

**PENGARUH VARIASI SUDUT *SWIRL CHAMBER* TERHADAP
KARAKTERISTIK *SPRAY* PADA *SWIRL NOZZLE***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ASEP FATHUL ANAM

NIM. 0310620024-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH VARIASI SUDUT *SWIRL CHAMBER* TERHADAP
KARAKTERISTIK *SPRAY* PADA *SWIRL NOZZLE***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ASEP FATHUL ANAM

NIM. 0310620024-62

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir.H Sudjito, Ph.D.

NIP. 130 809 065

Lilis Yuliati, ST, MT

NIP. 132 258 191

**PENGARUH VARIASI SUDUT SWIRL CHAMBER TERHADAP
KARAKTERISTIK SPRAY PADA SWIRL NOZZLE**

Disusun oleh:

Asep Fathul Anam

0310620024-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 14 Juni 2007

Dosen Penguji

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Handono Sasmito, M.Eng.Sc.

NIP. 130 818 811

Ir. I Made Gunadiarta, MT

NIP. 130 604 495

Komprehensif

Ir. Saifuddin Baedowie.

NIP. 130 350 753

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT

NIP. 132 159 708

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak DR. Slamet Wahyudi, ST, MT, selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, CSE selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Prof.Ir. Sudjito,Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
4. Ibu Lilis Yuliati, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
5. Rekan- rekan peneliti atas kerjasamanya selama penelitian ini.
6. Orang tua dan adik-adikku yang telah memberikan dorongan moral dan material sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
7. Semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung khususnya teman Mahasiswa Mesin angkatan 2003 yang telah membantu dalam kelancaran terselesaikannya skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan karena itu kritik dan saran yang sifatnya nmembangun sangat penulis harapkan dalam kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Malang, Juni 2007

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Fluida.....	8
2.2.1. Definisi fluida.....	8
2.2.2. Klasifikasi fluida.....	10
2.2.3. Hukum dasar dan metode analisa aliran fluida.....	13
2.2.4. Persamaan dasar bentuk integral untuk kontrol volume.....	15
2.2.5. Persamaan analisa aliran fluida yang melalui nosel.....	16
2.2.6. Persamaan Bernouli.....	17
2.3. <i>Swirl Nozzle</i>	18
2.4. Mekanisme Pembentukan <i>Droplet</i>	22
2.5. Vorteks.....	26
2.5.1. Definisi vorteks.....	26
2.5.2. Irotasional dan rotasional vorteks.....	26
2.6. Hipotesa.....	29



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian.....	30
3.2. Tempat Penelitian.....	30
3.3. Variabel Penelitian.....	30
3.4. Peralatan Penelitian.....	32
3.5. Skema Instalasi Penelitian.....	34
3.6. Prosedur Penelitian.....	34
3.7. Rencana Analisis Data.....	35
3.8. Diagram Alir Penelitian.....	36

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian.....	38
4.2. Contoh Perhitungan Data.....	39
4.3. Analisa Grafik.....	43
4.3.1. Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan debit aliran.....	43
4.3.2. Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan sudut <i>spray</i>	45
4.3.3. Hubungan antara tekanan masuk dengan ukuran dan distribusi <i>droplet</i>	48

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran.....	53

DAFTAR PUSTAKA

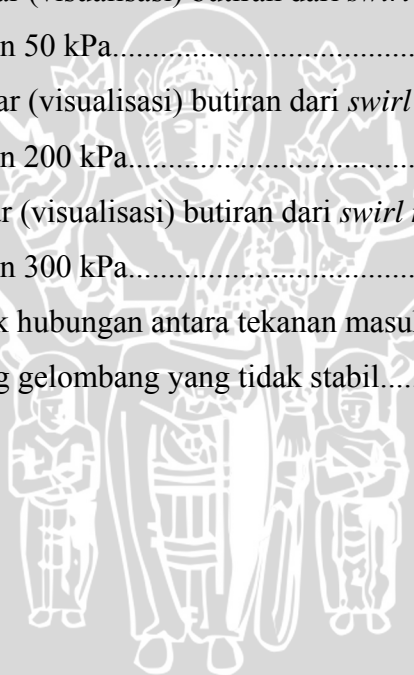
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1.	: Grafik atomisasi fluida Newtonian.....	5
Gambar 2.2.	: <i>Shadowgraph</i> atomisasi dari air pada Re dan We berbeda dengan Oh=0.0044.....	6
Gambar 2.3.	: Grafik pengaruh sudut slot 30 ⁰ terhadap diameter <i>aircore</i> dan ketebalan <i>annulus</i> pada nosel GDI <i>injector</i>	7
Gambar 2.4.	: Deformasi elemen fluida.....	8
Gambar 2.5.	: Grafik perbandingan tegangan regangan fluida Newton dan fluida non-Newton.....	11
Gambar 2.6.	: Profil kecepatan laminer di atas plat rata.....	12
Gambar 2.7.	: Profil kecepatan dalam lapisan batas turbulen di atas plat rata.....	12
Gambar 2.8.	: Aliran fluida pada kontrol volume berbentuk nosel...	16
Gambar 2.9.	: Gerakan partikel fluida sepanjang streamline.....	17
Gambar 2.10.	: Bagian-bagian <i>swirl nozzle</i>	19
Gambar 2.11.	: Teoritis dan aktual dari Lebar Pola dan Sudut <i>Spray</i> ...	20
Gambar 2.12.	: <i>Flat spray</i>	21
Gambar 2.13.	: <i>Hollow cone spray</i>	21
Gambar 2.14.	: <i>Solid cone spray</i>	21
Gambar 2.15.	: Mekanisme pembentukan <i>droplet</i>	22
Gambar 2.16.	: Tingkat pembentukan <i>spray</i> pada nosel.....	23
Gambar 2.17.	: Klasifikasi ukuran <i>droplet</i>	25
Gambar 2.18.	: Sirkulasi pada lintasan tertutup untuk medan 2 dimensi.....	27
Gambar 2.19.	: Gerak elemen fluida pada suatu lintasan.....	28
Gambar 2.20.(a)	: Medan aliran rotasional vorteks.....	29
Gambar 2.20.(b)	: Variasi kecepatan fluida dari pusat.....	29
Gambar 2.21.(a)	: Medan aliran irotasional vorteks.....	29
Gambar 2.21.(b)	: Variasi kecepatan fluida dari pusat.....	29

Gambar 3.1.	: Bagian-bagian <i>swirl nozzle</i>	30
Gambar 3.2.	: Variasi sudut <i>swirl chamber</i>	31
Gambar 3.3.	: Skema Instalasi Penelitian.....	34
Gambar 3.4	: Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 4.1.	: Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan debit aliran.....	43
Gambar 4.2.	: Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan sudut <i>spray</i>	45
Gambar 4.3.	: Bentuk <i>spray</i> dari <i>swirl nozzle</i> pada tekanan 50 kPa.....	47
Gambar 4.4.	: Bentuk <i>spray</i> dari <i>swirl nozzle</i> pada tekanan 200 kPa....	47
Gambar 4.5.	: Bentuk <i>spray</i> dari <i>swirl nozzle</i> pada tekanan 300 kPa...	48
Gambar 4.6.	: Gambar (visualisasi) butiran dari <i>swirl nozzle</i> pada tekanan 50 kPa.....	49
Gambar 4.7.	: Gambar (visualisasi) butiran dari <i>swirl nozzle</i> pada tekanan 200 kPa.....	49
Gambar 4.8.	: Gambar (visualisasi) butiran dari <i>swirl nozzle</i> pada tekanan 300 kPa.....	50
Grambar 4.9.	: Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan panjang gelombang yang tidak stabil.....	51



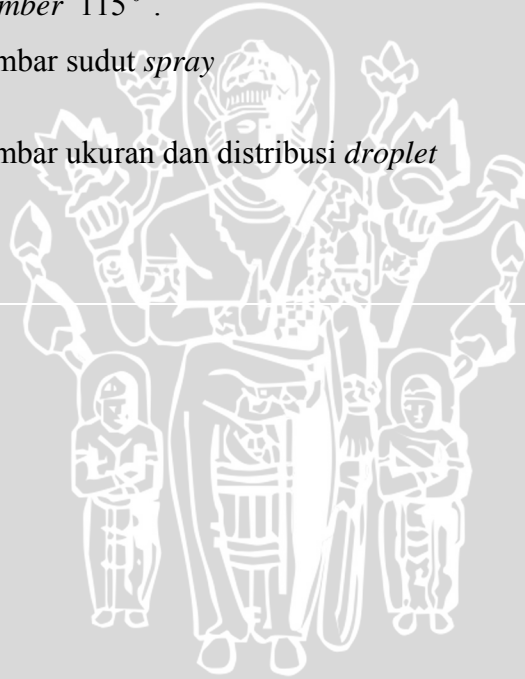
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal.
Tabel 2.1.	: Klasifikasi ukuran droplet.....	24
Tabel 2.2.	: Hubungan <i>droplet</i> dengan spesifikasi <i>nozzle</i>	25
Tabel 4.1.	: Data hasil pengujian.....	38



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	: Gambar bagian – bagian <i>swirl nozzle</i> .
Lampiran 2.	: Ukuran <i>swirl chamber</i> .
Lampiran 3.	: Perhitungan parameter pada <i>swirl nozzle</i> dengan sudut <i>swirl chamber</i> 0°
Lampiran 4.	: Perhitungan parameter pada <i>swirl nozzle</i> dengan sudut <i>swirl chamber</i> 50° .
Lampiran 5.	: Perhitungan parameter pada <i>swirl nozzle</i> dengan sudut <i>swirl chamber</i> 115° .
Lampiran 6.	: Gambar sudut <i>spray</i>
Lampiran 7.	: Gambar ukuran dan distribusi <i>droplet</i>



RINGKASAN

Asep Fathul Anam, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2007, Pengaruh Variasi Sudut *Swirl Chamber* terhadap Karakteristik *Spray* pada *Swirl Nozzle*. Dosen Pembimbing : **Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.** dan **Lilis Yuliati, ST, MT.**

Salah satu alat yang banyak digunakan dalam sistem aliran fluida adalah *spray nozzle*. Salah satu jenis dari *spray nozzle* yang akan dibahas pada penulisan ini adalah *swirl nozzle*. *Swirl nozzle* berfungsi untuk mengalirkan fluida cair dalam bentuk butiran halus atau *droplet*. *Spray* dari *swirl nozzle* memiliki karakteristik yang meliputi debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran dan distribusi *droplet*. Untuk mendapatkan karakteristik tertentu maka perlu dilakukan rekayasa pada desain *swirl nozzle*. Salah satu rekayasa desain *swirl nozzle* adalah luas *orifice*.

Dalam penelitian ini metode yang dipakai adalah metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *swirl nozzle*. Penelitian ini menggunakan variabel bebas berupa variasi sudut *swirl chamber* sebesar 0° , 50° dan 115° , sedangkan variabel terikatnya adalah karakteristik *spray* yang meliputi debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran dan distribusi *droplet*. Dalam penelitian ini pengambilan data untuk setiap variasi sudut *swirl chamber* diamati pada tekanan fluida masuk nosel sebesar 50, 100, 150, 200, 250 dan 300 kPa.

Dari pengujian diperoleh bahwa *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 115° memiliki debit aliran yang lebih besar dari pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° dan 50° . *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° memiliki susut *spray* yang lebih besar dari pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° . *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° memiliki ukuran *droplet* yang lebih kecil dan distribusi *droplet* yang lebih merata dari pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° .

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini telah banyak ilmu pengetahuan yang berkembang di dunia keteknikan, salah satu diantaranya adalah ilmu yang berhubungan dengan mekanika fluida. Di dalam mekanika fluida dipelajari tentang sifat-sifat aliran fluida, baik itu fluida *incompressible* maupun *compressible*. Di samping itu penggunaan suatu alat harus bisa memberikan hasil yang maksimal dan efisien. Terutama disini alat-alat yang digunakan dalam sistem aliran fluida. Salah satu alat yang banyak digunakan dalam sistem aliran fluida adalah *spray nozzle*. *Spray nozzle* berfungsi untuk memecah fluida cair yang disemprotkan menjadi butiran-butiran halus atau *droplet*. Salah satu jenis dari *spray nozzle* yang akan dibahas pada penulisan ini adalah *swirl nozzle*.

Telah banyak aplikasi penggunaan *swirl nozzle* diantaranya pada bidang pertanian, penggunaan *swirl nozzle* ini adalah untuk menyemprotkan pestisida atau pupuk cair pada media tanam dengan ukuran *droplet* dan sudut semprot tertentu. Pada sistem pembakaran, *swirl nozzle* digunakan untuk menginjeksikan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar dalam bentuk yang kecil dan tersebar merata dalam ruang bakar sehingga pencampuran bahan bakar dengan udara terjadi dengan baik (homogen) dan pembakarannya lebih sempurna.

Dari contoh diatas, dapat dilihat bahwa aplikasi *swirl nozzle* pada alat-alat tersebut memerlukan karakteristik *spray* tertentu agar tujuan yang diinginkan tercapai. *Swirl nozzle* memiliki karakteristik yang meliputi debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran dan distribusi *droplet*. Karakteristik *spray* dipengaruhi oleh desain (geometri dan dimensi) bagian-bagian *swirl nozzle* dan propertis fluida (viskositas fluida, temperatur, tegangan permukaan fluida, gravitasi spesifik fluida dan tekanan). *Swirl nozzle* terdiri dari inti yang padanya terdapat alur (*slot*), *swirl chamber* dan *orifice*. *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*. Wiyono (2004)

meneliti mengenai pengaruh variasi sudut *slot* (alur) terhadap karakteristik *spray* dari *swirl nozzle*. Arie (2005) meneliti pengaruh variasi jumlah *slot* (alur) terhadap karakteristik *spray* dari *swirl nozzle*. Pada kedua penelitian tersebut digunakan *swirl nozzle* dengan luas penampang *slot* yang berbeda. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh karakteristik *spray* yang bervariasi. Dalam penelitian ini akan diamati pengaruh variasi sudut *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *swirl nozzle*. Sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai pengembangan dari *swirl nozzle* dan dapat membantu dalam pemilihan *swirl nozzle* yang sesuai dengan kebutuhan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, disusun rumusan masalah sebagai berikut:

Bagaimana pengaruh variasi sudut *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *swirl nozzle* yang meliputi:

1. Debit aliran fluida melalui *swirl nozzle*.
2. Sudut *spray*.
3. Ukuran *droplet*.
4. Distribusi *droplet*

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air (*incompressible*).
2. Aliran fluida dalam instalasi bersifat *steady*.
3. Jenis *spray nozzle* yang digunakan adalah jenis *swirl nozzle*.
4. Dimensi *swirl nozzle* adalah tetap, yang berubah hanya sudut *swirl chamber* .
5. Kondisi lingkungan dianggap konstan.
6. Material *swirl nozzle* menggunakan Aluminium.
7. Mengabaikan adanya *drift*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi sudut *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *swirl nozzle* yang meliputi debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran *droplet* dan distribusi *droplet*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi dunia industri yang menggunakan *swirl nozzle* untuk meningkatkan mutu hasil produksi.
2. Sebagai referensi dan dasar pendekatan bagi penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Perkembangan dalam ilmu mekanika fluida berdampak pada perkembangan alat-alat yang digunakan dalam sistem aliran fluida. Salah satu alat yang banyak digunakan dalam sistem aliran fluida adalah *spray nozzle*. *Spray nozzle* berfungsi untuk mengalirkan fluida cair dalam bentuk butiran halus atau *droplet*. Hal ini berpengaruh pada semakin banyaknya penelitian mengenai alat tersebut. Salah satu jenis dari *spray nozzle* yang telah diteliti sebelumnya adalah *swirl nozzle*.

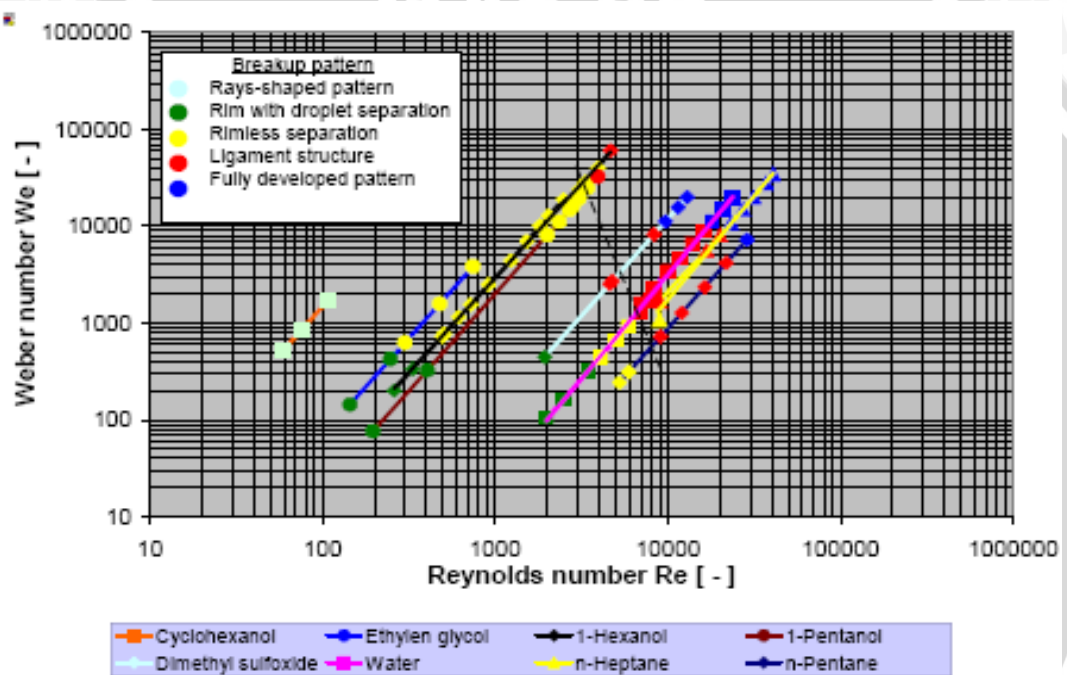
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan berbagai cara untuk mendapatkan karakteristik *spray* yang bervariasi dengan melakukan variasi spesifikasi *swirl nozzle*. Wiyono (2004) meneliti mengenai pengaruh sudut alur (*slot*) terhadap karakteristik *spray* dari *swirl nozzle*. Dalam penelitian tersebut variasi sudut *slot* yang digunakan adalah 30° , 60° dan 90° dengan luas penampang *slot* 8 mm^2 . Diperoleh data bahwa *swirl nozzle* dengan sudut *slot* 30° akan menghasilkan aliran fluida dalam bentuk *droplet* dengan debit lebih kecil, sudut *spray* lebih besar serta ukuran *droplet* yang lebih halus bila dibandingkan dengan *spray* pada *swirl nozzle* dengan sudut 60° dan 90° .

Arie (2005) meneliti pengaruh jumlah alur (*slot*) terhadap karakteristik *spray* dari *swirl nozzle*. Pada penelitian yang kedua tersebut digunakan *swirl nozzle* dengan luas penampang *slot* 12 mm^2 dengan variasi jumlah *slot* 2, 3, dan 4. Diperoleh data bahwa *swirl nozzle* dengan variasi jumlah *slot* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap debit aliran. Sedangkan untuk karakteristik yang lain, *swirl nozzle* dengan variasi jumlah *slot* 4 menghasilkan sudut *spray* yang lebih besar dan ukuran *droplet* yang lebih halus bila dibandingkan *swirl nozzle* dengan variasi jumlah *slot* 2 dan 3.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Kurniawan (2005) meneliti pengaruh panjang *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* dari *swirl nozzle*. Dalam penelitian tersebut variasi panjang *swirl chamber* yang digunakan adalah 3 mm, 5 mm dan 7 mm dengan luas penampang *slot* 8 mm^2 . Diperoleh hasil bahwa *swirl nozzle* dengan panjang *swirl chamber* 7 mm menghasilkan debit yang paling

besar dibandingkan *swirl nozzle* dengan *swirl chamber* 3 mm dan 5 mm. Sedangkan panjang *swirl chamber* 3 mm menghasilkan sudut *spray* yang paling besar dan ukuran *droplet* yang terkecil dibandingkan *swirl nozzle* dengan *swirl chamber* 5 mm dan 7 mm.

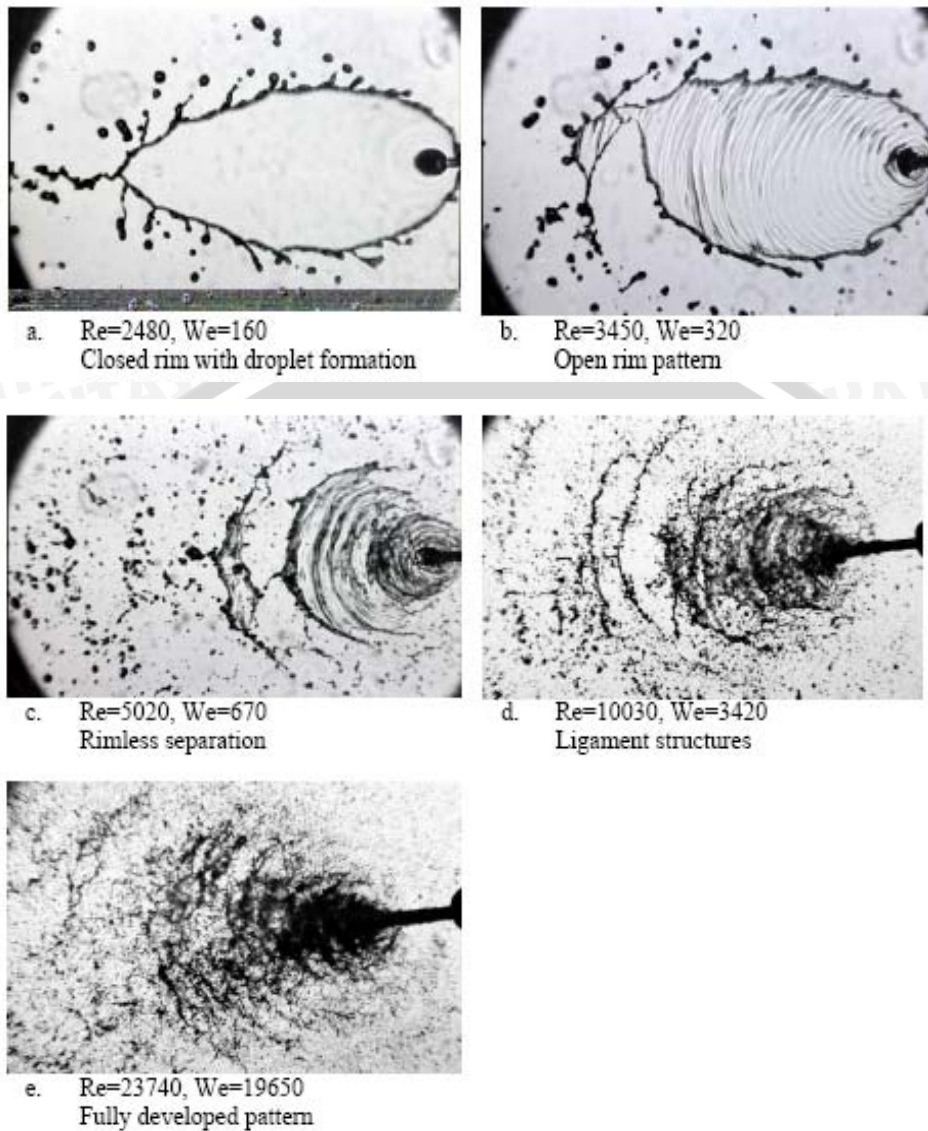
Ciezki (2006) meneliti mengenai pola atomisasi pada fluida Newtonian dengan menggunakan *impinging jet injector*. Pola atomisasi yang terjadi berhubungan dengan tiga parameter non dimensional yaitu *Reynold number*, *Weber number* dan *Ohnesorge number*. Pola atomisasi dari berbagai fluida Newtonian diatas dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 2.1: Grafik atomisasi fluida Newtonian.

Sumber : [Http://www.lowenstein.com/pdf/spray06manuscriptfinal](http://www.lowenstein.com/pdf/spray06manuscriptfinal)

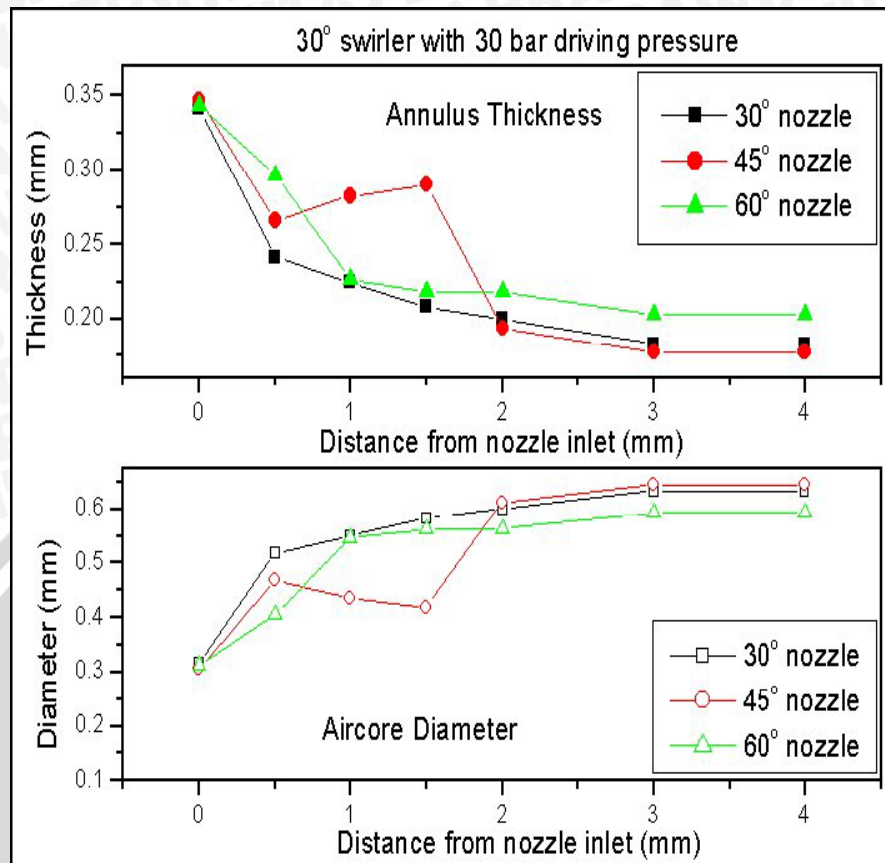
Visualiasasi dari grafik diatas untuk pola atomisasi fluida air pada $Oh=0,0044$ dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2: *Shadowgraph* atomisasi dari air pada Re dan We berbeda dengan $Oh=0.0044$.

Sumber : [Http://www.lowenstein.com/pdf/spray06manuscriptfinal](http://www.lowenstein.com/pdf/spray06manuscriptfinal).

Khoo dan Hargrave (2005) meneliti mengenai pengaruh variasi sudut *slot* pada *swirl injector* terhadap diameter *aircore* dan ketebalan *annulus* pada nosel GDI (*Gasoline Direct Injection*) *injector*. Peneliti tersebut bervariasi sudut *slot* sebesar 30° , 45° dan 60° . Dari penelitian ini di dapat bahwa sudut *slot* mempengaruhi diameter *aircore* dan ketebalan *annulus* pada *GDI injector*. Hal ini dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 2.3: Grafik pengaruh sudut *slot* 30° terhadap diameter *aircore* dan ketebalan *annulus* pada nosel GDI *injector* .

Sumber :<http://www.icolad.com/pdf/spray06/manuscriptfinal>

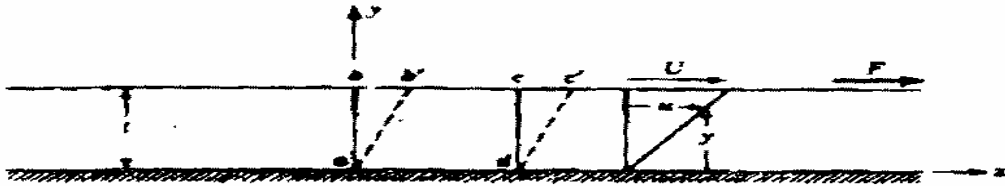
Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar jarak dari *inlet* nosel, maka semakin besar diameter *aircore* dan semakin kecil ketebalan *annulus* dengan variasi sudut *slot* pada *swirl injector*. Pada grafik juga terlihat bahwa diameter *aircore* berbanding terbalik dengan ketebalan *annulus* seiring bertambahnya jarak dari *inlet* nosel.

Dalam penelitian ini akan diamati pengaruh variasi sudut *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *swirl nozzle*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai modifikasi *spray nozzle* sehingga dapat membantu dalam pemilihan *swirl nozzle* yang sesuai dengan kebutuhan.

2.2 Fluida

2.2.1 Definisi fluida

Fluida merupakan zat alir yang apabila diberi tegangan geser berapapun besarnya akan berubah secara kontinyu (terus-menerus). Gaya geser itu merupakan gaya yang menyinggung permukaan fluida, sehingga tegangan geser pada permukaan dapat diperoleh dengan membagi gaya geser dengan luas permukaan.



Gambar 2.4 : Deformasi elemen fluida

Sumber : Streeter.L.V,Wylie.E.B,1993:4

Dari gambar diatas, dimana terdapat 2 plat yang diantaranya diberi suatu zat, plat bagian bawah dipasang tetap sedangkan plat atas diberi gaya sebesar F. Bila gaya F menyebabkan plat atas bergerak dengan suatu kecepatan (bukan nol) yang *steady* (ajeg), maka dapat disimpulkan zat diantara plat tersebut adalah suatu fluida. Dari percobaan itu menunjukkan bahwa, dengan mempertahankan besaran lainnya konstan maka gaya F berbanding lurus dengan luas (A) dan kecepatan (U), berbanding terbalik dengan t. Hal diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$F = \mu \frac{AU}{t} \quad (\text{Streeter.L.V Wylie.E.B, 1993 : 4}) \quad (2.1)$$

Jika tegangan geser $\tau = F/A$ maka persamaannya menjadi :

$$\tau = \mu \frac{U}{t} \quad (\text{Streeter.L.V Wylie.E.B, 1993 : 4}) \quad (2.2)$$

Persamaan diatas dapat ditulis menjadi:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{Streeter.L.V Wylie.E.B, 1993 : 4}) \quad (2.3)$$

Dimana : μ = faktor kesebandingan dan pengaruh fluida yang bersangkutan tercakup didalamnya (viskositas)

Dimana perbandingan U/t menyatakan perubahan kecepatan dibagi dengan jarak sepanjang mana perubahan tersebut terjadi, pengertian ini sama dengan du/dy .

Sangat penting untuk mengenal sifat-sifat yang dimiliki fluida di dalam penerapan berbagai teknologi yang mengikutsertakan fluida di dalamnya.

Kerapatan (ρ), berat jenis (γ), volume jenis (v), gravitasi jenis (s) dan kompresibilitas merupakan sifat-sifat yang diperlukan untuk fluida dalam keadaan diam, tetapi untuk fluida dalam keadaan bergerak masih ada satu sifat lagi yang penting yaitu viskositas, sedangkan sifat-sifat termodinamika seperti tekanan dan temperatur dianggap sebagai sifat-sifat termodinamika yang menentukan sifat-sifat lain.

Kerapatan (ρ) adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa per satuan volume, sifat ini ditentukan dengan cara menghitung perbandingan massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut. Volume jenis (v) merupakan kebalikan dari kerapatan yakni volume yang ditempati oleh massa fluida. Berat jenis (γ) dinyatakan dalam berat per satuan volume, berat jenis berubah bersama perubahan tempat serta bergantung pada besarnya gravitasi. Gravitasi jenis (s) adalah perbandingan densitas zat tersebut terhadap densitas air pada kondisi standar dengan volume yang sama, selain itu gravitasi jenis dapat dinyatakan dengan perbandingan kerapatan atau berat jenis zat terhadap kerapatan atau berat jenis air pada kondisi standar dengan volume yang sama juga.

Kompresibilitas adalah ukuran perubahan kerapatan fluida akibat geseran viskos atau kompresi oleh suatu tekanan dari luar yang bekerja terhadap suatu volume fluida, dinyatakan dengan perbandingan tekanan yang bekerja dari luar dengan perubahan volume fluida tiap satuan volumenya.

Viskositas (μ) adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa untuk laju perubahan bentuk sudut fluida yang tertentu maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas. Contoh cairan yang sangat viskos atau kental adalah larutan gula tetes sedangkan air dan udara mempunyai viskositas yang sangat kecil. Viskositas (μ) seringkali disebut viskositas mutlak atau viskositas dinamik agar tidak terkecual dengan viskositas kinematik (ν), yang merupakan perbandingan viskositas (μ) terhadap massa jenis (ρ) :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Streeter.L.V Wylie.E.B, 1993 : 4}) \quad (2.4)$$

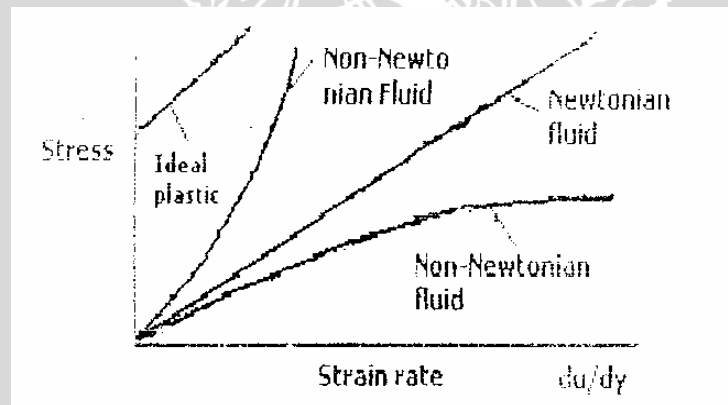
Di dalam banyak penerapan, viskositas kinematik (ν) sering muncul dibandingkan yang lain. Misalnya dalam bilangan Reynold yang tanpa dimensi

untuk gerak suatu benda melalui fluida. Viskositas kinematik ini tidak bergantung pada tekanan dan hanya bergantung pada suhu.

2.2.2 Klasifikasi fluida

Terdapat berbagai jenis fluida untuk itu diperlukan suatu klasifikasi untuk mempermudah mengenali fluida tersebut, diantaranya sebagai berikut:

Klasifikasi fluida berdasarkan kemampuan fluida dalam menahan tegangan geser yang bekerja padanya dengan ditandai laju perubahan bentuk, fluida dibedakan menjadi fluida Newton dan non-Newton. Dalam fluida Newton terdapat hubungan linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan (μ konstan). Contoh fluida Newton adalah air, udara, dan oli. Sedangkan fluida non-Newton terdapat hubungan taklinier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan (μ konstan). Fluida non-Newton dapat berbentuk hidrokarbon berantai panjang yang kental, contoh fluida non-Newton adalah pasta gigi.

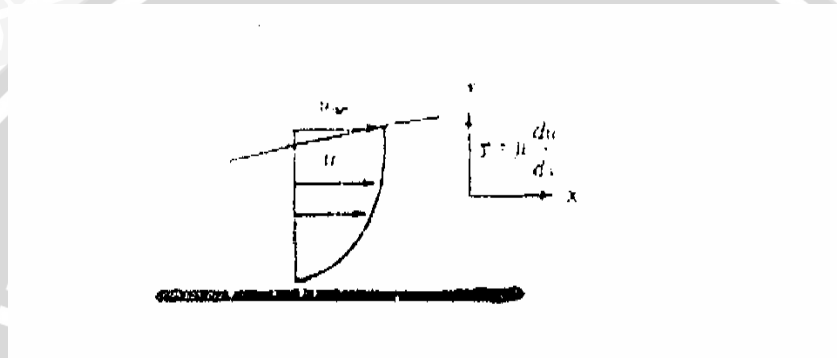


Gambar 2.5 : Grafik perbandingan tegangan regangan fluida Newton dan fluida non-Newton

Sumber : Potter C.M, Wigger C.D, 1997:15

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. Tetapi kenyataannya tidak ada fluida dengan viskositas sama dengan nol. Aliran viskos adalah aliran dimana viskositasnya bukan nol. Aliran viskos dibagi menjadi aliran laminar dan turbulen.

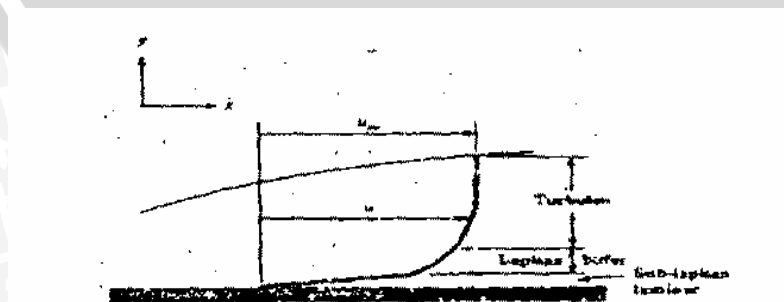
Aliran laminar merupakan aliran fluida yang partikelnya bergerak dalam lapisan-lapisan dimana perpindahan momentum dan massa terjadi secara molekuler dalam skala submikroskopis dari lapisan yang mempunyai kecepatan yang relatif tinggi menuju lapisan lain yang memiliki kecepatan yang relatif lebih rendah. Kecenderungan ke arah turbulensi diredam oleh gaya-gaya viskos yang memberikan hambatan terhadap gerak relatif lapisan-lapisan fluida. Pada aliran laminar partikel fluida bergerak secara berurutan mengikuti lintasan yang lancar secara kontinu dengan kecepatan yang tetap.



Gambar 2.6 : Profil kecepatan laminar di atas plat rata.

Sumber : J.P.Holman,1988:193

Aliran turbulen merupakan aliran yang ditandai dengan gerak fluida secara acak dengan kecepatan yang berfluktuasi dan saling interaksi antar gumpalan fluida. Pada aliran turbulen tidak terlihat lagi adanya lapisan lapisan fluida sehingga aliran fluida 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 dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain fluida tersebut.



Gambar 2.7 : Profil kecepatan dalam lapisan batas turbulen diatas plat rata

Sumber : J.P.Holman,1988:219

Bilangan Reynold merupakan parameter tak berdimensi yang menunjukkan ciri-ciri pola aliran serta lapisan batas. Bilangan Reynold merupakan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos pada aliran fluida.

Hal ini dapat dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (\text{Streeter.L.V Wylie.E.B, 1993 : 165})$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Ukuran linier yang mewakili ukuran pipa (m)

ν = Viskositas kinematik (m^2/s)

Klasifikasi fluida berdasarkan mampu mampatnya, fluida dibagi menjadi fluida *compressible* dan *incompressible*. Fluida *compressible* adalah fluida yang mampu mampat dan kerapatan fluida dipengaruhi perubahan tekanan. Fluida *incompressible* adalah fluida yang tidak mampu mampat dan perubahan kerapatan fluida akibat perubahan tekanan dapat diabaikan. Jika fluida dianggap tak mampu mampat dan *inviscid* maka fluida tersebut dinamakan fluida ideal.

2.2.3 Hukum dasar dan metode analisa aliran fluida

Dalam menganalisa fluida diperlukan dasar hukum diantaranya :

1. Hukum Konservasi Massa yang menyatakan bahwa laju perubahan massa fluida pada suatu sistem sama dengan total laju aliran massa fluida yang masuk kedalam sistem.
2. Hukum II Newton menyatakan laju perubahan momentum pada suatu sistem sama dengan jumlah gaya-gaya pada sistem tersebut.
3. Hukum I Termodinamika menyatakan laju perubahan energi pada suatu sistem sama dengan laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang dilakukan pada suatu sistem.

Klasifikasi analisa fluida berdasarkan tujuan analisa dibagi menjadi dua yaitu:

1. Analisa integral pada kontrol volume.

Hukum dasar yang diterapkan pada kontrol volume akan menghasilkan persamaan integral pada kontrol volume tersebut. Jika persamaan kontrol volume ini diselesaikan maka akan dihasilkan nilai besaran rata-rata dari suatu parameter aliran fluida. Penggunaan persamaan integral dengan menggunakan kontrol volume biasanya lebih mudah untuk menganalisa aliran yang terjadi.

2. Analisa differensial pada kontrol volume.

Hukum dasar yang diterapkan pada *infinite small* kontrol volume akan menghasilkan persamaan diferensial yang bila diselesaikan akan didapatkan nilai besaran dari suatu parameter disetiap titik dalam aliran fluida.

Klasifikasi analisa fluida berdasarkan partikel yang diamati dibagi menjadi dua yaitu:

1. Metode Lagrangian.

Metode Lagrangian adalah analisa fluida dimana persamaan yang ditulis untuk suatu sistem massa tetap dan yang menjadi pusat pengamatan adalah partikel-partikel fluidanya.

2. Metode Eulerian.

Metode Eulerian adalah analisa fluida untuk partikel-partikel fluida yang tersusun sangat banyak dimana persamaan yang ditulis adalah untuk volume dan menyatakan hubungan antara kondisi-kondisi dalam kontrol volume yang meliputi aliran massa, momentum, atau energi yang melalui kontrol volume.

Klasifikasi analisa fluida berdasarkan pada daerah yang dianalisa dibagi menjadi dua yaitu:

1. Sistem Tertutup (*Close System*)

Sistem tertutup maksudnya sistem dianggap memiliki jumlah massa yang tetap dan tidak ada perpindahan massa yang melewati batas sistem tersebut.

2. Kontrol Volume (*Open System*)

Kontrol volume adalah suatu daerah sembarang dimana dalam ruang itu dilewati fluida yang mengalir dengan parameter-parameter fluida dan aliran fluida tersebut adalah aliran fluida yang diamati dan dianalisis, sedangkan permukaan kontrol adalah permukaan-permukaan yang membatasi kontrol volume.

2.2.4 Persamaan dasar bentuk integral untuk kontrol volume

1. Konservasi Massa.

Hukum konservasi massa pada suatu kontrol volume menyatakan bahwa laju perubahan massa dalam suatu sistem ditambah fluks total massa yang masuk melalui kontrol $surface = 0$. Secara matematis pernyataan tersebut diatas dinyatakan dengan :

$$\left(\frac{dM}{dt}\right)_{sistem} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V dA \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:125}) \quad (2.5)$$

Dengan $\left(\frac{dM}{dt}\right)_{sistem} = 0$ maka,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V dA = 0 \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:126}) \quad (2.6)$$

Untuk aliran *incompressible* ($\rho = \text{konstan}$), persamaan diatas menjadi:

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} dV + \rho \int_{cs} V dA = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \int_{cs} V dA = 0 \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:126}) \quad (2.7)$$

Untuk kontrol volume dengan ukuran dan bentuk yang tetap maka $V = \text{konstan}$ sehingga :

$$\rho \int_{cs} V dA = 0$$

Untuk aliran yang *steady* setiap parameter dalam aliran fluida tidak bervariasi terhadap waktu :

$$\int_{cs} \rho V dA = 0 \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:126}) \quad (2.8)$$

2. Persamaan Momentum

Dalam suatu kontrol volume, persamaan momentum dapat dinyatakan dengan menggunakan hukum ke II Newton, yang menyatakan bahwa jumlah gaya yang bekerja pada suatu sistem sama dengan laju perubahan momentum sistem tersebut. Dapat dinyatakan dengan :

$$\vec{F} = \left(\frac{d\vec{P}}{dt}\right)_{sistem} \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:148}) \quad (2.9)$$

$$\text{Dimana : } \vec{P}_{sistem} = \int \vec{V} dm$$

dan gaya yang terjadi adalah gaya permukaan (F_s) dan gaya bodi (F_B) maka :

$$F = F_s + F_B$$

Sehingga didapat:

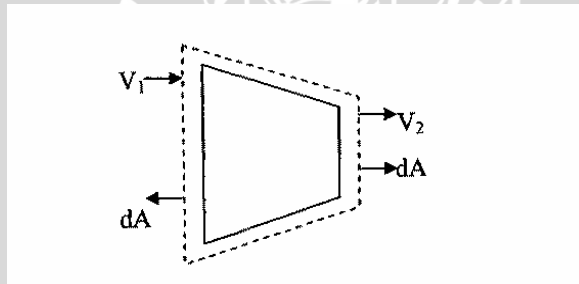
$$F = F_s + F_B = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} V \rho dV + \int_{cs} V \rho V dA \quad (\text{Potter, Merley, C, 1997:148}) \quad (2.10)$$

Untuk aliran yang *steady* setiap parameter dalam aliran fluida tidak bervariasi terhadap waktu :

$$F = \int_{cs} V \rho V dA \quad (\text{Potter, Merley, C, 1997:148}) \quad (2.11)$$

2.2.5 Persamaan analisa aliran fluida yang melalui nosel.

Laju aliran massa dan kecepatan rata-rata pada sisi masuk dan keluar nosel dapat dihitung dengan menggunakan analisa kontrol volume. Gambar 2.8 dibawah ini menunjukkan aliran fluida pada kontrol volume berbentuk nosel :



Gambar 2.8: Aliran fluida pada kontrol volume berbentuk nosel

Sumber : J.P.Holman, 1988:243

Persamaan konservasi massa untuk aliran fluida *incompressible, steady* :

$$\rho \int_{cs} V dA = 0 \quad (\text{Potter, Merley, C, 1997:126})$$

Untuk aliran fluida melewati nosel seperti pada gambar 2.8, maka persamaan diatas menjadi :

$$- |\rho V_1 A_1| + |\rho V_2 A_2| = 0$$

Atau

$$|\rho V_1 A_1| = |\rho V_2 A_2| \quad (\text{Potter, Merley, C, 1997:149}) \quad (2.12)$$

$$\dot{m} = |\rho V A| \text{ sehingga berlaku } \dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (\text{Potter, Merley, C, 1997:149}) \quad (2.13)$$

Dimana : ρ = densitas fluida (kg/m^3)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

dA = vektor normal pada suatu elemen permukaan kontrol *surface* (m^2)

\dot{m} = laju aliran massa fluida tiap satuan waktu (kg/s)

Persamaan momentum aliran fluida *incompressible, steady* :

$$F = \int_{cs} V \rho V dA$$

Untuk aliran fluida melewati nosel, maka persamaan diatas menjadi :

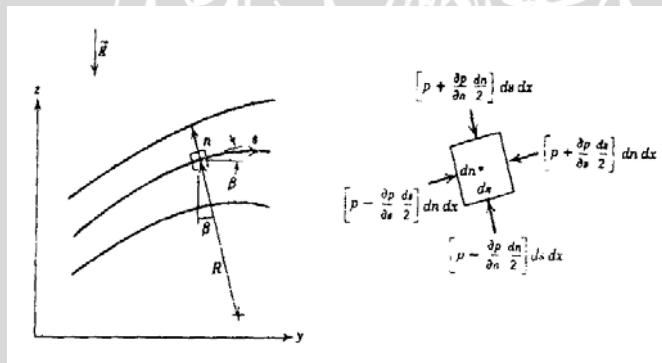
$$F = -|V_1 \rho V_1 A_1| + |V_2 \rho V_2 A_2| \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:149}) \quad (2.14)$$

Dengan $\dot{m} = |\rho VA|$ maka :

$$F = -|V_1 \dot{m}_1| + |V_2 \dot{m}_2| \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:149}) \quad (2.15)$$

2.2.6 Persamaan Bernouli

Aliran suatu zat cair *incompressible* melalui penampang saluran (pipa) fluida mempunyai tekanan statis, kecepatan dan ketinggian (z) yang diukur dari bidang referensi.



Gambar 2.9 : Gerakan partikel fluida sepanjang *streamline*

Sumber : Fox, Robert.W,T.McDonald, Alan, 1994:221

Berdasarkan gambar 2.9 maka penulisan hukum kedua Newton

$$\Sigma F = m.a_s \text{ disepanjang garis arus adalah } -\frac{\partial p}{\partial s} - \rho g \sin \beta = \rho a_s$$

Karena $\sin \theta = \frac{\partial z}{\partial s}$ maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi

$$-\frac{\partial p}{\partial s} - \rho g \frac{\partial z}{\partial s} = \rho a_s \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:101}) \quad (2.16)$$

Jika kecepatan V merupakan fungsi terhadap letak dan waktu maka $V = V(s,t)$

$$dV = \frac{\partial V}{\partial s} ds + \frac{\partial V}{\partial t} dt$$

Karena kecepatan disepanjang garis arus maka:

$$V = \frac{ds}{dt} \text{ dan } a_s = \frac{\partial V}{\partial t} = V \frac{\partial V}{\partial s} + \frac{\partial V}{\partial t} \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:102}) \quad (2.17)$$

Dapat disederhanakan menjadi persamaan Euler :

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - g \frac{\partial z}{\partial s} = \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial s}$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \frac{\partial \vec{V}}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + g \frac{\partial z}{\partial s} = 0 \quad (\text{Potter,Merley.C,1997:102}) \quad (2.18)$$

Persamaan ini disebut persamaan Euler untuk gerak sepanjang garis arus untuk fluida ideal (tidak viskos). Untuk persamaan Euler aliran *steady* dan *incompressible* jika diintegrasikan sepanjang garis arus (*streamline*) maka didapatkan persamaan Bernouli (Potter,Merley.C,1997:125) :

$$\int \left(V \frac{\partial V}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + g \frac{\partial z}{\partial s} \right) ds = V.dV + \frac{1}{\rho} dp + g dz = \frac{V^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = c \quad (2.19)$$

2.2.7 Kerugian energi pada aliran 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. Mayor losses

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

$$h_l = \frac{64 L.v^2}{\text{Re } D.2} \quad (\text{Fox, Robert .W,1994 : 331}) \quad (2.20)$$

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

$$h_l = f \frac{L.v^2}{D.2} \quad (\text{Fox, Robert .W,1994 : 332}) \quad (2.21)$$

Dimana : f = Koefisien kerugian gesek

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

D = Diameter dalam pipa (m)

$L =$ Panjang pipa (m)

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:

$$h_{lm} = K \frac{v^2}{2} \quad (\text{Fox, Robert .W,1994 : 336}) \quad (2.22)$$

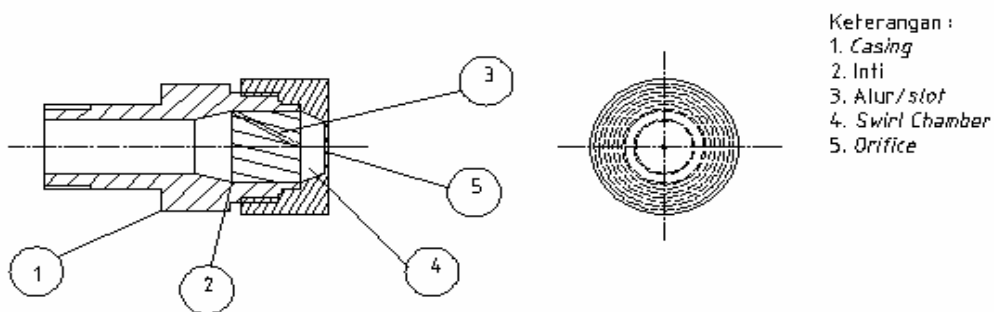
Dimana : $K =$ Koefisien minor losses

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

2.3 Swirl nozzle

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

Salah satu jenis nosel adalah *spray nozzle* yang berfungsi untuk memecah fluida cair yang disemprotkan menjadi butiran-butiran halus atau *droplet*. *Spray nozzle* banyak jenisnya, salah satunya adalah *swirl nozzle* yang memiliki bagian-bagian utama yaitu alur/slot pada inti, *swirl chamber*, dan *orifice*. *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*



Gambar 2.10 : Bagian-bagian *swirl nozzle*

Fungsi dasar *swirl nozzle* adalah :

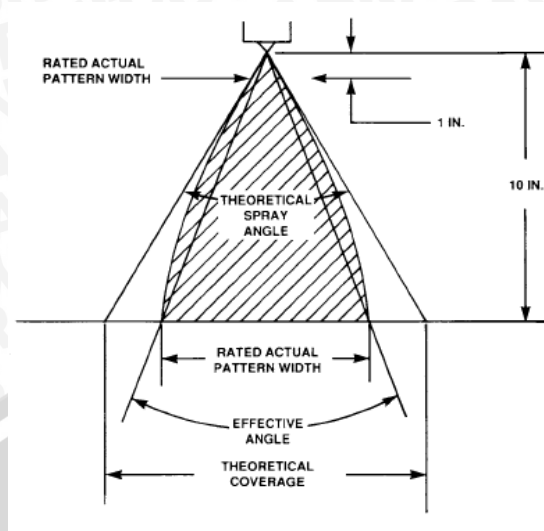
1. Mengontrol laju aliran fluida.
2. Atomisasi cairan menjadi *droplet*
3. Tersebar nya *droplet* dalam pola tertentu.

Untuk melakukan fungsinya itu, *swirl nozzle* memerlukan energi yang berasal dari tekanan yang diberikan oleh pompa. Energi potensial dari pompa diubah menjadi energi kinetik dengan cara mengalirkannya melalui alur atau lubang yang terdapat pada inti. Fluida yang melalui alur ini akan memiliki kecepatan yang tinggi. Kemudian fluida cair akan masuk kedalam *swirl chamber* pada arah tangensial, dan akan terbentuk pusaran atau vorteks. Disini terjadi perubahan energi dari energi tekanan menjadi energi kinetik. Hasil perubahan energi inilah yang digunakan untuk pembentukan *droplet* dan pola semprotan yang spesifik.

Semprotan dari *swirl nozzle* memiliki karakteristik tertentu, dimana karakteristik itu meliputi debit aliran fluida, sudut *spray*, ukuran dan distribusi *droplet*. Karakteristik tersebut dapat berubah-ubah karena berbagai pengaruh. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik itu adalah propertis fluida, bentuk nosel maupun berupa kondisi lingkungan sekitar yang ada pada saat itu.

Debit aliran fluida ditentukan dari banyaknya fluida yang dapat keluar dari nosel pada waktu tertentu dengan mengabaikan adanya *drift*. Gelas ukur dapat dijadikan alat untuk mengukur debit dari fluida dengan cara membagi volume fluida yang terkumpul dengan waktu yang digunakan pada saat pengambilan volume fluida itu.

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



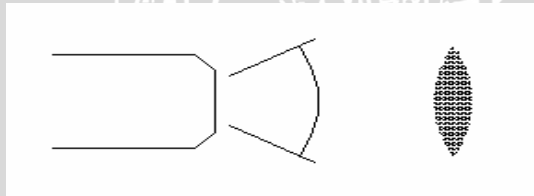
Gambar 2.11: Teoritis dan aktual dari lebar pola dan sudut *spray*

Sumber: [Http://www. Jetsspray.co.uk/sprayformation.pdf](http://www.Jetsspray.co.uk/sprayformation.pdf)

Distribusi *droplet* merupakan kerapatan dari *droplet* pada luasan tertentu. Berbagai pola distribusi *droplet* dapat dilihat pada gambar berikut.

1. *Flat spray*

Pola semprotan dari *flat spray* sangat tipis. Biasanya bentuk semprotan dari *flat spray* ini berupa elips/oval. Adapun distribusi *droplet* yang dihasilkan terkonsentrasi di tengah.

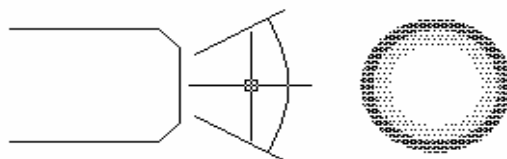


Gambar 2.12 : *Flat spray*

Sumber : [Http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf](http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf)

2. *Hollow cone spray*

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

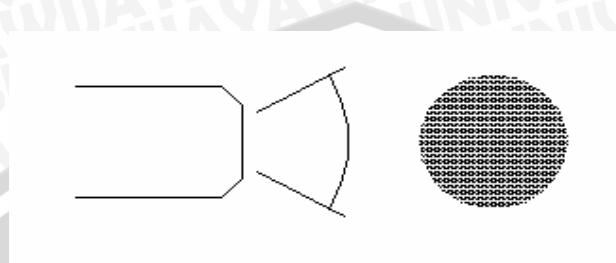


Gambar 2.13 : *Hollow cone spray*

Sumber : [Http/www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf](http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf)

3. *Solid cone spray*

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

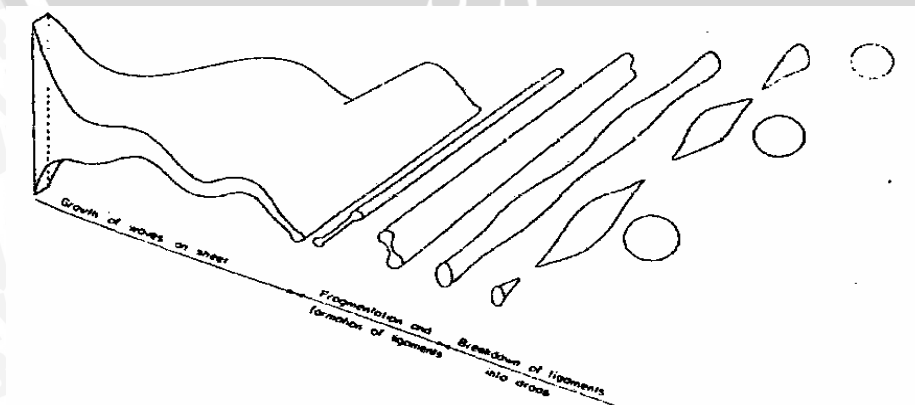


Gambar 2.14 : *Solid cone spray*

Sumber : [Http/www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf](http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf)

2.4 Mekanisme Pembentukan *Droplet*

Untuk memecahkan aliran fluida menjadi *droplet*, diperlukan energi. Dalam *swirl nozzle* biasanya energi ini berbentuk energi tekanan dari pompa. Energi tekanan dikonversikan menjadi energi kecepatan dengan mengalirkan fluida melalui beberapa alur atau *slot* yang sempit dalam nosel. Fluida keluar dari alur dengan kecepatan yang sangat tinggi dan masuk kedalam *swirl chamber*. Fluida mempunyai komponen kecepatan tangensial dan berputar dengan kecepatan sudut yang tinggi dalam *swirl chamber*. Fluida keluar dari *orifice* dalam bentuk *circular jet*, *flat sheet* atau *conical sheet* tergantung pada desain *orifice*. Selanjutnya muncul gangguan pada *sheet* atau aliran fluida sehingga terbentuk ligamen dalam aliran fluida, selanjutnya ligamen hancur dengan mekanisme *brake up* dan terbentuk *droplet*.



Gambar 2.15 : Mekanisme pembentukan *droplet*

Sumber: <http://www.forms.gradsach.psu.edu/equity/sroppers/2002/delgadojorge>

Sifat semburan fluida dari nosel ditentukan oleh tiga bilangan tanpa dimensi :

- *Jet Reynold number* : $Re_j = \left(\frac{\rho V}{\mu} \right)_l d_j$ (Helmut,K.C,2006:3) (2.24)

- *Jet weber number* : $We_j = \left(\frac{\rho_s V_j^2 d_j}{\sigma} \right)$ (Helmut,K.C,2006:3) (2.25)

- *Ohnesorge number* : $Oh = \frac{\mu_l}{\sqrt{\rho_l \sigma d_j}}$ (Helmut,K.C,2006:3) (2.26)

Dimana : ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

V = Kecepatan fluida (m/s)

μ = Viskositas dinamik (Ns / m^2).

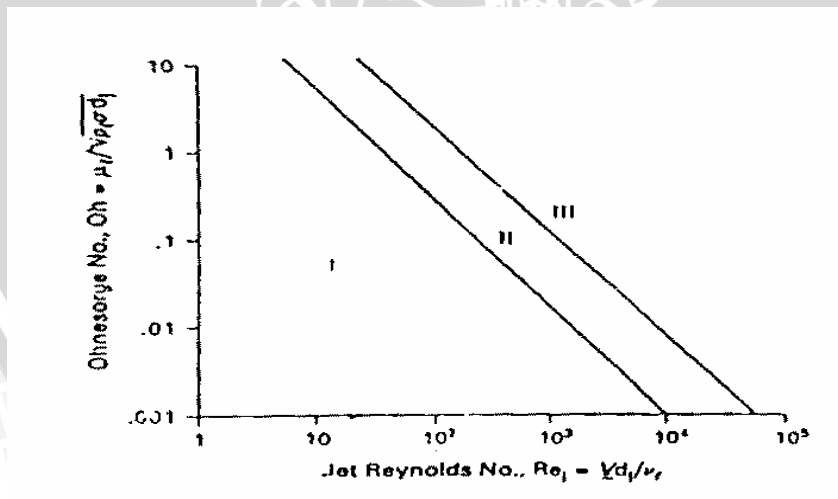
d = Diameter (m)

σ = Tegangan permukaan (N / m^2)

Subskrip 1, j menyatakan *liquid* dan jet

Kriteria pembentukan *spray* diplot pada grafik Log Oh Vs Log Re_j ,

yaitu pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.16 : Tingkat pembentukan *spray* pada nosel.

Sumber : Borman,1998 : 292.

Dari gambar diatas, pada daerah I pembentukan *droplet* terutama dipengaruhi oleh efek tegangan permukaan pada jet. *Break up* pada daerah II

disebabkan oleh pengaruh udara lingkungan. Dalam daerah III mekanisme *break up* dipengaruhi oleh kombinasi udara lingkungan dan turbulensi aliran.

Kualitas atomisasi (ukuran *droplet*) yang dihasilkan oleh nosel dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu desain nosel, tekanan, gravitasi spesifik fluida, viskositas fluida, temperatur, dan tegangan permukaan fluida. Variasi ukuran *droplet* dari suatu nosel disebut spektrum *droplet*. Spektrum *droplet* berbeda antara tipe nosel yang satu dengan yang lainnya.

Karena ketidakseragaman ukuran *droplet* maka digunakan berbagai cara untuk memberikan gambaran atas *spray*. Gambaran ukuran *droplet* jarang sekali menggunakan perhitungan rata-rata, karena perhitungan rata-rata sering memberikan gambaran yang keliru untuk mengukur *droplet*. Untuk mendapatkan gambaran ukuran relatif *droplet* maka kita harus menyemprotkan cairan berwarna pada bidang kontras yang mudah dilihat yaitu kertas peka air. Klasifikasi ukuran *droplet* dapat dilihat pada tabel dibawah ini (Panut,1998:142):

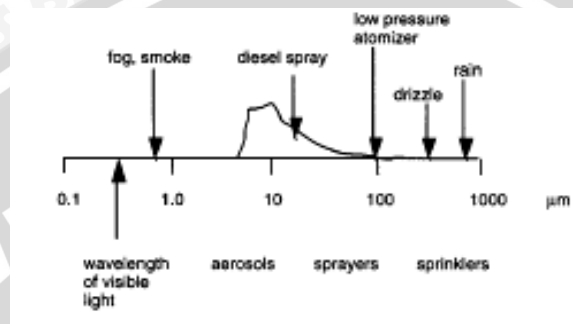
Tabel 2.1 Klasifikasi ukuran *droplet*

kelas	Ukuran <i>droplet</i> (mikron)
Aerosol	<50
Kabut (<i>mist</i>)	51-100
Halus (<i>fine spray</i>)	101-200
Sedang (<i>medium spray</i>)	201-400
Kasar (<i>coarse spray</i>)	<500

Karena ukuran yang terlihat pada kertas peka air bukan ukuran yang sesungguhnya maka perlu faktor koreksi yang disebut *spread factor* yang besarnya 1,5-5.

Ukuran dari *droplet* sangat penting untuk diketahui karena harus disesuaikan dengan aplikasi yang akan diterapkan. Sebagai contoh, ukuran *droplet*

yang kecil diperlukan dalam proses pengapian pada sistem pembakaran. Pada sisi lain, *droplet* yang besar membawa massa dan momen dalam jumlah besar dari cairan injeksi dan *droplet* ini bisa menembus ke dalam gas tekanan tinggi di dalam ruang pembakaran mesin/motor. Pembagian ukuran *droplet* dalam klasifikasi lainnya dari *spray* ditunjukkan di dalam gambar berikut.



Gambar 2.17 :Klasifikasi ukuran *droplet*.

Sumber : [Http://www.crcpress.lcc.edu/fluidmechanics.pdf](http://www.crcpress.lcc.edu/fluidmechanics.pdf)

Jadi istilah dan klasifikasi yang digunakan untuk menggambarkan ukuran dan distribusi *droplet* adalah kualitatif dan tidak bersifat universal.

Ukuran *droplet* dipengaruhi beberapa faktor diantaranya:

1. Diameter *orifice nozzle*.

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

2. Kecepatan aliran fluida.

Pada tipe nosel yang sama dan pada tekanan yang sama, semakin besar kecepatan aliran fluida maka ukuran *droplet* yang dihasilkan akan semakin kecil.

3. Sudut *spray*.

Semakin besar sudut *spray* suatu nosel maka *droplet* yang dihasilkan semakin kecil.

Hal ini dapat dilihat pada tabel berikut ini (Panut,1998:143) :

Tabel 2.2 Hubungan *droplet* dengan spesifikasi nosel.

Semakin kecil ← Ukuran *droplet* → Semakin besar

Semakin kecil	<i>Orifice</i> nosel	Semakin besar
Semakin besar	Sudut <i>spray</i>	Semakin kecil
Semakin besar	Kecepatan aliran fluida	Semakin kecil

2.5 Vorteks

2.5.1 Definisi vorteks

Vorteks didefinisikan sebagai massa fluida cair atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Perputaran bermula dari perputaran partikel-partikel fluida yang menyebabkan adanya perbedaan kecepatan pada masing-masing lapisan fluida yang bersebelahan. Perbedaan kecepatan ini mengakibatkan beda tekanan yang mengakibatkan puntiran. Puntiran inilah yang akhirnya membentuk vorteks.

Sesungguhnya vorteks berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut bilangan Reynold. Pada bilangan Reynold yang rendah biasanya berbentuk tapal kuda dan semakin tinggi nilai Reynold maka akan semakin meruncing.

Menurut proses pembentukannya vorteks dibagi menjadi dua macam, yaitu vorteks bebas (*free vortex*) dan vorteks paksa (*forced vortex*). Vorteks bebas terjadi jika mekanisme pembentukan vorteks tidak melibatkan energi dari luar sumber seperti pusaran air di sungai. Vorteks paksa terjadi jika mekanisme pembentukan vorteks melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contoh vorteks paksa adalah putaran fluida cair dalam pompa sentrifugal.

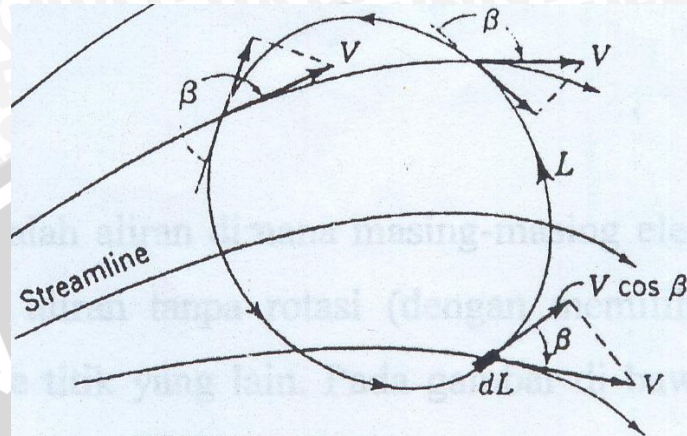
2.5.2 Irotasional dan rotasional vorteks

Dalam analisis karakteristik dari medan aliran, konsep sirkulasi merupakan konsep yang sangat penting. Garis arus pada gambar 2.18 menunjukkan lintasan yang tertutup dari medan aliran tersebut. Sirkulasi Γ (gamma) secara matematik didefinisikan sebagai integral garis dari kecepatan pada lintasan tertutup.

$$\Gamma = \oint \vec{V} dL$$

$$\Gamma = \oint \vec{V} \cos \beta .dL \quad (\text{Daugherty, 1989 :133}) \quad (2.27)$$

Dimana \vec{V} adalah kecepatan medan aliran pada elemen dL dari lintasan tertutup dan β adalah sudut antara \vec{V} dengan tangen/garis singgung lintasan (pada arah positif sepanjang lintasan) pada titik itu.



Gambar 2.18 : Sirkulasi pada lintasan tertutup untuk medan 2 dimensi.

Sumber : Daugherty, 1989 :133.

Vortisitas (ξ) didefinisikan sebagai kuantitas yang besarnya sama dengan dua kali kecepatan sudut atau rotasi. Persamannya adalah :

$$\vec{\xi} = \text{curl } \vec{V} = 2 \vec{\omega}$$

Dimana : $\vec{V} = ui + vj + wk$

$$\text{Maka : } \text{curl } \vec{V} = \nabla \times \vec{V} = \left(\frac{\partial w}{\partial y} i + \frac{\partial u}{\partial z} j + \frac{\partial v}{\partial x} k \right) - \left(\frac{\partial w}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial z} j + \frac{\partial v}{\partial y} k \right)$$

$$\text{curl } \vec{V} = \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) i + \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) j + \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) k \quad (\text{Daugherty, 1989 :133}) \quad (2.28)$$

$$\text{Dan } \vec{\omega} = i \omega_x + j \omega_y + k \omega_z \quad (\text{Daugherty, 1989 :133}) \quad (2.29)$$

$$\text{Dimana : } i \omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$: i \omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

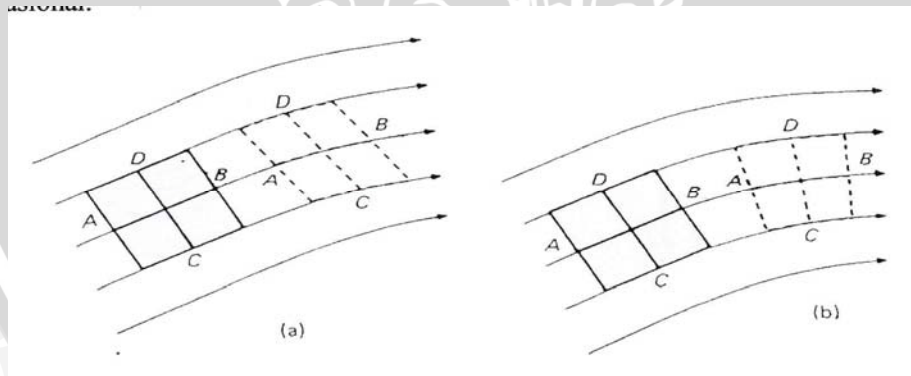
$$: i \omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

Sehingga :

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \left[i \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) + j \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) + k \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] \quad (\text{Daugherty, 1989 :133}) \quad (2.30)$$

Maka dari persamaan (2.28) dan (2.30) didapatkan : $\text{curl } \vec{V} = 2 \vec{\omega}$

Aliran irotasional adalah aliran dimana masing-masing elemen dari pergerakan fluida melalui jaring-jaring tanpa rotasi (dengan memilih pada suatu sumbu koordinat) dari suatu titik ke titik yang lain. Pada gambar dibawah ini menunjukkan suatu contoh aliran fluida sebuah elemen kecil dari fluida berbentuk segi empat dengan sumbu AB dan CD. Pada gambar (a) sumbu AB berotasi searah putaran jarum jam pada sepanjang perpindahan atau pergerakan elemen, tetapi sumbu CD berotasi dengan jumlah yang sama tetapi berlawanan arah dengan sumbu AB sehingga total rotasinya sama dengan nol, meskipun elemen fluida tersebut mengalami distorsi yang besar tetapi elemen fluida tetap irotasional. Pada gambar (b) kedua sumbu AB dan CD berotasi pada arah yang sama, sehingga pergerakan elemen fluida adalah rotasional. Pada aliran rotasional ini elemen fluida mengalami distorsi yang lebih kecil dibandingkan dengan aliran irotasional.

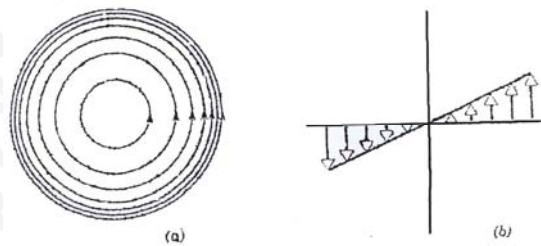


Gambar 2.19 : Gerak elemen fluida pada suatu lintasan.

Sumber : Massey, 1983 : 301

Medan aliran rotasional vorteks menunjukkan bahwa \vec{V} adalah sebanding dengan r . Garis-garis arus berbentuk lingkaran, dimana pada pusat rotasional

vorteks kecepatan sama dengan nol, semakin keluar dari pusat maka kecepatannya semakin besar.

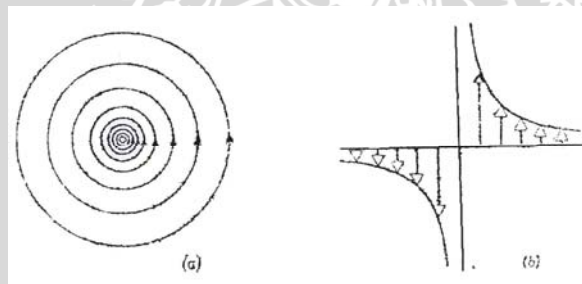


Gambar 2.20 : (a) Medan aliran rotasional vorteks.

(b) Variasi kecepatan fluida dari pusat.

Sumber : Halliday, David, 1985 : 595.

Gambar dibawah ini menunjukkan medan aliran irotasional vorteks, dimana \vec{V} sebanding dengan $1/r$. Gerakan irotasional vorteks dinyatakan oleh garis-garis arus berbentuk lingkaran. Di pusat irotasional vorteks kecepatannya sangat tinggi, semakin keluar dari pusat maka kecepatannya semakin menurun.



Gambar 2.21 : (a) Medan aliran irotasional vorteks.

(b) Variasi kecepatan fluida dari pusat.

Sumber : Halliday, David, 1985 : 595.

2.6. Hipotesa

Semakin besar sudut *swirl chamber* menyebabkan perubahan luas penampang menjadi lebih kontinyu dengan hambatan dan *losses* yang kecil, sedangkan kecepatan aksial dan debit aliran fluida yang besar, sehingga *core vortex* dan sudut *spray* yang dihasilkan menjadi kecil; ukuran *droplet* lebih besar disertai distribusi *spray* tidak merata.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk mencari data sebab akibat melalui eksperimental guna mendapatkan data empiris. Dalam hal ini obyek penelitiannya adalah pengaruh variasi sudut *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *swirl nozzle*.

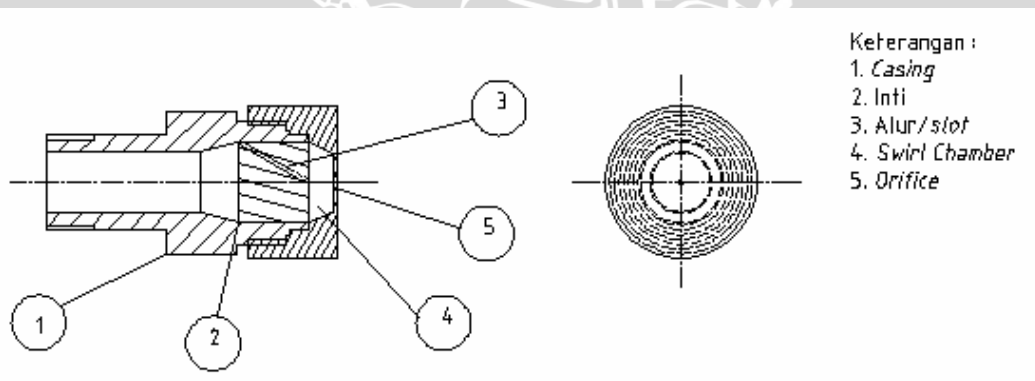
3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Fluida, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

3.3 Variabel Penelitian

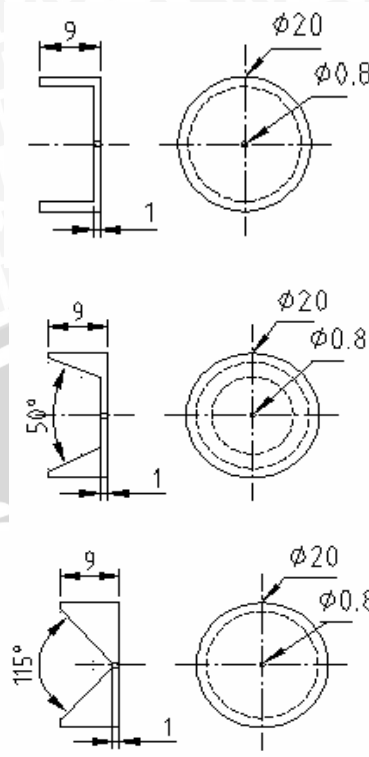
1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang ditetapkan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian dilakukan.



Gambar 3.1 : Bagian-bagian *swirl nozzle*.

Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi sudut *swirl chamber* pada *swirl nozzle* yang ditunjukkan nomor 4 pada gambar 3.1 diatas. Adapun variasi sudut *swirl chamber* yang digunakan adalah : 0° , 50° dan 115° .



Gambar 3.2 : Variasi sudut *swirl chamber*

Dalam penelitian ini propertis fluida yang mempengaruhi karakteristik *spray* seperti viskositas fluida, temperatur, tegangan permukaan fluida, dan gravitasi spesifik fluida adalah konstan. Sehingga yang berpengaruh terhadap karakteristik *spray* hanyalah desain *swirl nozzle* berupa variasi sudut *swirl chamber*.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah karakteristik *spray* yang meliputi:

- Debit aliran fluida melalui *swirl nozzle*

Debit aliran fluida diukur dengan cara menghitung volume yang tertampung di gelas ukur dibagi dengan waktu yang digunakan pada saat pengambilan volume air tersebut.

- Sudut *spray*

Sudut *spray* didapat dengan cara mengukur besar sudut *spray* teoritis yang dibentuk oleh *conical sheet* dengan menggunakan busur derajat.

- Ukuran *droplet*

Ukuran *droplet* ini dapat diketahui dengan alat yang bernama LDA atau PIV. Berhubung alat tersebut tidak tersedia di laboratorium Jurusan Mesin, maka untuk menganalisa ukuran *droplet* ini peneliti menggunakan data kualitatif berupa gambar (visualisasi) *droplet*. Fluida yang keluar dari nosel dalam bentuk *spray* disemprotkan ke plastik mika dengan jarak 20 in (0,508 m) dari *swirl nozzle*. Butiran-butiran fluida yang jatuh ke mika diambil visualisasinya dengan menggunakan kamera digital pada jarak 20 cm. Gambar visualisasi butiran ini diasumsikan mewakili ukuran *droplet* sesungguhnya.

- Distribusi *droplet*

Seperti halnya ukuran *droplet*, distribusi *droplet* juga dapat diketahui dengan LDA atau PIV. Tetapi karena keterbatasan alat maka peneliti menggunakan kamera digital untuk mengambil gambar visualisasi distribusi *droplet* dengan cara yang sama seperti mengambil gambar visualisasi ukuran *droplet*. Jadi data yang diperoleh berupa data kualitatif.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilai dapat dikontrol dalam memvariasikannya atau mengubah dan ditentukan sebelum penelitian dilakukan. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah tekanan fluida masuk nosel yaitu sebesar 50, 100, 150, 200, 250 dan 300 kPa.

3.4 Peralatan Penelitian

1. Pompa air

Pompa air digunakan untuk menimbulkan tekanan masuk *swirl nozzle*.

Spesifikasi pompa air yang digunakan :

Merk : SHIMIZU

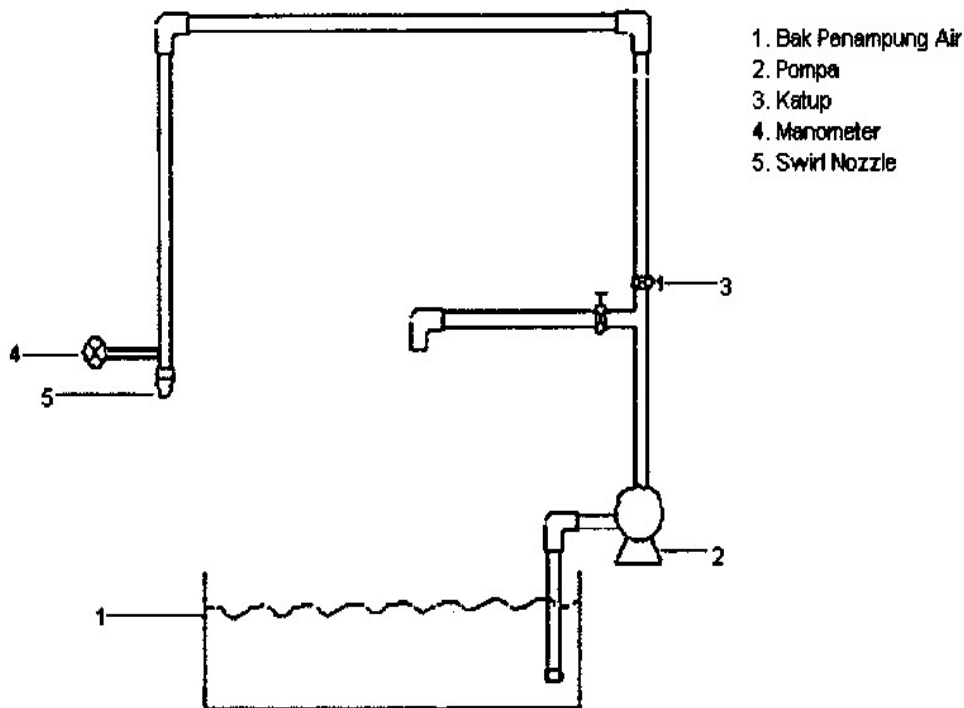
Daya output : 125 watt

Putaran : 2850 rpm

Suction Head : 9 m

- Discharge Head : 24 m
- Total Head : 33 m
- Kapasitas maksimum : 34 liter / menit
2. Bak penampung air
Digunakan sebagai tempat menampung air.
 3. Katup / kran
Kran digunakan untuk mengatur tekanan air yang masuk ke *swirl nozzle*.
 4. Manometer
Digunakan untuk mengukur tekanan statis air sebelum masuk *swirl nozzle*.
 5. Gelas ukur
Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air yang terkumpul.
 6. Stopwatch
Alat ini untuk mengukur waktu yang digunakan pada saat pengambilan volume air, sehingga dengan membagi volume dengan waktu didapatkan besar debit aliran keluar nosel.
 7. Busur penggaris
Digunakan untuk mengukur besarnya sudut *spray* aliran keluar nosel.
 8. Kertas mika dan millimeter blok
Digunakan untuk melihat ukuran dan distribusi *droplet* dari *swirl nozzle*,
 9. Kamera digital
Digunakan untuk mengambil gambar dari bentuk *spray* pada kertas mika dan juga mengambil gambar dari ukuran dan distribusi *droplet*.

3.5 Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.3 Skema Instalasi Penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan.
2. Memasang instalasi penelitian seperti pada skema instalasi.
3. Memasang *swirl nozzle* dengan *swirl chamber* bersudut 0° .
4. Menghidupkan pompa, dan mengatur bukaan katup atau kran untuk mendapatkan tekanan 50 kPa.
5. Tunggu sampai alirannya stabil.
6. Mengukur volume air yang keluar dan menghitung waktu yang diperlukan.
7. Melihat pola aliran keluar *swirl nozzle* dan besarnya sudut *spray* dengan menggunakan kamera digital.

8. Melihat ukuran *droplet* dengan kertas milimeter
9. Mengulangi langkah 4 hingga langkah 8 dengan variasi tekanan 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa, 250 kPa dan 300 kPa.
10. Mengulangi langkah 3 hingga langkah 9 dengan mengganti *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° .

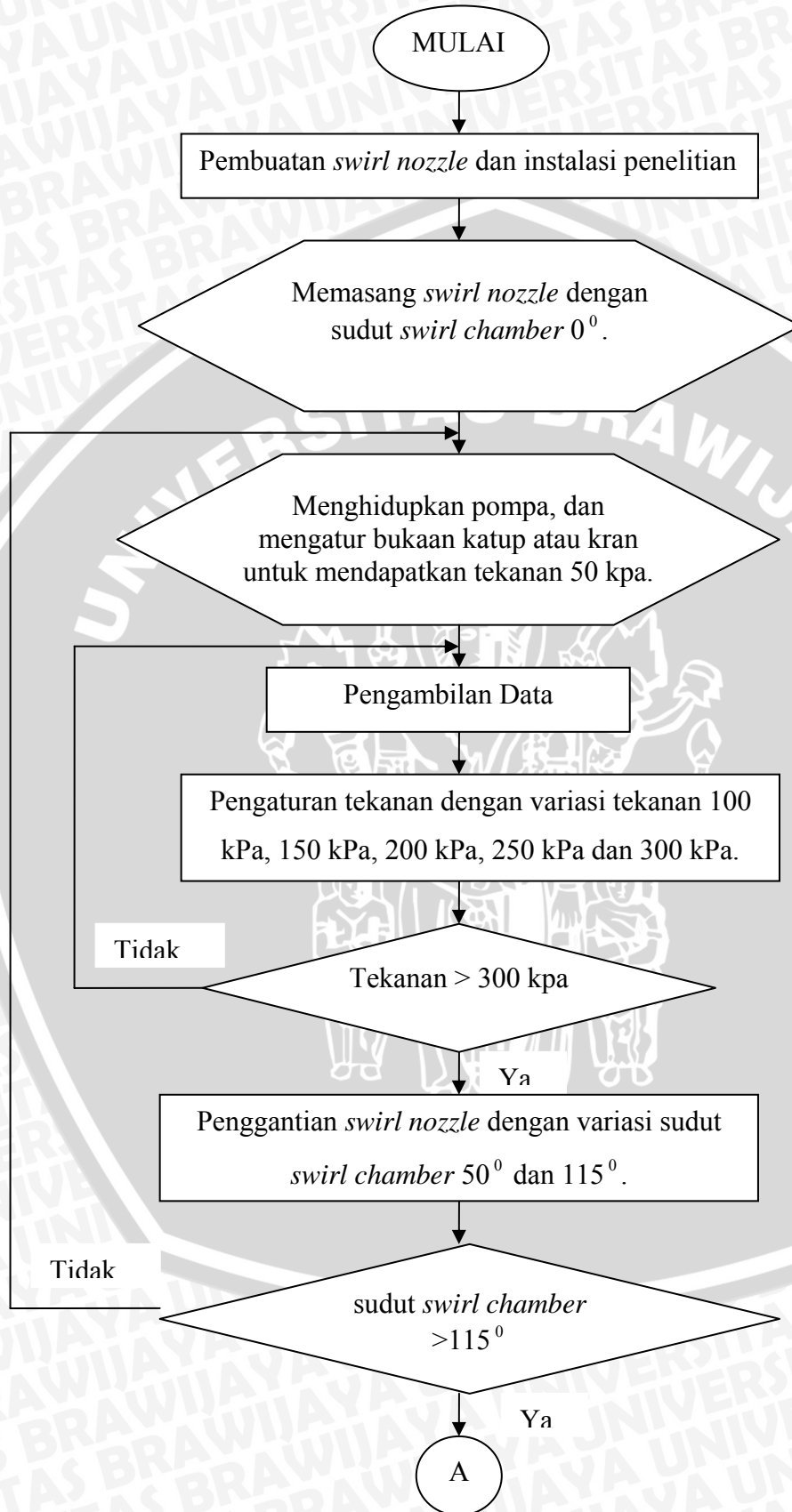
3.7 Rencana Analisis Data

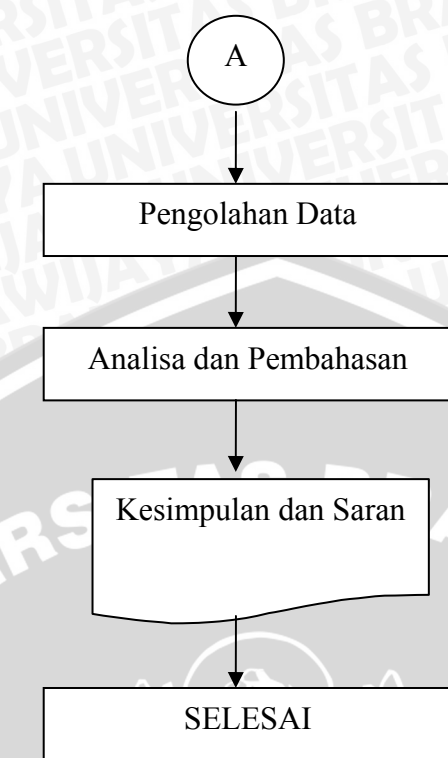
Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat grafik hubungan antara data-data yang diperoleh dalam kaitanya dengan variasi sudut *swirl chamber*.
2. Analisis mengenai karakteristik dari grafik yang dihasilkan.
3. Pengamatan dan analisis data yang berupa gambar hasil pemotretan dengan kamera digital.



3.8 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian *swirl nozzle* dengan variasi sudut *swirl chamber* 0° , 50° dan 115° dapat dilihat pada tabel 4.1. Untuk setiap perlakuan diberi variasi tekanan masuk (P_1) 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa, 250 kPa dan 300 kPa, sedangkan tekanan keluar (P_2) diasumsikan konstan sama dengan tekanan atmosfer. Untuk data volume aliran, waktu pengambilan setiap data (t) adalah 60 detik. Data hasil pengujian berupa volume aliran dari *swirl nozzle* (V) dan sudut *spray* ditampilkan dalam bentuk tabel berikut ini :

Tabel 4.1 Data hasil pengujian

P (kPa)	sudut 0°		sudut 50°		sudut 115°	
	V (ml)	sudut spray ($^{\circ}$)	V (ml)	sudut spray ($^{\circ}$)	V (ml)	sudut spray ($^{\circ}$)
50	250	40	270	35	270	30
	260		260		280	
	250		260		280	
100	300	40	320	38	340	35
	310		320		330	
	300		320		340	
150	350	45	380	43	390	40
	350		390		400	
	340		380		400	
200	380	50	420	47	430	44
	380		410		440	
	380		420		430	
250	420	52	440	50	460	48
	410		450		470	
	420		440		460	
300	450	55	480	53	500	50
	460		480		490	
	460		480		500	

4.2 Contoh Perhitungan Data

A. Data-data penelitian

Data ukuran *swirl nozzle* :

- Diameter penampang masuk (d_1) : 13 mm = 0,013 m
- Diameter penampang keluar (d_2) : 0,8 mm = 0,0008 m

Data propertis air pada temperatur 25⁰ (Streeter.L.V, Wylie.E.B, 1993 : lampiran)

- Densitas air (ρ) : 996,95 kg/m³
- Viskositas air (μ) : 0,903x10⁻³ N.s/m²
- Tegangan permukaan air (σ) : 0,0727 N/m

Data propertis udara pada temperatur 25⁰ (Streeter.L.Wylie.E.B, 1993 : lampiran)

- Densitas udara (ρ_u) : 1,184 kg/m³

B. Contoh perhitungan data

Contoh perhitungan diambil dari data hasil penelitian pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0⁰ pada tekanan fluida masuk *swirl nozzle* 50000 N/m² :

- Luas penampang masuk *swirl nozzle* (A_1)

$$A_1 = \frac{\pi.d_1^2}{4} \quad (\text{m}^2)$$

Dimana :

d_1 = diameter masuk *swirl nozzle* (m)

$$A_1 = \frac{3,14 \times (0,013)^2}{4} = 0,0001327 \text{ m}^2$$

- Luas penampang keluar *swirl nozzle* (A_2)

$$A_2 = \frac{\pi.d_2^2}{4} \quad (\text{m}^2)$$

Dimana :

d_2 = diameter keluar *swirl nozzle* (m)

$$A_2 = \frac{3,14 \times (0,0008)^2}{4} = 0,000000502 \text{ m}^2$$

- Kapasitas alir aliran tiap pengulangan (Q_i)

$$Q_i = \frac{V_i}{t} \quad (\text{ml/s})$$

Dimana :

i = Jumlah pengulangan (1;2;3)

V_i = Volume aliran keluar *swirl nozzle* pada tiap pengulangan (m^3)

t = Waktu pengambilan setiap pengulangan data (s)

$$Q_1 = \frac{250}{60} = 4,17 \quad (\text{ml/s})$$

$$Q_2 = \frac{260}{60} = 4,33 \quad (\text{ml/s})$$

$$Q_3 = \frac{250}{60} = 4,17 \quad (\text{ml/s})$$

- Kapasitas alir rata-rata (Q_r)

$$Q_r = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}$$

Dimana :

Q_1 = kapasitas alir aliran *swirl nozzle* pada pengulangan ke-1 (ml/s)

Q_2 = kapasitas alir aliran *swirl nozzle* pada pengulangan ke-1 (ml/s)

Q_3 = kapasitas alir aliran *swirl nozzle* pada pengulangan ke-1 (ml/s)

$$Q_r = \frac{4,17 + 4,33 + 4,17}{3} = 4,22 \text{ ml/s} = 4,22 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Kecepatan masuk *swirl nozzle* (v_1)

$$v_1 = \frac{Q_r}{A_1}$$

Dimana :

Q_r = kapasitas alir rata-rata (m^3/s)

A_1 = luas penampang masuk *swirl nozzle* (m^2)

$$v_1 = \frac{4,22 \times 10^{-6}}{13,27 \times 10^{-5}} = 0,0318 \text{ m/s}$$

- Kecepatan keluar *swirl nozzle* (v_2)

$$v_2 = \frac{Q_r}{A_2}$$

Dimana :

Q_r = kapasitas alir rata-rata (m^3/s)

A_2 = luas penampang keluar *swirl nozzle* (m^2)

$$v_2 = \frac{4,22 \times 10^{-6}}{0,502 \times 10^{-6}} = 8,4064 \text{ m/s}$$

- *Reynold number* fluida air (Re)

$$Re = \left(\frac{\rho V}{\mu} \right) d$$

Dimana :

ρ = Densitas fluida air (kg/m^3)

V = Kecepatan fluida air (m/s)

μ = Viskositas dinamik fluida air (Ns/m^2)

$$Re = \left(\frac{996,95 \times 8,4064}{0,903 \times 10^{-3}} \right) 0,8 \times 10^{-3} = 7424,815$$

- *Weber number* fluida air (We_1)

$$We_1 = \left(\frac{\rho V^2 d}{\sigma} \right)$$

Dimana :

ρ = Densitas fluida air (kg/m^3)

V = Kecepatan fluida air (m/s)

σ = Tegangan permukaan fluida air (N/m^2)

$$We_1 = \left(\frac{996,95 \times (8,4064)^2 \times 0,8 \times 10^{-3}}{0,0727} \right) = 2521$$

- Ohnesorge fluida air (Oh)

$$Oh = \left(\frac{We^{1/2}}{Re} \right)$$

Dimana :

$We = \text{Weber number}$ fluida air

$Re = \text{Reynold number}$ fluida air

$$Oh = \left(\frac{775,263^{1/2}}{7424,815} \right) = 3,75 \times 10^{-3}$$

- $Weber\ number\ fluida\ udara\ (We_2)$

$$We_2 = \left(\frac{\rho_u V^2 d}{\sigma} \right)$$

Dimana :

$\rho_u = \text{Densitas fluida udara}$ (kg/m³)

$V = \text{Kecepatan fluida air}$ (m/s)

$\sigma = \text{Tegangan permukaan fluida air}$ (N/m²)

$$We_2 = \left(\frac{1,184 \times 8,4064^2 \times 0,8 \times 10^{-3}}{0,0727} \right) = 0,9207$$

- Panjang gelombang tidak stabil pada *liquid sheet* (Λ)

$$\Lambda = 18,04 \frac{(1 + 0,45 Oh^{0,5})(1 + 0,4 T^{0,7})}{(1 + 0,87 We_2^{1,67})^{0,6}}$$

Dimana :

$Oh = \text{Ohnesorge number}$ fluida air

$We_2 = \text{Weber number}$ fluida udara

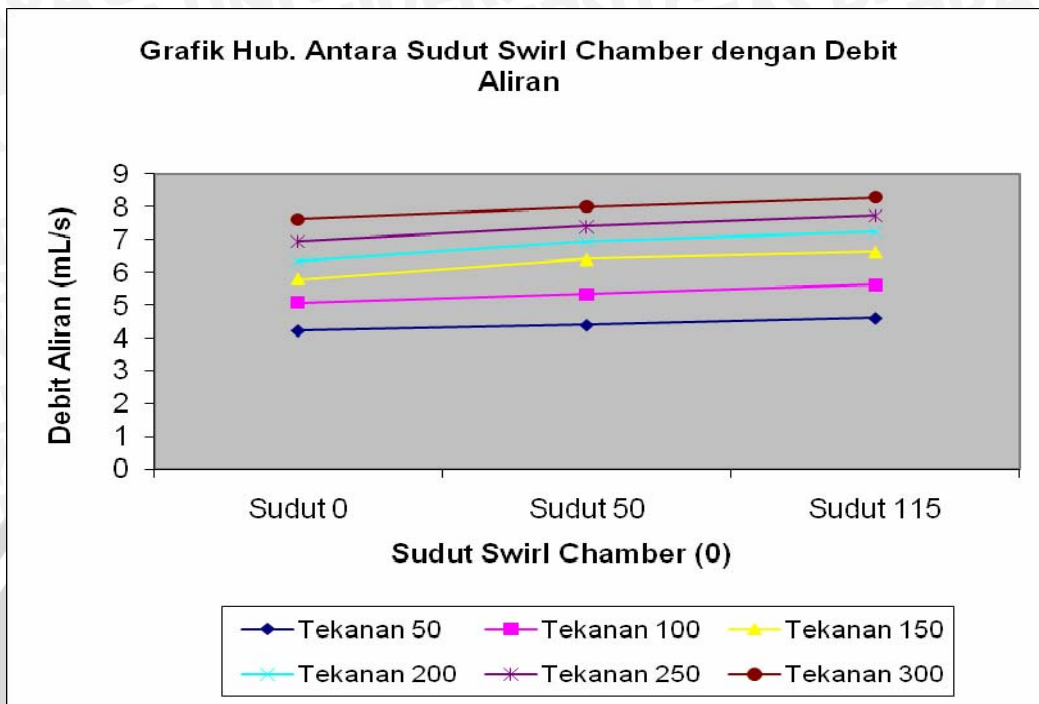
$T = Oh \times We_2^{0,5}$

$$\Lambda = 18,04 \frac{(1 + 0,45 \times (0,00375)^{0,5})(1 + 0,4(0,00375 \times 0,9207^{0,5})^{0,7})}{(1 + (0,87 \times 0,9207^{1,67})^{0,6}}$$

$$\Lambda = 11,323$$

4.3 Analisa Grafik

4.3.1 Grafik hubungan antara sudut *swirl chamber* dengan debit aliran

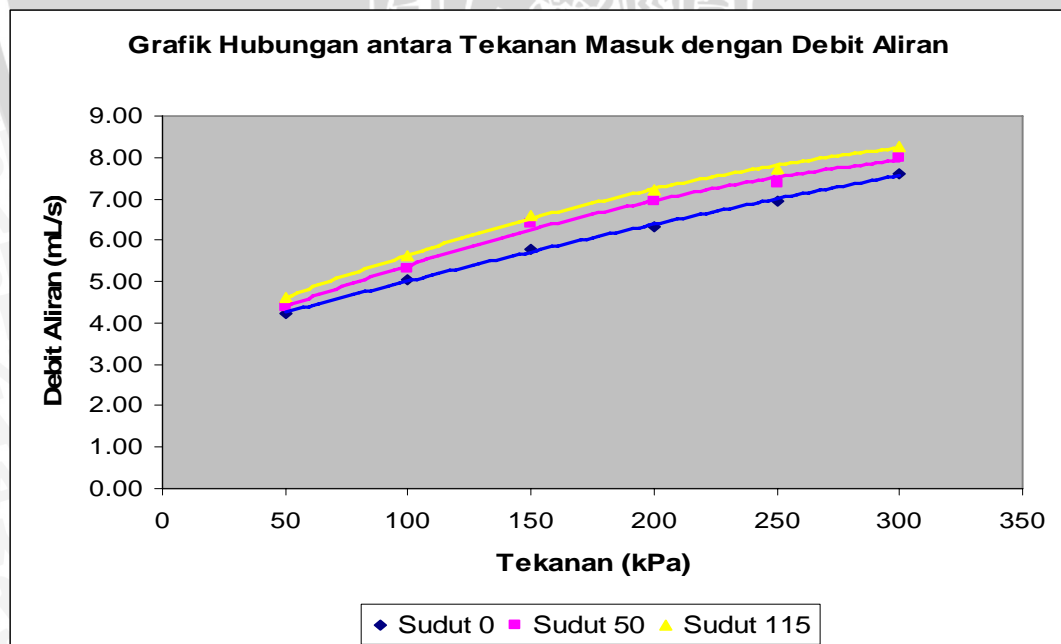


Gambar 4.1 Grafik hubungan antara sudut *swirl chamber* dengan debit aliran.

Pada grafik terlihat adanya perbedaan debit fluida keluar pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° , 50° dan 115° . *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 115° memiliki debit aliran fluida yang paling besar seiring bertambahnya tekanan bila dibandingkan dengan *swirl nozzle* bersudut *swirl chamber* 0° dan 50° . Hal ini terjadi karena aliran fluida dalam *swirl chamber* berpusar sebelum keluar dari *orifice*. Pada saat fluida keluar dari alur dan masuk *swirl chamber*, fluida memiliki tiga komponen kecepatan, yaitu kecepatan aksial, kecepatan radial dan kecepatan tangensial. Adanya komponen kecepatan radial terjadi karena gerakan fluida dari tepi *swirl chamber* ke bagian tengah *swirl chamber*. Komponen kecepatan tangensial menyebabkan terjadinya pusaran/vorteks. Sedangkan komponen kecepatan aksial akan menyebabkan fluida terdorong keluar dari *swirl chamber* melalui *orifice*. *Swirl chamber* yang bersudut 0° memiliki bentuk silinder sehingga aliran fluida yang keluar dari alur tidak langsung menuju ke *orifice* melainkan berpusar dulu di dalam *Swirl chamber*. Pada *swirl chamber* sudut 0° ini hambatan dari dinding bagian depan *swirl*

chamber yang besar akan menyebabkan perubahan pada komponen kecepatan yaitu rasio perbandingan kecepatan tangensial dengan aksial semakin besar. Sedangkan *swirl chamber* bersudut 50° memiliki bentuk kerucut terpotong sehingga aliran fluida yang keluar dari alur diarahkan menuju *orifice*. Pada *swirl chamber* sudut 50° ini juga terjadi pusaran aliran fluida yang keluar dari alur. Sedangkan pada *swirl chamber* sudut 115° memiliki bentuk kerucut penuh sehingga aliran fluida yang keluar dari alur langsung menuju *orifice*. Pada *swirl chamber* sudut 115° ini rasio perbandingan kecepatan tangensial dengan aksial kecil. Oleh karena itu dengan semakin besar sudut *swirl chamber* maka kecepatan aksial akan semakin membesar, sedangkan kecepatan tangensial akan semakin mengecil. Hal inilah yang menyebabkan debit aliran fluida yang keluar nosel semakin besar. Pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 115° memiliki kecepatan aksial yang paling besar daripada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° dan 50° . Sehingga pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 115° fluida akan lebih cepat keluar melalui *orifice* dan debit aliran fluida keluar akan lebih besar daripada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° dan 50° .

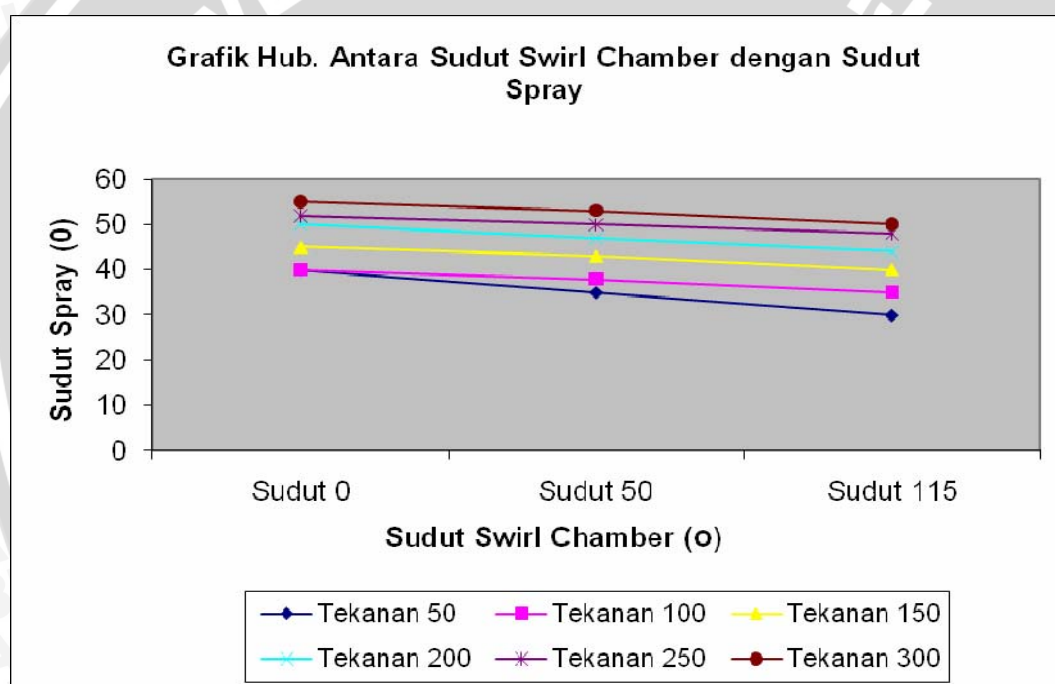
4.3.2 Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan debit aliran



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan debit aliran.

Pada grafik 4.2 terlihat bahwa dengan bertambahnya tekanan masuk akan mempengaruhi debit fluida keluar *swirl nozzle*. Semakin besar tekanan masuk *swirl nozzle* maka debit keluar juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar tekanan masuk berarti semakin besar pula energi yang masuk pada *swirl nozzle*, sehingga kecepatan aliran akan semakin meningkat. Jika kecepatan aliran fluida yang melalui *swirl nozzle* semakin meningkat maka debit aliran fluida keluar *swirl nozzle* juga akan meningkat sesuai dengan hukum kontinuitas pada suatu kontrol volume untuk aliran yang bersifat *steady* dan *incompressible*, yaitu $V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 = Q$.

4.3.3 Grafik hubungan antara sudut *swirl chamber* dengan sudut *spray*



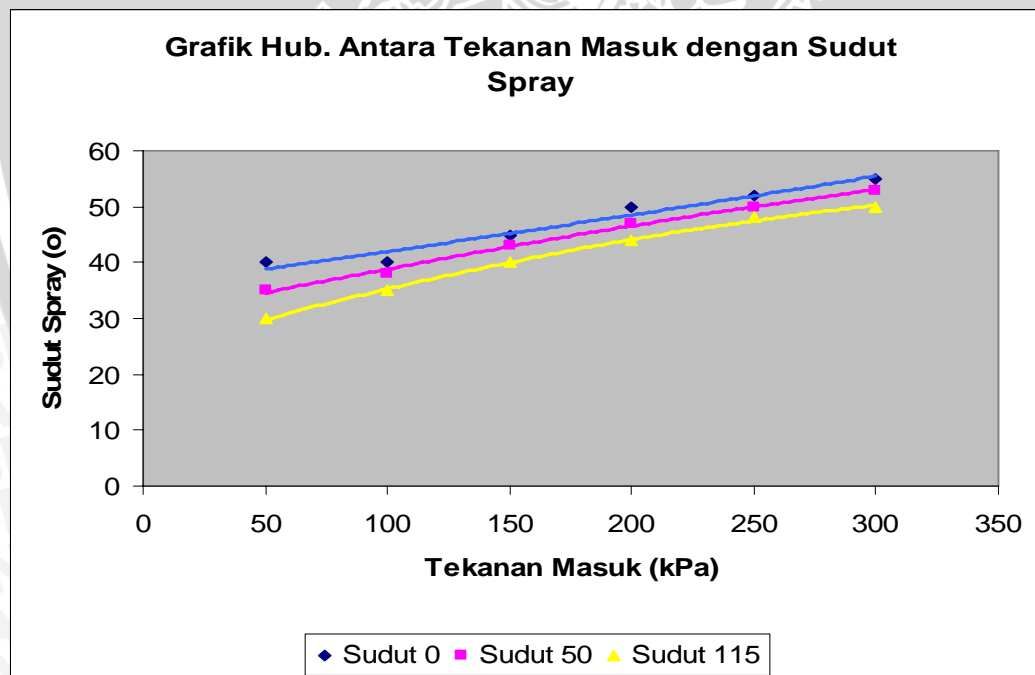
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara sudut *swirl chamber* dengan sudut *spray*.

Pada grafik diatas terlihat adanya perbedaan sudut *spray* antara *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° , 50° dan 115° . *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° memiliki sudut *spray* yang lebih besar dari pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° . Hal ini terjadi karena semakin kecil sudut *swirl chamber* mengakibatkan komponen kecepatan tangensial semakin besar sehingga pusaran yang terjadi semakin cepat dan terbentuk *core vortex* yang

lebih besar, sehingga *conical sheet* akan terbentuk dengan sudut yang lebih besar pula. Besarnya sudut *spray* ditentukan oleh besarnya sudut yang terbentuk pada *conical sheet*. Karena itulah pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° akan menghasilkan sudut *spray* yang paling besar dibandingkan dengan *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° .

Besar sudut *spray* pada *swirl nozzle* yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.3; 4.4 dan 4.5. Ditampilkan gambar (visualisasi) *spray* dari *swirl nozzle* pada tekanan fluida masuk nosel sebesar 50 kPa pada Gambar 4.3, tekanan 200 kPa pada Gambar 4.4 dan tekanan 300 kPa pada Gambar 4.5. Besar sudut *spray* ditentukan dari besar sudut yang dibentuk oleh *conical sheet* yang terlihat pada busur derajat, sudut tersebut merupakan sudut *spray* teoritis. Pemakaian sudut *spray* teoritis karena sudut tersebut merupakan sudut paling besar yang dibentuk oleh nosel.

4.3.4 Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan sudut *spray*



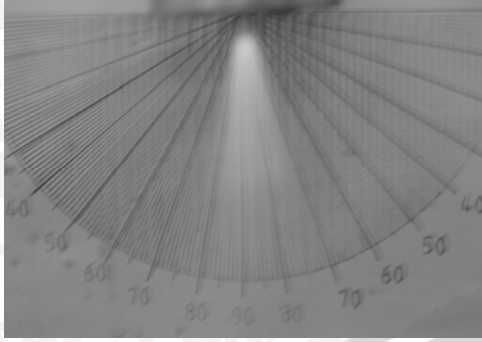
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan sudut *spray*.

Pada grafik 4.4 terlihat bahwa tekanan fluida masuk *swirl nozzle* akan mempengaruhi sudut *spray*. Dengan semakin bertambahnya tekanan fluida masuk *swirl nozzle* maka sudut *spray* akan semakin bertambah besar. Hal ini diakibatkan

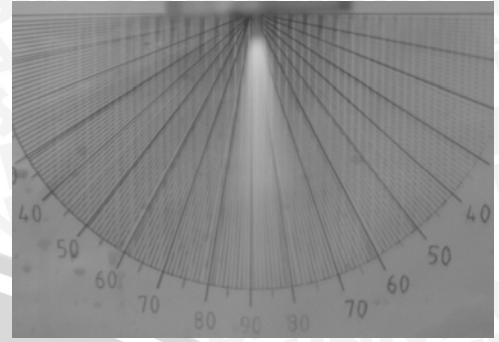
semakin besar tekanan masuk maka kecepatan aliran fluida akan semakin besar. Dengan kecepatan aliran fluida semakin besar maka kecepatan pada arah tangensial juga akan semakin besar, sehingga menyebabkan sudut *spray* akan semakin besar pula.

Energi tekanan yang diberikan oleh pompa dikonversikan menjadi energi kecepatan dengan mengalirkan fluida melalui beberapa alur yang sempit dalam nosel. Fluida keluar dari alur dengan kecepatan yang sangat tinggi dan masuk kedalam *swirl chamber* dengan sudut tertentu, sehingga fluida memiliki komponen kecepatan aksial, radial dan tangensial. Kecepatan tangensial menyebabkan fluida berputar dengan kecepatan sudut yang tinggi dalam *swirl chamber* sehingga terbentuk vorteks dan pada bagian tengah akan terbentuk *core vortex*. Dengan adanya komponen kecepatan tangensial pada fluida dan *core vortex* akan menyebabkan fluida keluar dari *orifice* yang berbentuk lingkaran dalam bentuk *conical sheet* (lembar tipis berbentuk kerucut). Dari penjelasan tersebut dapat ditentukan bahwa sudut *spray* dari *swirl nozzle* dipengaruhi oleh rasio perbandingan dari komponen kecepatan aksial dengan tangensial. Semakin kecil rasio perbandingan dari komponen kecepatan aksial dengan tangensial maka vorteks akan berputar semakin cepat dan *core vortex* yang terbentuk semakin besar, sehingga akan terbentuk *conical sheet* yang tipis dengan sudut *spray* yang semakin besar

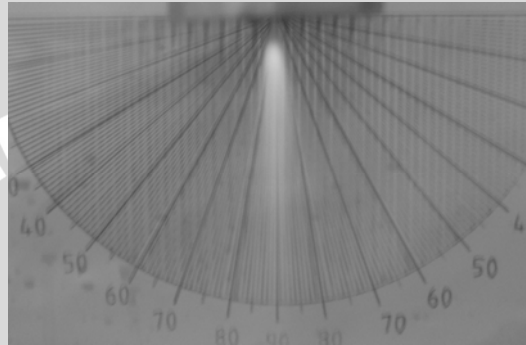




Sudut 0°

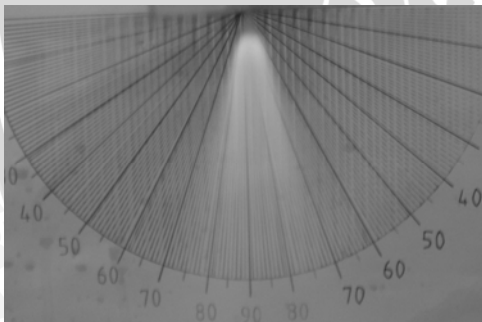


Sudut 50°

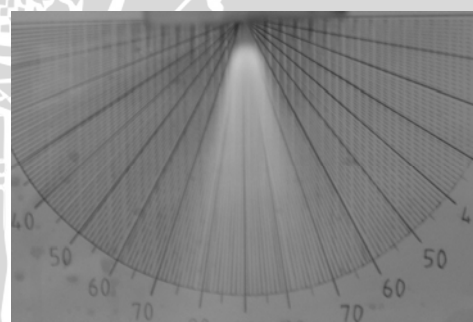


Sudut 115°

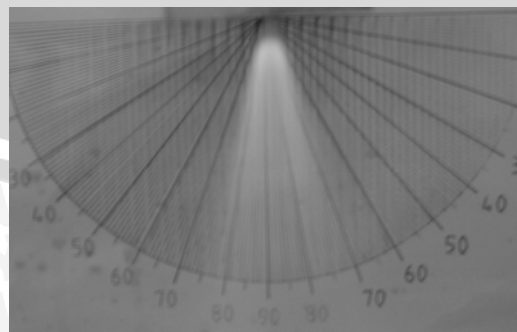
Gambar 4.5 Bentuk *spray* dari *swirl nozzle* pada tekanan 50 kPa



Sudut 0°



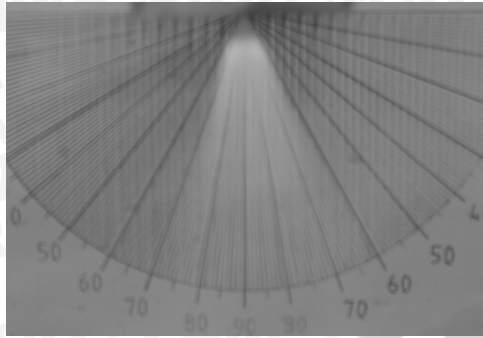
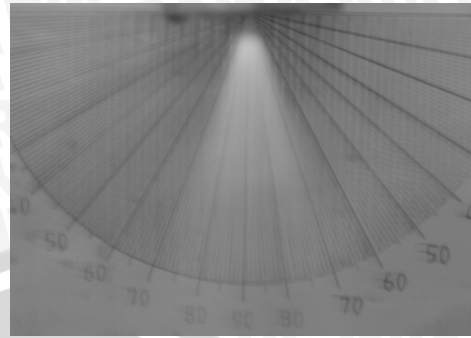
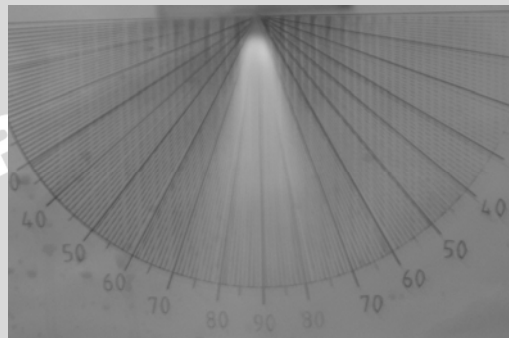
Sudut 50°



Sudut 115°

Gambar 4.6 Bentuk *spray* dari *swirl nozzle* pada tekanan 200 kPa



Sudut 0° Sudut 50° Sudut 115° Gambar 4.7 Bentuk *spray* dari *swirl nozzle* pada tekanan 300 kPa

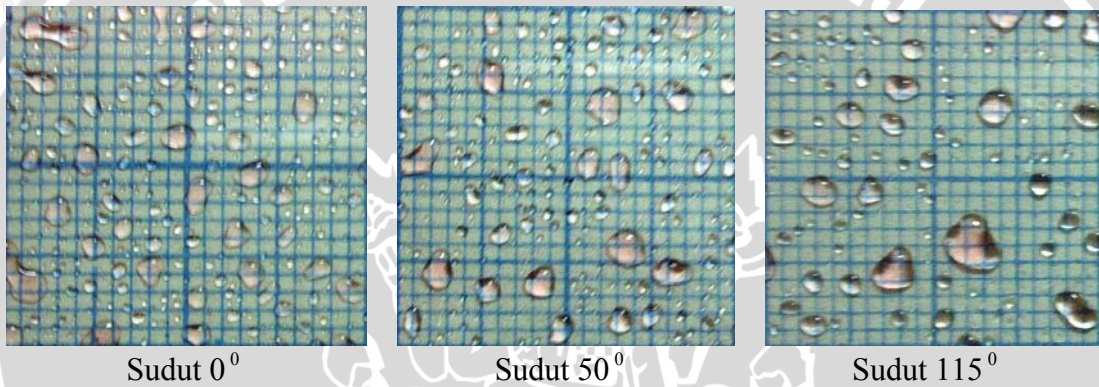
4.3.5 Hubungan antara tekanan masuk dengan ukuran dan distribusi *droplet*

Ukuran dan distribusi *droplet* ini dapat diketahui dengan alat yang bernama LDA atau PIV. Berhubung alat tersebut tidak tersedia di laboratorium Jurusan Mesin, maka untuk menganalisa ukuran *droplet* ini peneliti menggunakan data kualitatif berupa gambar (visualisasi) *droplet*. Visualisasi ini diambil dengan cara menaruh kertas mika di bawah *swirl nozzle* pada jarak 20 in (0,508 m). Fluida yang keluar dari *orifice* nosel dalam bentuk *spray* disemprotkan ke kertas mika tersebut. Butiran-butiran fluida yang jatuh ke mika diambil visualisasinya menggunakan kamera digital pada jarak 20 cm.

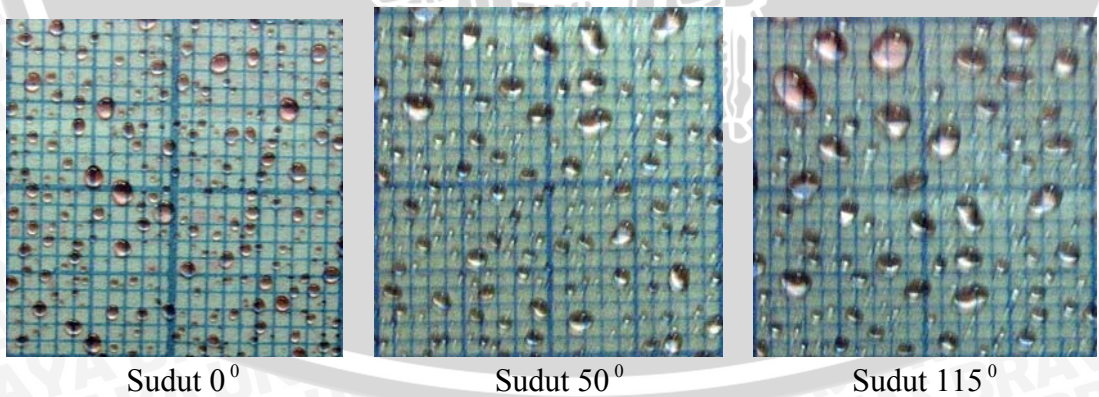
Pada saat pengambilan *droplet* tersebut waktu kontak antara *droplet* yang jatuh dengan kertas mika diusahakan secepat mungkin mendekati nol (0) detik. Terlihat pada gambar (visualisasi) bahwa butiran yang jatuh terdapat berbagai ukuran. Butiran yang ukurannya kurang dari 0,5 mm dapat dikatakan sebagai *droplet*, sedangkan ukuran lebih dari 0,5 mm itu bukanlah *droplet*. Terdapat berbagai ukuran ini disebabkan oleh tiga hal. Pertama karena memang ukuran

droplet tidak seragam. Kedua karena waktu kontak lebih dari 0 (nol) detik sehingga sulit mendapatkan satu *droplet* murni, akibatnya *droplet* yang terjadi mengalami penumpukan. Selain itu fluida yang keluar dari nosel mengalami putaran sehingga memungkinkan terjadi penggabungan *droplet* sebelum jatuh mengenai kertas mika. Ukuran dan distribusi butiran dari gambar secara kualitatif dapat dikatakan sebanding dengan ukuran dan distribusi *droplet* sesungguhnya. Sehingga visualisasi butiran ini diasumsikan mewakili ukuran dan distribusi *droplet* sesungguhnya.

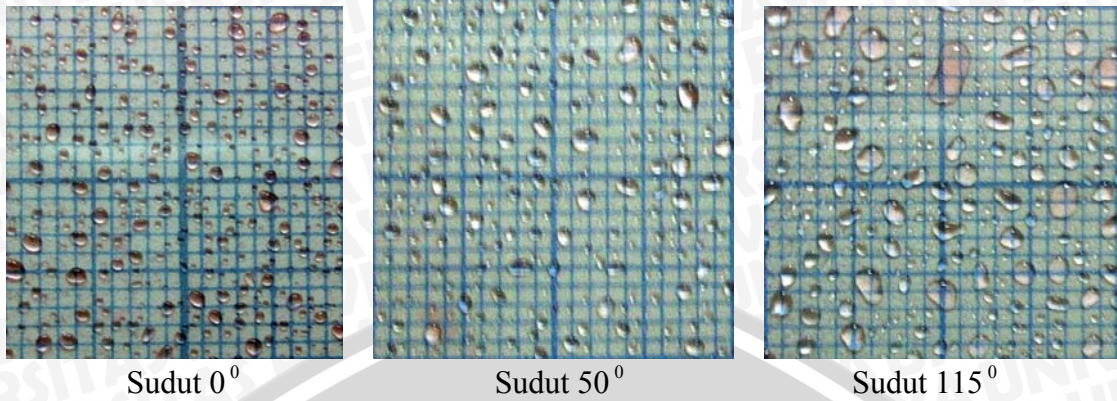
Gambar visualisasi butiran dari hasil penelitian ditunjukkan pada gambar dibawah ini dengan mengambil beberapa contoh data yaitu dengan tekanan fluida masuk nosel sebesar 50 kPa, tekanan 200 kPa dan tekanan 300 kPa



Gambar 4.8 Gambar (visualisasi) butiran dari *swirl nozzle* pada tekanan 50 kPa



Gambar 4.9 Gambar (visualisasi) butiran dari *swirl nozzle* pada tekanan 200 kPa



Gambar 4.10 Gambar (visualisasi) butiran dari *swirl nozzle* pada tekanan 300 kPa

Fluida keluar dari *slot* dengan kecepatan yang sangat tinggi dan masuk kedalam *swirl chamber* memiliki tiga komponen kecepatan. Salah satunya kecepatan tangensial menyebabkan fluida berputar dengan kecepatan sudut yang tinggi dalam *swirl chamber* sehingga terbentuk vorteks dan pada bagian tengah akan terbentuk *core vorteks*. Adanya komponen kecepatan tangensial fluida dan *core vortex* dalam *swirl chamber* akan menyebabkan fluida keluar dari *orifice* dalam bentuk *conical sheet* (lembar tipis berbentuk kerucut). Selanjutnya muncul gangguan pada *sheet* atau aliran fluida sehingga terbentuk ligamen dalam aliran fluida, selanjutnya ligamen hancur dengan mekanisme *break up* dan terbentuk *droplet*.

Dari visualisasi gambar terlihat bahwa tekanan fluida masuk *swirl nozzle* akan mempengaruhi ukuran butiran. Dengan semakin bertambahnya tekanan fluida masuk *swirl nozzle* maka butiran-butiran akan semakin kecil. Hal ini diakibatkan semakin besar tekanan masuk pada nosel maka kecepatan tangensial semakin besar dan *core vortex* yang terbentuk semakin besar. Sehingga *conical sheet* yang keluar dari *orifice* akan semakin tipis, *conical sheet* yang lebih tipis akan lebih mudah terpecah menjadi butiran dengan ukuran yang lebih kecil. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin besar tekanan fluida yang masuk *swirl nozzle* maka *droplet* yang terbentuk semakin kecil.

Hal ini diperkuat dengan menggunakan panjang gelombang yang tidak stabil (Λ) dalam *conical sheet* sebagai parameter yang mempengaruhi ukuran dan distribusi *droplet*, dimana semakin kecil nilai dari panjang gelombang yang tidak stabil (Λ) dalam *conical sheet* maka ukuran *droplet* semakin kecil dan distribusi *droplet* semakin merata. Besarnya nilai panjang gelombang yang tidak stabil (Λ)

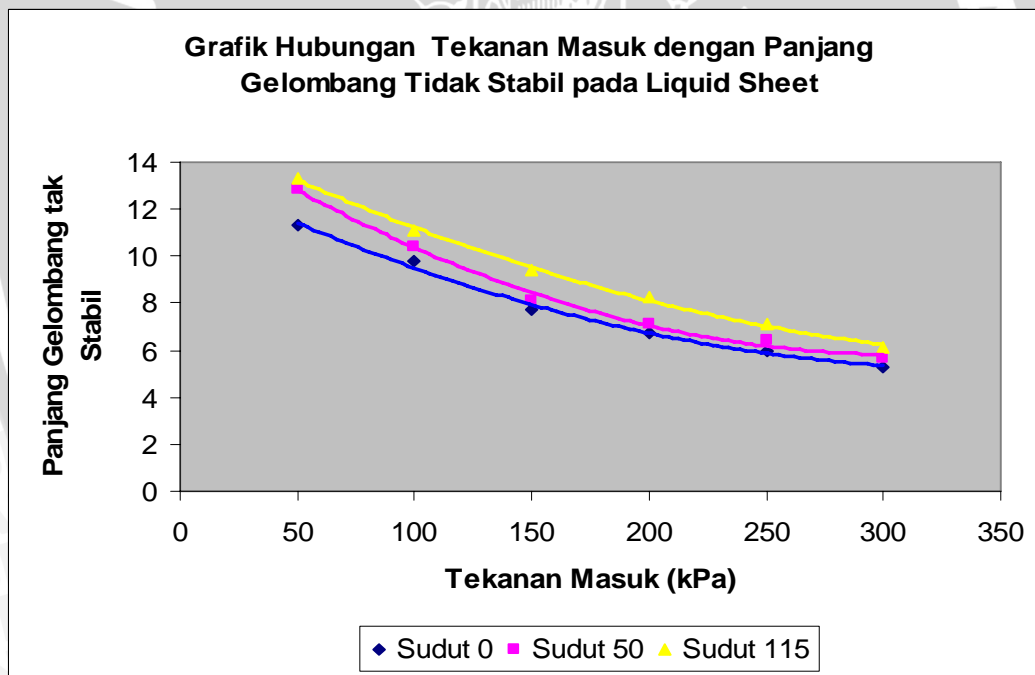
dalam *conical sheet* dipengaruhi oleh *Weber number*, *Reynold number*, *Ohnesorge number* dari fluida air dan juga *Weber number* dari fluida udara yang memiliki hubungan sesuai dengan persamaan

$$\Lambda = 18,04 \frac{(1 + 0,45Oh^{0,5})(1 + 0,4T^{0,7})}{(1 + 0,87We_2^{1,67})^{0,6}}$$

Untuk mendapatkan ukuran *droplet*

semakin kecil dan distribusi *droplet* semakin merata, maka nilai dari panjang gelombang yang tidak stabil (Λ) dalam *conical sheet* harus diperkecil dengan jalan memperkecil nilai *Weber number* fluida air, meningkatkan *Reynold number* fluida air dan meningkatkan nilai *Weber number* fluida udara.

Perhitungan dari data hasil penelitian diketahui, bila tekanan yang semakin besar akan diperoleh panjang gelombang yang tidak stabil (Λ) dalam *conical sheet* semakin kecil, sehingga ukuran *droplet* semakin kecil dan distribusi *droplet* semakin merata, hal ini dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara tekanan masuk dengan panjang gelombang yang tidak stabil.

Pada gambar (visualisasi) juga terlihat adanya perbedaan ukuran butiran antara *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° , 50° dan 115° . *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° memiliki ukuran butiran yang paling kecil bila dibandingkan dengan *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° . Hal

ini terjadi karena karena semakin kecil sudut *swirl chamber* mengakibatkan kecepatan tangensial yang semakin besar sehingga terjadi pusaran yang semakin cepat dan terbentuk *core vortex* yang semakin besar. Akibatnya *conical sheet* yang terbentuk semakin tipis. Jika *sheet* yang terbentuk semakin tipis maka akan semakin mudah terpecah dan terbentuk butiran yang lebih kecil. Sehingga *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° akan menghasilkan butiran yang paling kecil apabila dibandingkan dengan *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° . Dengan demikian dapat dikatakan semakin kecil sudut *swirl chamber* maka ukuran *droplet* semakin kecil dan terdistribusi merata. Hal ini juga diperkuat dengan menggunakan panjang gelombang tidak stabil pada *conical sheet*. Pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° mempunyai panjang gelombang tidak stabil yang paling kecil dibandingkan dengan *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50° dan 115° pada tekanan yang sama. Ini bisa terlihat pada grafik 4.9 diatas.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian diketahui bahwa pengaruh sudut *swirl chamber* terhadap karakteristik *spray* pada *swirl nozzle* adalah sebagai berikut :

1. *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 115° memiliki debit aliran yang lebih besar dari pada sudut *swirl chamber* 0° dan 50° . Sedangkan sudut *swirl chamber* 50° memiliki debit aliran yang lebih besar dari pada sudut *swirl chamber* 0° . Semakin besar sudut *swirl chamber* maka debit aliran semakin besar.
2. *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° memiliki sudut *spray* yang lebih besar dari pada sudut *swirl chamber* 50° dan 115° . Sedangkan sudut *swirl chamber* 50° memiliki sudut *spray* yang lebih besar dari pada sudut *swirl chamber* 115° . Semakin kecil sudut *swirl chamber* maka sudut *spray* semakin besar.
3. *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° memiliki ukuran *droplet* yang lebih kecil dari pada sudut *swirl chamber* 50° dan 115° . Sedangkan sudut *swirl chamber* 50° memiliki ukuran *droplet* yang lebih kecil dari pada sudut *swirl chamber* 115° . Semakin kecil sudut *swirl chamber* maka ukuran *droplet* semakin kecil.
4. *Swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0° memiliki distribusi *droplet* yang lebih merata dari pada sudut *swirl chamber* 50° dan 115° . Sedangkan sudut *swirl chamber* 50° memiliki distribusi *droplet* yang lebih merata dari pada sudut *swirl chamber* 115° . Semakin kecil sudut *swirl chamber* maka distribusi *droplet* semakin merata.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan *swirl nozzle* pada sistem pembakaran.
2. Perlu adanya ketelitian pada proses pembuatan instalasi dan *swirl nozzle*.

DAFTAR PUSTAKA

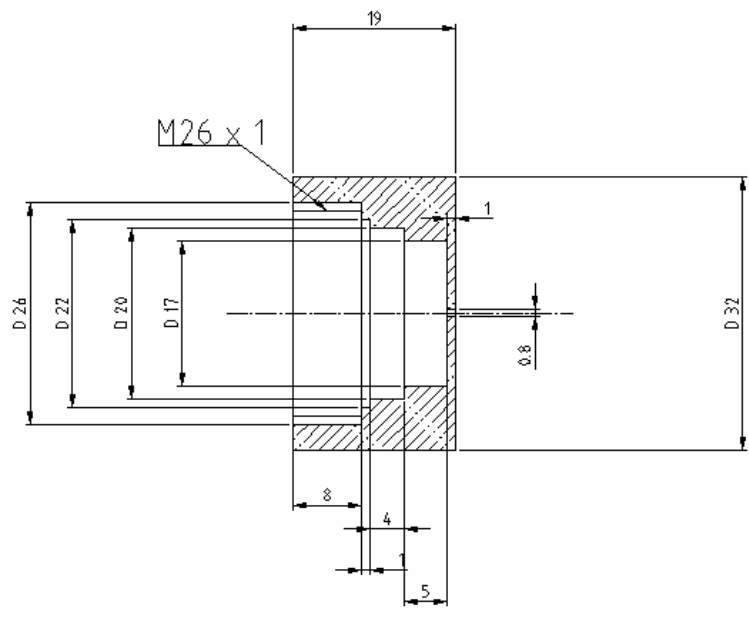
- Anonim; 2004: *Nozzle Technology*; South Carolina; Delavan Coltec Industries;
<http://www.Delavan.co.uk/pdfs/zNozzleTechnology.pdf>.
- Anonim; 2004: <Http://www.crcpress.lcc.edu/fluidmechanics.pdf>.
- Anonim; 2005: *Flash Nozzle*; <Http://www.swirlflash.co.uk/alphapowersystems.nl>.
- Anonim; 2005: <Http://www.Jetsspray.co.uk/sprayformation.pdf>.
- Anonim; 2005: <Http://www.form.fluidspray.co.uk/pdfs/hightech.drop>.
- Arie; 2005: *Pengaruh variasi jumlah slot terhadap karakteristik spray pada swirl nozzle*; Universitas Brawijaya, Malang.
- Borman, G.L.; 1998: *Combution Engineering*; Mc Gray Hill, New York.
- Daugherty, R.L., Franzini, J.B., Finnemere, E.J; 1989: *Fluid Mechanics With Engineering Aplication*; SI Metric Edition; Mc Gray Hill, New York.
- Delgado, Jorge; 2002: *A study of Breakup Legth in a two Dimensional Liquid Sheet with Co-flowing Gas*; Pennsylvania State University;
<http://www.forms.gradsach.edu/equity/sroppapers/2002/delgadojorge.pdf>.
- Djojosumarto, Panut.; 1998: *Teknik Aplikasi Pestisida Pertanian*; Kanisius, Yogyakarta.
- Fox, Robert. W., T.McDonald, Alan.; 1994: *Introduction to Fluid Mechanics*; John Wiley&Sons, New York;
- Helmut , K.C; 2006: *Some Aspects of the Atomization of Newtonian Fluids with an Jet Injector*; Space Propulsion Institute, Germany.
- Holman, J.P.; 1994: *Perpindahan Kalor*; Erlangga, Jakarta.
- Kurniawan, Faris; 2005: *Pengaruh variasi panjang swirl chamber terhadap karakteristik spray pada swirl nozzle*; Universitas Brawijaya, Malang.
- Massey, B.S.; 1983: *Mechanics of Fluid*; Van Nostrana Reihold (International) Co.Ltd, London.
- Olson, E. O; 2004: *Fuels Nozzles for Oil Burners*; Delavan Coltec Industries, South Carolina.
Http://www.Delavan.co.uk/pdfs/Fuel_Nozzles_For_Burners.pdf.
- Potter, C.M., Wigger, C.D.; 1997: *Fluid Mechanics*; Third Edition; Mc Graw Hill, Singapore.

Streeter, V.L.; 1993: *Mekanika Fluida*; Edisi- 8; Jilid 1; Erlangga, Jakarta.

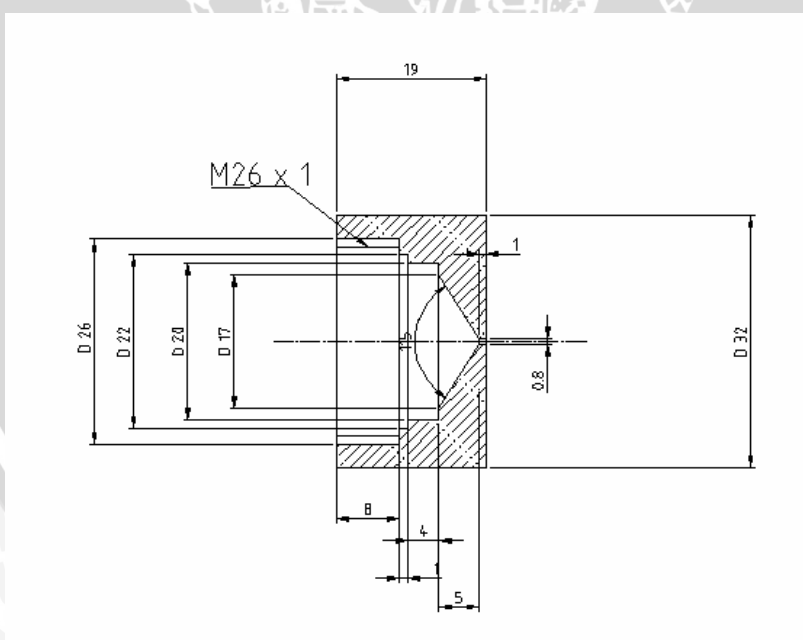
Wiyono; 2004: *Pengaruh variasi sudut slot terhadap karakteristik spray pada swirl nozzle*; Universitas Brawijaya, Malang.



Lampiran 2 : Ukuran *swirl chamber*



Ukuran *swirl chamber* dengan sudut 0°



Ukuran *swirl chamber* dengan sudut 115°

Lampiran 3. Perhitungan parameter pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0°

P (kPa)	Vol (m ³)	t (s)	Q _{rate} (m ³ /s)	A (m ²)	v (m/s)	Re	We1	We2	Oh	Λ
50	0.00025 0.00026 0.00025	60	4.22E-06	5.02E-07	8.4064	7424.815	2521	0.9207	0.00375	11.323
100	0.0003 0.00031 0.0003	60	5.06E-06	5.02E-07	10.08	8902.991	2095.29	1.323	0.00375	9.759
150	0.00035 0.00035 0.00034	60	5.78E-06	5.02E-07	11.513	10165.61	1744.18	1.727	0.00375	7.7119
200	0.00038 0.00038 0.00038	60	6.33E-06	5.02E-07	12.609	11136.69	1454.14	2.071	0.00375	6.7029
250	0.00042 0.00041 0.00042	60	6.94E-06	5.02E-07	13.82	12206.289	1114.68	2.488	0.00375	5.997
300	0.00045 0.00046 0.00046	60	7.61E-06	5.02E-07	15.16	13389.823	775.263	2.994	0.00375	5.313

Lampiran 4. Perhitungan parameter pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50°

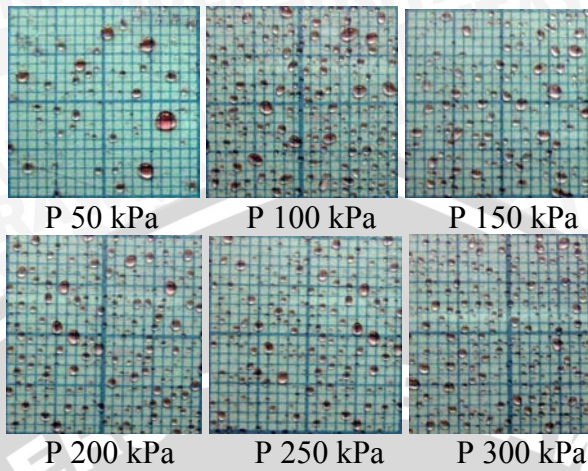
P (kPa)	Vol (m ³)	t (s)	Q _{rate} (m ³ /s)	A (m ²)	v (m/s)	Re	We1	We2	Oh	Λ
50	0.00027 0.00026 0.00026	60	4.39E-06	5.02E-07	8.745	7719.4576	2778.66	0.996	0.00375	12.86
100	0.00032 0.00032 0.00032	60	5.33E-06	5.02E-07	10.617	9377.2862	2377.86	1.469	0.00375	10.42
150	0.00038 0.00039 0.00038	60	6.39E-06	5.02E-07	12.729	11243.558	2096.63	2.111	0.00375	8.1228
200	0.00042 0.00041 0.00042	60	6.94E-06	5.02E-07	13.824	12210.698	1777.5	2.49	0.00375	7.145
250	0.00044 0.00045 0.00044	60	7.39E-06	5.02E-07	14.721	13001.192	1236.93	2.824	0.00375	6.4499
300	0.00048 0.00048 0.00048	60	8.00E-06	5.02E-07	15.936	14043.407	838.65	3.3	0.00375	5.654

Lampiran 5. Perhitungan parameter pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 115⁰

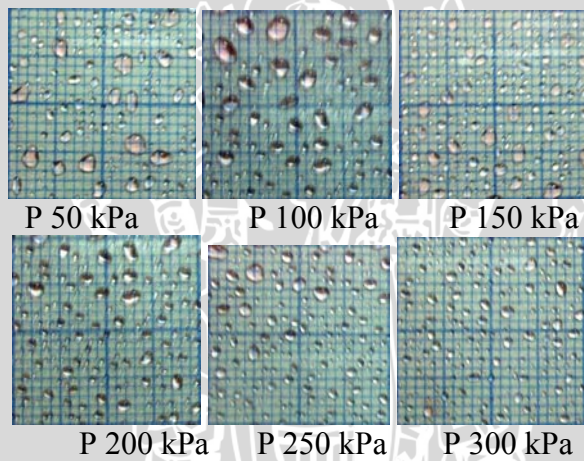
P (kPa)	Vol (m ³)	t (s)	Q _{rate} (m ³ /s)	A (m ²)	v (m/s)	Re	We1	We2	Oh	Λ
50	0.00027 0.00028 0.00028	60	4.61E- 06	5.02E- 07	9.3183	8108.0802	2984.53	1.098	0.00375	13.33
100	0.00034 0.00033 0.00034	60	5.61E- 06	5.02E- 07	11.175	9865.7142	2593.42	1.627	0.00375	11.096
150	0.00039 0.0004 0.0004	60	6.61E- 06	5.02E- 07	13.167	11623.348	2269.24	2.259	0.00375	9.377
200	0.00043 0.00044 0.00043	60	7.22E- 06	5.02E- 07	14.382	12700.892	1902.12	2.695	0.00375	8.235
250	0.00046 0.00047 0.00046	60	7.72E- 06	5.02E- 07	15.378	13582.359	1369.96	3.08	0.00375	7.1507
300	0.0005 0.00049 0.0005	60	8.28E- 06	5.02E- 07	16.494	14568.047	924.536	3.5445	0.00375	6.143

Lampiran 7 : Gambar ukuran dan distribusi *droplet*

Gambar ukuran dan distribusi *droplet* pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 0°



Gambar ukuran dan distribusi *droplet* pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 50°



Gambar ukuran dan distribusi *droplet* pada *swirl nozzle* dengan sudut *swirl chamber* 115°

