

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 MICRO BUBBLE GENERATOR

*Micro Bubble Generator* (MBG) merupakan suatu alat yang difungsikan untuk menghasilkan gelembung udara dalam ukuran mikro, yaitu gelembung dengan diameter  $\leq 200 \mu\text{m}$ <sup>[1]</sup>.

Aplikasi *micro-bubbles* telah banyak digunakan<sup>[3]</sup>, diantaranya :

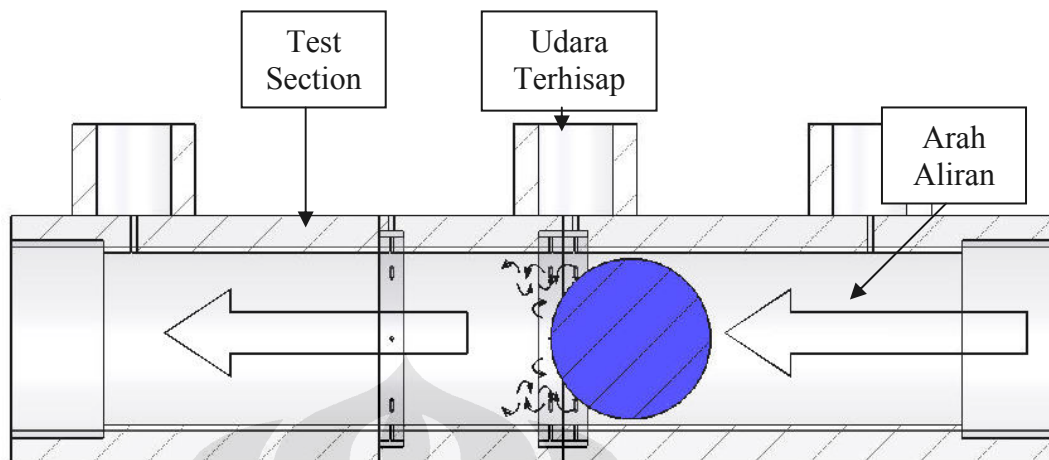
- Untuk meningkatkan kualitas air yang terpolusi hasil buangan limbah industri.
- Teknologi ini telah diperkenalkan di negara Jepang untuk membantu perkembangan dari kerang laut untuk terhindar dari mikro-organisme yang dapat menyebabkan kerang tersebut menjadi hilang pigmen warna.
- Di dunia kedokteran teknologi *micro-bubbles* mulai dimanfaatkan untuk mendiagnosa luka yang diakibatkan oleh kanker, dengan cara menyuntikkan gelembung tersebut melalui peredaran darah.
- Dalam luas permukaan tertentu, *micro-bubbles* dapat melakukan penetrasi secara dalam ke permukaan kulit dengan memberikan efek gosokan yang baik tanpa perlu menggunakan shampoo atau sabun.

##### 2.1.1 Prinsip Kerja MBG Dengan Bola

Prinsip kerja dari MBG dengan menggunakan bola sebagai intinya adalah, ketika aliran air bertekanan mengalir dalam sebuah pipa dan berdasarkan dari persamaan dari massa dan energi (dalam hal ini persamaan Bernoulli), kecepatan air yang melewati daerah *downstream* yang berada di titik tertinggi bola akan menjadi lebih cepat daripada kecepatan masuk, hal ini menyebabkan tekanan pada daerah tersebut menjadi lebih rendah.

Apabila tekanan didalam lebih kecil dibandingkan dengan tekanan atmosfer, maka udara secara otomatis akan terhisap kedalam aliran air, melalui lubang – lubang kecil hasil pengeboran pada *Test Section* pada daerah yang bertekanan kecil. Dikarenakan aliran yang terjadi pada daerah *downstream* adalah turbulen

dan terdapat aliran geser, udara yang masuk tersebut akan terpecah menjadi *micro-bubble* dengan jumlah yang sangat banyak.



Gambar.2.1 Ilustrasi Aliran yang Melalui Bola di Pipa

## 2.2 LITERATUR MEKANIKA FLUIDA

Terdapat beberapa materi dari Mekanika Fluida yang digunakan dalam proses perhitungan dan perancangan MBG ini, antara lain :

- a. Persamaan Bernoulli.
- b. Aliran Viskos Dalam Pipa.
- c. Aliran Laminar dan Turbulen.
- d. Daerah Masuk dan Berkembang Penuh.
- e. Pengukuran Tekanan.

### 2.2.1 Persamaan Bernoulli

Dalam penulisan Tugas Akhir kali ini, persamaan Bernoulli dimanfaatkan untuk mendapatkan *pressure drop* (penurunan tekanan), agar dapat memanfaatkan perbedaan tekanan untuk menyedot udara. Perhitungan dilakukan pada sebuah aliran air di pipa, dengan bola terdapat didalamnya sesuai dengan ilustrasi pada Gambar, sehingga formula untuk perhitungan *pressure drop* adalah ;

Persamaan dasar Bernoulli :

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2.g} + Z_1 = \frac{P_3}{\gamma_3} + \frac{V_3^2}{2.g} + Z_3 \quad [4] \dots\dots\dots(2.1)$$

Asumsi  $Z_1 = Z_3$ ; dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\frac{P_1}{\rho_1 \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_3}{\rho_3 \cdot g} + \frac{V_3^2}{2 \cdot g}$$

$$\frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{V_3^2}{2 \cdot g} = \frac{P_3}{\rho_3 \cdot g} - \frac{P_1}{\rho_1 \cdot g}$$

$$\frac{V_1^2 - V_3^2}{2 \cdot g} = \frac{P_3 - P_1}{\rho \cdot g}$$

$$\frac{V_1^2 - V_3^2}{20} = \frac{P_3 - P_1}{1000 \cdot 10}$$

$$\frac{(V_1^2 - V_3^2) \cdot 10000}{20} = P_3 - P_1$$

Jadi persamaan *pressure drop* adalah :

$$P_3 - P_1 = \frac{(V_1^2 - V_3^2) \cdot 10000}{20} \dots\dots\dots (2.2)$$

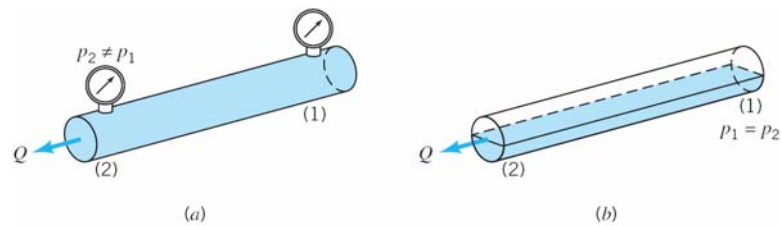
Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa tekanan pada diameter kecil yang tepat berada di tengah – tengah puncak bola akan lebih kecil daripada tekanan atmosfer, hal ini berakibat udara luar akan terhisap masuk kedalam pipa.

### 2.2.2 Aliran Viskos Dalam Pipa<sup>[4]</sup>

Sistem transportasi Fluida dengan menggunakan pipa atau saluran memiliki aplikasi praktik yang cukup banyak. Pabrik kimia dan penyaring Oli sangat tergantung terhadap pipa – pipa ini. Pembangkit tenaga listrik berisikan bermacam – macam pipa dan saluran untuk memindahkan fluida yang diaplikasikan dalam proses konversi energi dan lain sebagainya.

Walaupun tidak seluruh saluran yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya mempunyai penampang bundar, namun kebanyakan yang digunakan adalah seperti itu. Saluran ini meliputi pipa-pipa air, selang-selang hidrolik dan saluran-saluran lainnya yang dirancang untuk menahan perbedaan tekanan yang sangat besar melintasi dinding-dindingnya tanpa mengakibatkan perubahan bentuk.

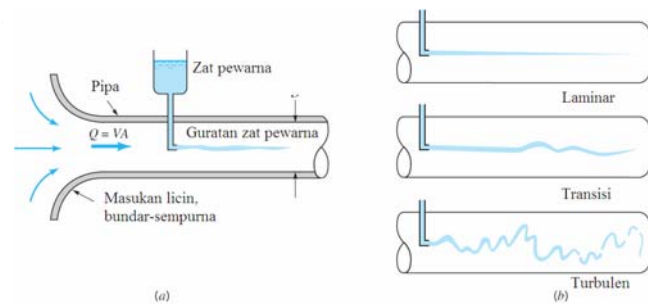
Aliran yang terjadi pada Tugas Akhir ini diasumsikan bahwa pipa terisi penuh oleh fluida yang sedang dipindahkan seperti diilustrasikan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 (a) Aliran Pipa. (b) Aliran kanal-terbuka <sup>[4]</sup>

### 2.2.3 Aliran Laminar dan Turbulen <sup>[4]</sup>

Aliran fluida di dalam sebuah pipa mungkin merupakan aliran laminar atau turbulen. **Osborne Reynolds** (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan dua klasifikasi aliran ini dengan menggunakan sebuah peralatan sederhana seperti pada Gambar dibawah ini. Jika air mengalir melalui sebuah pipa berdiameter  $D$  dengan kecepatan rata-rata  $V$ , sifat-sifat berikut ini dapat diamati dengan menginjeksikan zat pewarna yang mengambang seperti ditunjukkan. Untuk "laju aliran yang cukup kecil" guratan zat pewarna (sebuah garis-gurat) akan tetap berupa garis yang terlihat jelas selama mengalir, dengan hanya sedikit saja menjadi kabur karena difusi molekuler dari zat pewarna ke air di sekelilingnya. Untuk suatu "laju aliran sedang" yang lebih besar, guratan zat pewarna berfluktuasi menurut waktu, ruang dan olakan putus-putus dengan perilaku tak beraturan muncul di sepanjang guratan. Sementara itu, untuk "laju aliran yang cukup besar" guratan zat pewarna dengan sangat segera menjadi kabur dan menyebar di seluruh pipa dengan pola yang acak. Ketiga karakteristik ini, yang masing-masing disebut sebagai aliran *laminar*, *transisi* dan *turbulen*.



Gambar 2.3 Eksperimen ilustrasi jenis aliran. <sup>[4]</sup>

Untuk aliran pipa parameter tak berdimensi yang paling penting adalah bilangan Reynolds,  $Re$  adalah perbandingan antara efek inersia dan viskos dalam aliran. Dari hasil analisa, dapat diketahui bahwa aliran pada pipa tergantung terhadap angka Reynolds (*Reynolds number*),

$$R_e = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad [4] \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana  $V$  adalah kecepatan rata-rata di dalam pipa. Artinya, aliran di dalam sebuah pipa adalah laminar, transisi atau turbulen dapat diketahui dari bilangan Reynoldnya;  $D$  adalah diameter dalam pipa; Kerapatan; dan Viskositas. Aliran di Pipa berlaku sebagai berikut :

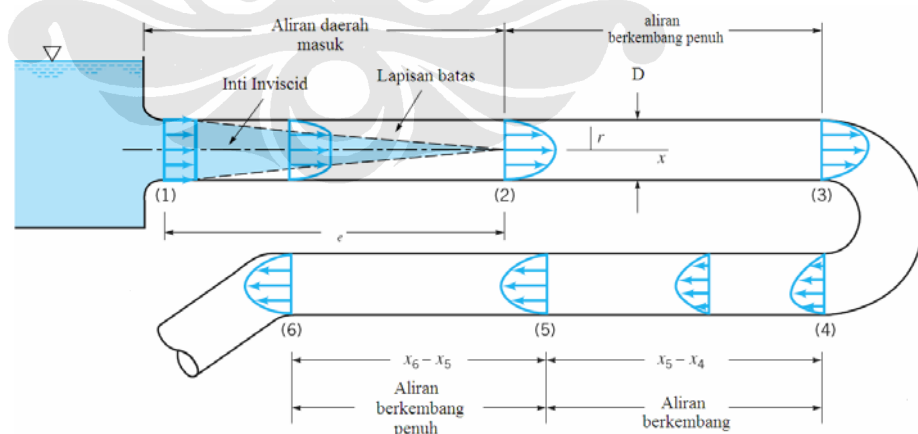
$R \leq 2300$  = Aliran Laminar Maksimum di dalam pipa

$2300 \leq R \leq 4000$  = Aliran Transisi; bilangan Reynolds diantara kedua batas ini, aliran mungkin berubah dari keadaan Laminar menjadi Turbulen dengan perilaku acak yang jelas.

$R \geq 4000$  = Aliran Turbulen.

#### 2.2.4 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh<sup>[4]</sup>

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pipa pada suatu lokasi. Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*entrance region*) dan diilustrasikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.4 Daerah aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh.<sup>[4]</sup>

Daerah tersebut mungkin sekitar beberapa kaki permulaan dari sebuah pipa yang dihubungkan pada sebuah tangki atau bagian awal dari saluran duct udara panas yang berasal dari sebuah tungku.

Aliran di daerah masuk sebuah pipa sangat kompleks, fluida biasanya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Selagi pipa fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa slip). Hal ini berlaku jika fluidanya adalah udara yang relatif inviscid ataupun minyak yang sangat viskos. Jadi, sebuah *lapisan batas (boundary layer)* dimana efek viskos menjadi penting timbul di sepanjang dinding pipa sedemikian hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa  $x$ , sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk, bagian (2), dimana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut  $x$ .

Lapisan batas telah tumbuh ketebalannya sehingga memenuhi pipa secara menyeluruh. Efek viskos sangat penting di dalam lapisan batas. Untuk fluida di luar lapisan batas [di dalam inti inviscid (*inviscid core*) yang mengelilingi garis sumbu dari (1) dan (2)], efek viskos dapat diabaikan.

Bentuk dari profil kecepatan di dalam pipa tergantung pada apakah aliran laminar atau turbulen, sebagaimana pula panjang daerah masuk,  $\ell_e$ .

Seperti pada banyak sifat lainnya dari aliran pipa, *panjang masuk* tak berdimensi,  $\ell_e / D$ , berkorelasi cukup baik dengan bilangan Reynolds. Panjang masuk pada umumnya diberikan hubungan :

$$\frac{\ell_e}{D} = 0,06 \text{ Re untuk aliran laminar [4] . . . . . (2.4)}$$

Dan

$$\frac{\ell_e}{D} = 4,4 (\text{Re})^{1/6} \text{ Re untuk aliran turbulen [4] . . . . . (2.5)}$$

Untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds Sangat rendah panjang masuk dapat sangat pendek ( $\ell_e = 0,6D$  jika  $\text{Re} = 10$ ), sementara untuk aliran-aliran

dengan bilangan Reynolds besar daerah masuk tersebut dapat sepanjang berkali-kali diameter pipa sebelum ujung akhir dari daerah masuk dicapai ( $\ell_e = 120D$  untuk  $Re = 2000$ ). Untuk banyak masalah-masalah teknik praktis  $10^4 < Re < 10^5$  sehingga  $20D < \ell_e < 30D$ .

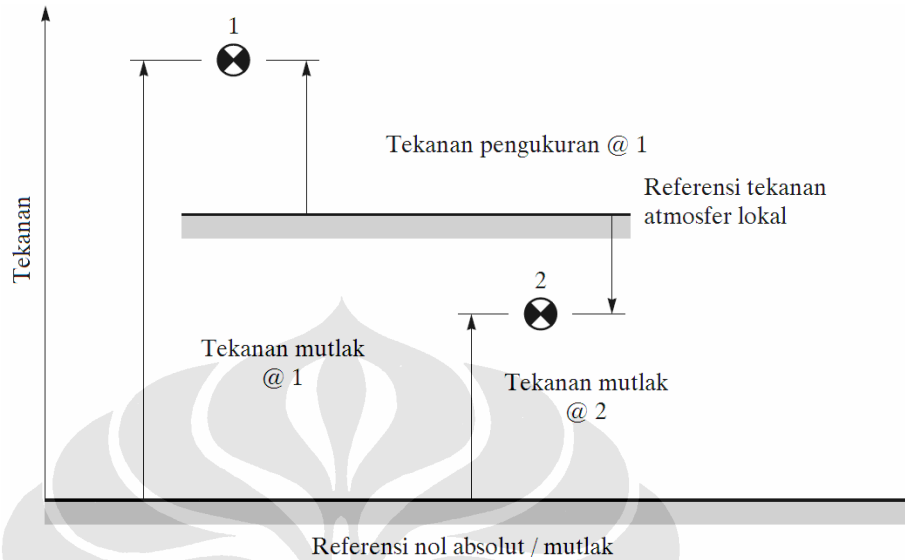
Perhitungan profil kecepatan dan distribusi tekanan di dalam daerah masuk sangat rumit. Namun, apabila fluida telah mencapai ujung akhir dari daerah masuk sangat rumit. Namun, apabila fluida telah mencapai ujung akhir dari daerah masuk, bagian (2) dari gambar di atas, aliran lebih mudah digambarkan karena kecepatan hanyalah fungsi jarak dari sumbu pipa,  $r$ , dan tidak tergantung pada  $x$ . Hal ini berlaku sampai sifat dari pipa berubah karena sesuatu hal, misalnya perubahan diameter, atau sampai fluida mengalir melalui sebuah belokan, katup, atau komponen lainnya pada bagian (3). Aliran antara (2) dan (3) disebut *berkembang penuh (fully developed)*. Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh [pada bagian (4)], aliran secara bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuhnya [bagian (5)] dan terus dengan profil ini sampai komponen pipa berikutnya dicapai [bagian (6)]. Dalam banyak kasus pipa cukup panjang sehingga terdapat panjang aliran berkembang penuh yang lebih besar dibandingkan dengan panjang aliran yang sedang berkembang.

### 2.2.5 Pengukuran Tekanan<sup>[4]</sup>

Tekanan (*pressure*) dinyatakan sebagai gaya per satuan luas. Dimana, satuan tekanan sama dengan tegangan (*stress*), dan pada umumnya tekanan dapat dianggap sebagai sejenis tegangan juga. Tekanan absolut (*absolute pressure*) diukur relatif terhadap suatu keadaan hampa sempurna (tekanan nol mutlak), atau gaya per satuan luas yang bekerja pada dinding penampung fluida. Tekanan relatif atau tekanan pengukuran (*gage pressure*) adalah selisih antara tekanan absolut dan tekanan atmosfer setempat.

Tekanan mutlak selalu positif, tetapi tekanan pengukuran dapat positif maupun negatif, tergantung pada apakah tekanan tersebut di atas tekanan atmosfer (bernilai positif) atau dibawah tekanan atmosfer (bernilai negatif). Sebuah tekanan negatif disebut juga sebagai tekanan *hisap* atau *hampa*. Misalnya, tekanan mutlak

10 psi (abs0 dapat dinyatakan sebagai pengukuran -4,7 psi (gage), jika tekanan atmosfer setempat adalah 14,7 psi, atau dengan cara lain dinyatakan sebagai tekanan hisap 4,7 psi atau tekanan hampa 4,7 psi.



Gambar 2.5 tekanan pengukuran dan tekanan mutlak<sup>[4]</sup>

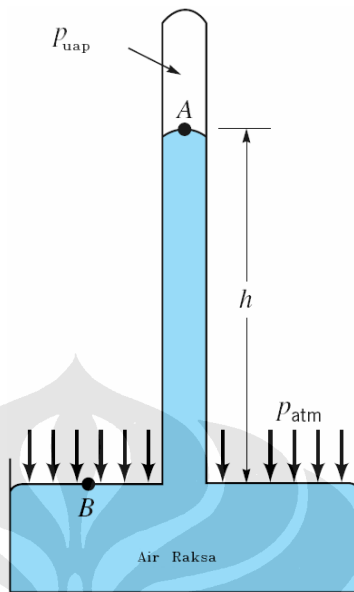
Pengukuran tekanan atmosfer biasanya dilakukan dengan sebuah *barometer* air raksa, yang bentuk paling sederhananya terdiri dari sebuah tabung gelas tertutup pada satu ujungnya dan ujung terbuka lainnya tercelup dalam sebuah bejana berisi penuh dengan air raksa seperti ditunjukkan pada gambar ..... Tabung tersebut mulai diisi penuh dengan air raksa (pada posisi terbalik dengan sisi terbukanya menghadap ke atas) dan kemudian diputar ke bawah (ujung terbuka ke bawah) sehingga ujung terbuka didalam bejana air raksa. Ketinggian kolom air raksa akan mencapai suatu posisi kesetimbangan di mana beratnya ditambah dengan gaya akibat tekanan uap (yang terbentuk pada ruang di atas kolom) mengimbangi gaya karena tekanan atmosfer. Jadi

$$P_{atm} = \gamma h + P_{uap} \quad [4] \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana  $\gamma$  adalah berat jenis air raksa. Untuk kebanyakan tujuan praktis, pengaruh tekanan uap dapat diabaikan karena nilainya sangat kecil [untuk air raksa  $P_{uap} = 0,000023 \text{ lb}/\text{in}^2$ . (abs) pada temperatur  $68^\circ F$ . Ini merupakan cara yang konvensional untuk menyatakan tekanan atmosfer dengan ketinggian  $h$  dalam milimeter atau inci air raksa. Perlu dicatat jika air digunakan sebagai pengganti air raksa, maka ketinggian kolom akan mencapai kira-kira 34 ft,



dibandingkan dengan air raksa yang hanya 29,9 in. Konsep barometer air raksa diciptakan oleh Evangelista Torricelli pada tahun 1644.



Gambar 2.6 Barometer air raksa.<sup>[4]</sup>