berkunjung ke perpustakaan dalam satu minggu. Dari data yang dilatih, didapatkan 3 kelompok yaitu:

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu (lanjutan)

No.	Penulis	Objek Amatan	Metode	Hasil Penelitian
2	Syafrianto (2010)	Pengelompokan Mahasiswa Stmik Elrahma Yogyakarta	Clustering, k-means	1. <i>Cluster</i> yang pertama memiliki pusat <i>Cluster</i> (1,48 ; 1,4) yang dapat diartikan bahwa kelompok pertama adalah mahasiswa dengan IPK 1,48 dan frekuensi berkunjung ke perpustakaan selama 1 minggu sebanyak 0-2 kali seminggu. 2. <i>Cluster</i> yang kedua memiliki pusat <i>Cluster</i> (3,35 ; 1,64) yang dapat diartikan bahwa kelompok kedua adalah mahasiswa dengan IPK 3,35 dan frekuensi berkunjung ke perpustakaan sebanyak 2-3 kali dalam satu minggu. 3. <i>Cluster</i> yang ketiga memiliki pusat <i>Cluster</i> (3,49 ; 3,5) yang dapat diartikan bahwa kelompok ketiga adalah mahasiswa dengan IPK 3,49 dan frekuensi berkunjung ke perpustakaan sebanyak 3-4 kali dalam satu minggu.
3	Sari (2015)	Mengelompokkan siswa kelas IV dan V SD Brawijaya Smart School Malang	Analisis Cluster	Penerapan analisis <i>Cluster</i> menggunakan algoritma <i>K-Means</i> pada rata-rata nilai UTS I, UTS II, UAS I, UAS II, Pre Test dan Post Test pelatihan permainan TAKTIKTAK siswa kelas IV dan V SD Brawijaya Smart School Malang dengan mengelompokkan menjadi 2 <i>Cluster</i> dari sejumlah 83 siswa disimpulkan bahwa: 1. Rata-rata nilai Post Test pelatihan permainan TAKTIKTAK siswa kelas 4C meningkat dari rata-rata nilai Pre Test pelatihan permainan TAKTIKTAK yang diberikan sebelum pelatihan dilakukan. Artinya pelatihan mampu meningkatkan akademik siswa. 2. Karakteristik <i>Cluster</i> 1 atau kelas VA adalah memiliki rata-rata nilai akademik yang tinggi sedangkan karakteristik <i>Cluster</i> 2 atau kelas VB dan VC adalah memiliki rata-rata nilai akademik lebih rendah dibandingkan <i>Cluster</i> 1 atau kelas VA.
4	Penelitian ini	Daerah Potensi Penghasil Biogas di Kabupaten Malang	Analisis Cluster	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daerah potensial penghasil biogas. Pengelompokan tersebut dapat menggunakan metode pengelompokan dengan algoritma <i>K-Means</i>. Dengan data yang sudah dikelompokkan menggunakan algoritma <i>K-Means</i>, diharapkan dapat mempermudah dalam mengelompokkan kecamatan-kecamatan mana saja yang berpotensi tinggi, sedang, dan rendah dalam menghasilkan biogas di wilayah Kabupaten Malang.

2.2 Pengertian Biogas

Biogas adalah bahan bakar gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya kotoran hewan dan kotoran manusia, limbah rumah tangga, atau degradasi anaerobik bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik. Metana dalam energi biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara, dan juga akan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Biogas tidak berbau dan tidak berwarna yang apabila dibakar, akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/m³ dengan efisiensi pembakaran 60% pada kompor gas konvensional. Gas metana (CH₄) termasuk gas yang menimbulkan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya fenomena pemanasan

global. Penguraian gas metana secara lokal dapat berperan positif dalam upaya mengatasi masalah global, terutama efek rumah kaca yang berakibat pada perubahan iklim global.

2.3 Karakteristik Biogas

Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana (CH_4) 50-70 %, gas karbon dioksida (CO_2) 30-40 %, hidrogen (H_2) 5-10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit. Biogas kira-kira memiliki berat 20% lebih ringan apabila dibandingkan dengan udara. Biogas memiliki suhu pembakaran antara 650-750° C. (Wahyuni, 2009). Komposisi gas yang terkandung di dalam biogas dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Komposisi Gas dalam Biogas

Komponen Gas	% Volume
Metana (CH_4)	55-77
Karbon dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0.3
Hidrogen (H_2)	1-5
Hidrogen sulfida (H_2S)	0-3
Oksigen (O_2)	0.1-0.5

Sumber: Fadli, 2013

Sifat-sifat komponen gas utama yang terkandung dalam biogas, dijelaskan sebagai berikut:

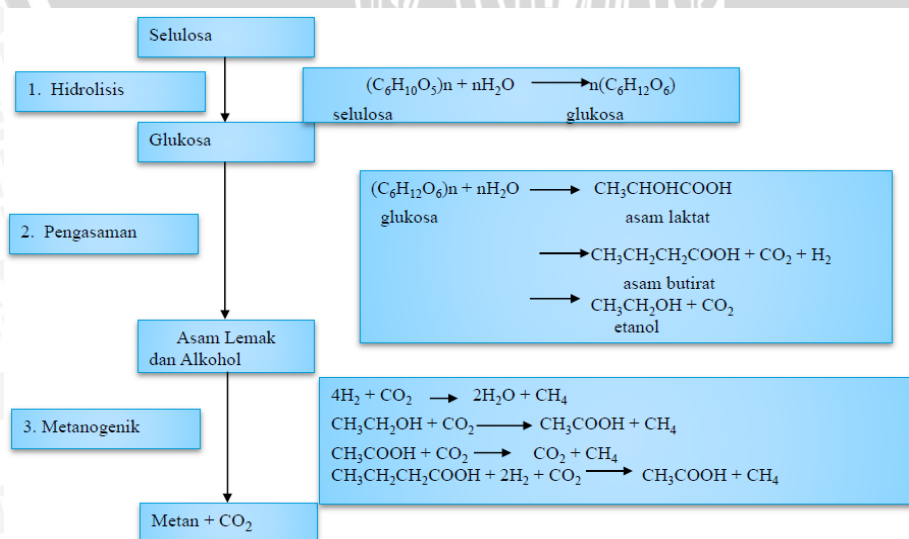
- Metana (CH_4) merupakan salah satu gas yang dipertimbangkan sebagai bahan bakar yang bermanfaat. Gas metana tersebut tidak beracun, tidak berbau, dan komposisinya lebih ringan dari udara. Pembakaran metana (CH_4) dikonversi menjadi molar ekivalen dari CO_2 dan air.
- Karbon dioksida (CO_2) merupakan gas *inert* yang tidak berwarna, tidak berbau, dan lebih berat dari udara. Karbon dioksida (CO_2) merupakan gas yang agak beracun, dan memiliki *occupational exposure standar* (OES) 5000 ppm. Konsentrasi CO_2 yang lebih tinggi didalam biogas menghasilkan biogas dengan nilai kalori yang rendah.
- Hidrogen sulfida atau H_2S merupakan suatu gas yang tidak berwarna. Karena lebih berat dari udara, hidrogen sulfida ekstra berbahaya pada tempat-tempat yang rendah. Pada konsentrasi yang rendah, gas hidrogen sulfida memiliki bau khusus seperti telur yang membusuk. Pada konsentrasi yang tinggi, akan lebih berbahaya karena tidak berbau. Dengan sifat racunnya, hidrogen sulfida memiliki *occupational exposure standar* (OES) 10 ppm. Selain itu hidrogen sulfida juga bersifat korosif yang dapat menyebabkan masalah dalam proses pembakaran dari biogas. Dalam pembakarannya H_2S akan dikonversi menjadi SO_2 yang juga beracun dan menyebabkan asidifikasi.

- d. NH_3 merupakan gas *pungent* dan *lachrymatory* yang lebih ringan dari udara. NH_3 memiliki *occupational exposure standar* (OES) sebesar 10 ppm.
- e. Meskipun uap air merupakan hasil yang tidak berbahaya, namun uap air akan menjadi korosif jika berkombinasi dengan NH_3 , CO_2 dan H_2S dari biogas.

Kandungan yang terdapat di dalam biogas didominasi oleh gas metan (CH_4) yang merupakan hasil sampingan dari proses degradasi bahan-bahan organik, seperti kotoran hewan ternak, kotoran manusia, dan berbagai sisa limbah buangan lainnya. Pemanfaatan kotoran ternak selain dapat menghasilkan biogas untuk dijadikan sebagai bahan bakar, juga dapat membantu melestarikan lingkungan, serta masyarakat dapat pula memanfaatkan kotoran ternak sebagai pupuk untuk tanaman.

2.4 Proses Pembentukan Biogas

Pada prinsipnya biogas terbentuk melalui beberapa proses yang berlangsung dalam ruang yang anaerob. Proses pembuatan biogas dilakukan dengan cara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu reaktor atau digester. Proses fermentasi memerlukan waktu 7 sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35°C dan pH optimum pada *range* 6,4 – 7,9. Seluruh proses pembentukan energi biogas tidak terlepas dari bantuan kinerja mikroorganisme anaerob. Bakteri pembentuk biogas yang digunakan seperti, *methanobacillus*, *methanobacterium*, *methanosarcina* dan *methanococcus* yang dapat mengubah asam-asam lemak menjadi biogas (Pricedan Cheremisinoff, 1981). Dalam gambar 2.1 diuraikan secara rinci tiga proses utama dalam pembentukan biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman dan metanogenik.



Gambar 2.1 Tahap pembentukan biogas

Berikut dijelaskan uraian dari masing-masing tahap dalam proses pembentukan energi alternatif biogas sebagai berikut ini:

a. Hidrolisis

Tahap hidrolisis merupakan tahap yang paling awal dari proses fermentasi. Tahap hidrolisis merupakan penguraian bahan-bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti protein, karbohidrat, dan lemak menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahap hidrolisis ini dapat juga diartikan sebagai tahap perubahan struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dapat dihasilkan dari tahap proses hidrolisis diantaranya adalah senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂ dan senyawa hidro karbon lainnya. Senyawa inilah yang nantinya akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi.

b. Pengasaman

Pada tahap pengasaman, senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahapan selanjutnya, yaitu proses pengasaman atau *asidogenic*. Pada tahap inilah nantinya bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti; asam propionat, asam asetat, asam butirat, asam laktat dan ditambah pula produk sampingan berupa alkohol, CO₂, hidrogen, dan zat ammonia.

c. Metanogenik

Pada tahap metanogenik, bakteri metanogenik membentuk gas metana secara anaerob atau tanpa bantuan oksigen. Bakteri-bakteri penghasil asam dan gas metan dapat bekerja secara simbiosis. Pada proses metanogenik berlangsung selama kurang lebih 14 hari dengan suhu antara 25° C hingga suhu 35° C di dalam bak penampungan digester. Bakteri metanogen seperti *methanobacillus*, *methanobacterium*, *methanosarcina* dan *methanococcus* akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi gas metan, karbon dioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas (Wahyuni, 2009).

2.5 Proses Pembuatan Biogas

Prinsip proses pembuatan biogas adalah dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan gas yang sebagian besar adalah berupa gas metan (gas yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbon, dan gas inilah yang disebut dengan biogas (Febriyanita, 2015). Dalam tabel 1.2 ditampilkan jumlah kotoran hewan yang dapat dihasilkan oleh hewan-hewan ternak dalam waktu 1 hari.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Wahyuni (2009), untuk 1 ekor sapi akan didapatkan kotoran padat sebanyak 25 kg/hari. Dari 25kg kotoran tersebut, apabila dikonversikan menjadi biogas akan dapat menghasilkan biogas kurang lebih 1 m³/hari. Dalam tabel 2.3 ditampilkan jumlah produksi biogas per kilogram kotoran dari masing-masing ternak sebagai berikut:

Tabel 2.3 Produksi Biogas per Kg Kotoran dari Masing-masing Ternak

Jenis Kotoran	Produksi Biogas per Kg kotoran (m ³)
Sapi atau kerbau	0,023 – 0,040 m ³
Babi	0,040 – 0,059 m ³
Ayam	0,065 – 0,116 m ³

Sumber: Wahyuni, 2009

Pembuatan instalasi teknologi biogas sangat bervariasi yang tersebar di berbagai negara termasuk di negara berkembang seperti Indonesia. Menurut (Wahyuni, 2009), dalam membangun instalasi biogas yang berskala rumah tangga, beberapa tahapan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi

Dalam menentukan lokasi yang akan dibangun teknologi biogas hendaknya tidak jauh dari sumber bahan baku. Hal ini dimaksudkan agar ketika bahan baku dibutuhkan, tidak terlalu lama dan repot untuk mencari bahan baku yang diperlukan. Sebagai gambaran, jika ingin membangun reaktor/digester dengan bahan organik dari kotoran ternak, sebaiknya digester ditempatkan di lokasi yang dekat dengan kandang hewan ternak. Bila memang memungkinkan, saluran pembuangan kotoran ternak dapat dihubungkan dengan saluran pemasukan (*inlet*) digester. Dengan demikian, diharapkan kotoran ternak dapat langsung disalurkan ke digester. Tidak menutup kemungkinan, instalasi biogas dapat dibangun jauh dari sumber bahan organik jika memang kondisi lokasi terlalu sempit. Tetapi, hal tersebut akan menimbulkan kendala pada penyedia bahan organik, yaitu perlunya pengangkutan bahan organik ke lokasi digester. Solusi yang bias diterapkan adalah dengan cara membangun bak penampungan. Selain pembangunan bak penampungan bahan organik, sebaiknya juga dibangun bak penampungan keluaran (*sludge*) dari digester. Untuk itu, luas ideal lahan yang baik untuk pembangunan instalasi digester biogas sekitar 18 m².

2. Bahan dan Alat

Sejumlah bahan dan alat yang dibutuhkan dalam membangun reaktor atau digester biogas adalah sebagai berikut:

- 1) Digester (tangki reaktor biogas) yang terbuat dari *fiberglass* dengan kapasitas sesuai bahan baku organik yang tersedia. Saat ini di pasaran sudah tersedia beberapa jenis digester berdasarkan kapasitasnya, misalnya 5 m^3 , $6,4\text{ m}^3$, dan 7 m^3
 - 2) Pipa paralon pvc ukuran $\frac{1}{2}$ inci sebanyak 5 batang
 - 3) Kne L ukuran $\frac{1}{2}$ inci sebanyak 6 buah
 - 4) Kne L drat sebanyak 2 buah
 - 5) Kran gas sebanyak 3 buah
 - 6) Klem paralon/selang sebanyak 12 buah
 - 7) Klem selang sebanyak 2
 - 8) Lem paralon 1 tube
 - 9) Selang gas khusus untuk mengalirkan gas ke kompor sekitar 2 m
 - 10) Alat kontrol *fiberglass*
 - 11) Kompor biogas portable siap pakai
 - 12) Semen beberapa sak, disesuaikan dengan kebutuhan, pasir dan batu bata
3. Membuat Lubang Digester

Pada dasarnya, digester biogas dapat dibangun dengan dua cara yaitu ditanam dalam tanah atau cukup di atas permukaan tanah. Tetapi, pada umumnya digester selama ini yang paling banyak digunakan yaitu ditanam dalam tanah. Hal ini dimaksudkan agar lebih mudah dalam pemasukan bahan baku organik ke dalam digester. Dengan demikian, bahan baku organik secara otomatis mengalir ke dalam digester karena posisi digester lebih rendah dari lubang pemasukan. Dalam pembuatan lubang pemasukan, sebaiknya memperhatikan luas dan kedalamannya. Sebagai contoh adalah sebagai berikut:

- 1) Jika kapasitas digester 5 m^3 , sebaiknya diameter lubang yang dibuat adalah 2,10 m dengan kedalaman 2 m.
 - 2) Jika kapasitas $6,4\text{ m}^3$, sebaiknya diameter lubang yang dibuat adalah 2,40 m dengan kedalaman 2 m
 - 3) Jika kapasitas 7 m^3 , sebaiknya diameter lubang yang dibuat adalah 2,40 m dengan kedalaman 2 m.
 - 4) Jika kapasitas 17 m^3 , sebaiknya diameter lubang yang dibuat adalah 3 m dengan kedalaman 2,50 m
4. Pembuatan Saluran Pemasukan (*Inlet*)

Inlet adalah saluran pemasukan bahan baku organik ke dalam digester. Saluran pemasukan (*inlet*) ini dibuat dengan lebar antara 20-30 cm. saluran ini dihubungkan dengan lubang pemasukan yang sudah ada pada digester biogas.

5. Saluran Pengeluaran (*outlet*) dan Bak Penampungan

Saluran pengeluaran atau biasa disebut *outlet* adalah saluran yang dapat menghubungkan lubang pengeluaran bahan organik yang sudah tidak mengandung biogas dari digester dengan bak penampungan.

6. Pemasangan/instalasi

Setelah dibuat saluran pemasukan (*inlet*) , saluran pengeluaran (*outlet*) dan juga bak penampungan, maka digester langsung dimasukkan ke dalam lubang. Caranya digester secara perlahan dimasukkan ke dalam lubang. Harus dipastikan bahwa posisi lubang *inlet* (pemasukan) dan *outlet* (pengeluaran) sudah dalam kondisi yang pas.

7. Pemasangan Pipa Saluran Gas

Jika digester sudah tertanam dengan baik maka langkah selanjutnya adalah pemasangan pipa saluran gas. Pipa saluran gas yang digunakan sebaiknya diusahakan terbuat dari polimer (seperti pipa pvc) ataupun selang pvc.

Untuk pembangunan biogas berskala kelompok dan berskala industri, secara teknik proses pembuatannya hampir sama dengan instalasi biogas berskala rumah tangga. Hanya pada biogas berskala kelompok dan skala industri harus diperhatikan dalam hal lokasi, kandang, jumlah ternak, dan kapasitas digester yang akan dipasang.

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

Banyak faktor yang akan mempengaruhi keberhasilan produksi biogas. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap produksi biogas sebagai berikut (Wahyuni, 2009), yaitu sebagai berikut:

1. Bahan baku

Bahan baku isian berupa bahan organik seperti kotoran hewan ternak, limbah pertanian, sisa dapur, dan sampah organik (mengandung unsur karbon dan hidrogen serta nitrogen). Unsur nitrogen sangat diperlukan oleh bakteri untuk pembentukan sel. Kadar air dalam kotoran hewan kira-kira 11-25%, maka perlu diencerkan dengan perbandingan 1:1. Yang akan menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam proses biogas misalnya logam berat (tembaga, kadmium, dan kromium), desinfektan, dan juga deterjen. Oleh karena itu air yang digunakan sebagai pencampur sebaiknya tidak mengandung bahan-bahan tersebut.

2. Rasio Perbandingan Karbon dan Nitrogen

Rasio C/N merupakan suatu besaran yang menyatakan perbandingan anatara jumlah atom karbon dibagi dengan jumlah atom nitrogen. Apabila nitrogen tidak tersedia dengan

cukup, maka akan membuat mikroba tidak dapat memproduksi enzim yang akan digunakan untuk mencerna karbon. Namun, apabila jumlah nitrogen terlalu banyak maka pertumbuhan mikroba tersebut akan terganggu. Kebutuhan atom-atom karbon selama respirasi pembentukan untuk setiap 1 atom nitrogen adalah sejumlah 30 atom karbon. Maka dari itu nilai C/N yang baik adalah sekitar 30.

Tabel 2.4 Rasio C/N dari Beberapa Bahan Organik

Bahan	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran kerbau atau sapi	24
Air <i>hyacinth</i> / eceng gondok	25
Kotoran gajah	43
Jerami jagung	60
Jerami padi	70
Jerami gandum	90
Serbuk gergaji	Di atas 200

Sumber: Wahyuni, 2009

3. Pengadukan

Pengadukan yang dilakukan bertujuan untuk menghomogenkan bahan baku pembuatan biogas. Pengadukan dilakukan sebelum bahan baku tersebut masuk ke dalam digester dan setelah berada di dalam digester. Selain untuk mencampur bahan, pengadukan dapat berfungsi untuk mencegah terjadinya pengendapan di dasar digester yang akan menghambat pembentukan biogas. Pengendapan terjadi jika bahan yang digunakan berasal dari kotoran kering. Setelah ditambahkan air sampai kekentalan yang diinginkan, pengadukan harus dilakukan agar kotoran tidak mengendap.

4. Temperatur

Proses pengubahan zat organik polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana di dalam digester dipengaruhi oleh faktor temperatur. Berdasarkan temperatur yang biasa pada pengoperasian reaktor, maka bakteri yang terdapat didalam reaktor dapat dibedakan atas dua golongan, yaitu: Termofilik yang hidup pada suhu antara 40–60° C, dan Mesofilik yang hidup pada suhu antara 25–40° C. Suhu optimum dalam membuat biogas yaitu 35° C. Ketika suhu udara turun hingga 10° C produksi gas akan terhenti. Produksi gas sangat bagus yaitu pada kisaran mesofilik, antara suhu 25° C dan 30° C.

5. *Loading Rate* / Laju Pembebanan

Laju pembebanan biasanya disebut dengan istilah *loading rate*. Laju pembebanan adalah besaran yang menyatakan jumlah material organik dalam satu satuan *volume* yang diumpankan pada reaktor. Bahan organik yang diumpankan dapat didegradasi oleh mikroba, kemudian diubah menjadi metana melalui proses biologis oleh mikroba-mikroba pengurai di dalam reaktor. Pembentukan produk asam asetat (asam lemak organik) akan mengakibatkan penurunan pH dan dapat menghambat produksi metan. *Loading rate* merupakan jumlah bahan pengisi yang harus dimasukkan ke dalam digester per unit kapasitas per hari. Agar proses fermentasi berlangsung secara optimal, maka diperlukan pengisian bahan organik yang *continue* setiap hari dengan memperhitungan waktu tinggal dan *volume* digester. Jumlah bahan pengisi yang terlalu banyak dapat mengganggu proses akumulasi asam dan produksi metana, sebaliknya bila terlalu sedikit maka produksi biogas akan menjadi rendah.

6. pH

pH yaitu besaran yang menyatakan banyaknya ion H^+ . Nilai pH ini dirumuskan sebagai $pH = -\log (H)$. Stabilitas proses fermentasi anaerobik sangat tergantung pada nilai pH didalam digester. pH yang rendah menunjukkan adanya kelebihan proton (H) di dalam reaktor sebab proton akan berubah menjadi H_2 yang merupakan senyawa dalam reaktor, pH yang baik untuk operasi adalah sekitar 6,0 – 7,5. Pengaturan pH sangatlah penting untuk menjaga pertumbuhan mikroba.

2.7 Manfaat Biogas

Manfaat energi biogas adalah menghasilkan gas metan sebagai pengganti bahan bakar khususnya minyak tanah dan dapat dipergunakan untuk memasak. Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik. Disamping itu, dari proses produksi biogas akan menghasilkan sisa kotoran ternak yang langsung bisa digunakan sebagai pupuk organik pada tanaman. Manfaat energi biogas yang lebih penting adalah mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian bahan bakar minyak yang tidak bisa diperbaharui. Menurut (Wahyuni, 2009) limbah biogas merupakan kotoran ternak yang telah hilang gasnya (*slurry*). *Slurry* merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman, nilai kalori dari $1 m^3$ biogas sekitar 6.000 watt/jam yang setara dengan setengah liter minyak diesel. Maka dari itu, biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), batubara, gas alam maupun bahan-bahan lain yang

berasal dari fosil. Biogas dapat digunakan dengan cara yang sama dengan gas-gas mudah terbakar lainnya. Dalam tabel 2.5 disajikan perbandingan biogas dengan bahan bakar lain yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.5 Perbandingan Biogas dengan Bahan Bakar Lain

Keterangan	Bahan Bakar Lain
1 m ³ Biogas	Elpiji 0,46 kg
	Minyak tanah 0,62 liter
	Minyak Solar 0,52 liter
	Bensin 0,80 liter
	Gas Kota 1,50 m ³
	Kayu Bakar 0,50 kg

Sumber: Wahyuni, 2009

Teknologi biogas yang semakin praktis dapat meningkatkan potensi penggunaan biogas sebagai sumber energi alternatif terbarukan (Wahyuni, 2009). Kini teknologi biogas mulai dikembangkan untuk dijadikan energi alternatif pengganti bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari sumber energi fosil. Kesadaran masyarakat akan pemenuhan sumber energi yang berkelanjutan menjadikan biogas sebagai pilihan yang tepat karena sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui, terutama bagi masyarakat di daerah pedesaan. Pasalnya, masyarakat pedesaan umumnya memiliki ternak yang dapat dimanfaatkan limbah kotorannya untuk bahan baku utama pembuatan biogas, sehingga dapat mengurangi polusi lingkungan dan dapat menghemat laju pengeluaran rumah tangga.

Energi biogas sangat potensial untuk dikembangkan. Beberapa alasannya (Said, 2007) adalah:

1. Produksi biogas dari kotoran peternakan sapi ditunjang oleh kondisi yang kondusif perkembangan peternakan sapi di Indonesia akhir-akhir ini.
2. Regulasi dibidang energi seperti kenaikan tarif listrik, kenaikan harga LPG (*liquefied petroleum gas*), premium, minyak solar, minyak diesel dan minyak bakar telah mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.
3. Kenaikan harga dan kelangkaan pupuk organik di pasaran karena distribusi pemasaran yang kurang baik menyebabkan petani berpaling pada penggunaan pupuk organik.
4. Mengurangi efek gas rumah kaca, mengurangi bau yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit.
5. Menerapkan konsep pertanian *zero waste* yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2.7.1 Hubungan Antara Biogas dengan Lingkungan Hidup

Biogas mempunyai keunggulan dibandingkan dengan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang berasal dari energi fosil. Sifatnya yang praktis, ramah lingkungan, dan dapat diperbaharui merupakan keunggulan dari biogas. Bahan bakar fosil yang selama ini digunakan menjadi penyebab dari pemanasan global. Bahan bakar fosil yang pembakarannya tidak sempurna dapat menyebabkan gas karbon dioksida (CO_2) naik ke permukaan bumi. Hal tersebut yang dapat menyebabkan tingginya suhu di atas permukaan bumi seperti yang terjadi pada saat ini.

Menurut (Sastrosupeno, 1984), mengemukakan bahwa lingkungan hidup adalah apa saja yang mempunyai kaitan kehidupan pada umumnya dan kehidupan manusia pada khususnya. Pencemaran lingkungan hidup tidak hanya dalam bentuk pencemaran fisik seperti pencemaran udara, pencemaran air, pencemaran tanah tetapi juga pencemaran lingkungan sosial yang seringkali menimbulkan keresahan social (Haeruman, 1978).

2.8 Reaktor Biogas

Untuk memproduksi biogas, diperlukan suatu reaktor atau yang biasa dikenal dengan sebutan digester. Reaktor atau digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob menjadi gas metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Digester harus dirancang dengan baik agar proses fermentasi anaerob dapat berjalan sesuai dengan mestinya.

2.8.1 Jenis-Jenis Reaktor Biogas

Ada beberapa jenis reaktor biogas yang sudah mulai dikembangkan di berbagai daerah diantaranya adalah reaktor kubah tetap (*fixed-dome*), reaktor terapung (*floating drum*), reaktor balon, dan reaktor *fiberglass*. Jenis reaktor atau digester yang akan dipilih nantinya didasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang terpenting adalah apapun jenis reaktor yang dipilih nantinya, tujuan utama dibangun reaktor adalah mengurangi emisi gas metan (CH_4) yang dihasilkan pada dekomposisi bahan-bahan organik yang dihasilkan dari sektor peternakan (Wahyuni, 2009). Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi:

1. Reaktor Tipe Kubah Tetap (*Fixed-dome*)

Reaktor ini disebut juga dengan istilah reaktor china. Reaktor tersebut dinamakan demikian karena reaktor ini dibuat pertama kali di China tahun 1930 an, kemudian sejak saat itu reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Pada reaktor tipe kubah tetap

memiliki dua bagian yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah untuk bakteri, baik bakteri pembentuk asam maupun bakteri pembentuk gas metana. Strukturnya harus kuat karena harus menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian yang kedua adalah kubah tetap (*fixed-dome*).

Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Keuntungan dari reaktor ini adalah biaya konstruksinya lebih murah daripada menggunakan reaktor tipe terapung, karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya pun lebih mudah. Sedangkan kerugian dari tipe reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya.

2. Reaktor Tipe *Floating Drum*

Reaktor jenis *floating drum* atau tipe terapung pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 sehingga dikenal dengan reaktor India. Reaktor ini memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak menggunakan drum. Drum ini dapat bergerak naik dan turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam digester.

Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung *volume* gas yang tersimpan dalam drum. Karena tempat penyimpanan yang terapung sehingga tekanan gas bersifat konstan. Sedangkan kerugian reaktor ini adalah biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. Faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan menggunakan tipe *fixed-dome*.

3. Reaktor Tipe Balon

Reaktor tipe balon merupakan jenis reaktor yang paling banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Jenis reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester. Material organik terletak dibagian bawah, karena material organik tersebut memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas. Kelemahan reaktor tipe ini adalah mudah bocor, tetapi kelebihanannya adalah harganya lebih murah.

4. Reaktor Tipe *Fiberglass*

Reaktor dari bahan *fiberglass* merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga dan skala industri. Reaktor ini menggunakan bahan *fiberglass* sehingga akan lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor dari bahan

fiberglass ini sangat efisien karena kedap, ringan, dan kuat. Jika terjadi kebocoran, mudah diperbaiki atau dibentuk kembali seperti semula. Reaktor dapat dipindahkan sewaktu waktu jika peternak sudah tidak menggunakannya lagi

2.8.2 Komponen Utama Reaktor Biogas

Komponen-komponen pada digester cukup banyak dan bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat digester tergantung dari jenis digester yang nantinya akan digunakan dan tujuan pembangunan digester. Secara umum komponen digester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut:

1. Saluran masuk (*slurry*) bahan organik
Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran bahan organik dan air) kedalam reaktor utama biogas. Tujuan pencampuran tersebut adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan untuk mengalirkan bahan baku dan menghindari endapan pada saluran masuk.
2. Ruang *digestion* (Ruang fermentasi)
Ruang *digestion* berfungsi sebagai tempat terjadinya fermentasi anaerobik dan dibuat kedap udara.
3. Saluran keluar residu (*Sludge*)
Fungsi saluran *sludge* adalah untuk mengeluarkan kotoran yang telah mengalami fermentasi anaerobik oleh bakteri. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* masukan yang pertama. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.
4. Tangki penyimpanan biogas
Tujuan dari dibuatnya tangki penyimpan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik. Jenis tangki penyimpan biogas ada dua macam, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan unit reaktor (*floatated dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat secara khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang dihasilkan dalam tangki seragam.

2.8.3 Komponen Pendukung Digester

Selain empat komponen utama reaktor biogas, pada sebuah digester perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah sebagai berikut:

1. Katup Pengaman Tekanan (*control valve*)

Fungsi dari katup pengaman tekanan adalah sebagai pengaman digester dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogas lebih tinggi dari tekanan yang diperbolehkan, maka biogas akan dibuang keluar. Selanjutnya tekanan dalam digester akan menurun kembali. Semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah pula produksi biogas di dalam digester, terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi.

2. Sistem Pengaduk

Pada digester yang berukuran besar, sistem pengaduk menjadi sangat penting. Tujuan dari proses pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar digester. Proses pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan organik yang berada di dalam digester. Dengan pengadukan, potensi material yang mengendap di dasar digester semakin kecil. Selain itu, dengan proses pengadukan yang dilakukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju ke bagian penampung biogas.

3. Saluran biogas

Tujuan dari dibuatnya saluran biogas adalah untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan dari digester. Bahan untuk saluran gas disarankan terbuat dari polimer untuk menghindari korosi.

2.9 Analisis Ekonomi Penggunaan Biogas

Pada dasarnya suatu teknologi dapat membawa kesejahteraan bagi manusia yang menggunakannya, tetapi dapat pula membawa bencana apabila tidak dikaji sejak awal tentang hal merugikan yang mungkin terjadi di masa yang datang.

Produksi biogas dari limbah kotoran ternak dimaksudkan untuk mendapatkan nilai tambah dari pemanfaatan pupuk kandang sebagai salah satu alternatif bahan bakar yang murah. Penanganan limbah dengan sistem fermentasi anaerobic menggunakan reaktor biogas memiliki beberapa keuntungan yaitu dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, mengurangi bau yang tidak sedap, mencegah penyebaran bibit penyakit, menghasilkan pupuk organik. Pemanfaatan limbah dengan cara seperti ini secara ekonomi sangat kompetitif seiring naiknya harga bahan bakar minyak dan pupuk anorganik.

Menurut (Elizabeth, 2009), secara sederhana efisiensi dan nilai ekonomis dari penggunaan biogas sebagai pengganti bahan bakar gas yang umum digunakan adalah misalnya bila satu tabung gas alam (LPG) berisi bersih (*netto*) 12kg dengan harga jual

(HET) sekitar Rp.75.000.- hingga Rp.90.000.- yang dapat digunakan selama satu bulan oleh satu keluarga maka biaya yang dikeluarkan per hari adalah sekitar Rp.2.500.- hingga Rp.3.000.-. Bila bahan bakar yang dipergunakan adalah minyak tanah sebanyak 1 sampai 2 liter per hari dengan harga Rp.9.000.- per liter, maka akan menghemat sekitar Rp.15.000.- hingga Rp.15.500.- per hari. Selain itu, terdapat keuntungan besar dari proses pembuatan biogas, karena limbah buangnya dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk menyuburkan tanaman pertanian. Pada tabel 2.6 ditampilkan analisa biaya pembuatan teknologi biogas.

Tabel 2.6 Analisa Biaya Pembuatan Teknologi Biogas.

Alat dan Bahan	Ukuran	Jumlah	Harga
Digester	7 m ³	1 unit	Rp. 24.950.000,00
Pipa paralon PVC	0.5 inch	5 batang	Rp. 35.000,00
Kne L	0.5 inch	6 unit	Rp. 7.440,00
Kne drat	0.5 inch	2 unit	Rp. 1.660,00
Kran gas	0.5 inch	3 unit	Rp. 49.500,00
Klem selang	0.5 inch	2 unit	Rp. 4.000,00
Klem paralon	0.5 inch	12 unit	Rp. 26.400,00
Lem paralon	-	1 tube	Rp. 10.000,00
Selang gas PGI	0.5 inch	12 meter	Rp. 548.400,00
Alat kontrol <i>fiberglass</i>	-	1 unit	Rp. 95.000,00
Kompur biogas	-	1 unit	Rp. 200.000,00
Semen	-	38,72 kilogram	Rp. 60.016,00
Pasir	-	0,18 m ³	Rp. 24.300,00
Bata merah	-	280 unit	Rp. 231.000,00
Total			Rp. 26.242.716,00

Sumber : Wahyuni, 2009

Bila biogas yang terbentuk telah digunakan, maka akan tersisa limbah buangan berupa pupuk organik yang sangat kaya akan unsur hara. Jika dipergunakan sendiri, sisa pengolahan dari limbah biogas dapat disebar ke seluruh area pertanaman yang dapat menyuburkan tanaman. Dengan adanya pembuatan bahan bakar biogas, maka para petani dapat merasakan berkurangnya pengeluaran untuk biaya bahan bakar minyak (minyak tanah, arang, kayu bakar, dan gas komersial dipasaran) yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari. (Elizabeth, 2009)

2.10 Hukum-Hukum Gas Ideal

Dalam gas, terdapat beberapa persamaan matematis yang berlaku. Persamaan ini dapat ditentukan berdasarkan serangkaian percobaan ilmiah sehingga dinyatakan sebagai hukum gas. Berikut ini dijelaskan beberapa hukum gas yang perlu diketahui:

1. Hukum Boyle mengenai gas

Hukum Boyle dikemukakan oleh fisikawan Inggris yang bernama Robert Boyle. Hasil percobaan yang dilakukan oleh Boyle menyatakan bahwa apabila suhu gas yang berada dalam bejana tertutup dipertahankan secara konstan, maka tekanan gas berbanding terbalik dengan *volumenya*.

2. Hukum Charles

Hukum Charles dikemukakan oleh fisikawan Prancis bernama Jacques Charles. Hasil percobaan yang dilakukan oleh Charles menyatakan bahwa jika tekanan gas yang berada dalam bejana tertutup dipertahankan konstan, maka *volume* gas sebanding dengan suhu mutlaknya.

3. Hukum Gay Lussac

Hukum Gay Lussac dikemukakan oleh kimiawan Perancis bernama Joseph Gay Lussac. Hasil percobaan yang dilakukan oleh Gay Lussac menyatakan bahwa jika *volume* gas yang berada dalam bejana tertutup dipertahankan konstan, maka tekanan gas sebanding dengan suhu mutlaknya.

Hukum Gas ideal merupakan persamaan keadaan untuk gas, dimana kondisi gas pada waktu tertentu dideskripsikan oleh persamaan matematis. Hukum gas ideal merupakan persamaan empiris yang telah diuji untuk beberapa gas. Hukum gas ideal juga dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan terutama mengenai sifat gas. *Volume* molar gas bergantung pada suhu dan tekanan. Beberapa keadaan suhu dan tekanan yang biasa dijadikan acuan penentuan *volume* gas sebagai berikut:

1. Gas pada keadaan standar

Pengukuran kuantitas gas tergantung pada suhu dan tekanan gas. Jika gas diukur pada keadaan standar, maka *volume* nya disebut *volume* molar. *Volume* molar adalah *volume* 1 mol gas yang diukur pada keadaan standar. Keadaan standar yaitu keadaan pada suhu 0° C (atau 273 K) dan tekanan 1 atmosfer (atau 76 cmHg atau 760 mmHg) atau disingkat STP (*Standard Temperature and Pressure*). Besarnya *volume* molar gas dapat ditentukan dengan persamaan gas ideal yaitu: $PV = n.R.T$

Keterangan:

P = tekanan = 1 atm

n = mol = 1 mol gas

T = suhu dalam Kelvin = 273 K

R = tetapan gas = 0,082 liter atm/mol K

Maka:

$$PV = n.R.T$$

$$V = 1 \times 0,082 \times 273$$

$$V = 22,389$$

$$V = 22,4 \text{ liter}$$

Jadi, *volume* standar = $V_{STP} = 22,4 \text{ Liter/mol}$.

Dapat dirumuskan: $V = n \times V_m$

n = jumlah mol

$$V_m = V_{STP} = \text{volume molar}$$

4. Gas pada keadaan nonstandar

Jika *volume* gas diukur pada keadaan ATP (*Am-bient Temperature and Pressure*) atau lebih dikenal keadaan non-STP maka menggunakan rumus: $PV = n.R.T$

Diketahui:

P = tekanan, satuan P adalah atmosfer (atm)

V = *volume*, satuan V adalah liter

n = mol, satuan n adalah mol

R = tetapan gas = $0,082 \text{ liter atm/mol K}$

T = suhu, satuan T adalah Kelvin (K)

2.11 Analisa Multivariat

Analisa multivariat merupakan analisis yang meneliti masalah yang bersifat multidimensional dan menggunakan tiga atau lebih variabel. Analisa multivariat terdiri dari kumpulan metode yang dapat digunakan untuk beberapa pengukuran yang dilakukan pada setiap individu atau objek dalam satu atau lebih sampel (Rencher, 2002).

Analisa multivariat dibagi menjadi dua kategori utama. Berikut adalah dua kategori utama dari analisis multivariat:

1. *Dependence Method*

Dependence method digunakan apabila tujuan dari analisis adalah menjelaskan atau memprediksi variabel terikat berdasarkan dua atau lebih variabel bebas.

Metode ini terdiri atas empat jenis yaitu:

- Analisis Diskriminan Berganda (*Multiple Discriminant Analysis*)
- Analisis Korelasi Kanonikal (*Canonical Correlations Analysis*)
- Analisis Multivariat Varians (*Multivariate Analysis Of Variance*)
- Analisis Regresi Berganda (*Multiple Regression Analysis*)

2. *Independence Method*

Independence method digunakan untuk menjelaskan seperangkat variabel atau pengelompokkan berdasarkan variabel-variabel tertentu. Metode ini terdiri atas tiga jenis yaitu:

- a. Analisis *Cluster* (*Cluster Analysis*)
- b. Analisis Faktor (*Factor Analysis*)
- c. Skala Multidimensional (*Multidimensional Scalling*)

2.12 Analisa *Cluster*

Analisa *cluster* merupakan metode pengelompokan multivariat (variabel banyak) dengan tujuan utama yaitu mengelompokkan objek atau subjek berdasarkan karakteristik yang dimiliki (Hair et al, 2010). Sedangkan menurut (Rencher, 2002), dalam analisa *cluster* kita mencari pola dalam kumpulan data dengan mengelompokkan (*multivariate*) observasi ke dalam *cluster*. Tujuannya adalah untuk menemukan pengelompokan optimal dimana pengamatan atau objek dalam setiap *cluster* serupa, tetapi *cluster* berbeda satu dengan yang lain. Analisis *cluster* memiliki *homogenitas* (kesamaan) yang tinggi antara anggota dalam satu kelompok (*within cluster*) dan *heterogenitas* (perbedaan) yang tinggi antar kelompok satu dengan kelompok lain (*between cluster*).

Apabila pengelompokan sukses, individu-individu dalam kelompok akan menggerombol ketika diplot dan objek dalam kelompok lain akan terpisah jauh. Analisis *cluster* memiliki asumsi antar variabel saling bebas (tidak berkorelasi) dan minimal memiliki skala interval (Hair et al, 2010). Ciri dari sebuah *cluster* yang baik adalah yang memiliki kemiripan yang baik diantara masing-masing objek, namun sangat tidak mirip dengan anggota-anggota *cluster* yang lain.

Menurut Santoso, (2010) terdapat beberapa asumsi dalam analisa *cluster* yaitu :

1. Sampel yang diambil benar-benar mewakili populasi yang ada.
2. *Mutikolinearitas*, yaitu kemungkinan adanya korelasi antar objek, sebaiknya tidak terdapat *multikolinearitas*, adapun jika terdapat *multikolinearitas*, tingkat *multikolinearitas*nya tidak lebih dari 0,5. Jika lebih dari nilai tersebut dianjurkan untuk menghilangkan satu atau lebih variabel terkait.

2.5 Metode Analisis *Cluster*

Metode *Clustering* adalah metode bertujuan untuk mengelompokkan data observasi ataupun variabel-variabel ke dalam kelompok sedemikian rupa sehingga masing-masing

kelompok bersifat homogen sesuai dengan faktor yang digunakan untuk melakukan pengelompokkan. Dasar untuk melakukan pengelompokkan agar kelompok memiliki sifat sehomogen mungkin adalah kesamaan skor nilai yang dianalisis (Gudono, 2014). Ada dua jenis data *clustering* yang sering dipergunakan dalam proses pengelompokan data yaitu metode hirarki (*hierarchical clustering*) dan metode non-hirarki (*partitionial clustering*).

2.5.1 Metode Hierarki

Metode hierarki merupakan teknik pengelompokan untuk membentuk konstruksi hierarki atau berdasarkan tingkatan tertentu yang terbentuk seperti struktur pohon. Proses pengelompokan dengan metode hierarki ini dilakukan secara bertingkat atau bertahap. Tipe dasar dalam metode hierarki ini adalah aglomerasi dan pemecahan. Dalam metode aglomerasi tiap observasi pada mulanya dianggap sebagai *cluster* tersendiri sehingga terdapat *cluster* sebanyak jumlah observasi. Kemudian dua *cluster* yang terdekat kesamaannya digabung menjadi suatu *cluster* baru, sehingga jumlah *cluster* berkurang satu pada tiap tahap. Sebaliknya pada metode pemecahan dimulai dari satu *cluster* besar yang mengandung seluruh observasi, selanjutnya observasi-observasi yang paling tidak sama dipisah dan dibentuk *cluster-cluster* yang lebih kecil. Proses ini dilakukan hingga tiap observasi menjadi *cluster* sendiri-sendiri. Keuntungan metode hierarki adalah cepat dalam proses pengolahan sehingga menghemat waktu, namun kelemahannya metode ini dapat menimbulkan kesalahan. Selain itu tidak baik diterapkan untuk menganalisis sampel dengan ukuran besar.

Ada lima metode aglomerasi dalam pembentukan *Cluster*, yaitu:

a. Metode Pautan Tunggal (*Single Linkage*)

Metode *single linkage* didasarkan pada jarak terpendek antar *cluster*. Metode ini mengelompokkan dua objek yang memiliki jarak terdekat terlebih dahulu, lalu menambahkan anggota sesuai jarak terdekat selanjutnya, dan seterusnya hingga proses pengelompokkan selesai. Metode ini dikenal pula dengan nama pendekatan tetangga terdekat.

b. Metode Pautan Lengkap (*Complete Linkage*)

Metode *complete linkage* disebut juga pendekatan tetangga terjauh. Dasarnya adalah jarak terpanjang antar *cluster*. Dalam metode ini seluruh objek dalam suatu *cluster* dikaitkan satu sama lain pada suatu jarak maksimum atau dengan kesamaan minimum.

c. Metode Pautan Rata-rata (*Average Linkage*)

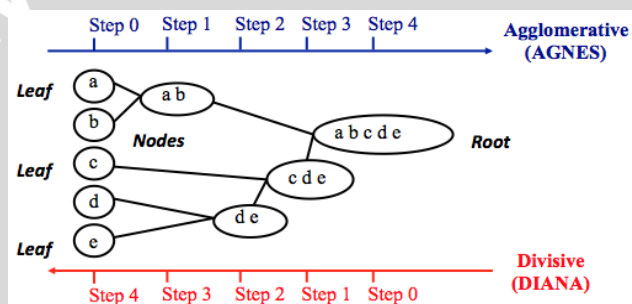
Metode *average linkage* dasarnya adalah jarak rata-rata antar observasi. pengelompokan dimulai dari tengah atau pasangan observasi dengan jarak paling mendekati jarak rata-rata.

d. Metode Ward (*Ward's Method*)

Dalam metode *ward's method*, terbentuk dengan mengelompokkan objek berdasarkan *sum of squares* diantara dua cluster tersebut. Metode ini cenderung digunakan untuk mengkombinasi *cluster-cluster* dengan jumlah kecil.

e. Metode Centroid (*Centroid Method*)

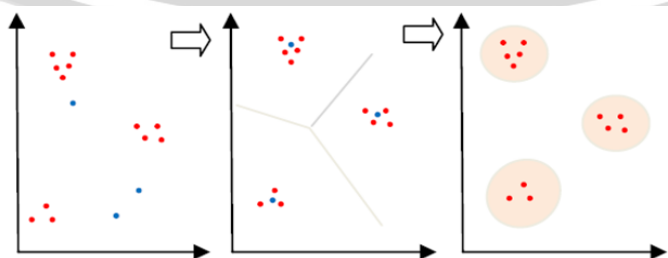
Jarak antara dua *cluster* adalah jarak antar *centroid cluster* tersebut. *Centroid* adalah rata-rata jarak yang ada pada sebuah cluster, yang didapat dengan melakukan rata-rata pada semua anggota suatu cluster tertentu.



Gambar 2.2 Hierarchical Clustering

2.5.2 Metode Non-Hierarki

Metode non-hierarki dimulai dengan menentukan terlebih dahulu jumlah kluster yang diinginkan (dua kluster atau lebih). Setelah jumlah kluster diketahui, baru proses kluster dilakukan tanpa mengikuti proses hierarki. Secara umum, metode non-hierarki ini memiliki fungsi tujuan yaitu meminimumkan jarak (*dissimilarity*) dari seluruh data ke pusat *cluster* masing-masing. Untuk menetapkan nilai kedekatan antara objek pada partitional clustering, digunakan jarak *euclidean*. Contoh metode non-hirarki (*partitional clustering*) adalah *K-Means*, *Fuzzy K-Means*, dan *Mixture Modelling*.



Gambar 2.3 Proses Clustering Objek Menggunakan Metode K-Means

2.5.2.1 K-Means Clustering

K-means mengelompokkan objek ke dalam k kelompok atau *cluster*. Untuk menentukan *clustering* ini, nilai k harus ditentukan terlebih dahulu. Biasanya *user* atau pemakai sudah mempunyai informasi awal tentang obyek yang sedang dipelajari. Secara detail digunakan ukuran ketidak miripan untuk mengelompokkan obyek. Ketidak miripan bisa diterjemahkan dalam konsep jarak. Jika jarak dua objek atau data titik cukup dekat, maka dua objek itu mirip. Semakin dekat berarti semakin tinggi kemiripannya (Santoso, 2007).

Menurut Gudono (2014), metode *K-Means* adalah teknik algoritma untuk mengelompokkan subjek penelitian menjadi K *cluster* dengan cara meminimalkan SS (*Sum of Square*) jarak dengan *centroid cluster*. Dalam metode *K-Means*, peneliti wajib mengetahui jumlah *cluster* terlebih dahulu. Masalah yang kemudian dipecahkan hanya menentukan subjek data tertentu menjadi anggota *cluster* yang mana. Dalam metode *K-Means* ditentukan dahulu jumlah *cluster*, anggota masing-masing *cluster* tebakan kita tersebut, dan nilai tengah (*centroid*) setiap *cluster*. Algoritma *K-Means clustering* dapat diringkas sebagai berikut:

1. Memilih jumlah *cluster* k .
2. Inisialisasi k pusat *cluster* ini bisa dilakukan dengan beberapa cara. Yang paling sering dilakukan adalah dengan cara random. Pusat-pusat *cluster* diberi nilai awal dengan angka-angka random.
3. Tempatkan setiap data atau objek ke *cluster* terdekat. Kedekatan dua objek ditentukan berdasarkan jarak kedua objek tersebut. Demikian juga dengan kedekatan satu data ke *cluster* tertentu ditentukan jarak antara data dengan pusat *cluster*. Dalam tahap ini perlu dihitung jarak tiap data ke tiap pusat *cluster*. Jarak paling dekat antara satu data dengan satu *cluster* tertentu akan menentukan suatu data masuk dalam *cluster* yang mana.
4. Menghitung kembali pusat *cluster* dengan keanggotaan *cluster* yang sekarang. Pusat *cluster* adalah rata-rata dari semua data atau objek dalam *cluster* tertentu. Jika dikehendaki bisa juga memakai median dari *cluster* tersebut.
5. Tugaskan lagi setiap objek dengan memakai pusat *cluster* yang baru. Jika pusat *cluster* sudah tidak berubah lagi, maka proses *clustering* selesai. Atau kembali lagi ke langkah nomor 3 sampai pusat *cluster* tidak berubah lagi