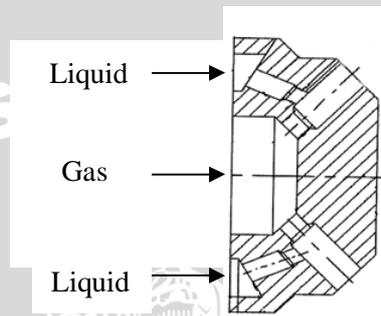


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

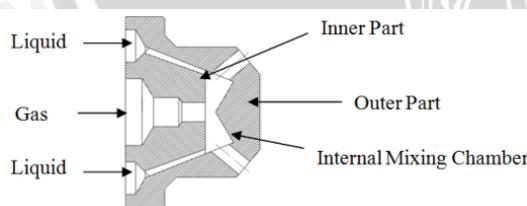
2.1 Penelitian Sebelumnya

Barerras (2004) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan dan bentuk *mixing chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *twin fluid atomizer*. Dalam penelitian tersebut digunakan tiga jenis *twin fluid atomizer*, yaitu *atomizer* berprofil Y, *atomizer* dengan *internal mixing chamber*, dan *atomizer* dengan *internal mixing chamber* berprofil Y. Gambar 2.1 menunjukkan *atomizer* berprofil Y.



Gambar 2.1 *Atomizer* berprofil Y
Sumber : Barerras, 2004:129

Gambar 2.2 (a) menunjukkan *atomizer* dengan *internal mixing chamber* memiliki dua bagian terpisah, yaitu bagian luar atau *outer part* seperti pada gambar 2.2 (b) dan bagian dalam atau *inner part* ditunjukkan oleh gambar 2.2 (c), sedangkan gambar 2.3 menunjukkan *atomizer* dengan *interval mixing chamber* berprofil Y dimana *atomizer* ini merupakan hasil dari modifikasi dari bagian dalam dari *atomizer* dengan *internal mixing chamber*.

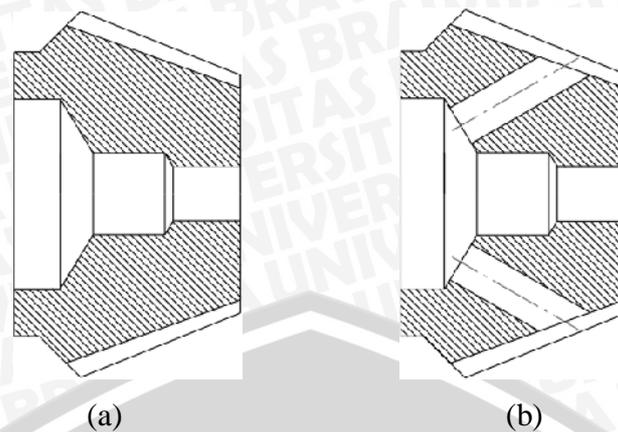


(a)

(b)

(c)

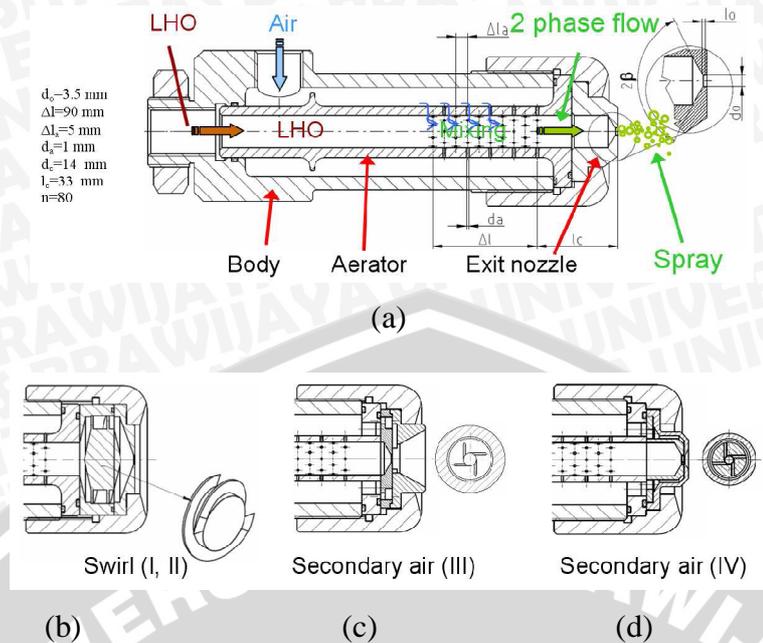
Gambar 2.2 (a) *Atomizer* dengan *internal mixing chamber*,
(b) *Outer part*, (c) *Inner part*
Sumber : Barerras, 2004:131



Gambar 2.3 (a) *Inner part* tanpa profil Y,
(b) *Inner part* dengan profil Y
Sumber : Barerras, 2004:131

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik *spray* dari *twin fluid atomizer* dengan *mixing chamber* yang berbeda. Fluida yang digunakan adalah air dan udara. Debit udara yang digunakan yaitu $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$ - $60 \text{ Nm}^3/\text{h}$ dengan kenaikan $10 \text{ Nm}^3/\text{h}$, sedangkan debit air yang digunakan yaitu $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ - $1 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ tiap kenaikannya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketiga *atomizer* tersebut memiliki nilai *air to liquid ratio* (ALR) yang hampir sama, sedangkan nilai koefisien tekan (*discharge coefficient*) tertinggi dimiliki oleh *atomizer* berprofil Y. *Discharge coefficient* adalah rasio perbandingan antara nilai debit actual dibagi dengan debit ideal. Pada penelitian tersebut yang memiliki kinerja paling baik terdapat pada *atomizer* dengan *internal mixing chamber* tanpa profil Y, yang mana dapat menghasilkan *droplet* yang halus pada laju aliran yang rendah.

Jedelsky, J. dan Jicha, M. (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan *swirl flow* terhadap karakteristik *spray* pada *twin fluid atomizer* dalam proses pembakaran. Dalam penelitiannya digunakan *atomizer* polos tanpa *swirler*, *atomizer* dengan menyisipkan *helical swirler*, *atomizer* dengan udara sekunder yang berputar di luar *orifice*, dan *atomizer* dengan udara sekunder yang berputar pada *orifice* yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Penelitian ini dilakukan pada berbagai tekanan udara dan nilai GLR (*gas to liquid ratio by mass*) yang berbeda.



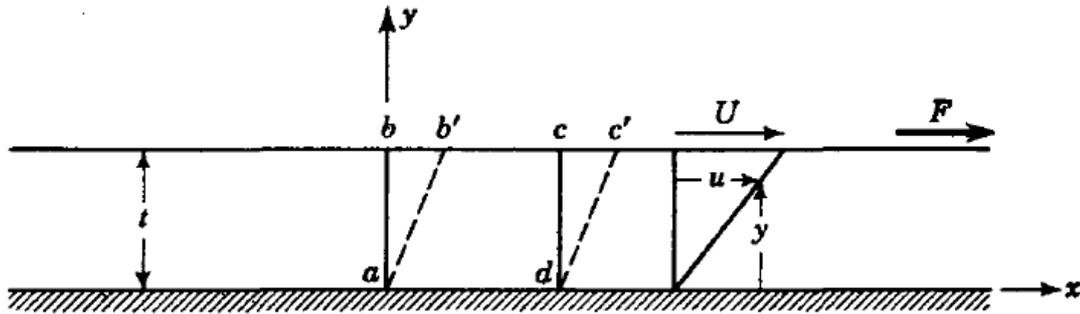
Gambar 2.4 Atomizer (a) polos tanpa *swirler*, (b) *helical swirler*, (c) dengan udara sekunder yang berputar di luar *orifice*, (d) dengan udara sekunder yang berputar pada *orifice*
 Sumber : Jedelsky, 2010:2

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *atomizer* polos tanpa *swirler* menghasilkan sudut *spray* maksimal pada GLR 10% yaitu 20°. Sedangkan *atomizer* dengan *helical swirler* menghasilkan sudut *spray* maksimal pada GLR 0% dengan sudut *spray* 35°. Dengan meningkatnya GLR, maka sudut *spray* akan semakin berkurang sebagai *critical discharge* dari campuran dua fase fluida yang mengganggu gerak pusaran aliran. Sedangkan *atomizer* dengan udara sekunder yang berputar pada *orifice* menghasilkan ukuran *droplet* yang lebih kecil dibandingkan *atomizer* polos karena interaksi antara *liquid* dengan udara sekunder pada lubang *orifice*.

2.2 Fluida

2.2.1 Definisi dan sifat-sifat fluida

Fluida adalah suatu zat/bahan yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser dan akan berubah bentuk secara terus-menerus (kontinyu) bila terkena gaya geser sekecil apapun (Streeter, 1996:4). Gaya geser merupakan komponen gaya yang menyinggung permukaan dan jika dibagi dengan luas permukaan tersebut menjadi tegangan geser rata-rata pada permukaan itu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Deformasi elemen fluida akibat adanya tegangan geser
 Sumber : Streeter (1958: 4)

Sifat-sifat fluida sangat penting untuk penerapan berbagai teknologi yang berkaitan dengan fluida. Kerapatan (ρ), volume jenis (v), berat jenis (γ), kompresibilitas dan *specific gravity* (s) merupakan sifat-sifat yang diperlukan untuk fluida dalam keadaan diam, sedangkan untuk fluida bergerak ada satu sifat yang penting yaitu viskositas.

Kerapatan (ρ) adalah perbandingan antara massa dan volume zat itu, sehingga nilai kerapatan dapat diukur melalui pengukuran massa dan volumenya. Volume jenis (v) merupakan kebalikan dari kerapatan, yakni volume yang ditempati oleh fluida tiap satu satuan massa. Berat jenis (γ) adalah berat zat tiap satuan volume, dimana berat jenis berubah bersama perubahan tempat serta bergantung pada besarnya gravitasi. *Specific gravity* (s) adalah perbandingan antara kerapatan atau berat jenis dari suatu cairan tertentu dengan berat jenis air pada kondisi standar dengan volume yang sama. Kompresibilitas adalah ukuran perubahan volume suatu fluida akibat berubahnya tekanan yang dialami fluida tersebut tiap satuan volumenya.

Viskositas (μ) adalah salah satu sifat fluida yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul-molekul cairan. Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa untuk laju perubahan bentuk sudut fluida yang tertentu maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{Streeter, 1958:4}) \quad (2.1)$$

Dengan : τ = Tegangan geser (N)

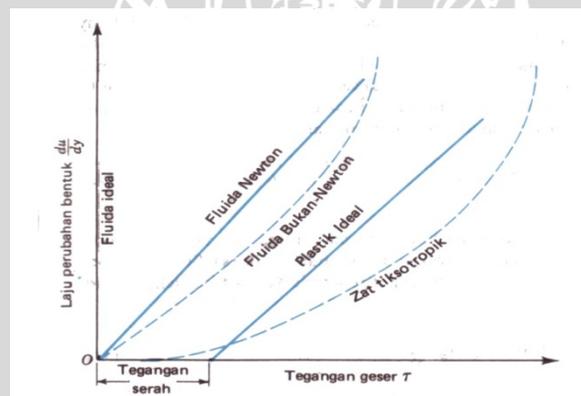
μ = Viskositas (Ns/m²)

$\frac{du}{dy}$ = Laju perubahan bentuk sudut fluida (m²/s)

Viskositas (μ) disebut juga viskositas mutlak atau viskositas dinamik, sedangkan viskositas kinematik (ν) merupakan perbandingan antara viskositas dinamik (μ) terhadap massa jenis (ρ).

2.2.2 Klasifikasi fluida

Klasifikasi berbagai jenis fluida diperlukan untuk mempermudah dalam mengenali fluida tersebut. Gambar 2.6 menggambarkan kemampuan fluida dalam menahan tegangan geser dapat diklasifikasikan sebagai fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian. Dalam fluida Newtonian terdapat hubungan linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan viskositas dinamik yang konstan. Contoh dari fluida Newtonian adalah oli, air, dan udara. Pada fluida non-Newtonian terdapat hubungan tak linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk. Contoh dari fluida non-Newtonian adalah lumpur, pasta gigi, dan *mayonnaise*.



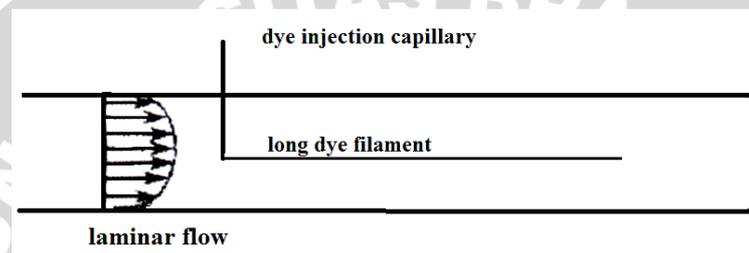
Gambar 2.6 Fluida Newtonian dan fluida Non-Newtonian
Sumber : Streeter & Wylie, (1996 : 5)

Klasifikasi fluida berdasarkan mampu mampatnya, yaitu fluida *compressible* dan *incompressible*. Fluida *compressible* adalah fluida yang mampu mampat dan kerapatannya dipengaruhi oleh perubahan tekanan. Contoh fluida *compressible* adalah udara dan berbagai gas. Fluida *incompressible* adalah fluida yang tidak mampu mampat dan perubahan kerapatan fluida akibat perubahan tekanan dapat diabaikan. Contoh fluida *incompressible* adalah air, minyak dan berbagai jenis cairan. Udara atau gas bisa dianggap *incompressible* jika kecepatan alirannya mempunyai bilangan *Mach* < 0,3.

Berdasarkan kekentalannya, fluida dibagi menjadi aliran *inviscid* (tidak viskos) dan aliran *viscous* (viskos). Aliran *inviscid* adalah aliran dimana viskositas fluidanya

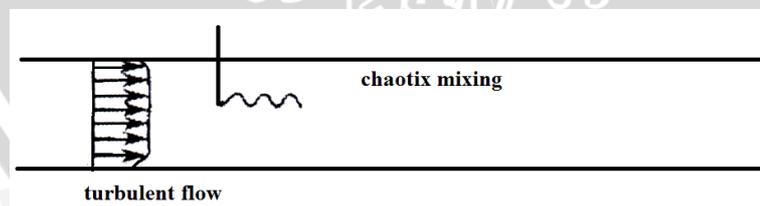
dianggap nol, sehingga fluida tersebut tidak memberikan tahanan sama sekali terhadap tegangan geser yang terjadi padanya, sedangkan aliran viskos adalah aliran dimana viskositasnya tidak sama dengan nol. Dari aliran viskos ini, kemudian dibagi menjadi aliran laminar dan turbulen.

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang partikelnya bergerak dalam lapisan-lapisan dimana perpindahan momentum dan massa terjadi secara molekuler dalam skala mikroskopis. Kecenderungan turbulensi diredam oleh gaya-gaya viskos yang memberi hambatan terhadap gerak relatif lapisan-lapisan fluida. Pada aliran laminar, partikel fluida bergerak secara berurutan mengikuti lintasan yang lancar secara kontinyu dengan kecepatan yang tetap seperti terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Aliran laminar
Sumber : Papanastasiou (1993: 26).

Pada aliran turbulen seperti terlihat pada gambar 2.8, partikel fluida bergerak secara acak dengan kecepatan yang berfluktuasi dan saling interaksi antar gumpalan fluida yang dapat dibayangkan sebagai bongkahan-bongkahan fluida. Bongkahan-bongkahan fluida itu bergerak secara acak sehingga proses perpindahan momentum dan massa terjadi dalam skala makroskopis. Partikel-partikel bongkahan berperan sebagai pembawa energi dan memindahkan energi dan massa dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain fluida tersebut.



Gambar 2.8 Aliran turbulen
Sumber : Papanastasiou (1993: 26).

Parameter yang menunjukkan ciri-ciri pola aliran serta lapisan batas yaitu bilangan Reynold. Bilangan Reynold merupakan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos pada aliran fluida. Hal ini dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (\text{Streeter, 1993:165}) \quad (2.2)$$

Dengan :

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Diameter pipa (m)

ν = Viskositas kinematik (m^2/s)

Untuk aliran laminar di dalam pipa mempunyai bilangan Re kurang dari 2300. Untuk aliran transisi terdapat pada bilangan Re 2300 dan 4000 biasa juga disebut sebagai bilangan Reynolds kritis, sedangkan aliran turbulen mempunyai bilangan Re lebih dari 4000.

2.2.3 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan bentuk turunan dari hukum kekekalan massa. Pada saat kondisi aliran *steady*, massa fluida yang melalui semua bagian dalam arus fluida persatuan waktu adalah sama. Hal ini berarti massa fluida persatuan waktu yang mengalir pada sembarang titik adalah konstan.



$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad (\text{Streeter, 1958:91}) \quad (2.3)$$

Maka persamaan kontinuitas dinyatakan dengan rumus :

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 \quad (\text{Streeter, 1958:91}) \quad (2.4)$$

Dimana :

\dot{m} = Laju aliran massa (Kg/s)

ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang aliran (m^2)

Untuk fluida – fluida *incompressible*, maka $\rho = \text{konstan}$, jadi persamaan kontinuitas dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (\text{Streeter, 1958:92}) \quad (2.5)$$

Dengan :

$$Q = \text{Debit fluida} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$V = \text{Kecepatan aliran} \quad (\text{m/s})$$

$$A = \text{Luas penampang aliran} \quad (\text{m}^2)$$

Dimana debit fluida merupakan besarnya jumlah fluida yang mengalir per satuan waktu. Jadi, persamaan kontinuitas menyatakan bahwa semakin kecil luas penampang aliran, maka kecepatan fluida akan bertambah, begitu juga sebaliknya jika luas penampang aliran membesar maka kecepatan aliran fluida akan berkurang.

2.2.4 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli menjelaskan berbagai hal yang berkaitan dengan energi fluida yang meliputi energi kecepatan, tinggi permukaan zat cair dan tekanannya. Disebut juga sebagai Hukum Bernoulli, yaitu hukum yang digunakan untuk menjelaskan perubahan bentuk energi fluida *incompressible* dan *inviscid* sepanjang *streamline* dalam keadaan *steady*. Aliran suatu zat cair *incompressible* melalui saluran tertutup (pipa), fluida mempunyai tekanan statis, kecepatan dan ketinggian (z) yang diukur dari bidang referensi. *Head*/energi spesifik tiap satuan berat dinyatakan dengan:

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{Constant} \quad (\text{Douglas, 1961:120}) \quad (2.6)$$

$$p = \text{tekanan statis (N/m}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{berat jenis fluida (kg/m}^3\text{)}$$

$$v = \text{kecepatan fluida (m/s)}$$

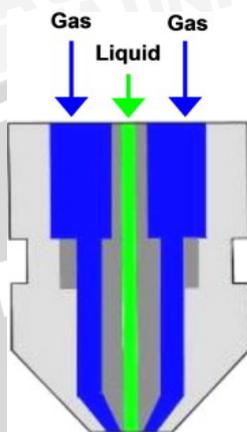
$$g = \text{percepatan gravitasi bumi} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$z = \text{elevasi (m)}$$

2.3 Twin Fluid Atomizer

Twin fluid atomizer adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan atomisasi dua fluida (cair dan gas) secara bersamaan menjadi *droplet*. Dalam *twin fluid atomizer* terdapat saluran fluida cair dan saluran gas, dimana fluida cair dan gas akan bertemu dalam ruang pencampuran (*mixing chamber*). Gas dalam ruang pencampuran digunakan sebagai fluida sekunder yang berfungsi untuk mengganggu stabilitas fluida cair. Kemudian campuran fluida cair dan gas keluar dari ruang pencampuran melalui *orifice*, dan terpecah menjadi *droplet* dalam bentuk *spray*.

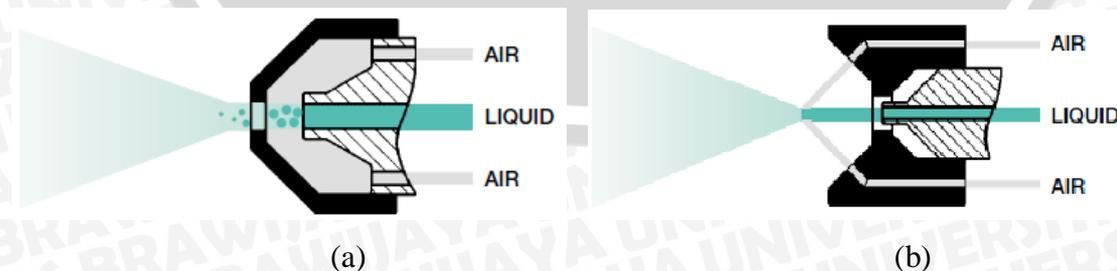
Karakteristik spray sangat dipengaruhi oleh propertis fluida yang meliputi bentuk *atomizer* (geometri dan dimensi) dan kondisi lingkungan sekitar yang ada pada saat itu. Propertis fluida memiliki peranan penting dalam menentukan debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran dan distribusi *droplet*. Pada gambar 2.9 menggambarkan mekanisme saluran air dan udara pada *twin fluid atomizer*.



Gambar 2.9 *Twin fluid atomizer*
Sumber : Jakobs (2012:449)

Twin fluid atomizer terdiri atas bagian-bagian inti yang meliputi *liquid inlet*, *air inlet*, *mixing chamber*, dan *orifice*. *Liquid inlet* berfungsi sebagai saluran masuk fluida cair ke dalam *mixing chamber*. *Air inlet* berfungsi sebagai saluran masuk fluida gas ke dalam *mixing chamber*. *Mixing chamber* berfungsi sebagai ruang pencampuran antara fluida cair dan fluida gas. *Orifice* berfungsi sebagai saluran keluar dari campuran fluida gas dan fluida cair.

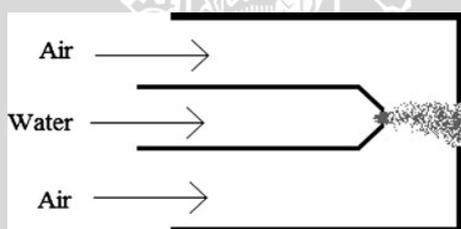
Twin fluid atomizer memiliki dua jenis *mixing chamber* yaitu *internal mixing chamber* dan *external mixing chamber* seperti terlihat pada gambar 2.10. Pada *internal mixing chamber*, fluida cair dan fluida gas bertemu dan bercampur dalam satu ruangan *mixing chamber*, sedangkan pada *external mixing chamber*, fluida cair dan fluida gas bertemu dan bercampur diluar *twin fluid atomizer*.



Gambar 2.10 (a) *Twin fluid atomizer* dengan *internal mixing chamber*
(b) *Twin fluid atomizer* dengan *external mixing chamber*
Sumber : PNR *air atomizing nozzles* (2002:8)

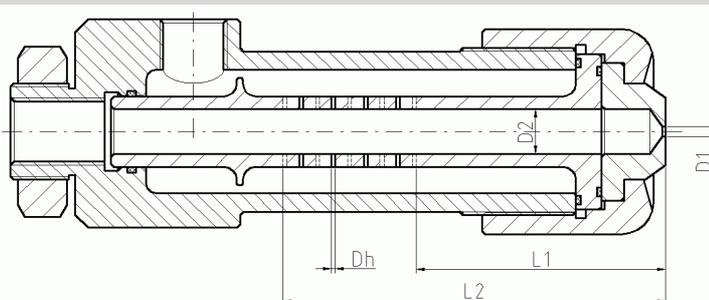
Internal mixing chamber memiliki kelebihan dalam menghasilkan *spray* yang lebih halus dan ukuran *droplet* yang lebih kecil, tetapi kekurangannya yaitu apabila tekanan dari salah satu fluida lebih tinggi, maka akan menyebabkan fluida yang lain kehilangan tekanan sehingga tidak mampu untuk menghasilkan atomisasi, sedangkan kelebihan *external mixing chamber* adalah kenaikan tekanan dari salah satu fluida tidak akan mempengaruhi tekanan fluida yang lainnya, sehingga berapapun besar tekanan dari kedua fluida, atomisasi akan tetap terjadi, namun kelemahannya yaitu *spray* yang dihasilkan lebih kasar dan ukuran *droplet* yang dihasilkan juga lebih besar. Dalam penelitian ini *mixing chamber* yang digunakan adalah *internal mixing chamber* yang berbentuk kerucut (*conical mixing chamber*).

Twin fluid atomizer memiliki tiga macam konfigurasi yaitu *air-blast atomizer*, *air-assist atomizer* dan *effervescent atomizer*. Perbedaan utama dari ketiga *twin fluid atomizer* ini adalah massa dan kecepatan yang digunakan untuk menghasilkan atomisasi.



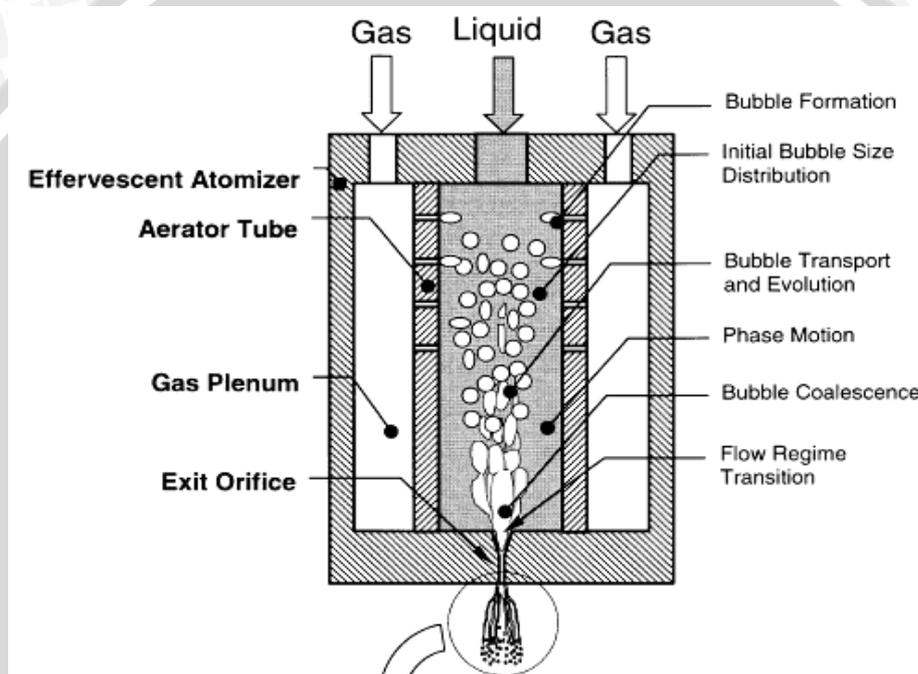
Gambar 2.11 Sketsa desain *air-blast atomizer* dan *air-assist atomizer*
Sumber : Omer & Ashgriz (2011:501)

Pada dasarnya *air-blast atomizer* dan *air-assist atomizer* memiliki konsep desain yang sama seperti terlihat pada gambar 2.11. Pada *air-blast atomizer*, fluida gas diinjeksikan secara terus menerus dan dalam kecepatan yang rendah. *Air-blast atomizer* biasa diaplikasikan pada sistem pembakaran. Sedangkan pada *air-assist atomizer*, fluida gas diinjeksikan dalam kecepatan yang tinggi tetapi tidak terus menerus seperti pada *air-blast atomizer*.



Gambar 2.12 *Effervescent atomizer*
Sumber : Jedelsky & Jischa (2011:500)

Effervescent atomizer seperti pada gambar 2.12 memiliki desain bentuk yang hampir sama dengan *air-blast atomizer* dan *air-assist atomizer*. Perbedaannya terletak pada adanya lubang – lubang *aerator* yang berfungsi sebagai saluran yang menghubungkan fluida cair dan fluida gas menuju *mixing chamber*. Keunggulannya yaitu dapat menghasilkan *spray* yang lebih halus dibandingkan pada *air-blast atomizer* dan *air-assist atomizer*. Hal ini disebabkan karena adanya lubang – lubang *aerator* yang menyebabkan fluida gas berubah menjadi gelembung – gelembung kecil didalam *mixing chamber*. Akibatnya, pencampuran antara fluida gas dan fluida udara akan lebih maksimal. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Fenomena yang terjadi pada *Effervescent atomizer*
Sumber : Sovani (2001:510)

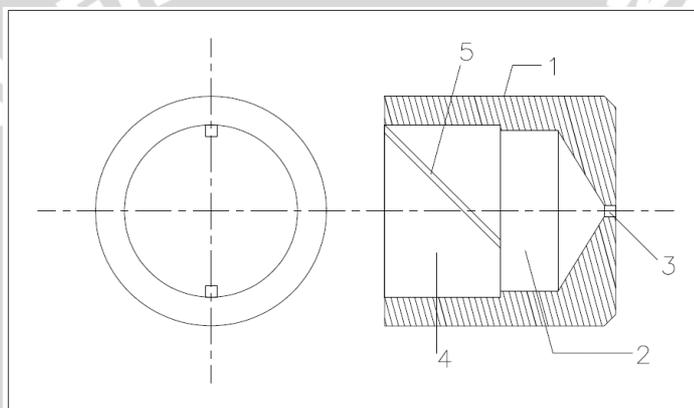
Pada saat ini *effervescent atomizer* sudah mulai dikembangkan pada beberapa industri, contohnya yaitu pada industri makanan, industri logam, industri bahan kimia, industri pengecatan, dan sebagainya. Tidak hanya itu *effervescent atomizer* juga biasa diaplikasikan pada turbin gas dan sistem pembakaran mesin bensin dan mesin diesel.

2.4 Swirl Nozzle

Nozzle adalah pipa atau tabung dengan diameter berbeda yang berfungsi merubah energi tekanan fluida masuk nosel menjadi energi kinetik atau kecepatan fluida keluar nosel. Nosel biasa digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran fluida cair maupun gas.

Nosel memiliki beberapa jenis yang salah satunya adalah *spray nozzle* yang berfungsi untuk memecah fluida cair yang disemprotkan menjadi butiran-butiran halus atau *droplet*. Salah satu contoh *spray nozzle* adalah *swirl nozzle* yang memanfaatkan alur yang memiliki kemiringan tertentu sehingga akan dihasilkan gerak rotasi dalam bentuk pusaran (*vortex*) di dalam *swirl chamber*.

Swirl nozzle memiliki bagian-bagian utama yaitu alur/slot pada inti, *swirl chamber*, dan *orifice*, ditunjukkan pada gambar 2.14. Slot berfungsi sebagai pengarah aliran fluida sehingga terbentuk aliran yang berputar di dalam *swirl chamber*. *Swirl chamber* merupakan tempat aliran fluida berputar. *Orifice* adalah saluran yang berfungsi mengalirkan fluida yang berputar di dalam *swirl chamber* menjadi *droplet*.



Keterangan: 1. casing, 2. *swirl chamber*, 3. *orifice*, 4. inti, 5. alur/slot dengan θ adalah besar sudut alur

Gambar 2.14 : Bagian-bagian swirl nozzle

Sumber : Anonimous, 2001

Swirl nozzle memiliki beberapa fungsi, yaitu:

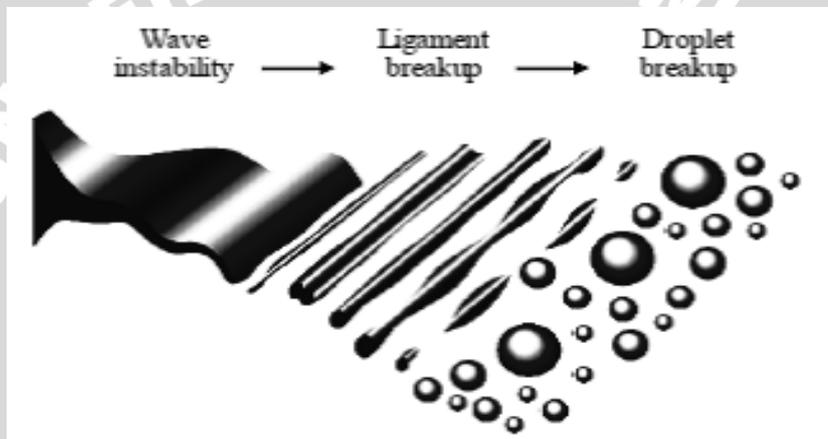
1. Mengontrol laju aliran fluida
2. Atomisasi cairan ke dalam droplet
3. Tersebarnya *droplet* dalam pola dan ukuran tertentu

Ditinjau dari prinsip kerjanya, *swirl nozzle* memerlukan energi yang diberikan oleh pompa. Energi potensial dari pompa harus diubah menjadi energi kinetik dengan cara mengalirkan fluida melalui alur atau lubang yang terdapat pada *swirl nozzle*. Fluida yang melalui alur ini akan memiliki kecepatan yang tinggi. Kemudian fluida cair akan masuk ke dalam *swirl chamber* pada arah tangensial dan akan terbentuk pusaran atau *vortex*. Sebagian energi keluar *nozzle* digunakan untuk pembentukan *droplet* dan juga membentuk pola semprotan yang spesifik, tetapi tidak semua energi potensial diubah

menjadi energi kinetik, sebagian tetap sebagai energi potensial dalam bentuk tekanan yang mendorong fluida keluar melalui *orifice*.

2.5 Mekanisme Pembentukan *Droplet*

Energi sangat diperlukan dalam memecahkan aliran fluida menjadi *droplet*. Dalam *twin fluid atomizer*, energi berbentuk energi tekanan dari pompa dan kompresor. Energi tekanan dikonversikan menjadi energi kecepatan dengan mengalirkan fluida melalui saluran masing-masing fluida. Dalam *mixing chamber* fluida ini bercampur sehingga terbentuk *spray sheet* yang keluar dari *orifice* dan kemudian muncul gangguan pada aliran fluida sehingga terbentuk ligamen, selanjutnya ligamen hancur dengan mekanisme *break up* dan terbentuk *droplet*. Hal ini digambarkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Mekanisme pembentukan *droplet*
Sumber : Watanawanyoo & Furukawa (2010:508)

Sifat semburan fluida dari *atomizer* ditentukan oleh tiga bilangan tanpa dimensi:

- *Reynold number* :

Yaitu rasio antara gaya inersia terhadap viskositas dinamik.

$$Re_J = \left(\frac{\rho V}{\mu} \right)_l d_J \quad (\text{Helmut, 2006:3}) \quad (2.7)$$

- *Weber number* :

Yaitu rasio antara gaya inersia terhadap tegangan permukaan.

$$We_J = \left(\frac{\rho_g V_J^2 d_J}{\sigma} \right) \quad (\text{Helmut, 2006:3}) \quad (2.8)$$

- *Ohnesorge number* :

Yaitu rasio antara viskositas dinamik terhadap akar kuadrat dari produk inersia dan tegangan permukaan.

$$Oh = \frac{\mu_l}{\sqrt{\rho_l \sigma d_j}} \quad (\text{Helmut, 2006:3}) \quad (2.9)$$

- Dimana :
- ρ = Densitas fluida (kg/m^3)
 - V = Kecepatan fluida (m/s)
 - μ = Viskositas dinamik (Ns/m^2)
 - d = Diameter (m)
 - σ = Tegangan permukaan (N/m^2)

Subskrip l, j menyatakan *liquid* dan *jet*.

2.6 Karakteristik *Spray*

Aplikasi penggunaan *twin fluid atomizer* pada suatu alat memerlukan karakteristik *spray* tertentu agar tujuan yang diinginkan tercapai. Karakteristik *spray* dari *twin fluid atomizer* meliputi :

1. Ukuran *droplet*

Ukuran *droplet* dipengaruhi beberapa faktor diantaranya :

- Diameter *orifice*

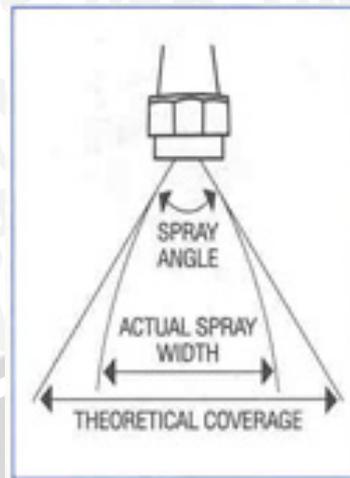
Pada tiap nosel yang sama dan pada tekanan yang sama, semakin kecil diameter *orifice* maka ukuran *droplet* yang dihasilkan akan semakin kecil.

- Sudut *spray*

Untuk debit yang sama, semakin besar sudut *spray* suatu *atomizer* maka *droplet* yang dihasilkan semakin kecil

2. Sudut *spray*

Pada dasarnya sudut *spray* merupakan sudut yang dibentuk oleh fluida yang keluar dari *orifice*. *Spray* dari *atomizer* mempunyai sudut dan lebar tertentu. Terdapat dua jenis lebar *spray* dari cara pengukurannya yaitu lebar *spray* aktual dan lebar *spray* teoritis. Lebar *spray* teoritis dihitung dengan menarik garis lurus dari tepi *spray* dengan *orifice*. Sedangkan lebar *spray* aktual dapat diamati secara langsung dari *spray* yang keluar dari *orifice* biasanya digunakan busur derajat untuk memudahkan pengamatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari gambar 2.16.



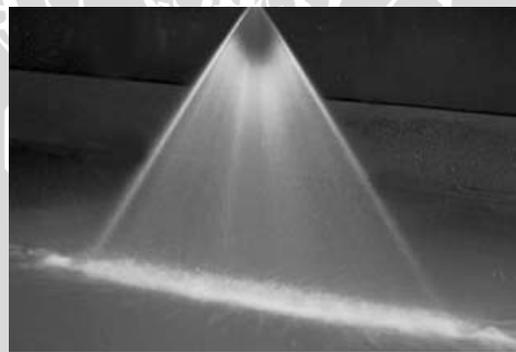
Gambar 2.16 Teoritis dan aktual dari lebar pola dan sudut *spray*
 Sumber : *Technical Products and Service*, 2012

3. Distribusi *droplet*

Yaitu penyebaran *droplet* dalam ruang, dikenal dengan *spatial droplet distribution*. Terdapat beberapa macam distribusi *droplet* yaitu:

- *Flat spray*

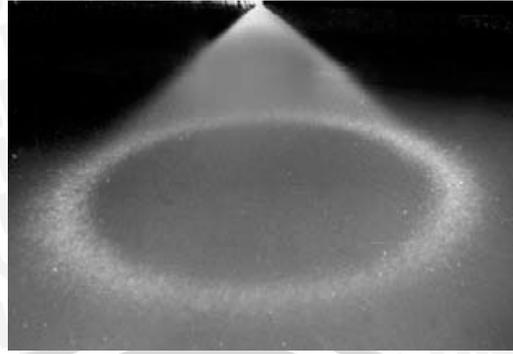
Pola semprotan dari *flat spray* sangat tipis seperti terlihat pada gambar 2.17. Biasanya bentuk semprotan dari *flat spray* ini berupa oval/elips. Distribusi *droplet* yang dihasilkan terkonsentrasi ditengah.



Gambar 2.17 *Flat Spray*
 Sumber : Omer & Ashgriz (2011:501)

- *Hollow cone spray*

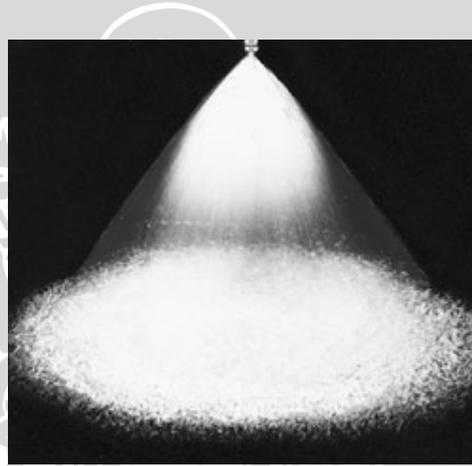
Pola semprotan dengan konsentrasi *droplet* berada pada sisi luar yang digambarkan pada gambar 2.18. Pada tengah hanya sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali.



Gambar 2.18 *Hollow cone spray*
Sumber : Omer & Ashgriz (2011:501)

- *Solid cone spray*

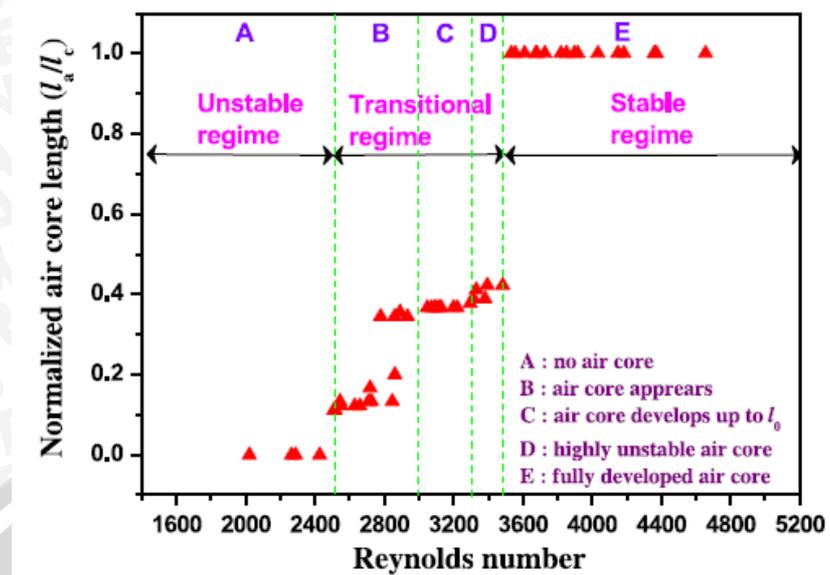
Pola semprotan dengan distribusi *droplet* merata pada seluruh luasan sudut semprot seperti terlihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 *Solid cone spray*
Sumber : Omer & Ashgriz (2011:501)

Distribusi *droplet* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah arah aliran fluida masuk *mixing chamber*, percampuran dan gerakan fluida dalam *mixing chamber*, serta gerakan fluida keluar dari nosel melalui *orifice*.

Pada dasarnya, karakteristik *spray* dipengaruhi oleh besarnya kecepatan masuk, semakin besar kecepatan yang masuk menuju *swirl chamber* maka akan terbentuk pusaran yang semakin besar. Besarnya pusaran yang terbentuk akan mengakibatkan sudut *spray* yang lebih besar.



Gambar 2.20 : Daerah pembentukan *air core*
 Sumber :Lee. E.J. et al, 2010 : 1481

Pusaran air yang besar akan menciptakan *air core*. *Air core* adalah ruang berisi udara yang terbentuk di tengah *swirl chamber*. *Air core* terbentuk akibat besarnya komponen tangensial kecepatan masuk fluida menuju *swirl chamber*. Karakteristik *spray* secara tidak langsung juga dipengaruhi oleh *air core*.

Air core sendiri memiliki tiga daerah pembentukan, yaitu daerah *air core* yang tidak tampak, daerah transisional dan daerah *stable air core*. Ketiga daerah ini dibatasi oleh besarnya bilangan Reynold. Daerah dengan *air core* yang tidak tampak biasanya memiliki bilangan Reynold antara 1600 sampai 2500. Daerah transisional terbentuk pada bilangan Reynolds antara 2500 sampai 3500. Pada daerah ini *air core* sudah tampak namun panjang dari *air core* ini belum mencapai daerah *swirl chamber*. Pada daerah *stable air core* bilangan Reynoldnya adalah antara 3600 sampai 4800. Pada daerah ini *air core* sudah mencapai *swirl chamber*.

Gambar 2.20 memiliki nosel dengan dimensi diameter inlet 1,5 mm. Pedoman untuk mengetahui besarnya daerah pembentukan *air core* itu sendiri tergantung dengan besarnya kecepatan masuk, diameter saluran masuk dan viskositas kinematik dari fluida yang digunakan. Persamaan 2.2 dapat digunakan untuk menghitung besarnya bilangan Reynolds untuk tiap daerah. Dengan besarnya kecepatan masuk fluida, apabila komponen tangensialnya cukup besar, maka akan terbentuk *stable air core*. Jika kecepatan masuk semakin tinggi maka bilangan Reynolds akan semakin tinggi pula. Hal ini akan menyebabkan diameter dari *air core* membesar dan akan menutupi saluran keluar fluida, sehingga fluida tidak dapat keluar.

Semakin besar *air core* yang terbentuk maka sudut *spray* yang terbentuk juga akan semakin besar. Sudut *spray* ini akan mempengaruhi ketebalan dari lapisan fluida yang keluar dari nosel. Semakin tipis lapisan fluida yang terbentuk maka ukuran *droplet* yang terbentuk akan semakin kecil. Untuk menghitung besarnya sudut *spray* yang terbentuk digunakan persamaan dibawah ini.

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{V_z}{\sqrt{(V_z^2 + V_r^2 + V_\theta^2)}} \right) \quad (\text{Datta, Som, 2000 :415}) \quad (2.10)$$

$$V_z = \frac{4Q}{\pi(d_o^2 - d_a^2)}$$

$$V_r = \frac{\int_{r_a}^{r_o} r V_{ze}^l V_{re}^l dr}{\int_{r_a}^{r_o} r V_{ze}^l dr}$$

$$V_\theta = \frac{\int_{r_a}^{r_o} r V_{ze}^l V_{\theta e}^l dr}{\int_{r_a}^{r_o} r V_{ze}^l dr}$$

Dengan : θ = sudut *spray* ($^\circ$)

V = kecepatan fluida (m/s)

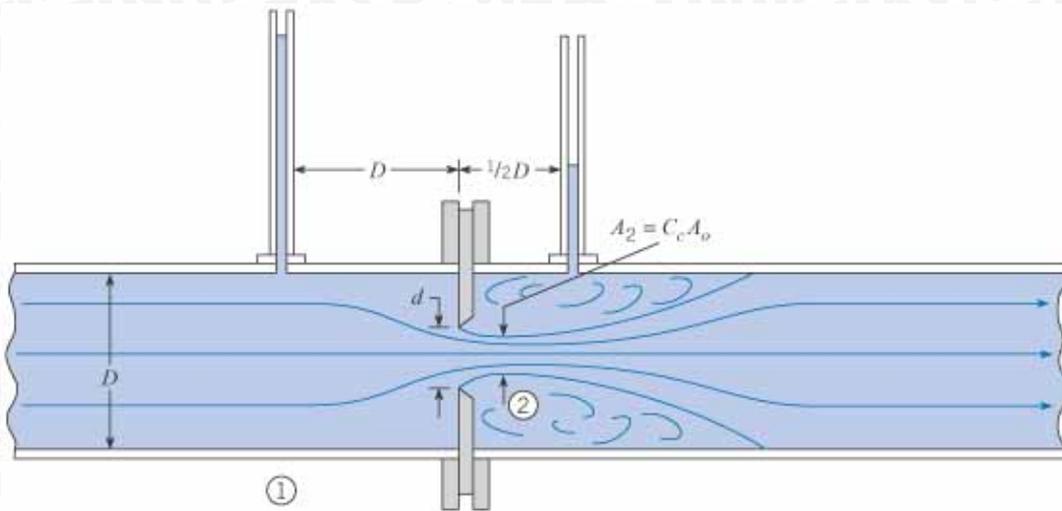
Q = debit fluida (m^3/s)

d_o = diameter orifice (m)

d_a = diameter *air core* (m)

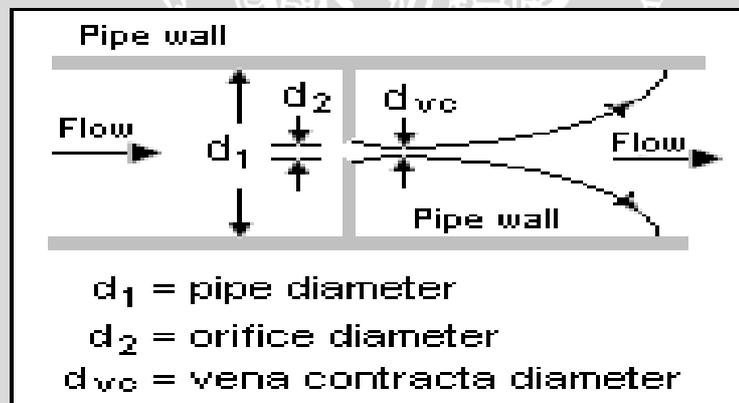
2.7 Orifice

Orifice merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volume atau massa fluida di dalam saluran yang tertutup (pipa) berdasarkan prinsip beda tekanan. *Orifice* termasuk alat ukur laju aliran dengan metode rintangan aliran (*Obstruction Device*) karena geometrinya yang sederhana, biaya untuk membuatnya murah dan mudah dipasang atau diganti. Alat ini berupa plat tipis dengan gagang yang diapit diantara flens pipa. Fungsi dari gagang *orifice* adalah untuk memudahkan dalam proses pemasangan dan penggantian. Aliran fluida yang melewati *orifice* digambarkan pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Aliran fluida yang melewati *orifice*
 Sumber : Crowe, Robnson, Elger & Williams (2009:806)

Fluida yang mengalir melalui pipa ketika sampai pada *orifice* akan dipaksa untuk melewati lubang pada *orifice*. Hal itu menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan dan tekanan. Titik dimana terjadi kecepatan maksimum dan tekanan minimum disebut *vena contracta*. Setelah melewati *vena contracta* kecepatan dan tekanan akan mengalami perubahan lagi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Skema aliran dalam *orifice*
 Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Orifice_plate.html

Dengan mengetahui perbedaan tekanan pada pipa normal dan tekanan pada *vena contracta*, laju aliran volume dan laju aliran massa dapat diperoleh dengan mensubstitusikan beberapa persamaan berikut :

- Persamaan Bernoulli :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_{vc} + \frac{p_{vc}}{\gamma} + \frac{v_{vc}^2}{2g} \quad (\text{Potter, 1997:646}) \quad (2.11)$$

- Persamaan Kontinuitas untuk fluida *incompressible* :

$$V_1 \cdot A_1 = V_{vc} \cdot A_{vc} \quad (\text{Streeter, 1958:92}) \quad (2.12)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.11 dan persamaan 2.12, maka:

$$V_{vc} = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_{vc})}{1 - (A_{vc} \cdot A_1)^2}} \quad (\text{Potter, 1997:646}) \quad (2.13)$$

Dengan :

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \quad ; \quad h_{vc} + \frac{v_{vc}}{\gamma} + z_{vc} \quad (\text{Potter, 1997:646}) \quad (2.14)$$

Maka, dengan ini nilai debit ideal pada daerah *vena contracta* adalah :

$$\begin{aligned} Q_i &= V_{vc} \cdot A_{vc} \\ &= \frac{A_{vc}}{\sqrt{1 - (A_{vc} \cdot A_1)^2}} \sqrt{2g(h_1 - h_{vc})} \quad (\text{Potter, 1997:646}) \quad (2.15) \end{aligned}$$

Dimana :	V_{vc}	= Kecepatan aliran di <i>vena contracta</i>	(m/s)
	V_1	= Kecepatan aliran di daerah sebelum <i>orifice</i>	(m/s)
	A_{vc}	= Luas penampang <i>vena contracta</i>	(m ²)
	A_1	= Luas penampang pipa sebelum <i>orifice</i>	(m ²)
	Q_i	= Debit ideal fluida	(m ³ /s)
	p_{vc}	= Tekanan fluida di <i>vena contracta</i>	(N/m ²)
	p_1	= Tekanan fluida pada pipa sebelum <i>orifice</i>	(N/m ²)
	γ	= Berat jenis fluida	(kg/m ² .s ²)
	g	= Percepatan gravitasi bumi	= 9,81 m/s ²
	z	= Elevasi	(m)
	h_{vc}	= Head fluida di <i>vena contracta</i>	(m)
	h_1	= Head fluida di pipa sebelum <i>orifice</i>	(m)

Namun nilai debit aktual berbeda dengan nilai debit ideal dimana pada debit aktual tidak diketahui diameter dari daerah *vena contracta*. Pada debit aktual, aliran fluida juga dipengaruhi oleh adanya gesekan fluida terhadap pipa, oleh karena itu dibutuhkan nilai *discharge coefficient* (C_d), nilai *contraction coefficient* (C_c) dan nilai rasio diameter orifice dan diameter dalam dari pipa (β), sehingga persamaanya menjadi :

$$Q = \frac{C_d A_0}{\sqrt{1 - (C_c A_0 / A_1)^2}} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.16)$$

Dengan persamaan nilai *flow coefficient* (K) dan nilai rasio diameter orifice dan diameter dalam dari pipa (β), yaitu :

$$\beta = \sqrt{\frac{A_0}{A_1}} = \frac{D_0}{D_1} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.17)$$

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2 \beta^4}} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.18)$$

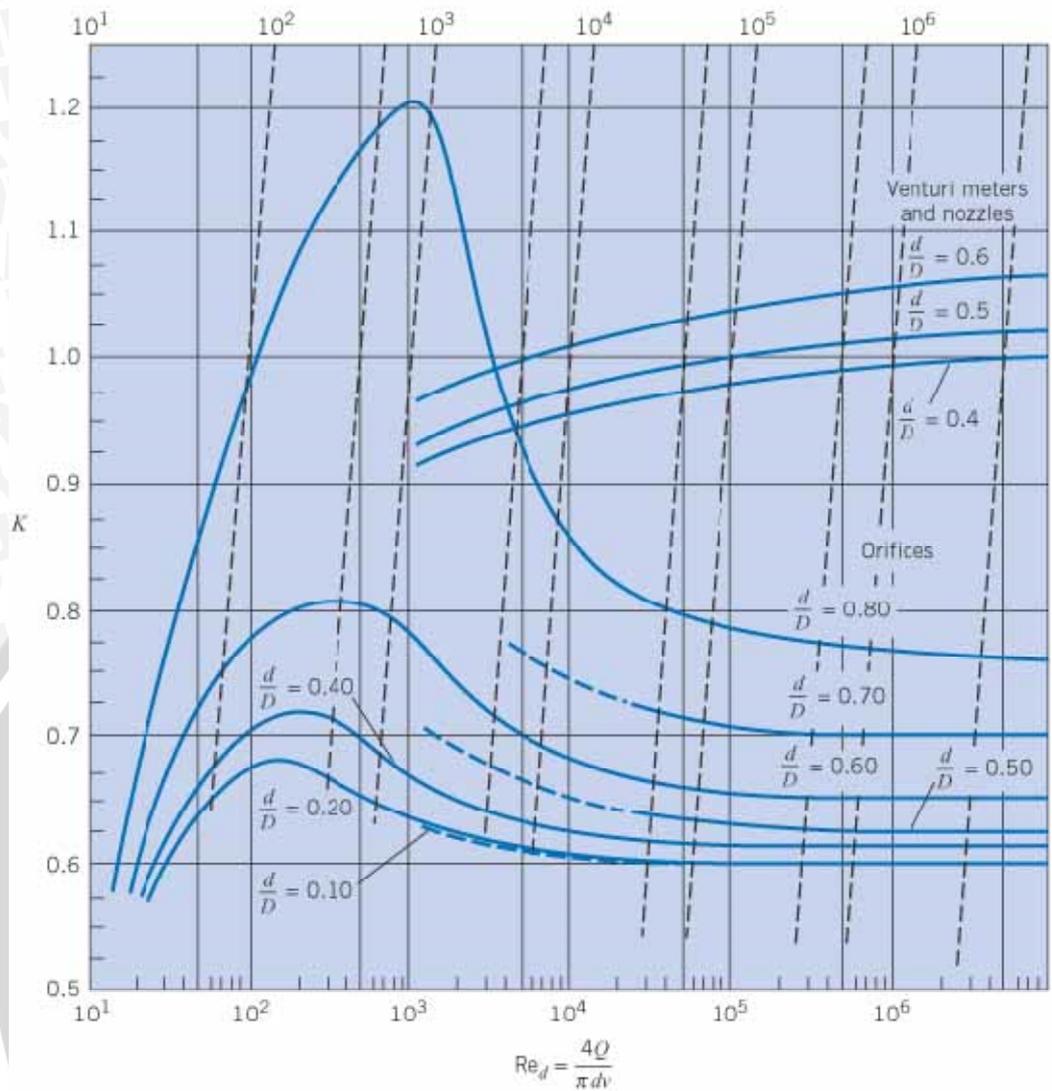
Sehingga persamaannya menjadi :

$$Q = K A_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.19)$$

- Dimana :
- C_d = discharge coefficient
 - C_c = contraction coefficient
 - β = rasio diameter orifice dan diameter dalam pipa
 - K = flow coefficient
 - A_0 = Luas penampang *vena contracta* (m²)
 - D_0 = Diameter lubang *orifice* (m)
 - D_1 = Diameter penampang pipa sebelum *orifice* (m)

Nilai *flow coefficient* (K) juga dapat diperoleh dari grafik berikut :





Gambar 2.23 Grafik *flow coefficient* (K) dan *reynold number* (Re) pada *orifice*, *nozzle*, dan *venturimeter*

Sumber : Crowe, Robinson, Elger & Williams (2009:808)

Dari grafik pada gambar 2.23 dapat dilihat bahwa untuk bilangan Reynold $Re > 10^5$ nilai *flow coefficient* (K) tidak mengalami perubahan yang signifikan (danggap konstan). Akan tetapi, untuk bilangan Reynold kecil terjadi perubahan nilai K yang besar.

2.7 Hipotesa

Twin fluid atomizer yang memiliki *swirler* pada saluran masuk udara (*gas inlet*) akan menyebabkan terjadinya perbedaan arah aliran fluida menuju *mixing chamber* yang akan mempengaruhi proses pencampuran fluida, sehingga akan diperoleh sudut optimal dari saluran masuk udara (*gas inlet*) dari *twin fluid atomizer* yang akan menghasilkan sudut *spray* yang besar dan ukuran *droplet* yang halus.