

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sampah dan Jenis jenisnya

Sampah adalah luaran dari suatu proses produksi baik yang berasal dari rumah tangga maupun industri. Undang-undang No 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, menjelaskan bahwa sampah adalah sisa kegiatan manusia sehari-hari atau proses alam yang berbentuk padat maupun semi padat berupa zat organik atau anorganik bersifat dapat terurai maupun tidak dapat terurai yang dianggap tidak berguna lagi dan dibuang ke lingkungan.

Ditinjau dari sumber sampahnya, maka dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. Sampah yang berasal dari pemukiman penduduk, biasanya sampah dihasilkan oleh sebuah keluarga yang tinggal di suatu bangunan, asrama, dan apartemen. Jenis sampah yang dihasilkan biasanya organik, seperti sisa makanan atau sampah yang bersifat kering, basah, abu plastik dan lainnya.
- b. Sampah dari perdagangan dan tempat-tempat umum adalah tempat yang dimungkinkan banyaknya orang berkumpul dan melakukan kegiatan. Tempat-tempat tersebut berpotensi yang cukup besar dalam memproduksi sampah termasuk tempat perdagangan seperti pasar dan pertokoan. Jenis sampah yang dihasilkan umumnya berupa sayuran, buah busuk, sisa-sisa makanan, kertas, kaleng-kaleng, plastik, abu, sampah kering, dan serta sampah lainnya.

Berdasarkan sumber atau asalnya, sampah padat digolongkan menjadi 2 (dua), sebagai berikut :

- a. Sampah anorganik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non hayati, baik berupa hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang maupun produk sintetik. Sampah anorganik dapat dibedakan menjadi sampah logam dan produk-produk olahannya, sampah detergen, keramik, sampah plastik, sampah kertas, dan sampah kaca. Sebagian besar anorganik tidak dapat diurai oleh alam mikroorganisme secara keseluruhan. Sementara, sebagian lainnya hanya dapat diuraikan dalam waktu yang lama. Sampah jenis ini pada tingkat rumah tangga misalnya kaleng, tas plastik, botol plastik, dan botol gelas.
- b. Sampah organik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan hayati yang dapat diurai oleh mikroba. Sampah ini dengan mudah dapat didegradasi melalui proses alami. Sampah rumah tangga sebagian besar adalah bahan organik. Termasuk sampah organik, misalnya tepung, sayuran, kulit buah, sampah dari dapur, sisa-sisa makanan, pembungkus (selain kertas, karet dan plastik), ranting dan daun. Disamping itu, pasar tradisional juga banyak menyumbangkan sampah organik seperti buah-buahan, sampah sayuran, dan lain-lain.

Berdasarkan hasil survei di Pasar Segiri, Samarinda yang dilakukan oleh Dwi Ermawati Rahayu dan Yudi Sukmono komposisi sampah pasar tradisional adalah sebagai berikut:

- a. Sampah Organik

Kegiatan rumah tangga menghasilkan sampah organik antara lain: sisa sayuran, sisa potongan ikan, kulit, daun-daunan, tulang, dan buah-buahan. Berdasarkan pengamatan jumlah total sampah organik adalah 88,26% dan didalamnya

termasuk sampah yang tidak mudah membusuk sebanyak 10%, seperti sisik ikan, sampah tulang, dan kulit.

b. Plastik

Plastik bening (*Polypropylene/PP*) pembungkus transparan, kemasan shampoo, sedotan, sampah gelas air mineral, plastik warna (*High Density Polypropylene/HDPE*) berupa kemasan detergen, kemasan makanan ringan, kemasan mie instan dan plastik sejenisnya yang bewarna, Plastik kresek (*Low Density Polypropylene/LDPE*) berupa plastik pembungkus yang berwarna putih susu dan hitam adalah merupakan jenis-jenis sampah plastik yang diperkirakan prosentase keseluruhannya sebesar 2,94%.

c. Logam

Besi, kaleng, dan kawat adalah merupakan jenis-jenis sampah logam sebagai hasil dari kegiatan kontruksi dan rumah tangga. Diperkirakan sampah logam dari jumlah total sampah adalah 0,3%.

d. Kaca

Cermin, pecahan bola lampu, botol-botol kaca dan kaca lainnya adalah merupakan jenis-jenis sampah kaca. Diperkirakan sampah kaca dari total sampah adalah 0,45%.

e. Kertas

Kardus yang digunakan untuk tempat barang, kertas koran, buku bekas dan kertas lain-lain adalah merupakan sampah kertas. Diperkirakan sampah kertas dari total sampah adalah 3,43%. Kardus biasanya dimanfaatkan Kembali oleh para pedagang maupun pembeli untuk tempat hasil belanjaan.

f. Kayu

Sayur dan buah-buahan ditempatkan dalam wadah kayu agar tidak rusak dan membusuk, kegiatan ini menghasilkan sampah kayu. Diperkirakan sampah kayu dari total sampah adalah 0,21%.

g. Kain

Sisa-sisa jahitan dari kegiatan para penjahit, pakaian bekas yang dibuang adalah merupakan sampah kain. Diperkirakan sampah kain dari total sampah adalah 2,79%.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, sampah yang dihasilkan dari kegiatan pasar sebagian besar merupakan sampah organik, diperkirakan jumlahnya sekitar 99,3% yang dapat dikelompokkan menjadi sampah organik mudah terurai yang jumlah sekitar 78,3% dari total sampah yang dihasilkan (Dwi Ermawati Rahayu dkk, 2013). Penelitian lainnya menjelaskan tentang timbunan sampah pasar di Kota Bukittinggi (Ruslinda, 2012) juga menunjukkan hal yang sejenis yaitu sebagian besar sampah organik (92%) yang didominasi oleh sampah makanan (51%).

Hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa komposisi persampahan Universitas Bhayangkara Jakarta yaitu 41,47% anorganik dan 58,53% organik. Untuk sampah anorganik, komposisi sampah yang dianggap berpotensi secara ekonomis terdiri dari 3 (tiga) jenis sampah dengan prosentase > 10% untuk bisa dimanfaatkan menjadi bahan kertas daur ulang dan bahan bakar sintetis (Reni Masrida, 2017). Penelitian lain menyebutkan komposisi sampah organik 94% di

Kota Padang lebih besar dibandingkan dengan sampah anorganik 6% (Nizwardi Azkha,2006).

2.2 Energi Terbarukan

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri di berbagai sektor ekonomi. Namun, pertumbuhan ini tidak sejalan dengan ketersediaan sumber energi. Saat ini, Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil, yang semakin menipis dan tidak dapat memenuhi kebutuhan energi. Untuk mengatasi kelangkaan energi dan mempertahankan ketahanan energi, sumber energi terbarukan yang melimpah menjadi harapan untuk menggantikan energi fosil yang semakin mahal (Aep Saepul Uyun, 2015).

Energi yang dapat diperbaharui (renewable energy) memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh energi yang tidak dapat diperbaharui (non-renewable energy). Energi tersebut tidak akan pernah habis selama siklus alam berlangsung, bersifat ramah lingkungan, dan mampu mengurangi polusi lingkungan. Di sisi lain, non-renewable energy akan habis jika terus digunakan dan dapat menyebabkan polusi. Meskipun demikian, kelebihanannya terletak pada kemampuan menghasilkan energi yang lebih besar dengan konsentrasi yang lebih rendah (Fikry Adzikri dkk, 2017).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, potensi sumber energi terbarukan di Indonesia sangat beragam, mencakup: (Imam Kholiq, 2015)

a. Energi Geothermal

Sebagai daerah yang mempunyai banyak gunung berapi, Indonesia memiliki cadangan besar untuk sumber energi geothermal. Total cadangan energi geothermal mencapai 19.658 MW, masing-masing sebesar 8.100 MW terdapat di Pulau Jawa, sebesar 4.885 MW di Pulau Sumatera, dan sisa cadangannya tersebar di Pulau Sulawesi dan pulau-pulau yang mempunyai gunung berapi lainnya. Saat ini, baru sekitar 803 MW dari potensi energi panas bumi tersebut yang telah dimanfaatkan.

b. Energi Air

Indonesia sebagai negara yang banyak mempunyai sungai dan bendungan mempunyai potensi cukup besar untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Disamping itu Indonesia mempunyai kondisi datarannya yang bergunung, berbukit, dan dilintasi oleh banyak sungai. Beberapa daerah juga memiliki danau atau waduk yang memiliki potensi sebagai sumber PLTA. PLTA merupakan teknologi yang terbukti efektif, ramah lingkungan, mendukung diversifikasi energi melalui pemanfaatan sumber energi terbarukan, serta mendukung upaya pengurangan penggunaan bahan bakar minyak. Potensi total PLTA di Indonesia mencapai 74.98 MW, di mana 70.78 MW terdapat di Pulau-pulau luar Jawa. Namun, dari jumlah tersebut baru dimanfaatkan sekitar 3.105,8 MW, pada umumnya terdapat di dalam Pulau Jawa.

c. Energi Tumbuhan (Bio Energi)

1. Alkohol.

Kebijakan Perencanaan Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan menyatakan bahwa produksi alkohol khususnya etanol yang berasal dari bahan baku tetes tebu berada pada kisaran 35-42 juta liter/tahun, sebagai mana dilaporkan pada tahun 1995 oleh Kementerian Pertambangan dan Energi Republik Indonesia. Potensi tersebut diperkirakan naik menjadi 81 juta liter/tahun apabila sebagian besar etanol dibuat dari produksi tetes tebu. Kondisi terkini kebanyakan produksi tetes tebu Indonesia digunakan sebagai diolah untuk bahan energi selain etanol dan diekspor ke luar negeri.

2. Biodiesel

Indonesia mempunyai kebun kelapa sawit cukup besar dan terus berkembang, luas perkebunan tersebut mencapai sekitar 5,3 juta ha pada tahun 2004, yang diperkirakan menghasilkan sekitar 11 juta ton CPO/minyak kelapa sawit. Menurut perkiraan dalam kurun waktu 5 tahun mendatang luas perkebunan kelapa sawit tersebut semakin bertambah. Oleh karena itu, Indonesia diperkirakan menjadi menjadi penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia dengan produksi keseluruhan dapat mencapai 15 juta ton/tahun. Biodiesel sebagai bahan bakar alternatif untuk motor bakar jenis diesel merupakan salah satu produk turunan dari minyak kelapa sawit yang berpotensi cukup besar untuk dikembangkan di Indonesia. Mengingat kenaikan harga bahan bakar untuk berbagai jenis motor bakar saat ini, inisiatif pengembangan biodiesel di Indonesia menjadi semakin relevan, terutama untuk memenuhi kebutuhan

domestik maupun untuk menambah devisa negara melalui ekspor. Naik turunnya CPO sangat mempengaruhi harga dari biodiesel.

3. Biomassa

Indonesia adalah negara tropis yang mempunyai hutan dengan vegetasi yang beragam sehingga mempunyai potensi besar sumber energi primer dari biomassa. Energi listrik atau panas dapat diperoleh dari pengolahan biomassa dapat menggunakan teknologi yang sudah matang. Disamping itu, biomassa belum dimanfaatkan secara optimal seperti kayu, limbah biomassa yang berasal dari kegiatan pengolahan hasil hutan, perkebunan, dan pertanian. Biomassa yang berasal dari: limbah padi, limbah jagung, limbah ubi kayu, limbah kelapa, limbah kelapa sawit, dan limbah tebu mempunyai potensi lebih kecil dibandingkan dengan limbah biomassa padat dari sektor kehutanan, pertanian, dan perkebunan. Diperkirakan total biomassa padat yang dihasilkan di seluruh Indonesia mampu menghasilkan energi sebesar 49.807,4 MW. Menggunakan hasil pengembangan teknologi dalam pengembangan dan pelestarian tanaman, budidaya hutan tanaman energi menjadi salah satu alternatif yang memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan biomassa dalam jumlah besar dan berkesinambungan. Selain energi yang berasal dari biomassa, energi biogas dapat dihasilkan dari pengolahan sampah organik, kotoran hewan yang tersebar pada daerah peternakan di seluruh daerah tingkat satu dan kabupaten serta kota di Indonesia dengan kualitas dan kuantitas yang bervariasi.

d. Energi Samudra/Laut

Di Indonesia, potensi energi samudra/laut sangat besar karena Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari 17.000 pulau dan garis pantai sepanjang 81.000 km, terdiri dari laut dalam, laut dangkal, dan sekitar 9.000 pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau arus listrik Nasional, dan penduduknya hidup dari hasil laut. Dengan perkiraan potensi semacam itu, seluruh pantai di Indonesia dapat menghasilkan lebih dari 2 ~ 3 TerraWatt Ekivalensi listrik, diasumsikan 1% dari panjang pantai Indonesia (~ 800 km) dapat memasok minimal ~16 GWatt atau sama dengan pasokan seluruh listrik di Indonesia tahun 2005. Energi samudra ada empat macam, yaitu energi panas laut, energi pasang surut, energi gelombang, energi arus laut.

e. Sel Bahan Bakar ("*Fuel Cell*")

Gas hidrogen merupakan bahan bakar untuk proses pada fuel cell untuk menghasilkan energi listrik, limbahnya adalah air yang bisa diolah lagi dengan proses elektrolisis menjadi gas hidrogen. Gas hidrogen yang dihasilkan dari pengolahan bahan baku seperti metana, sumber air, dan unsur-unsur yang mengandung hidrogen memerlukan sistem pemurnian tambahan yang memerlukan biaya sehingga dapat meningkatkan biaya sistem pembangkit.

f. Angin

Secara umum, Indonesia tergolong sebagai negara dengan potensi angin yang rendah, mengingat bahwa kecepatan angin minimum ekonomis untuk pengembangan energi adalah 4 meter per detik. Beberapa daerah di wilayah Indonesia mempunyai sumber daya angin yang cukup baik sehingga layak

untuk dikembangkan sebagai pembangkit energi angin. Daerah-daerah yang dimaksud seperti Sulawesi Tenggara dan Selatan, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Bali (Nusa Penida) serta Pantai Selatan dan Utara Jawa, termasuk Karimun Jawa. Berdasarkan besar kecepatan angin maka pembangkit tenaga angin dapat dibedakan menjadi skala kecil, menengah, dan besar.

g. Surya

Radiasi matahari berdasarkan hasil pengamatan kualitas penyinaran matahari pada 18 lokasi di Indonesia, maka dapat dikelompokkan menjadi kawasan barat dan timur Indonesia sebagai berikut:

1. Radiasi surya Barat Indonesia = 4.5 kWh/m^2 setiap hari, diperkirakan variasi selama sebulan 10%.
2. Radiasi surya Timur Indonesia = 5.1 kWh/m^2 setiap hari, diperkirakan variasi selama sebulan 9%.
3. Rata-rata radiasi surya seluruh Indonesia = 4.8 kWh/m^2 setiap hari, diperkirakan variasi selama sebulan 9%.

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa radiasi surya wilayah Timur Indonesia memiliki lebih baik dibandingkan wilayah barat dan merata sepanjang tahun.

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa, berdasarkan lokasinya, pedesaan mempunyai sumber daya energi terbarukan yang cukup melimpah, seperti matahari, angin, air, dan biomassa yang dapat diproses menjadi energi listrik dan termal. Sumber energi ini pada gilirannya dapat digunakan untuk menggerakkan industri kecil seperti Pusat Pengolahan Kecil untuk kegiatan nilai tambah di desa-desa.

Industri semacam itu kemudian bisa menawarkan lebih banyak kesempatan kerja mencegah penduduknya meninggalkan desa (Kamaruddin Abdullah dkk, 2020).

Bahan organik seperti biomassa adalah keluaran proses fotosintesis, seperti jenis-jenis pohon, rerumputan, umbi-umbian, limbah pertanian dan hutan, dan jenis-jenis kotoran. Biomassa digunakan sebagai sumber energi, juga dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti kebutuhan makanan, makanan ternak, diolah menjadi minyak nabati, dan keperluan bahan bangunan. Produk primer biomassa diperoleh terlebih dahulu kemudian limbahnya yang mempunyai nilai ekonomis rendah digunakan sebagai bahan bakar. Kelebihan sumber energi biomassa antara lain bahan bakunya dapat diperbaharui dan tersedia secara terus menerus/berkesinambungan.

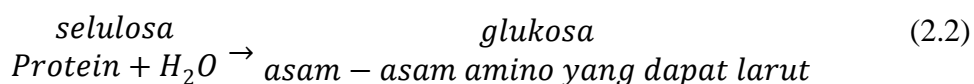
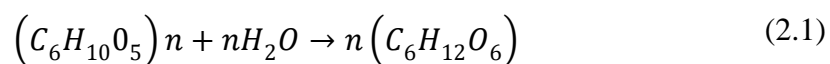
(Luthfi Parinduri dkk, 2020). Model pabrik metanol didasarkan pada gasifikasi biomassa tandan buah kosong kelapa sawit adalah contoh keputusan untuk mengganti bahan bakar fosil dengan sumber daya terbarukan, mengurangi dampak pemanasan global dan beralih dari ekonomi linier menuju ekonomi sirkular (R Heryadi dkk, 2019) Pada tahun 2019, Indonesia diperkirakan memproduksi sekitar 146.7 juta ton biomassa/tahun atau dapat menghasilkan energi sebesar 470 GJ/tahun. Sumber energi biomassa yang berlimpah di Indonesia menuntut upaya berkelanjutan dalam memproduksi dan memanfaatkannya untuk kesejahteraan masyarakat, dengan fokus pada prinsip pembangunan yang berkelanjutan (Syaiyuddin Y. dkk, 2022).

2.3 Biogas

Bahan organik yang diuraikan oleh bakteri fermentatif, bakteri asetogen, dan bakteri metanogen menghasilkan biogas sebagai sumber energi. Kandungan nilai energi biogas sebanding dengan bahan fosil, menjadikannya pilihan yang tepat sebagai alternatif bahan bakar pengganti LPG, dan bahan bakar fosil lainnya. Sebagai contoh, nilai kalori 1 m³ biogas sebanding dengan 0,6-0,8 liter minyak tanah. Dalam konteks pembangkit listrik, untuk menghasilkan 1 kWh diperlukan 0,62-1 m³ biogas, yang sebanding dengan 0,52 liter minyak solar. Bahan baku biogas biasanya berasal dari sumber non-fosil, terutama biomassa yang mempunyai kandungan organik tersedia banyak di Indonesia, seperti limbah yang berasal dari industri makanan (seperti ampas tahu) dan limbah peternakan (Wahyuni, 2009).

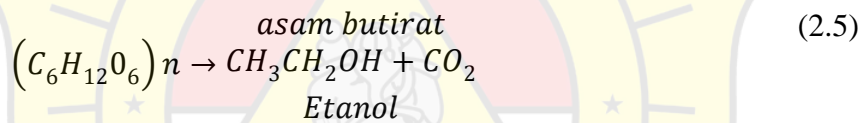
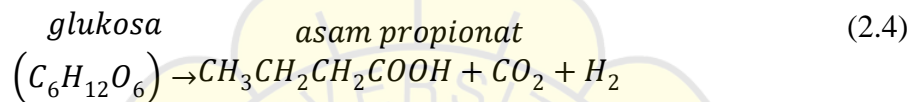
Proses peruraian anaerobik yang menghasilkan biogas dimulai dengan pemecahan molekul kompleks menjadi molekul sederhana yang diistilahkan sebagai hidrolisis. Selanjutnya, penguraian senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana dalam kondisi anaerobik yang disebut fermentasi. Pada tahap fermentasi ini, bahan organik seperti protein, karbohidrat, dan lipid diuraikan menjadi senyawa rantai pendek (Ritman dkk, 2001).

Reaksi hidrolisis (Verma, 2002):



Dalam fase acetogenesis, asam-asam organik yang mudah menguap dihasilkan oleh bakteri anaerob yang menguraikan komponen organik yang larut. Asam organik tersebut antara lain: asam butirat, asam asetat, asam format, asam propionat, dan asam lemak rantai pendek. Tahapan ini berlangsung pada temperatur sekitar 30°C dan pH antara 4-6 (Shuler dkk, 2002).

Reaksi asidogenesis (Verma, 2002):



Fase berikutnya adalah methanogenesis, dihasilkan CH₄, CO₂, dan H₂ dari asam asetat yang diuraikan bakteri metanogen. Dapat diketahui bahwa sebagian besar gas metana terbentuk dari asam asetat (sekitar 70%), sedangkan sisanya berasal dari asam format, metanol, CO₂, dan H₂ (Gaudy dkk, 1981).

Reaksi *metanogenesis* (Verma, 2002):



Starter mempunyai peran yang sangat penting didalam produksi biogas, disamping kondisi dari digester, karakteristik dari substrat, dan pertumbuhan organisme. Bakteri metana yang terkandung di dalam starter mempercepat reaksi pembentukan biogas. Jenis-jenis bakteri metana dalam starter antara lain: Methanobacterium, Methanobacillus, Methanosacaria, dan Methanococcus (Junus, 1987).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pH pada kotoran sapi harus stabil pada kisaran 5-6 yang diperlukan untuk proses aklimatisasi bakteri asetogenik, hal ini diperlukan untuk reaksi asetogenik. Proses asetogenik selama 2 minggu (pH awal 5,5) pada kotoran sapi yang menjadi bahan baku pembuatan biogas pada digester metanogenik. Proses metanogenik menghasilkan peningkatan komposisi gas metana (CH₄) dalam biogas dan volume biogas. Pada hari ke-20 terjadi komposisi tertinggi gas metana yaitu 74,8%, dengan volume produksi biogas tertinggi pada hari ke-22, mencapai laju 8,9 L/hari. Potensi energi tertinggi yang diperoleh adalah 217,7 kJ/hari (Purwinda I. dkk, 2017).

Berdasarkan hasil penelitian pengelolaan sampah organik pasar menjadi biogas diketahui bahwa pengaruh kadar air umpan dan rasio C/N. Sebagai contoh untuk mengolah sampah buah dan sayur menjadi biogas diperlukan kondisi optimum pada kisaran konsentrasi total solid (TS) 10-15% dan rasio C/N 20-30. Berdasarkan hasil ini direkomendasikan tentang jumlah penambahan air dan rasio C/N pada umpan bahan baku untuk skala industri (Zuliyana dkk, 2015).

Penelitian mengenai pemberian zeolit untuk menyerap CO₂ menunjukkan bahwa penambahan massa zeolit selama 60 menit berhasil menyerap CO₂ dengan

kadar terendah sebesar 4.26%. Ukuran butiran zeolit halus memberikan penyerapan CO₂ yang lebih baik dibandingkan dengan ukuran kasar, ditemukan bahwa kadar zeolit terendah adalah 4.19% (Denny W. dkk, 2014).

2.4 Digester Anaerobik

Pembuatan biogas merupakan hasil proses digestasi anaerobik. Digestasi anaerobik adalah proses biokimia tanpa oksigen yang menguraikan senyawa organik kompleks oleh berbagai jenis mikroba anaerobik. Proses digestasi anaerobik diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan kandungan *total solid* (TS) yaitu *liquid anaerobic digestion* (L-AD) dan *solid-state anaerobic digestion* (SS-AD) (Mirmohamadsadeghi *et al.*, 2014). *Liquid anaerobic digestion* (L-AD) digunakan pada kandungan *total solid* < 0,5-15%, sedangkan untuk bahan dengan kandungan *total solid* > 15% menggunakan proses *solid-state anaerobic digestion* (SSAD) (Zhu *et al.*, 2010). Penggunaan metode L-AD dengan TS 3,38% menghasilkan *yield* biogas paling banyak daripada menggunakan metode SSAD dengan TS 24,13 dan TS 17,67 maupun metode L-AD dengan TS 6,76%, dengan jumlah *yield* biogas untuk TS 3,38% pada hari ke-60 adalah sebanyak 369 ml/grTS (Fabiola N., 2017).

Pada dasarnya proses pencernaan anaerob berlangsung atas tiga tahap yaitu hidrolisis, pengasaman dan metanogenik. Proses fermentasi memerlukan kondisi tertentu seperti rasio C : N, temperatur, keasaman juga jenis digester yang dipergunakan. Kondisi optimum yaitu pada temperatur sekitar 32 - 35°C atau 50 - 55°C dan pH antara 6,8 - 8. Pada kondisi ini proses pencernaan mengubah bahan organik dengan adanya air menjadi energi gas. Biogas umumnya mengandung gas

metana (CI-14) sekitar 60 - 70% yang bila dibakar akan menghasilkan energi panas sekitar 1000 British Thermal Unit/ft³ atau 252 Kkal/0,028 m³ (Tuti H., 2006) .

Penelitian tentang pemilihan bahan menghasilkan bahwa pemilahan terhadap bahan non-organik dapat dilakukan pada tahap awal sebelum atau setelah proses *biodrying*. Pemilahan perlu dilakukan pada saat sebelum proses cacah dan peletisasi guna mencegah kerusakan pada mesin. Pelet biomassa yang merupakan hasil akhir memiliki diameter sekitar 10 mm dengan panjang antara 10-40 mm, nilai kalor bakar antara 3000-4000 kkal/kg, dan kadar air setingginya 15%. Dibandingkan dengan batu bara, maka pelet biomassa cenderung memiliki kadar zat terbang dan kadar abu yang lebih tinggi, sedangkan kadar abu dan kadar sulfur yang lebih rendah. Pemilahan terhadap bahan non-organik dapat dilakukan pada tahap awal sebelum atau setelah proses *biodrying*. Pemilahan perlu dilakukan pada saat sebelum proses cacah dan peletisasi guna mencegah kerusakan pada mesin. Pelet biomassa yang merupakan hasil akhir memiliki diameter sekitar 10 mm dengan panjang antara 10-40 mm, nilai kalor bakar antara 3000-4000 kkal/kg, dan kadar air setingginya 15%. Dibandingkan dengan batu bara, maka pelet biomassa cenderung memiliki kadar zat terbang dan kadar abu yang lebih tinggi, sedangkan kadar abu dan kadar sulfur yang lebih rendah (I Made I.M.B. dkk, 2021)

Hasil penelitian pengaruh gliserol mentah dengan campuran kotoran sapi dalam memproduksi biogas, menunjukkan lama waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi biogas adalah 14 hari. Volume biogas tertinggi adalah 836 mL, pada variasi penambahan gliserol mentah 12%. Gliserol mentah yang ditambahkan memiliki COD 475,2 mg/L, BOD 133,22 mg/L, TS 20% dan VS 14,8%.

Konsentrasi CH₄ tertinggi juga didapatkan dari variasi penambahan gliserol mentah 12% yaitu 44,1%. Sedangkan volume biogas terendah adalah 292 mL pada digester tanpa penambahan gliserol mentah. Konsentrasi CH₄ terendah didapatkan pada variasi penambahan gliserol mentah 8% yaitu 15,5%. Identifikasi bakteri yang berperan dalam proses produksi biogas berdasarkan uji biokimia dengan Bergey's manual adalah genus Bacillus. Bakteri ini berperan dalam proses pendegradasi bahan organik yang ada di dalam digester (Nelsy M.S.dkk, 2022).

Faktor penting lain yang mempengaruhi proses fermentasi untuk menghasilkan biogas dalam digester anaerob adalah suhu (Santosi dkk, 2010). Suhu berperan penting dalam mengatur jalannya reaksi metabolisme bagi bakteri. Jika suhu lingkungan lebih tinggi dari yang dapat ditoleransi, protein dan komponen sel esensial lainnya dapat menyebabkan kematian sel. Sebaliknya, jika suhu lingkungan berada di bawah batas toleransi, transportasi nutrisi terhambat dan proses kehidupan sel terhenti. Oleh karena itu, suhu memiliki pengaruh terhadap proses perombakan anaerob bahan organik dan produksi gas. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa produksi biogas dari digester kondisi termofilik lebih tinggi dibandingkan kondisi mesofilik dan tanpa pemanasan (Ardyanto D. dkk, 2012).

Hasil penelitian lainnya tentang kemampuan kinerja reaktor anaerobik tipe Fixed Bed berkapasitas 43 m³ menunjukkan kondisi maksimal reaktor terjadi pada hari ke-39 dengan jumlah umpan limbah sebanyak 7.700 liter/hari dan waktu tinggal selama 4,5 hari. Pengolahan limbah cair tahu memproduksi biogas maksimum hingga mencapai 35.16 Liter/hari dengan nilai metana rata-rata sebesar 65%. Dalam proses yang sama, pengolahan limbah cair tahu menghasilkan efisiensi

COD sebesar 87,7%, nilai pH effluent rata-rata 6,5, dan 0,51 liter gas metana dapat dihasilkan dari 1 g COD (Prasetyadi dkk, 2018).

Hasil evaluasi Hydraulic Retention Time (HRT) pada tahap batch pengolahan air lindi sampah kota, untuk mengevaluasi dampak penambahan larutan asam pada reaktor asidogenik terhadap metabolisme bakteri metanogenik, menunjukkan bahwa nilai pH memiliki pengaruh signifikan terhadap produktivitas bakteri metanogenik dalam reaktor asidogenik hingga hari ke-10. Hal ini termanifestasi dengan tidak terbentuknya biogas selama sepuluh hari pertama. Setelah melewati hari ke-10, bakteri metanogenik mampu berkembang, dan terjadi pembentukan biogas dalam reaktor asidogenik (Elli Prastyo et al., 2016).

Pengolahan bahan organik limbah eceng gondok dan kotoran ayam untuk menghasilkan biogas menghasilkan temuan bahwa efisiensi perombakan Chemical Oxygen Demand (COD) dan produksi maksimal biogas, Total Solid (TS), dan Volatile Solid (VS) tertinggi terjadi pada pengisian beban 110 kg/hari dengan Hydraulic Retention Time (HRT) 15 hari. Hasil tersebut mencapai volume biogas sebesar 492,7 liter/hari dengan rata-rata suhu 28,4 °C dan pH 7,5. Nilai masing-masing efisiensi perombakan COD, TS, dan VS maksimal mencapai 91,8%, 36,4%, dan 58,4%. (Inpurwanto, 2012).

2.5 Material Fiberglass

Fiberglass atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai kaca serat dan serat gelas merupakan kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan diameter sekitar 0,005 sampai dengan 0,01 mm. Serat ini selanjutnya dipintal menjadi benang atau ditenun menjadi kain kemudian diresapi dengan resin sehingga menjadi material

yang kuat dan tahan korosi. *Fiberglass* memiliki banyak kegunaan seperti dalam pembuatan perahu, mobil, tangki air, atap, perpipaan, pelapisan (*coating*), dan lain-lain. Pembuatan *fiberglass* tidak terlalu sulit. Bahan utamanya terdiri dari tiga bagian, yaitu serat, resin dan katalis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dan ketangguhan tertinggi dimiliki oleh material fiber dengan pola serat WR 400 dengan nilai 191 Newton dan 5,36 Joule. Nilai-nilai tersebut lebih tinggi dari yang dicapai oleh material plastik, yaitu 23 Newton untuk kekuatan tarik dan 0,64 Joule untuk ketangguhannya. Hal ini membuktikan bahwa *fiberglass* dengan pola serat seperti WR 400 mempunyai kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik dari plastic (Wendy T. N., 2015)

Dari penelitian tentang pengaruh jenis serat pada kekuatan komposit, diketahui bahwa komposit dengan serat fiberglass memiliki kekuatan tarik tertinggi, mencapai 17,31 MPa. Sementara komposit dengan serat High Density Polyethylene (HDPE) memiliki kekuatan tarik terendah, yaitu 11,36 MPa. Selain itu, komposit dengan serat Polyethylene Terephthalate (PET) menunjukkan regangan tertinggi, sebesar 1,87%. Hasil pengujian dan simulasi komputer mengindikasikan sifat getas ketiga komposit tersebut, terlihat dari grafik pengujian tarik dan pola patahan (Lodhy D., 2020).

2.6 Ukuran Gasholder dan Digester

Kapasitas gasholder mempertimbangkan jangka waktu pemakaian biogas dan produksi biogas dari peralatan digester serta jumlah potensi sampah yang dihasilkan setiap hari. Apabila ukuran tinggi gasholder dibuat sama dengan diameternya, sehingga diameter gasholder dapat dihitung sebagai berikut :

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times t, \text{ dimana } D=t \text{ sehingga} \quad (2.8)$$

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^3 \text{ atau } D = \sqrt[3]{\frac{V}{0,785}}$$

Keterangan:

V= Kapasitas gasholder

D= Diameter gasholder

t= Tinggi gasholder

Kapasitas Digester

Setelah menentukan ukuran digester baik atas maupun bawah, volume digester dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times t \quad (2.9)$$

Keterangan:

V= Kapasitas digester

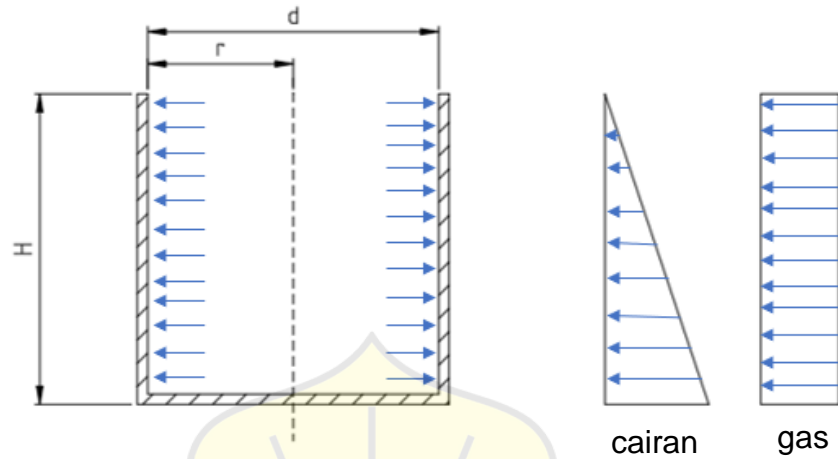
D= Diameter digester

t= Tinggi digester

2.7 Tebal Tangki Digester dan Gasholder

Perhitungan kekuatan tangki digester melibatkan tekanan interior akibat material pengisi yang bekerja pada dinding lengkung silindris, gaya pada material dinding fiberglass yang mengimbangi gaya-gaya interior. Tekanan interior mempunyai arah horisontal melingkar material pengisi digester adalah cairan, maka distribusi tekanan vertikal melawan dinding adalah segitiga, dengan nilai maksimum pada dasar dinding. Jika material pengisi gas akan mempunyai distribusi

tekanan horizontal konstan sepanjang tinggi dinding, seperti dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Distribusi tekanan pada dinding tangka akibat cairan dan gas

Dasar teori elastis cangkang silindris diaplikasikan untuk menganalisa dan mendesain dinding tangki, gaya cincin menyebabkan tahanan cincin di dalam dinding silindris, yang besarnya adalah sesuai dengan besarnya tekanan internal yang terjadi, seperti dipelihatkan pada gambar 2.2.

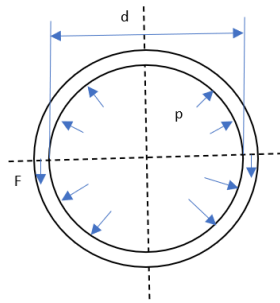
Beban internal berupa cairan dan kondisi dasar dinding bebas, maka akan mengakibatkan gaya cincin:

$$\text{Beban internal cairan } p = \gamma \cdot H \quad (2.10)$$

$$F = \frac{pd}{2} = pr \quad (2.11)$$

Tahanan tarik cincin yang terjadi di dalam dinding akibat gaya cincin:

$$F_r = \frac{F}{t} = \frac{pd}{2t} = \frac{pr}{t} \quad (2.12)$$



Gambar 2.2 Tegangan cincin dalam silindris

Tegangan tarik cincin di setiap titik bawah permukaan material pengisi tangki adalah:

$$F_r = \gamma(H - y) \frac{d}{2t} = \gamma(H - y) \frac{r}{t} \quad (2.13)$$

Sedangkan gaya cincinnya:

$$F = \gamma(h - y)r \quad (2.14)$$

Tegangan tarik cincin maksimum pada dasar dinding:

$$y = 0, \text{ maka } F_r(\text{max}) = \frac{\gamma Hd}{2t} = \frac{\gamma Hr}{t} \quad (2.15)$$

Tebal dinding bodi tangki digester berbasis gaya arah cincin,

$$t = (p \times d) / (2 \times F_r / F_1) \quad (2.16)$$

Keterangan:

d= Diameter silinder

r= Jari-jari silinder

t= Tebal dinding

p= Tekanan internal pada dinding dasar = γH

γ = Berat jenis material pengisi

H= Tinggi cairan pengisi

y= Jarak permukaan cairan dari dasar dinding

Fr=Kekuatan tarik arah cincin

F1= Faktor desain

Tangki digester menggunakan Glass Fiber Reinforced Plastic (GRFP) sebagai materialnya, yang memiliki sifat tahan korosi terhadap lingkungan sampah, ringan, tahan lama, dan kuat. Fiberglass ini juga memiliki ketahanan terhadap benturan, serta rasio kekuatan terhadap berat yang moderat. Analisis kekuatan struktur tangki digester dilakukan berdasarkan standar ASTM D3299.

2.8 Kebutuhan Air dan Stater

Kapasitas isi digester dirancang 60% dari volume digester dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V_1 = V \times 60\% \quad (2.17)$$

Keterangan

V_1 : Kapasitas Digester (m^3)

V : Volume Digester (m^3)

Kebutuhan jumlah air yang dimasukkan ke digester dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V_a = n_2 \times V_1 \quad (2.18)$$

Keterangan:

V_a : Kebutuhan Air (m^3)

n_2 : Perbandingan Air

V_1 : Kapasitas Digester (m^3)

Jumlah stater yang dibutuhkan dihitung rumus sebagai berikut:

$$V_a = n_3 \times V_1 \quad (2.19)$$

Keterangan:

V_a : Jumlah stater (m^3)

n_3 : Perbandingan Digester

V_1 : Kapasitas Digester (m^3)

Banyaknya air atau massa yang diperlukan untuk digester dihitung menggunakan rumus:

$$V_a = n_3 \times V_1 \quad (2.19)$$

Keterangan

M_a : Jumlah air (kg)

ρ : Berat Jenis air (kg/m^3)

V_a : Jumlah air (m^3)

Sedangkan jumlah starter yang diperlukan untuk digester dihitung dengan rumus:

$$M_s = \rho \times V_s \quad (2.20)$$

Keterangan

M_s : Massa starter (kg)

ρ : Berat Jenis starter (kg/m^3)

V_s : Jumlah starter (m^3)

2.9 Tekanan Biogas

Selama proses fermentasi di dalam digester berlangsung, maka akan terjadinya tekanan gas pada gas holder yang bisa dibaca pada permukaan air manometer. Pengolahan data untuk menghitung nilai tekanan biogas pada setiap harinya. Jadi perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_{abs} = P_{atm} + \rho_{H_2O} \times g \times \Delta h \quad (2.20)$$

Keterangan:

P_{abs} = Tekanan Absolut N/m^2

ρ_{H_2O} = Massa Jenis Air (kg/m^3)

Δh = Beda tinggi kolom zat cair (m)

g = Percepatan Gravitasi

2.10 Volume Perkembangan Biogas

Setelah mendapatkan hasil perhitungan tekanan biogas, maka dapat dihitung volume perkembangan biogas perhariannya. Maka perhitungannya sebagai berikut:

$$V_{gd} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \times V_{rg} \quad (2.21)$$

Keterangan:

V_{gd} : Volume Perkembangan gas (m^3)

P_1 : Tekanan Digester Awal (N/m^2)

P_2 : Tekanan Digester Akhir (N/m^2)

V_{rg} : Volume Ruang Gas (m^3)

2.11 Volume Biogas Pada Gasholder

Setelah mendapatkan hasil perhitungan volume perkembangan biogas, maka dapat dihitung volume biogas yang ada didalam gasholder pada setiap harinya.

Maka perhitungannya sebagai berikut:

$$V_{gd} = V_{g1} + V_{g2} \quad (2.22)$$

Keterangan:

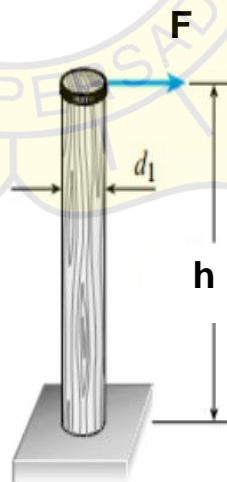
V_{gd} : Volume gas dalam Digester (m^3)

V_{g1} : Volume awal gas Digester (m^3)

V_{g2} : Volume akhir gas Digester (m^3)

2.12 Perhitungan Akibat Beban Angin

Perhitungan kekuatan konstruksi peralatan biogas akibat adanya beban angin menggunakan perhitungan momen lentur, seperti terlihat pada gambar 2.3. Beban maksimal angin diasumsikan berada di puncak tangki digester (F), beban angin mempertimbangkan luas objek dan tekanan angin.



Gambar 2.3 Beban angin

Momen maksimum:

$$M_{maks} = F \cdot h \quad (2.23)$$

Keterangan:

M_{maks} = Momen maksimal

F = Beban angin

h = Tinggi peralatan

Beban angin (F) dihitung dengan rumus generik:

$$F = A \times P \times C_d \quad (2.24)$$

Keterangan:

A = Luas objek

P = Tekanan angin

C_d = Koefisien hambatan

$$P = 0,613V^2 \quad (2.25)$$

Keterangan:

V = Kecepatan angin

Menghitung tegangan lentur maksimum

$$\sigma = \frac{M_{maks}}{S} \quad (2.26)$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad (2.27)$$

Keterangan:

σ = Tegangan lentur

S = Modulus penampang

2.13 Kebutuhan Material Dinding

Menghitung kebutuhan material dinding untuk digester dan gasholder, dilakukan dengan cara menjumlahkan luas semua sisinya. Luas dinding digester bawah dan gasholder dihitung dengan rumus:

$$L = 2 \times \pi \times r \times t + \pi \times r^2 \quad (2.28)$$

Keterangan:

L= Luas dinding silinder

r= Jari jari

t= Tinggi

