

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Trisna (2012), geram besi dapat digunakan sebagai bahan yang efektif untuk memurnikan biogas dari pengotor gas H_2S . Cara mengubah gram besi menjadi besi oksida ataupun besi hidroksida yaitu mereaksikan gram besi dengan oksigen dengan cara dipanaskan atau dibakar sampai gram besi terlihat berwarna merah membara dan dinginkan dengan pendinginan lambat yaitu dibiarkan menjadi dingin secara perlahan didalam tungku. Hingga volume 300 liter proses pemurnian biogas terjadi peningkatan persentase penurunan kadar H_2S dengan pencapaian tertinggi pada volume 80 liter terjadi penurunan 75,9 ppm atau dalam persentase 93,59 % dan penurunan terendah pada volume 250 liter yaitu 13,6 ppm atau dalam persentase 14,80 %. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan konsumsi bahan bakar biogas dalam 300 liter volume biogas membutuhkan 500 gram massa gram besi, dibuat dalam bentuk bilet yang telah diberi perlakuan. Geram besi dengan massa 500 gram inilah yang digunakan untuk memurnikan biogas dari gas pengotor H_2S .

Menurut Kismurtono (2008), Dalam biogas metana tercampur dengan beberapa pengotor khususnya CO_2 , kandungan CO_2 berkisar 25-45 %. Biogas diabsorpsi menggunakan larutan NaOH dan KOH masing-masing dengan konsentrasi 0,5 M, 1 M, 1,5 M dan 2 M selama 5 menit, 10 menit, 15 menit. Kemudian hasilnya dititrasi menggunakan HCl untuk mengetahui pengurangan konsentrasi NaOH dan KOH. Hasil yang didapatkan adalah konsentrasi NaOH 1 M dan KOH 1 M mengalami penurunan konsentrasi lebih stabil dibandingkan konsentrasi lain. NaOH 1 M dan KOH 1 M memberikan serapan CO_2 maksimum berdasarkan reaksi asam basa dengan HCl. KOH 1 M memberikan linearitas penyerapan yang lebih bagus dibanding NaOH 1 M. Pengujian kemurnian

kandungan metana dalam biogas dilakukan dengan alat gas kromatografi, absorber yang digunakan adalah KOH 1 M dengan waktu kontak 10 menit. Hasil yang didapatkan kandungan metana meningkat dari 62,5% menjadi 77,4% .

Menurut Nadliriyah (2014), pemurnian biogas dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi absorben yaitu larutan Ca(OH)_2 0,1 M, 1,5 M dan 2,5 M. Kualitas biogas tersaring dikarakterisasi dengan kromatografi gas, sedangkan endapan penyaring diuji menggunakan metode difraktometer Sinar-X (XRD). Analisis data XRD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak X'pert High Score Plus (HSP) dan Rietica. Hasil uji kromatografi gas dengan detektor ionisasi nyala menunjukkan gas setelah difilter menggunakan larutan Ca(OH)_2 0,5 M, 1,5 M, dan 2,5 M adalah 100% area, sedangkan sebelum dimurnikan terdapat gas metana sebesar 82,46% area. Dari hasil XRD endapan hasil penyaringan CaCO_3 (kalsit), CO_2 bereaksi dengan Ca(OH)_2 membentuk fase kalsit. Semakin besar konsentrasi absorben, kalsit yang terbentuk semakin banyak. Larutan batu kapur Ca(OH)_2 bisa digunakan sebagai absorben biogas untuk menghasilkan CH_4 kemurnian tinggi dan Endapan hasil penyaringan adalah CaCO_3 dengan fasa kalsit.

Menurut Chiu (2012), *smikroalga Chlorella sp.* MB-9 mampu memanfaatkan CO_2 untuk pertumbuhan ketika biogas didesulfurisasi ($\text{H}_2\text{S} < 50$ ppm) yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik air limbah babi. Menunjukkan sistem dapat terus digunakan untuk meningkatkan biogas dengan memanfaatkan satu set ganda sistem *fotobioreaktor* dan *cycleswitching* gas operasi. Selain itu, studi lapangan menunjukkan bahwa efisiensi pemurnian CO_2 dari biogas dapat dipertahankan 50% rata-rata, dan konsentrasi CH_4 dalam beban limbah dapat dipertahankan pada 80% rata-rata, yaitu, peningkatan dicapai dengan meningkatkan konsentrasi CH_4 dalam biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik air limbah babi sebesar 10%.

Menurut Chung (2006), Pemurnian H₂S pada Biogas menggunakan *Biofiltrasi Lava* menunjukkan kapasitas pemurnian 428 gS.m (-3) H (-1) saat H₂S disediakan dengan 428 gS.m (-3) H (-1) dengan beban inlet pada kecepatan ruang (SV) 300 h (-1). Pada beban inlet yang sama kapasitas pemurnian biofilter B adalah 396 g-S.m (-3) H (-1). H₂S beban kritis dari biofiltrasi A, B dan C di SV 400 h (-1) yang 396, 157 dan 342 g-S.m (-3) H (-1). Dengan lava berpori dapat dilakukan sebagai kandidat yang menjanjikan sebagai pembawa mikroorganisme dalam biofiltrasi untuk pemurnian H₂S.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri *anaerob* yang sebagian besar terdiri dari gas metana yang telah mengalami beberapa tahap seperti tahap hidrolisis, asidifikasi (pengasaman), dan metanogenesis (Caroko, 2015).

Tahap Hidrolisis adalah tahap penguraian bahan organik yang masih kompleks menjadi sederhana oleh air dimana terjadi perubahan struktur polimer menjadi monomer. Sementara bahan organik sederhana tadi selanjutnya dikonsumsi oleh bakteri asetogenik menjadi asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butir, gas karbondioksida, hidrogen dan ammonia sehingga memicu bakteri-bakteri lain seperti bakteri pereduksi sulfat mereduksi sulfat dan komponen sulfur menjadi hydrogen sulfida (Kurniawan, 2012) juga bakteri metanogenesis yang mengubah karbondioksida menjadi metana. Tahap hidrolisis pada bahan baku kotoran sapi murni, berlangsung pada hari pertama sampai hari ke-7 sementara biogas akan muncul pada hari ke-10 sampai ke-30 (Susilo, 2010).

Biogas yang dihasilkan dari tahap-tahap tersebut mayoritas mengandung gas metana, karbondioksida, hidrogen sulfida, dan gas-gas lain sehingga untuk pemanfaatan biogas lebih lanjut seperti untuk mesin pembakaran dalam, gas metana perlu dipisahkan dari gas-gas lain. Sementara gas penyumbang pembakaran biogas mentah adalah gas metana dan hidrogen sulfida yang bersifat *flammable* sehingga pembakaran yang terjadi tidak sempurna yang akan menimbulkan api jelaga dan bau yang tak sedap.

Tabel 2.1 Komponen Utama Biogas. (Hambali, 2007)

| No. | Komponen | Satuan | Komposisi | | |
|-----|-------------------------------------|--------|------------------|-------------------|--------------------|
| | | | 1 [*]) | 2 ^{**}) | 3 ^{***}) |
| 1. | Gas Methan (CH ₄) | %Vol | 55 – 75 | 50 – 75 | 54 – 70 |
| 2. | Karbon dioksida (CO ₂) | %Vol | 24 – 45 | 24 – 40 | 27 – 45 |
| 3. | Nitrogen (N ₂) | %Vol | 0 – 0,3 | < 2 | 0 – 1 |
| 4. | Hidrogen (H ₂) | %Vol | 1 – 5 | < 1 | 0 – 1 |
| 5. | Karbon monoksida (CO) | %Vol | | | 0,1 |
| 6. | Oksigen (O ₂) | Ppm | 0,1 – 0,5 | < 2 | 0,1 |
| 7. | Hidrogen sulfida (H ₂ S) | Ppm | 0 - 3 | < 2 | Sedikit |

2.2.2 Anaerobik Degestion

Biogas merupakan sebuah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tanpa melibatkan oksigen disebut anaerobik digestion Gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50 %) berupa metana. material organik yang terkumpul pada digester (reaktor) akan diuraiakan menjadi dua tahap dengan bantuan dua jenis bakteri. Tahap pertama material orgranik akan didegradasi menjadi asam asam lemah dengan bantuan bakteri pembentuk asam. Bakteri ini akan menguraikan sampah pada tingkat hidrolisis dan asidifikasi. Hidrolisis yaitu penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, karbohidrat menjadi senyawa yang sederhana. Sedangkan asidifikasi yaitu pembentukan asam dari senyawa sederhana.

Setelah material organik berubah menjadi asam, maka tahap kedua

dari proses anaerobik digestion adalah pembentukan gas metana dengan bantuan bakteri pembentuk metana seperti: *methanococcus*, *methanosarcina* dan *methanobacterium*.

Perkembangan proses *anaerobik digestion* telah berhasil pada banyak aplikasi. Proses ini memiliki kemampuan untuk mengolah sampah atau limbah yang keberadaanya melimpah dan tidak bermanfaat menjadi produk yang lebih bernilai. Aplikasi *anaerobik digestion* telah berhasil pada pengolahan limbah industri, limbah pertanian limbah peternakan dan municipal solid waste (MSW).

2.2.3 Sejarah Biogas

Sejarah penemuan proses anaerobik digestion untuk menghasilkan biogas tersebar di benua Eropa. Penemuan ilmuwan Volta terhadap gas yang dikeluarkan di rawa-rawa terjadi pada tahun 1770, beberapa dekade kemudian, Avogadro mengidentifikasi tentang gas metana. Setelah tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses anaerobik digestion. Tahun 1884 Pasteur melakukan penelitian tentang biogas menggunakan kotoran hewan. Era penelitian Pasteur menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga saat ini.

2.2.4 Komposisi Biogas

Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya hydrogen sulfida (H_2S) dan ammonia (NH_3) serta hydrogen dan (H_2), nitrogen yang kandungannya sangat kecil.

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu: Menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO_2). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan

korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang di iijinkan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida atau sulphur trioksida (SO_2 atau SO_3). senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk Sulphur acid (H_2SO_3) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter yang kedua adalah menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalaan biogas serta dapat menimbulkan korosif.

2.2.5 Reaktor Biogas

Ada beberapa jenis reactor biogas yang dikembangkan diantaranya adalah reactor jenis kubah tetap (*Fixed-dome*), reactor terapung (*Floating drum*), raktor jenis balon, jenis horizontal, jenis lubang tanah, jenis ferrocement. Dari ke-enam jenis digester biogas yang sering digunakan adalah jenis kubah tetap (*Fixed-dome*) dan jenis Drum mengambang (*Floating drum*). Beberapa tahun terakhir ini dikembangkan jenis reactor balon yang banyak digunakan sebagai reactor sederhana dalam skala kecil. Berikut ini adalah beberapa jenis reaktor biogas :

A. Reaktor kubah tetap (Fixed-dome)

Reaktor ini disebut juga reaktor china. Dinamakan demikian karena reaktor ini dibuat pertama kali di china sekitar tahun 1930 an, kemudian sejak saat itu reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Pada reaktor ini memiliki dua bagian yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batu bata atau

beton. Strukturnya harus kuat karna menahan gas aga 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*). Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah.

Keuntungan dari reaktor ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung, karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya lebih mudah. Sedangkan kerugian dari reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya.

B. Reaktor *Floating Drum*

Reaktor jenis terapung pertama kali dikembangkan di india pada tahun 1937 sehingga dinamakan dengan reaktor India. Memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak menggunakan drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam digester. Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan.

Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Karena tempat penyimpanan yang terapung sehingga tekanan gas konstan. Sedangkan kerugiannya 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 kubah tetap.

C. Reaktor Balon

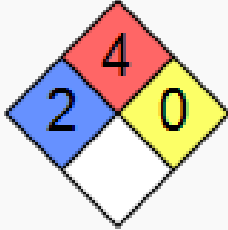
Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.

2.2.6 Gas Metana (CH₄)

Gas metana secara atomik terdiri dari satu atom karbon dan empat atom hidrogen yang tergolong keluarga hidrokarbon tingkat terendah sehingga memiliki nilai kalor yang tinggi 55,5 MJ/kg dibandingkan dengan gas hidrokarbon lain seperti gas propane sebesar 50,3 MJ/kg atau bensin (gasoline) sebesar 47,3 MJ/kg (Demirel, 2012) sehingga sangat berpotensi sekali untuk digunakan pada mesin yang berdaya besar seperti mesin kendaraan bermotor atau mesin-mesin produksi pada suatu perusahaan.

Gas metana alaminya sering terbentuk pada daerah-daerah lumpur dan lembap yang terisolasi dari kontak udara seperti daerah rawa atau selokan yang akan menyumbang besar pada komposisi udara di atmosfer. Karena densitas dari metana lebih ringan (0.6 kg/m^3) dari pada udara atmosfer $1,3 \text{ kg/m}^3$ sehingga pada atmosfer bagian atas lebih kaya akan sumber gas metana dibandingkan dengan udara permukaan yang mengakibatkan dampak negatif pada lingkungan yaitu peresapan energi termal dari sinar matahari.

Tabel 2.2 Sifat-sifat metana (Pellerin, 2008)

| | |
|---------------------------|--|
| Rumus Kimia | Metana (CH ₄) % 54–70 |
| Nama Lain | <i>Natural Gas, Carbontetrahydrida</i> |
| <i>Apperance</i> | Tidak berwarna dan berbau |
| Densitas | 0,656 kg/m ³ (gas, 25 °C, 1 atm) 0,716 kg/m ³ (gas, 0 °C, 1 atm) 0,42262 kg/m ³ (liquid, -162 °C) |
| Titik Lebur | -182,5 °C; -296,4 °F; 90,7 K |
| Titik Didih | -161,49 °C; -258,68 °F; 111,66 K |
| Sifat Kelarutan | Larut dalam air (22.7 mg/L), <i>ethanol, diethyl ether, benzene,</i> <i>toluene, methanol, acetone.</i> |
| Kapasitas Termal Spesifik | 2,191 J/g.K |
| Sumber Bahaya |  |
| Titik Nyala | -188 °C (-306,4 °F; 85,1 K) |

2.2.7 Hidrogen Sulfida (H_2S)

Hidrogen sulfida (H_2S) adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktivitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam.

Hidrogen sulfida juga dikenal dengan nama sulfana, sulfur hidrida, gas asam (sour gas), sulfurated hydrogen, asam hidrosulfurik, dan gas limbah (sewer gas). IUPAC menerima penamaan "hidrogen sulfida" dan "sulfana"; kata terakhir digunakan lebih eksklusif ketika menamakan campuran yang lebih kompleks (Nadliriyah, 2014).

Ion sulfid, S^{2-} , dikenal dalam bentuk padatan tetapi tidak di dalam larutan aqueous (oksida). Konstanta disosiasi kedua dari hidrogen sulfida sering dinyatakan sekitar 10–13, tetapi sekarang disadari bahwa angka ini merupakan error yang disebabkan oleh oksidasi sulfur dalam larutan alkalin. Estimasi terakhir terbaik untuk pKa adalah 19 ± 2 . Gas Hydrogen Sulfide (H_2S) sangat beracun dan mematikan, pekerja pada pemboran minyak dan gas bumi mempunyai resiko besar atas keluarnya gas H_2S . Pengetahuan Umum tentang (H_2S) Hidrogen Sulfida (H_2S) Adalah gas yang sangat beracun dan dapat melumpuhkan system pernapasan serta dapat dapat mematikan dalam beberapa menit. dalam jumlah sedikitpun gas H_2S sangat berbahaya untuk kesehatan.

Hidrogen Sulfida terbentuk dari proses penguraian bahan-bahan organis oleh bakteri. Maka dari itu H_2S terdapat dalam minyak dan gas bumi, selokan, air yang tergenang. Misalnya rawa-rawa dan juga terbentuk pada proses-proses industri maupun proses biologi lain.

A. Karakteristik H₂S

- i. Sangat beracun dan mematikan
- ii. Tidak Berwarna
- iii. Lebih Berat Dari udara sehingga cenderung berkumpul dan diam pada daerah yang rendah
- iv. Dapat terbakar dengan nyala api berwarna biru dan hasil pembakarannya gas sulfur Dioksida (SO₂) yang juga merupakan gas beracun
- v. Sangat Korosif mengakibatkan berkarat pada logam tertentu
- vi. Pada konsentrasi yang rendah berbau seperti telur busuk dan dapat melumpuhkan indera penciuman manusia

B. Cara Terbentuknya Gas Hidrogen Sulfida

Gas H₂S terbentuk akibat adanya penguraian zat-zat organik oleh bakteri. Oleh karena itu gas ini dapat ditemukan di dalam operasi pengeboran minyak atau gas dan panas bumi, lokasi pembuangan limbah industri, peternakan atau pada lokasi pembuangan sampah.

C. Sifat dan karakteristik gas H₂S

Gas H₂S mempunyai sifat dan karakteristik antara lain :

- i. Tidak berwarna tetapi mempunyai bau khas seperti telur busuk pada konsentrasi rendah sehingga sering disebut sebagai gas telur busuk.
- ii. Merupakan jenis gas beracun.
- iii. Dapat terbakar dan meledak pada konsentrasi LEL (*Lower Explosive Limit*) 4,3% (43000 PPM) sampai UEL (*Upper Explosive Limite*) 46% (460000 PPM) dengan nyala api berwarna biru pada temperature 500 °F (260 °C).

Berat jenis gas H₂S lebih berat dari udara sehingga gas H₂S akan cenderung terkumpul di tempat / daerah yang rendah. Berat jenis gas

H₂S sekitar 20 % lebih berat dari udara dengan perbandingan berat jenis H₂S :1,2 atm dan berat jenis udara : 1 atm. H₂S dapat larut (bercampur) dengan air (daya larut dalam air 437 ml/100 ml air pada 0 °C; 186 ml/100 ml air pada 40 °C). H₂S bersifat korosif sehingga dapat mengakibatkan karat pada peralatan logam.

D. Rumus Kimia Hidrogen Sulfida

Hidrogen sulfida merupakan hidrida kovalen yang secara kimiawi terkait dengan air (H₂O) karena oksigen dan sulfur berada dalam golongan yang sama di tabel periodik.

Hidrogen sulfida merupakan asam lemah, terpisah dalam larutan aqueous (mengandung air) menjadi kation hidrogen H⁺ dan anion hidrosulfid.

$$K_a = 1,3 \times 10^{-7} \text{ mol/L} ; pK_a = 6,89.$$

2.2.8 Hidrogen Sulfida dan Kehidupan

Hidrogen sulfida merupakan gas alami yang sering dijumpai manusia. Di alam bebas, gas dengan rumus kimia H₂S ini dihasilkan oleh tumpukan sampah dan gunung berapi. Tak hanya berbau busuk, gas tersebut juga berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan jika dihirup dalam jumlah tertentu.

Bagi manusia, gas ini juga tak asing didengar telinga. Di dalam tubuh, hidrogen sulfida secara alami dihasilkan oleh bakteri penghuni usus besar manusia. Gas tersebut adalah hasil samping pembusukan makanan yang dicerna. Seperti gas lain yang dihasilkan tubuh, ketidakseimbangan produksi H₂S menimbulkan berbagai penyakit.

Dahulu, manusia enggan menelisik jauh makna dibalik kentut. Namun, kini agaknya orang perlu berpikir ulang atas sikap yang demikian. Sebagaimana hasil penelitian yang akan dipaparkan, gas tersebut ternyata bermanfaat bagi kesehatan.

2.2.9 Besi III (Fe_2O_3)

Besi merupakan salah satu unsur logam transisi periode keempat golongan VIII B yang mudah ditempa, mudah dibentuk, berwarna putih perak, dan mudah dimagnetisasi pada suhu normal. Dalam sistem periodik unsur, besi mempunyai nomor atom 26 dan massa atomnya 55,847 sma. Dalam bentuk senyawa, besi mempunyai bilangan oksidasi +2 dan +3. Logam besi terdapat dalam tiga bentuk, yaitu α -iron (alpha iron), γ -iron (gamma iron) dan δ -iron (delta iron). Perbedaan dari tiap bentuk besi tersebut adalah susunan atom-atom pada kisi kristalnya. Secara kimia, besi merupakan logam yang cukup aktif karena dapat bersenyawa dengan unsur-unsur lain, seperti unsur-unsur halogen (fluorin, klorin, bromin, iodin dan astatin), belerang, fosfor, karbon, oksigen dan silikon. Di alam, besi terdapat dalam bentuk senyawa-senyawa antara lain sebagai hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_2O_4), pirit (FeS_2), siderit (FeCO_3). Besi murni diperoleh dari proses elektroforesis dari larutan besi sulfat. Besi membentuk dua deret garam-garam yang penting, yaitu garam-garam besi (II) atau (ferro) yang diturunkan dari besi (II) oksida (FeO) dan garam-garam besi (III) atau (ferri). Garam besi (II) mengandung kation Fe^{2+} dan berwarna sedikit hijau dalam larutan. Ion besi (II) merupakan zat pereduksi yang kuat dan mudah dioksidasikan menjadi besi (III) pada suasana netral atau basa, sedangkan garam besi (II) diturunkan dari besi (III) oksida (Fe_2O_3). Garam ini lebih stabil dibandingkan garam besi (II). Garam besi (III) mengandung kation Fe^{3+} dan berwarna kuning muda, jika tereduksi ion besi (III) akan berubah menjadi besi (II).

2.2.10 Reaksi Fe₂O₃ dengan H₂S

Interaksi H₂S dengan permukaan α - Fe₂O₃ atau hidroksida besi *amorf* pada suhu rendah telah dikarakterisasi menggunakan *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR) dan dihitung dengan menggunakan metode volumetrik. Mekanisme interaksi H₂S dengan pereaksi adalah ion dan melibatkan disosiasi heterolitik H₂S dan pertukaran S²⁻ dan SH⁻ anion untuk O²⁻ atau OH⁻. Selanjutnya air dieliminasi dan dalam reaksi redoks yang digabungkan, sulfida dioksidasi menjadi unsur sulfur dan Fe³⁺ + kation dikurangi menjadi Fe²⁺ +. Awalnya, hampir semua permukaan situs bisa berinteraksi dengan mudah dengan H₂S untuk membentuk lapisan besi sulfida. Selama reaksi berulang kali terjadi reaksi dengan lokasi yang lebih dalam, membentuk sulfida dalam jumlah besar. Regenerasi oksida besi (*hydr*)oxide dengan oksidasi dengan oksigen mengubah Fe²⁺ + menjadi Fe³⁺, dan S²⁻ anion digantikan oleh O²⁻ dengan pembentukan unsur belerang. Spesies permukaan yang terlibat dalam setiap reaksi telah dikarakterisasi menggunakan *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR) dan untuk pertama kalinya bukti langsung telah diperoleh untuk keberadaan ion-ion sebagai intermediet yang sangat reaktif dimana hasil reaksi yang terjadi Fe₂O₃ + 3H₂S \longrightarrow Fe₂S₃ + 3H₂O (Davydov, 1998).

2.2.11 Analisis Besi

Secara kimia, kandungan besi dalam sampel air dapat dianalisis secara kuantitatif maupun secara kualitatif. Dalam identifikasi dan penetapan kadar besi, dibutuhkan beberapa reagent, sehingga pemeriksaan ini hanya dapat dilakukan di dalam laboratorium kimia. Penetapan kadar besi secara kuantitatif dilakukan dengan reagen Ortho-phenantrolin, prinsipnya yaitu besi dalam larutan direduksi menjadi bentuk ferro dengan cara mendidihkannya dengan asam dan hidroksilamin HCl, kemudian direaksikan dengan 1,10 fenantrolin pada pH 3,2-3,3. Tiga molekul fenantrolin dengan satu atom besi ferro membentuk senyawa kompleks berwarna merah jingga. Warna yang terbentuk dibandingkan dengan baku yang telah diketahui kadarnya secara spektrofotometri pada $\lambda = 510$ nm. Dalam pemeriksaan secara kualitatif, identifikasi kandungan besi dalam sampel

dapat dilakukan dengan menambahkan beberapa reagen spesifik yang akan menimbulkan endapan dan perubahan warna yang menunjukkan bahwa dalam sampel mengandung besi (II) ataupun besi (III). Reaksi identifikasi ion besi yaitu :

1. Besi (II) dalam sampel jika ditambah dengan
 - a. larutan Na_2S terjadi endapan hitam
 - b. larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ terjadi endapan biru
 - c. larutan NaOH terjadi endapan hijau kotor kemudian menjadi coklat

2. Besi (III) dalam sampel jika ditambah dengan
 - a. larutan Na_2S terjadi endapan hitam
 - b. larutan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ terjadi perubahan warna larutan menjadi coklat
 - c. larutan KCNS terjadi perubahan warna larutan menjadi merah darah
 - d. larutan Natriumasetat terjadi perubahan warna larutan menjadi coklat merah

2.2.12 Aliran Pada Pipa Perancangan

A. Aliran Fluida Inkompresible Dalam Pipa

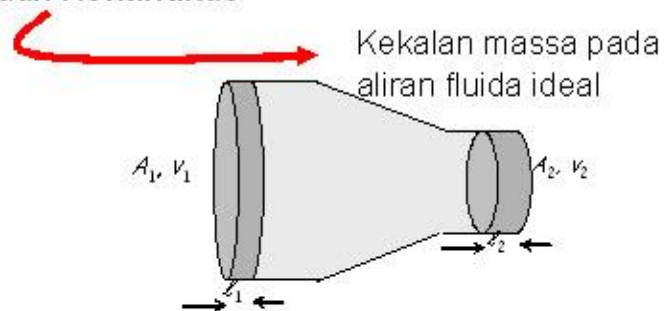
Aliran Fluida seringkali digunakan asumsi fluida ideal. Fluida ideal diasumsikan tidak mempunyai kekentalan. Jika memperhatikan fluida nyata, maka pengaruh-pengaruh kekentalan harus diperhitungkan kedalam permasalahan. Pada fluida nyata timbul tegangan geser antara partikel-partikel fluida ketika partikel-partikel tersebut bergerak pada kecepatan yang berbeda. pada fluida ideal yang mengalir melalui suatu tabung lurus, semua partikel bergerak pada garis-garis sejajar dengan kecepatan sama' Pada aliran fluida nyata] kecepatanlerdekat dengan dinding akan nol, dan akan bertambah besar pada jarak pendek dari dinding (Orianto dan Pratikto, 1989). Selain itu pula ada viskositas

didalamnya yang merupakan hasil dari gaya-gaya antara molekul yang timbul pada saat lapisan-lapisan fluida berusaha menggeser satu dengan lainnya atau sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser pada waktu bergerak mengalir. Viskositas kinematis merupakan perbandingan antara koefisien viskositas (viskositas dinamis) dengan densitas. Viskositas disebabkan karena kohesi antara partikel-partikel zat cair.

B. Persamaan Kontinuitas

Persamaan Kontinuitas dihasilkan dari prinsip kekekalan massa. Untuk aliran massa fluida yang melalui semua bagian dalam arus fluida persatuan waktu adalah sama. Untuk pipa bercabang, berdasarkan pada persamaan kontinuitas debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut.

Persamaan Kontinuitas



Gambar 2.1 Persamaan Kontinuitas (Faqih, 2012)

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

V = Kecepatan Aliran (m/s)

A = Luas Penampang (m²)

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$Q = V / t$$

V = Volume (m³)

t = Waktu (sekon)

Q = Debit aliran (m³/s)

C. Head Kerugian Gesek Pada Pipa

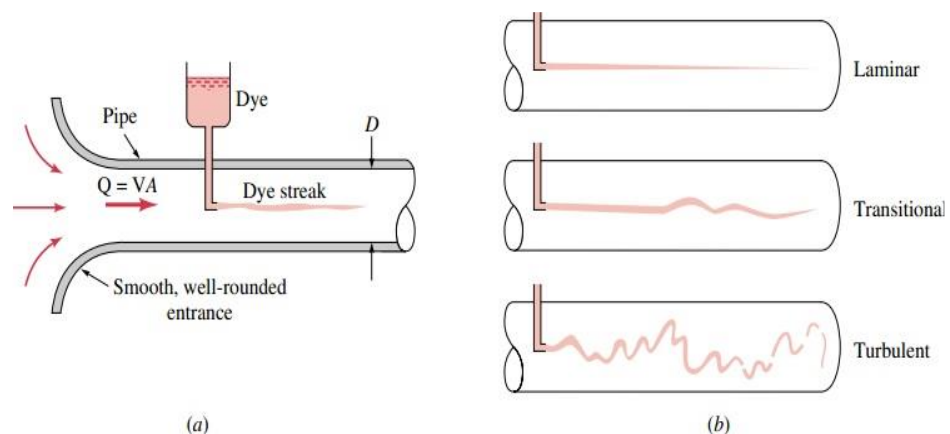
Untuk menghitung kerugian gesek di dalam pipa dapat menggunakan persamaan 2.1 : (Sularso, 1996)

$$hf = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

D. Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran viskositas dapat dibedakan dalam aliran laminer dan turbulen. Pengaliran laminer apabila partikel-partikel fluida bergerak teratur dengan membentuk garis lintasan secara kontinyu dan tidak saling berpotongan. Pengaliran laminer terjadi apabila kecepatan aliran rendah, ukuran aliran sangat kecil dan fluida mempunyai kekentalan besar.

Pada aliran turbulen partikel-partikel bergerak tidak teratur dan garis lintasnya saling berpotongan. Pengaliran turbulen terjadi apabila kecepatan aliran besar, saluran besar dan fluida mempunyai kekentalan kecil.



Gambar 2.2 Pengaliran di dalam pipa

(Faqih, 2012)

Tabel 2.2 Nilai C untuk inlet diameter pipa min dan max (Deublein, 2008)

| No | Material Pipa | Inlet Diameter (mm) | Nilai C |
|----|----------------------------------|---------------------|-----------|
| 1 | <i>Stainless steel</i> | 26,6 – 303,3 | 130 - 142 |
| 2 | <i>Galvanized pipe</i> | 27,3 – 155,3 | 116 - 129 |
| 3 | <i>Steel pipe sch 40</i> | 26,6 – 303,3 | 130 - 142 |
| 4 | <i>Copper</i> | 23,0 – 223,3 | 141 - 146 |
| 5 | <i>Ductile cast iron</i> | 81,5 – 326,2 | 118 - 126 |
| 6 | <i>Polyethilener Class 6</i> | 21,7 - 278 | 140 |
| 7 | <i>PVC Class 15</i> | 29 – 138,7 | 142 - 151 |

F. *Head* Kerugian pada jalur pipa

Ketika aliran melalui jalur pipa, kerugian- kerugian juga terjadi apabila ukuran pipa berbentuk penampang atau arah aliran berubah. Kerugian *head* di tempat-tempat transisi yang demikian itu dapat dinyatakan secara umum dengan persamaan 2.2 : (Sularso, 1996)

$$h_f = k \cdot \frac{\bar{v}^2}{2g} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana: \bar{v} = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/s)

f = koefisien kerugian

g = kecepatan gravitasi (m/s²)

h_f = kerugian head (m)

2.2.13 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan berfungsi untuk mengantarkan atau mengalirkan suatu fluida dari tempat yang lebih rendah ke tujuan yang diinginkan dengan bantuan mesin atau pompa. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem perpipaan antara lain :

1. Pipa harus dirancang sedemikian rupa hingga udara maupun air dapat dibuang atau dikeluarkan dengan mudah.
2. Pipa mendatar pada sistem pengaliran keatas sebaiknya dibuat miring keatas (searah aliran). Sedangkan pada sistem pengaliran kebawah dibuat agak miring kebawah.
3. Perpipaan yang tidak merata, melengkung keatas atau melengkung kebawah harus dihindari.

A. Material Pipa

Bahan pipa yang biasanya digunakan adalah *Steel*, *Polyvinyl Chloride (PVC)* dan *ACP (Abbeston Cement Pipe)*

B. Sistem Operasi Pipa

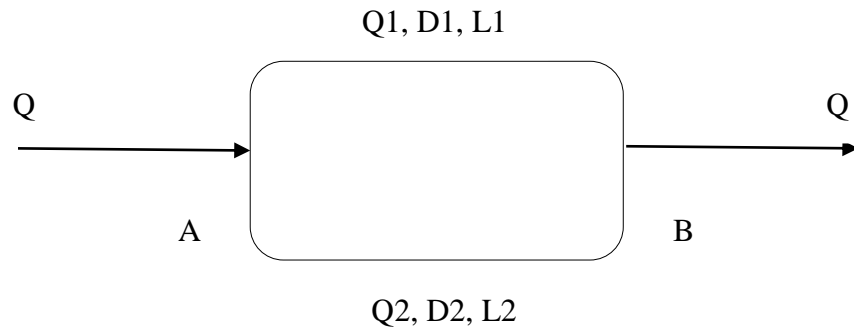
i. Operasi Pipa Seri

Pada pipa-pipa yang dipasang seri dimana kebutuhan aliran sepanjang pipa tersebut memiliki harga yang sama ($Q_1 = Q_2 = Q_3$), sedangkan rugi-rugi aliran sepanjang pipa adalah jumlah total dari rugi-rugi aliran pipa yang ada ($h_f = h_{f1} + h_{f2}$).

ii. Operasi Pipa Pararel

Lain halnya pada pipa-pipa yang dipasang pararel, dimana kebutuhan aliran pada pipa utama adalah jumlah total dari masing-

masing percabangan pipa tersebut ($Q_{total} = Q_1 = Q_2$). Selain itu pada pipa paralel rugi-rugi aliran tiap pipa percabangan haruslah sama besar ($h_f = h_{f1} + h_{f2}$).



Gambar 2.3 Sistem Pipa Pararel