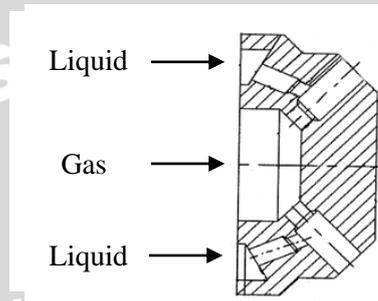


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

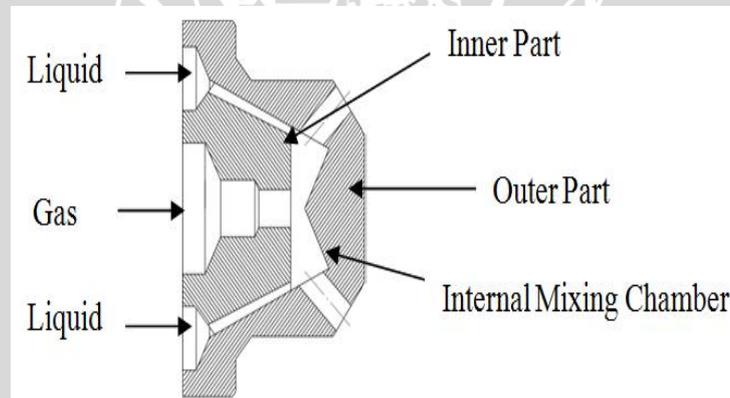
2.1 Penelitian Sebelumnya

Barerras, dkk (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 dibawah ini menunjukkan *atomizer* berprofil Y.



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

Atomizer dengan *internal mixing chamber* ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



(a)



(b)

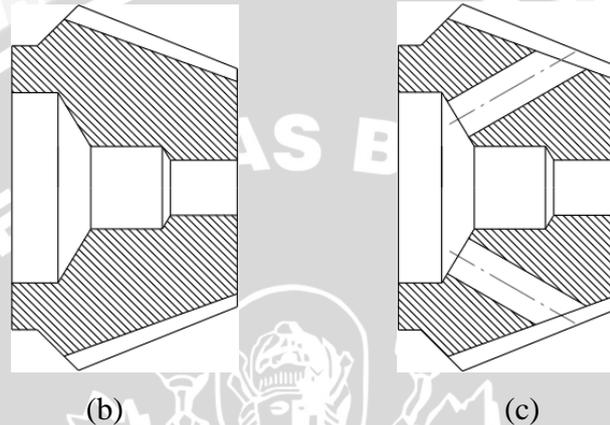


(c)

Gambar 2.2 (a) *Atomizer* dengan *internal mixing chamber*,
(b) *Outer part*, (c) *Inner part*

Sumber : Barerras, 2004:131

Pada gambar 2.2 dijelaskan bahwa *atomizer* dengan *internal mixing chamber* dibagi menjadi dua bagian terpisah. Bagian pertama yaitu bagian luar atau *outer part* (gambar 2.2 (b)) dan bagian kedua yaitu bagian dalam atau *inner part* (gambar 2.2 (c)), sedangkan *atomizer* dengan *internal mixing chamber* berprofil Y ditunjukkan oleh gambar 2.3, dimana *atomizer* ini merupakan hasil modifikasi dari bagian dalam atau *inner part* dari *atomizer* dengan *internal mixing chamber*

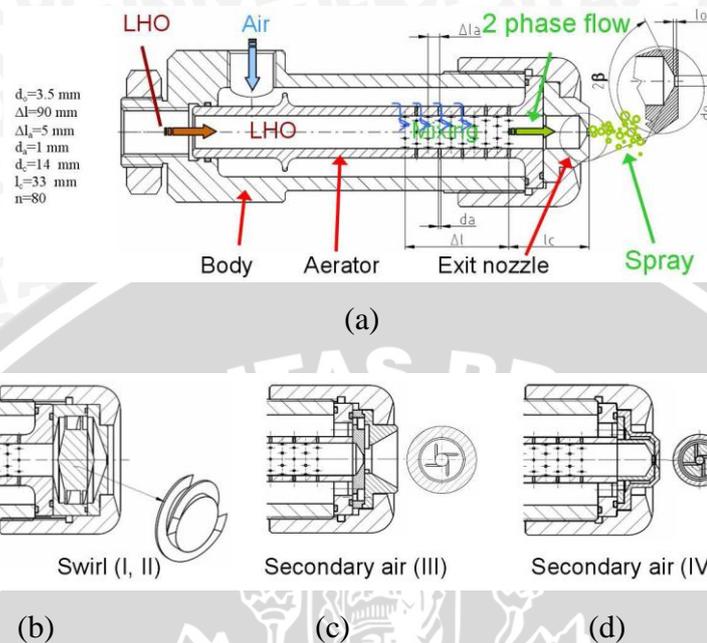


Gambar 2.3 (a) *Inner part* tanpa profil Y,
(b) *Inner part* dengan profil Y
Sumber : Barerras, 2004:131

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 *discharge coefficient* tertinggi dimiliki oleh *atomizer* berprofil Y. *Discharge coefficient* adalah rasio perbandingan antara nilai debit aktual dibagi dengan debit ideal. Dari hasil penelitian ini 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, dkk (2010) meneliti pengaruh penggunaan *swirl flow* terhadap karakteristik *spray* pada *twin fluid atomizer* dalam proses pembakaran. Dalam penelitiannya digunakan *atomizer* polos tanpa *swirler*, *atomizer* dengan *helical swirler*, *atomizer* dengan udara sekunder yang berputar di luar *orifice*, dan *atomizer* dengan

udara sekunder yang berputar pada *orifice*. Penelitian ini dilakukan pada berbagai tekanan udara dan nilai GLR (*gas to liquid ratio by mass*) yang berbeda.



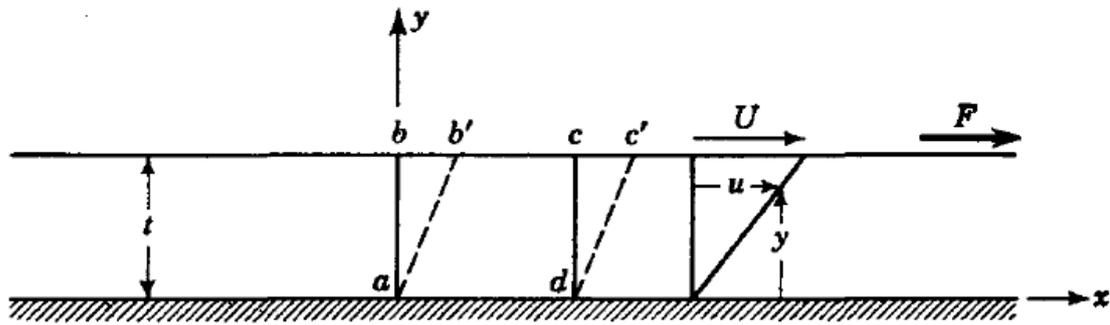
Gambar 2.4 Atomizer (a) polos tanpa *swirler*, (b) *helical swirler*, (c) dengan udara sekunder yang berputar di luar *orifice*, (d) dengan udara sekunder yang berputar pada *orifice*
Sumber : Jedelsky, 2010:2

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. Sedangkan *atomizer* dengan udara sekunder yang berputar pada *orifice* menghasilkan ukuran *droplet* yang lebih kecil dibandingkan *atomizer* polos dikarenakan interaksi antara *liquid* dengan udara sekunder pada lubang *orifice*.

2.2 Fluida

2.2.1 Definisi dan sifat-sifat fluida

Fluida adalah suatu zat yang berubah bentuk secara terus-menerus (kontinyu) bila terkena gaya geser sekecil apapun (Streeter, 1958: 4), fluida dapat pula didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir bila terjadi perbedaan tekanan. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan dan jika dibagi dengan luas permukaan tersebut menjadi tegangan geser rata-rata pada permukaan itu.



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

Sedangkan untuk sifat-sifat fluida sendiri sangat penting untuk penerapan bermacam-macam teknologi yang berkaitan dengan fluida. Sifat-sifat yang dimiliki fluida diam yaitu kerapatan (ρ), berat jenis (γ), volume jenis (v), *specific gravity* (s) dan kompresibilitas. Sedangkan untuk fluida bergerak ada satu sifat yang penting yaitu viskositas.

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

Viskositas (μ) adalah salah satu sifat cairan 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. Hukum viskositas Newton dirumuskan pada persamaan berikut :

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

Dengan : τ = Tegangan geser (N)

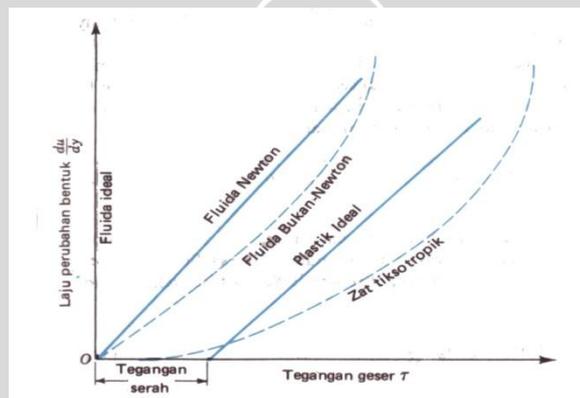
μ = Viskositas (Ns/m²)

$\frac{du}{dy}$ = 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 fluida berdasarkan hukum viskositas Newtonian dikelompokkan 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 air, oli, dan udara. Sedangkan 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*.

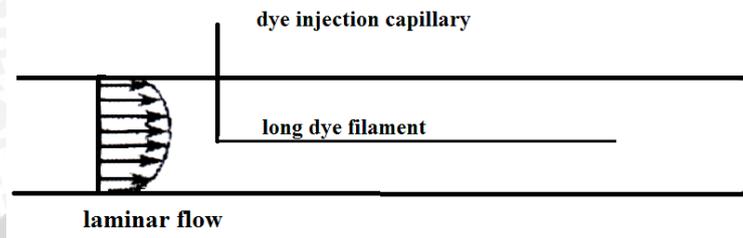


Gambar 2.6 Fluida Newtonian dan fluida Non-Newtonian
Sumber : Streeter (1958 : 5)

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. Aliran viskos adalah aliran dimana viskositasnya tidak sama dengan nol. Dari aliran viskos ini, kemudian dibagi menjadi aliran laminar dan turbulen.

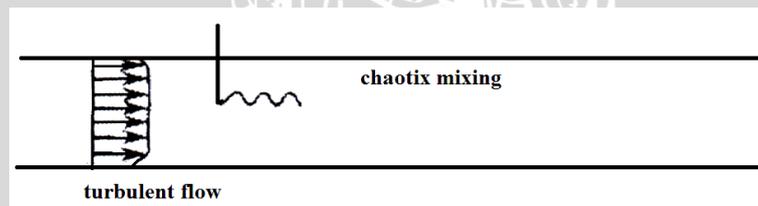
Aliran laminar adalah aliran fluida yang memiliki *streamline* teratur dan tidak saling berpotongan antara satu dengan yang lain, yang bergerak mengikuti arah kontur dari saluran. Pada aliran laminar lapisan - lapisan fluida bergerak secara lancar dan teratur, dengan tidak ada pencampuran partikel fluida dalam skala besar antara lapisan-lapisan fluida.

Fluida memiliki aliran laminar ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Pada aliran laminar kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan fluida yang berdekatan. Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran.



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

Aliran turbulen adalah aliran fluida dimana *streamline* bergerak secara acak ke segala arah dan saling berpotongan antara satu dan yang lain. Hal ini dikarenakan pada aliran turbulen memiliki partikel - partikel fluida yang bergerak secara acak dengan saling bertukar momentum dan partikel antar lapisan fluida yang berdekatan, sehingga fluida bergerak ke segala arah, dan terjadi pembauran aliran fluida. Hal tersebut oleh Osborne Reynold digambarkan sebagai bentuk fluida yang bercampur dalam waktu cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tidak terlihat sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



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

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

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (\text{Streeter, 1958:165}) \quad (2.2)$$

Dengan : V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Diameter pipa (m)

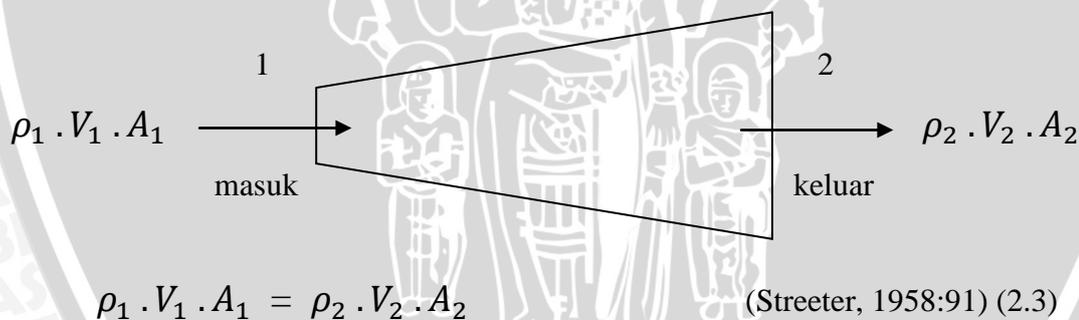
ν = Viskositas kinematik (m^2/s)

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

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* $< 0,3$.

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.



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/m³)

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang aliran (m²)

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

Adalah suatu persamaan yang 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*. Zat cair (fluida *incompressible*) yang mengalir melalui saluran tertutup (pipa) mempunyai tekanan statis, kecepatan dan ketinggian (z) yang diukur dari bidang referensi. *Head*/energi spesifik tiap satuan berat dinyatakan dengan:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{Constant} \quad (\text{Streeter, 1958:96}) \quad (2.6)$$

Dimana :

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

$$\gamma = \text{Berat jenis fluida} \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2)$$

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

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

$$z = \text{Elevasi} \quad (\text{m})$$

2.2.5 Kerugian Energi pada Aliran dalam Pipa

Pada zat cair yang memiliki kekentalan, sewaktu mengalir dalam pipa terjadi gesekan antara zat cair itu sendiri dengan dinding pipa. Sehingga terjadi kerugian energi pada aliran fluida. Kerugian energi pada aliran fluida dapat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Major Losses

Kerugian yang terjadi karena adanya gesekan pada aliran fluida dan pipa saluran pada saluran yang lurus. Besarnya nilai *major losses* pada aliran laminar dapat dihitung dengan rumus:

$$h_l = \frac{64.L.v^2}{Re.D.2g} \quad (\text{Fox, 1978:362}) \quad (2.7)$$

Sedangkan pada aliran turbulen nilai *minor losses* ditentukan dengan rumusan:

$$h_l = f \frac{L.v^2}{D.2g} \quad (\text{Fox, 1978:363}) \quad (2.8)$$

Dimana :

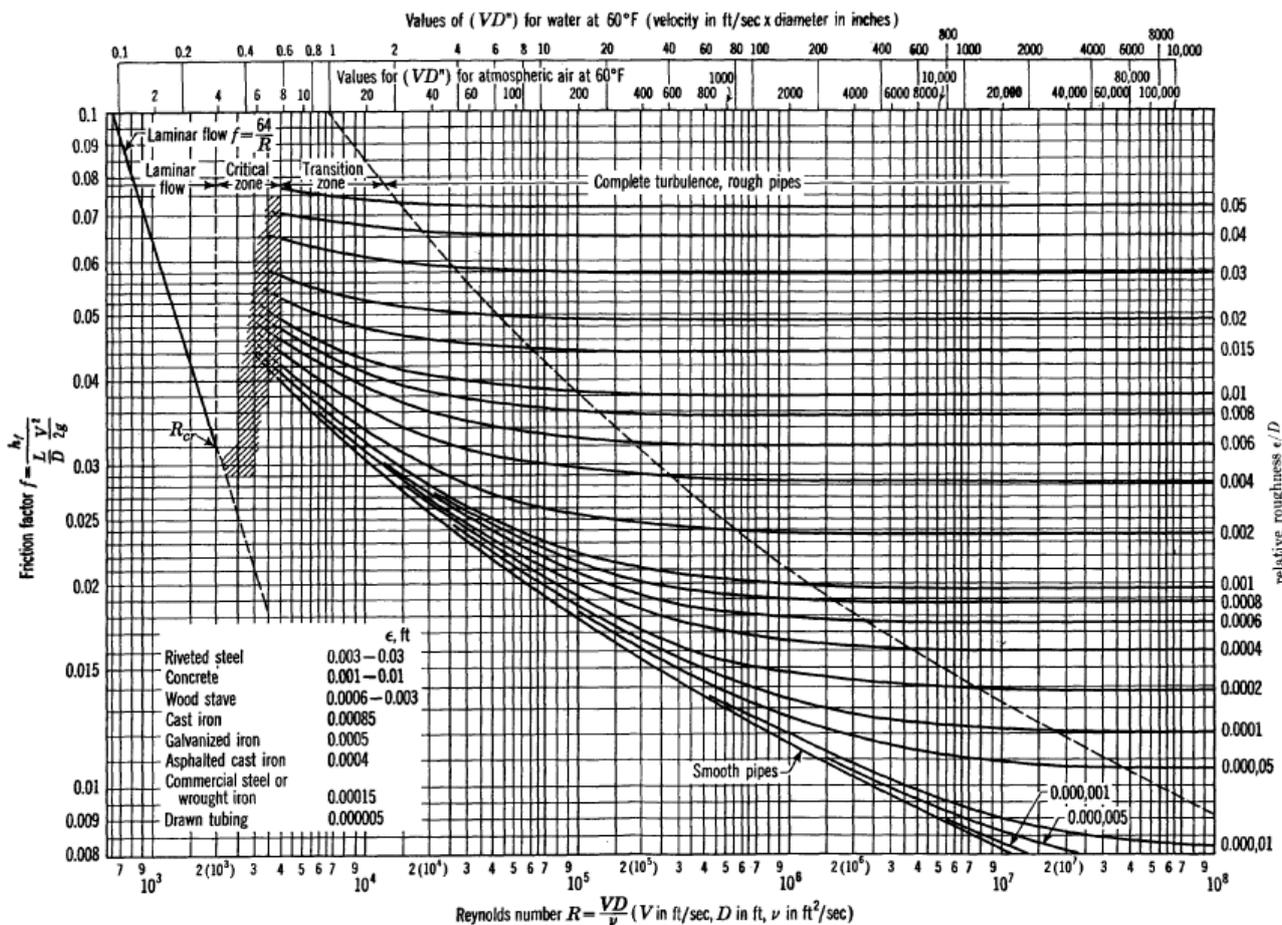
f = Koefisien kerugian gesek ditentukan dari Moody Diagram

v = Kecepatan aliran rata-rata dalam pipa (m/s)

D = Diameter dalam pipa (m)

g = Percepatan gravitasi bumi = 9,81 m/s²

L = Panjang pipa (m)



Gambar 2.9 *Moody Diagram*
 Sumber : Streeter (1958 : 220)

2. Minor Losses

Kerugian energi yang terjadi karena adanya perubahan arah aliran fluida dalam pipa. Biasanya aliran fluida mengalami perubahan bila aliran fluida tersebut melewati katup, belokan, dan perubahan penampang. Besarnya nilai *minor losses* dapat dihitung dengan rumus:

$$h_{lm} = K \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Fox, 1978:367}) \quad (2.9)$$

Dimana :

K = Koefisien *minor losses*

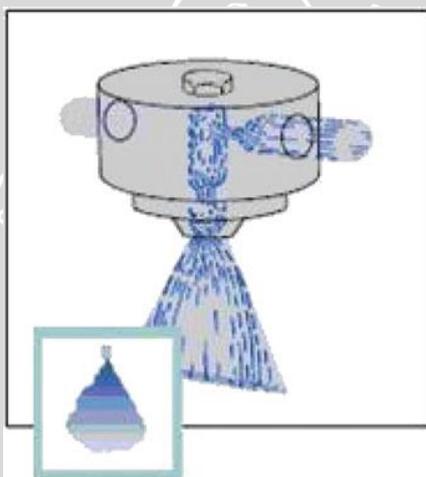
v = Kecepatan aliran rata-rata dalam pipa (m/s)

g = Percepatan gravitasi bumi = 9,81 m/s²

2.3 Twin Fluid Atomizer

Twin fluid atomizer atau biasa juga disebut dengan *twin fluid nozzle* adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan atomisasi dengan menggunakan dua fluida, yaitu fluida cair dan gas. Dalam *twin fluid atomizer* fluida gas digunakan sebagai fluida sekunder yang berfungsi untuk memecah stabilitas dari fluida cair. Akibat adanya fluida gas, maka fluida cair akan terpecah menjadi *droplet*, yang mana *droplet* tersebut akan membentuk *spray*.

Hasil *spray* yang dihasilkan dari *twin fluid atomizer* memiliki karakteristik tertentu, dimana karakteristik itu meliputi debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran dan distribusi *droplet*. Karakteristik tersebut dapat berubah-ubah karena berbagai faktor. Faktor – faktor yang mempengaruhi karakteristik itu antara lain propertis fluida, bentuk *atomizer* (geometri dan dimensi) dan kondisi lingkungan sekitar yang ada pada saat terjadinya *spray* yang dihasilkan oleh *twin fluid atomizer*.

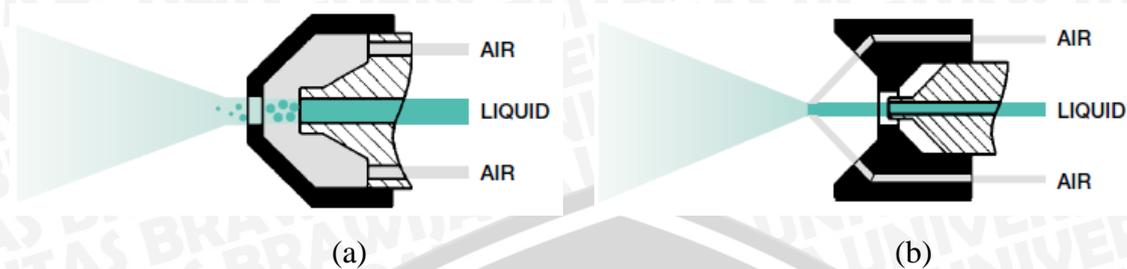


Gambar 2.10 Skema representasi *twin fluid atomizer*
Sumber : Omer & Ashgriz (2011:500)

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.

Mixing chamber dalam *twin fluid atomizer* dibagi menjadi dua macam, yaitu *internal mixing chamber* dan *external mixing chamber*. Pada *internal mixing chamber*, fluida cair dan fluida gas bertemu dan bercampur dalam satu ruangan *mixing chamber*,

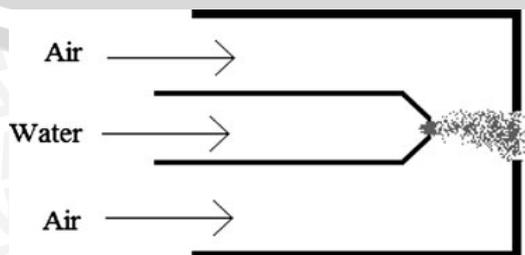
sedangkan pada *external mixing chamber*, fluida cair dan fluida gas bertemu dan bercampur diluar *twin fluid atomizer*.



Gambar 2.11 (a) *Twin fluid atomizer* dengan *internal mixing chamber*
 (b) *Twin fluid atomizer* dengan *external mixing chamber*
 Sumber : PNR *air atomizing nozzles* (2002:8)

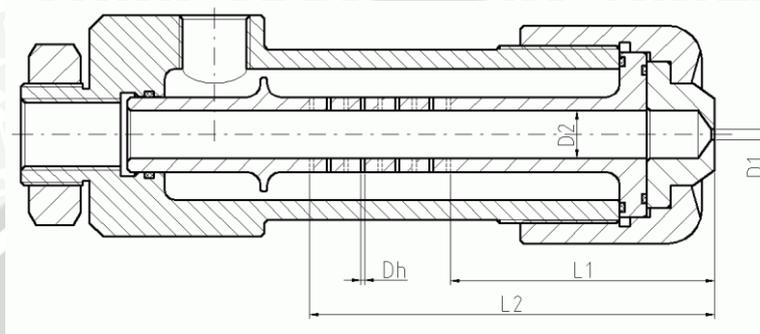
Kelebihan dari *twin fluid atomizer* dengan *internal mixing chamber* adalah dapat menghasilkan *spray* yang lebih halus dan ukuran *droplet* yang lebih kecil, tetapi kekurangannya yaitu apabila tekanan dari salah satu fluida lebih tinggi, maka akan menyebabkan fluida yang lain kehilangan tekanan sehingga tidak mampu untuk menghasilkan atomisasi. Sedangkan kelebihan *twin fluid atomizer* dengan *external mixing chamber*, kenaikan tekanan dari salah satu fluida tidak akan mempengaruhi tekanan fluida yang lainnya, sehingga berapapun besar tekanan dari kedua fluida, atomisasi akan tetap terjadi. Akan tetapi 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* dan dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian berbentuk silinder (*cylindrical mixing chamber*) dan bagian berbentuk kerucut (*conical mixing chamber*).

Konfigurasi dari *twin fluid atomizer* bisa bermacam – macam, akan tetapi pada dasarnya konfigurasi *twin fluid atomizer* dibagi menjadi tiga macam 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.



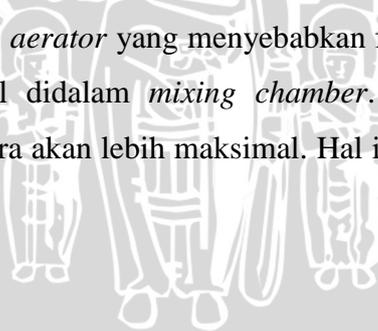
Gambar 2.12 Sketsa desain *air-blast atomizer* dan *air-assist atomizer*
 Sumber : Omer & Ashgriz (2011:501)

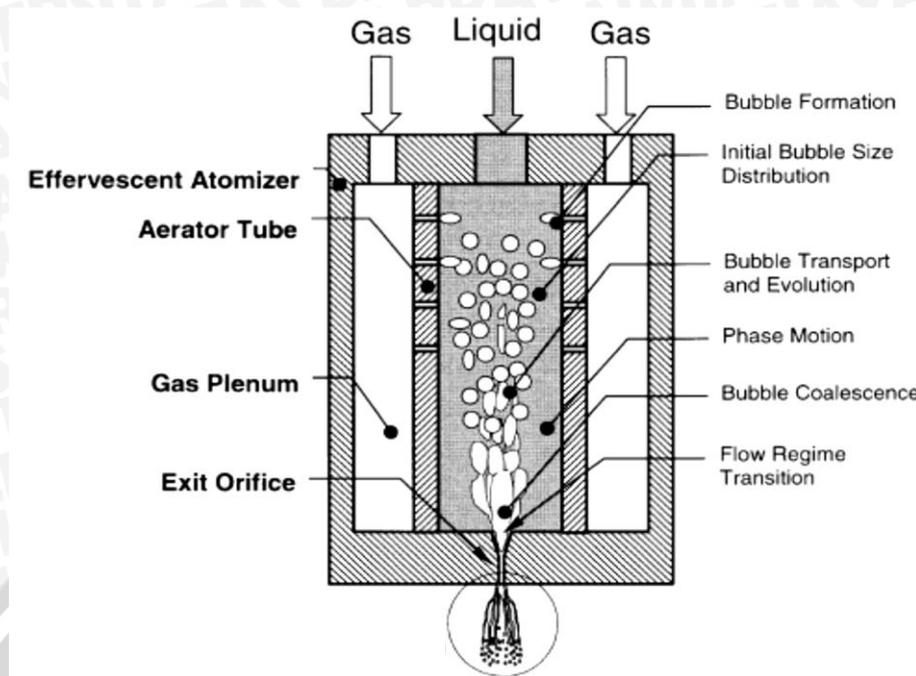
Pada dasarnya *air-blast atomizer* dan *air-assist atomizer* memiliki konsep desain yang sama. Pada *air-blast atomizer*, fluida gas diinjeksikan secara terus menerus dan dalam kecepatan yang rendah. *Air-blast atomizer* biasa diaplikasikan pada sistem pembakaran. Sedangkan pada *air-assist atomizer*,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



Gambar 2.13 *Effervescent atomizer*
Sumber : Jedelsky & Jischa (2011:500)

Effervescent atomizer 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 berikut :



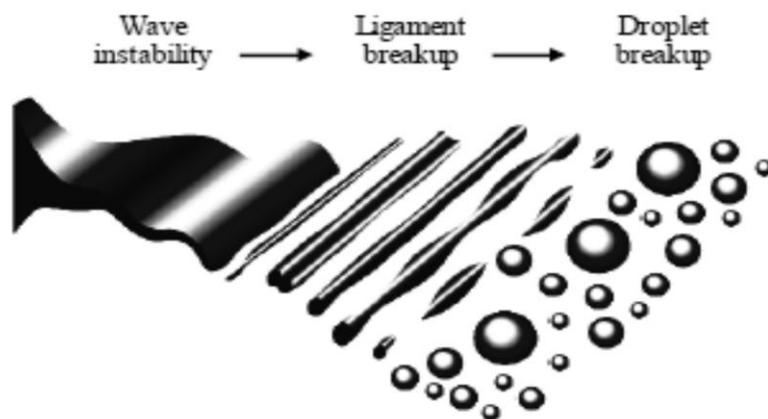


Gambar 2.14 Fenomena yang terjadi pada *Effervescent atomizer*
Sumber : Sovani (2001:510)

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 Mekanisme Pembentukan *Droplet*

Untuk memecahkan aliran fluida menjadi *droplet*, diperlukan energi. Dalam *twin fluid atomizer*, biasanya energi ini berbentuk energi tekanan dari pompa dan kompresor. Energi tekanan dikonversikan menjadi energi kecepatan dengan mengalirkan fluida melalui saluran masing-masing fluida. Dalam *twin fluid atomizer* proses pembentukan droplet dibagi menjadi beberapa tahap. Pada tahap awal, fluida cair yang berada pada *mixing chamber* akan kehilangan kestabilannya dan berubah bentuk menjadi lembaran zat cair (*spray sheet*). Tahap berikutnya, *spray sheet* tersebut akan berkembang menjadi ligamen – ligamen fluida cair, kemudian ligamen tersebut akan pecah dan berubah bentuk menjadi *droplet*. Proses pembentukan *droplet* ini ditunjukkan pada gambar berikut:



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

Proses pembentukan *droplet* ini dapat terjadi karena adanya tekanan dari fluida gas yang mengakibatkan meningkatnya tegangan permukaan antara fluida cair dan fluida gas, sehingga terjadi turbulensi yang mengakibatkan fluida cair pecah dan berubah bentuk menjadi *droplet*, yang mana *droplet* tersebut akan membentuk *spray*. Sifat *spray* yang dihasilkan oleh *twin fluid atomizer* ditentukan oleh tiga bilangan tanpa dimensi yaitu :

- *Reynold number* :

Yaitu rasio antara gaya inersia terhadap viskositas dinamik.

$$Re = \left(\frac{\rho V d}{\mu} \right) \quad (\text{Liu, 2000:137}) \quad (2.10)$$

- *Weber number* :

Yaitu rasio antara gaya inersia terhadap tegangan permukaan.

$$We = \left(\frac{\rho_L V_L^2 d}{\sigma} \right) \quad (\text{Liu, 2000:137}) \quad (2.11)$$

- *Ohnesorge number* :

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

$$Oh = \frac{\mu_L}{\sqrt{\rho_L \sigma d}} \quad (\text{Liu, 2000:137}) \quad (2.12)$$

Dimana : ρ_L = Densitas fluida cair (kg/m^3)

V_L = Kecepatan fluida cair (m/s)

μ_L = Viskositas dinamik fluida cair (Ns/m^2)

d = Diameter (m)

σ = Tegangan permukaan (N/m^2)

2.5 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*

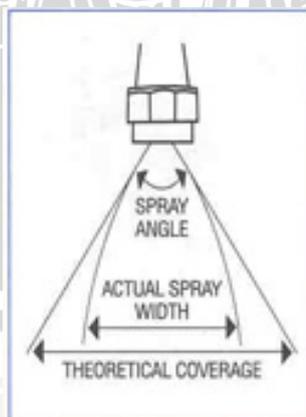
Pada tiap nosel yang sama dan pada tekanan yang sama, semakin kecil diameter *orifice* maka ukuran *droplet* yang dihasilkan akan semakin kecil.

- Debit dan tekanan fluida

Semakin tinggi nilai debit dan tekanan yang digunakan dalam proses atomisasi, maka ukuran *droplet* yang dihasilkan akan 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 berikut.



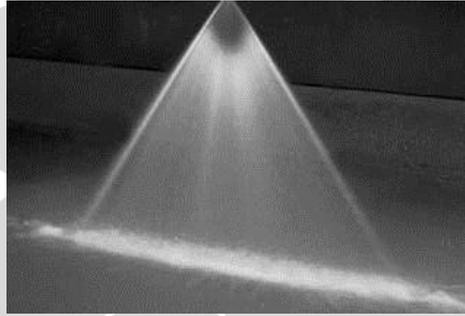
Gambar 2.16 Teoritis dan aktual dari lebar pola dan sudut *spray*
Sumber : *Technical Products and Service*, 2012

3. Distribusi *droplet*

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

- *Flat spray*

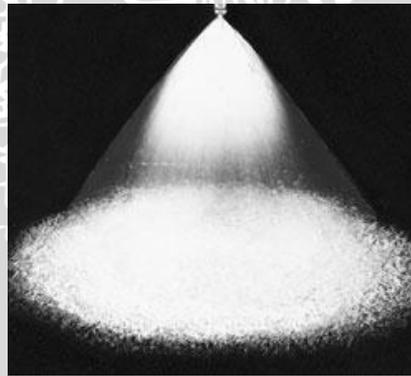
Pola semprotan dari *flat spray* sangat tipis. Biasanya bentuk semprotan dari *flat spray* ini berupa oval/elips. Distribusi *droplet* yang dihasilkan terkonsentrasi ditengah.



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

- *Solid cone spray*

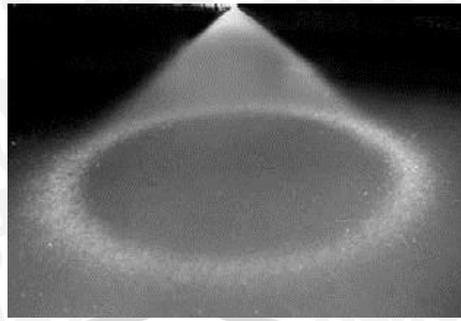
Pola semprotan dengan distribusi *droplet* merata pada seluruh luasan sudut semprot.



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

- *Hollow cone spray*

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

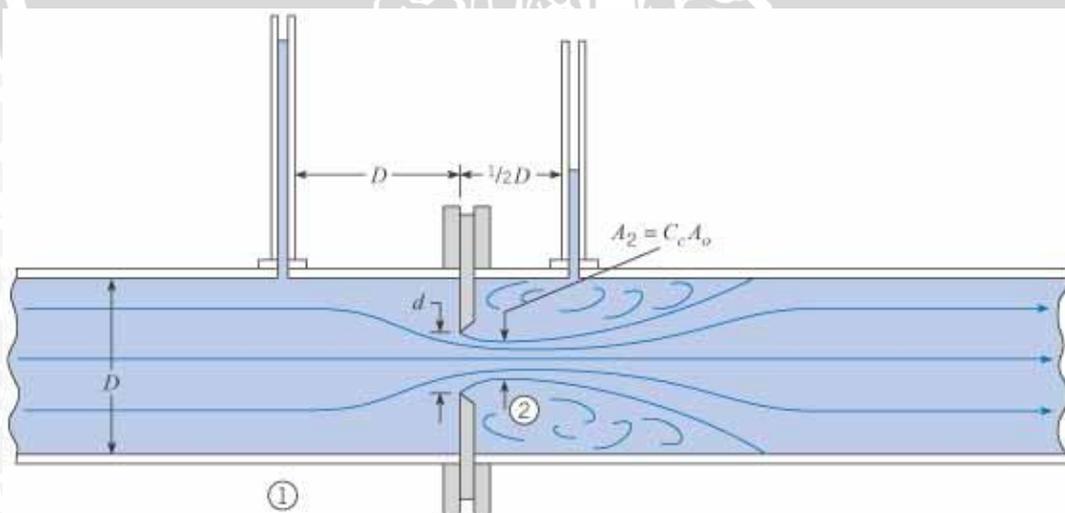


Gambar 2.19 *Hollow cone spray*
Sumber : Omer & Ashgriz (2011:501)

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

2.6 Orifice

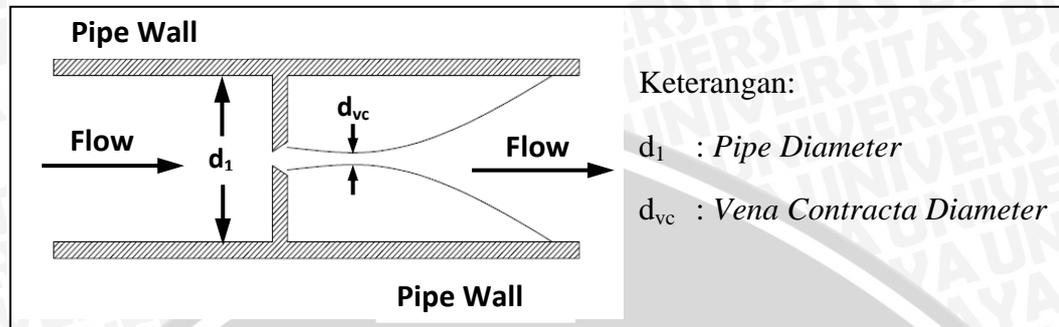
Orifice adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volume atau massa fluida di dalam saluran yang tertutup (pipa) berdasarkan prinsip beda tekanan. Alat ini berupa plat tipis dengan gagang yang diapit diantara flens pipa. Fungsi dari gagang *orifice* adalah untuk memudahkan dalam proses pemasangan dan penggantian. *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.



Gambar 2.20 Aliran fluida yang melewati *orifice*
Sumber : Crowe, Robinson, 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.



Gambar 2.21 Skema aliran dalam *orifice*

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 :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_{vc} + \frac{p_{vc}}{\gamma} + \frac{v_{vc}^2}{2g} \quad (\text{Potter, 1997:646}) \quad (2.13)$$

- Persamaan Kontinuitas untuk fluida *incompressible* :

$$V_1 \cdot A_1 = V_{vc} \cdot A_{vc} \quad (\text{Streeter, 1958:92}) \quad (2.14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.13 dan persamaan 2.14, maka:

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

Dengan :

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \quad ; \quad h_{vc} = \frac{p_{vc}}{\gamma} + z_{vc} \quad (\text{Potter, 1997:646}) \quad (2.16)$$

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

$$\begin{aligned} Q_i &= V_{vc} \cdot A_{vc} \\ &= \frac{A_{vc}}{\sqrt{1 - (A_{vc} \cdot A_1)^2}} \sqrt{2g(h_1 - h_{vc})} \quad (\text{Potter, 1997:646}) \quad (2.17) \end{aligned}$$

Dimana : V_{vc} = Kecepatan aliran di *vena contracta* (m/s)

V_1 = Kecepatan aliran di daerah sebelum *orifice* (m/s)

A_{vc} = Luas penampang *vena contracta* (m²)

A_1 = Luas penampang pipa sebelum *orifice* (m²)

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)

Akan tetapi 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 persamaannya menjadi :

$$Q = \frac{C_d A_0}{\sqrt{1 - (C_c A_0 / A_1)^2}} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.18)$$

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

$$\beta = \sqrt{\frac{A_0}{A_1}} = \frac{D_0}{D_1} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.19)$$

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2 \beta^4}} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.20)$$

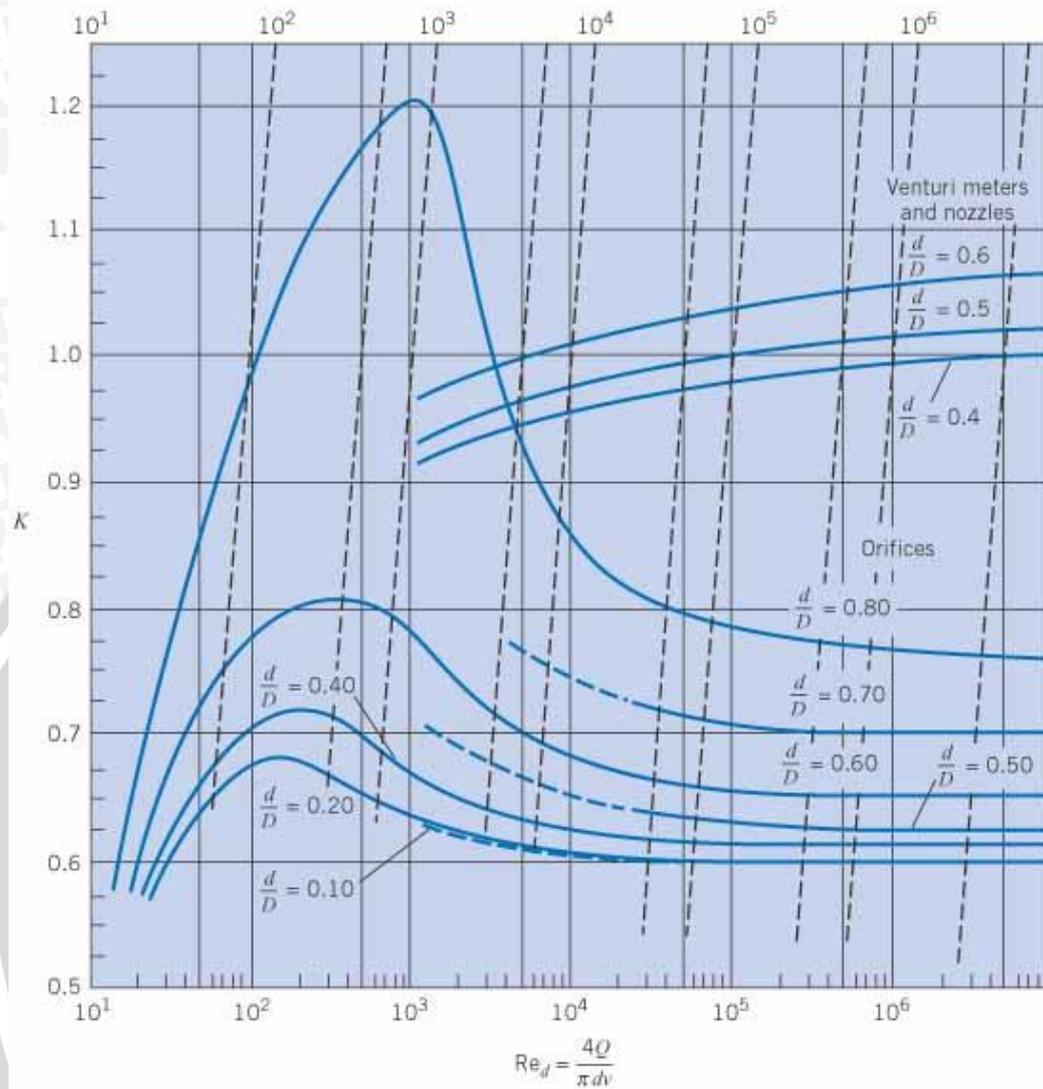
Sehingga persamaannya menjadi :

$$Q = K A_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (\text{Potter, 1997:647}) \quad (2.21)$$

Dimana :

C_d	= <i>discharge coefficient</i>	
C_c	= <i>contraction coefficient</i>	
β	= rasio diameter orifice dan diameter dalam pipa	
K	= <i>flow coefficient</i>	
A_0	= Luas penampang <i>vena contracta</i>	(m ²)
D_0	= Diameter lubang <i>orifice</i>	(m)
D_1	= Diameter penampang pipa sebelum <i>orifice</i>	(m)

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



Gambar 2.22 Grafik *flow coefficient* (K) dan *reynold number* (Re) pada *orifice*, *nozzle*, dan *venturimeters*

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

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa untuk *reynold number* (Re) $> 10^5$ maka 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

Semakin besar sudut saluran masuk udara, pembelokan arah aliran udara akan semakin besar, sehingga penurunan tekanan yang terjadi pada udara semakin besar dan atomisasi pada *twin fluid atomizer* stabil pada tekanan udara yang lebih besar. Selain itu gangguan pada aliran air akan lebih kuat sehingga proses atomisasi menjadi lebih baik (menghasilkan sudut yang lebih besar dan ukuran *droplet* yang lebih halus).