

**ANALISIS PROSES PENGUJIAN MESIN *PLASTIC*
INJECTION MOLDING VERTICAL MENGGUNAKAN SISTEM
PNEUMATIK DENGAN VOLUME CETAKAN 300 CM³**

SKRIPSI

OLEH :

**APRILIANA KARTIKA DEWI GULTOM
228130019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 2/5/24

Access From (repository.uma.ac.id)2/5/24

HALAMAN JUDUL

ANALISIS PROSES PENGUJIAN MESIN *PLASTIC INJECTION MOLDING VERTICAL* MENGGUNAKAN SISTEM PNEUMATIK DENGAN VOLUME CETAKAN 300 CM³

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

**APRILIANA KARTIKA DEWI GULTOM
228130019**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 2/5/24

Access From (repository.uma.ac.id)2/5/24

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Analisis Proses Pengujian Mesin *Plastic Injection Molding Vertical* Menggunakan Sistem Pneumatik Dengan Volume Cetakan 300 cm³
Nama Mahasiswa : Apriliana Kartika Dewi Gultom
NIM : 228130019
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc.
Pembimbing


Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T.
WEDAN Dekan
FAKULTAS TEKNIK
Dr. Iswandi, S.T., M.T.
WEDAN Prodi
PRODI. TEKNIK Prodi

Tanggal Lulus: 01 April 2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA
ILMIAH**

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Apriliana Kartika Dewi Gultom
NPM : 228130019
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah yang berjudul : *Analisis Proses Pengujian Mesin Plastic Injection Molding Vertical Menggunakan Sistem Pneumatik Dengan Volume Cetakan 300 cm³*.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 1 April 2024

Yang menyatakan



(Apriliana Kartika Dewi Gultom)

ABSTRAK

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan akibat sampah plastik yaitu dengan menggunakan proses *injection molding*. Dengan adanya proses *injection molding*, maka dapat dilakukan pengolahan sampah plastik seperti botol-botol plastik menjadi produk yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan bernilai guna karena pada proses ini tidak ada batasan kerumitan desain produk, sehingga dapat menghasilkan variasi produk yang luas dan ukuran produk yang dapat dicetak dari produk kecil hingga besar. Dalam penelitian ini, kami menggunakan metode kuantitatif, yaitu melalui pengamatan secara langsung, dan pengumpulan data. Kemudian dilakukan pengujian mesin menggunakan bahan plastik jenis *polyethylene terephthalate* dengan variasi suhu yaitu 250°C, 275°C, 300°C pada tekanan 70 N/cm² dengan daya *band heater* sebesar 1500 watt. Sehingga didapat volume cetakan dari hasil uji coba mesin ini yaitu pengujian pertama dengan suhu 250°C menghasilkan volume sebesar 358,6351 cm³; pengujian kedua dengan suhu 275°C menghasilkan volume sebesar 385,0156 cm³; ; pengujian ketiga dengan suhu 300°C menghasilkan volume sebesar 397,2089 cm³ sehingga mesin ini telah berhasil menghasilkan volume cetakan sebesar 300 cm³.

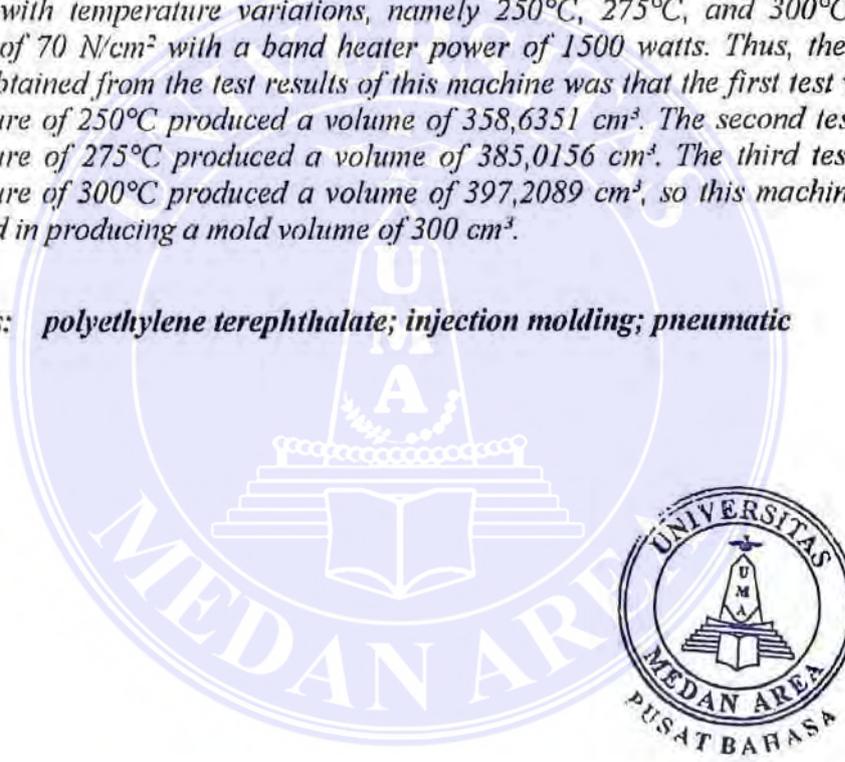
Kata Kunci: *polyethylene terephthalate*; injeksi molding; pneumatik

ABSTRACT

Apriliana Kartika Dewi Gultom. 228130019. "The Analysis of the Vertical Plastic Injection Molding Machine Testing Process Using a Pneumatic System with a 300 cm³ Mold Volume". Supervised by Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc.

One way to overcome the problems caused by plastic waste is to use the injection molding process. With the injection molding process, it is possible to process plastic waste such as plastic bottles into products that have high economic value and are useful because in this process there is no limit to the complexity of product design, so it can produce a wide variety of products and different product sizes, which can be printed from small to large products. In this research, the author used a quantitative method; it was through direct observation and data collection. Then the machine was tested using polyethylene terephthalate plastic material with temperature variations, namely 250°C, 275°C, and 300°C at a pressure of 70 N/cm² with a band heater power of 1500 watts. Thus, the mold volume obtained from the test results of this machine was that the first test with a temperature of 250°C produced a volume of 358,6351 cm³. The second test at a temperature of 275°C produced a volume of 385,0156 cm³. The third test at a temperature of 300°C produced a volume of 397,2089 cm³, so this machine had succeeded in producing a mold volume of 300 cm³.

Keywords: *polyethylene terephthalate; injection molding; pneumatic*



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Palu Pada Tanggal 28 April 1997 dari ayah Jaudin Gultom dan ibu Meike Tioki Ralampi, penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara.

Tahun 2015 Penulis lulus dari SMA Swasta Methodist Lubuk Pakam kemudian pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan dan pada tahun 2022 terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Analisis Proses Pengujian *Plastic Injection Molding Vertical* Menggunakan Sistem Pneumatik dengan Volume Cetakan 300 cm³”.

Dalam pembuatan proposal skripsi ini penulis banyak mengalami masalah dan hambatan namun berkat bantuan dosen pembimbing dan bantuan dari berbagai pihak maka skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area dan selaku Dosen Pembimbing yang membantu dan memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Ungkapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada orang tua, keluarga, dan teman-teman yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih

Penulis



(Apriliana Kartika Dewi Gultom)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..	v
ABSTRAK	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Hipotesis Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Injection molding</i>	7
2.2 Proses <i>Injection Molding</i>	9
2.3 Mesin <i>Injection Molding Vertical</i>	11
2.4 Parameter Mesin <i>Injection Molding</i>	19
2.5 Jenis Material	21
2.6 Alat Ukur	28
2.7 Perhitungan Mesin <i>Plastic Injection Molding Vertical</i>	34
2.8 Sistem Pneumatik	45
2.9 Silinder Kerja Ganda(<i>Double Acting Cylinder</i>)	53
2.10 Perhitungan Silinder Pneumatik	55
2.11 Perhitungan Daya Kompresor	60
2.12 Pegas	60
2.13 Baut dan Mur	61
2.14 Konstruksi Mesin <i>Plastic Injection Molding Vertical</i>	64
2.15 Pengertian Plastik	68
2.16 Pengertian Plastik PET	70
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	72
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	72
3.2 Bahan dan Alat	73
3.3 Metode Penelitian	78
3.4 Populasi dan Sampel	79
3.5 Prosedur Kerja	79
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	82
4.1 Hasil	82
4.2 Pembahasan	173

BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	182
5.1 Simpulan	182
5.2 Saran	183
DAFTAR PUSTAKA.....	184
LAMPIRAN	187



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis-jenis katup control solenoid	47
Tabel 2.2. Gaya piston silinder	57
Tabel 2.3. Sifat-Sifat Thermal Plastik	71
Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian	72
Tabel 4.1. Data Hasil Perbandingan Hopper antara Perancangan dan Pembuatan	85
Tabel 4.2. Data Hasil Perbandingan Barrel antara Perancangan dan Pembuatan	89
Tabel 4.3. Data Hasil Perbandingan Injector antara Perancangan dan Pembuatan	93
Tabel 4.4. Data Hasil Perbandingan Nozzle antara Perancangan dan Pembuatan	96
Tabel 4.5. Data Hasil Perbandingan Mold Clamp antara Perancangan dan Pembuatan	99
Tabel 4.6. Data Hasil Perbandingan Bushing Stopper antara Perancangan dan Pembuatan	101
Tabel 4.7. Data Hasil Perbandingan Penyangga Panel antara Perancangan dan Pembuatan	103
Tabel 4.8. Data Hasil Perbandingan Bushing Rail antara Perancangan dan Pembuatan	106
Tabel 4.9. Data Hasil Perbandingan Kaki Pendukung antara Perancangan dan Pembuatan	108
Tabel 4.10. Data Hasil Perbandingan Pelat Dudukan Hopper antara Perancangan dan Pembuatan	109
Tabel 4.11. Spesifikasi Kompresor	111
Tabel 4.12. Spesifikasi Band Heater Element	112
Tabel 4.13. Data Hasil Perbandingan Pelat Base Frame antara Perancangan dan Pembuatan	128
Tabel 4.14. Data Hasil Perbandingan Pelat Dudukan Cetakan antara Perancangan dan Pembuatan	131
Tabel 4.15. Data Hasil Perbandingan Pelat Dudukan Barrel antara Perancangan dan Pembuatan	134
Tabel 4.16. Data Hasil Perbandingan Pelat Dudukan Silinder Pneumatik antara Perancangan dan Pembuatan	137
Tabel 4.17. Data Hasil Perbandingan Tiang Penyangga Mesin antara Perancangan dan Pembuatan	140
Tabel 4.18. Data Hasil Perbandingan Tiang Penyangga Barrel antara Perancangan dan Pembuatan	143
Tabel 4.19. Hasil pengujian dengan suhu 250°C	166
Tabel 4.20. Hasil pengujian dengan suhu 275°C	169
Tabel 4.21. Hasil pengujian dengan suhu 300°C	172
Tabel 4.22. Hasil Volume Cetakan	172

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin Injection Molding Vertical	11
Gambar 2.2. Silinder Pneumatik	12
Gambar 2.3. Kompresor	12
Gambar 2.4. Hopper	13
Gambar 2.5. Barrel	13
Gambar 2.6. <i>Nozzle</i>	14
Gambar 2.7. Band Heater Element	14
Gambar 2.8. Solenoid Valve	15
Gambar 2.9. Air Filter Regulator	15
Gambar 2.10. Control Panel	16
Gambar 2.11. Air Hose	16
Gambar 2.12. Pneumatic Fittings	17
Gambar 2.13. Thermocouple	17
Gambar 2.14. Thermostat	18
Gambar 2.15. Solid State Relay	18
Gambar 2.16. Bagian-bagian jangka sorong	29
Gambar 2.17. Contoh hasil pengukuran	30
Gambar 2.18. Regulator Pneumatik	32
Gambar 2.19. Hukum Bernoulli pada Barrel dan Nozzle	36
Gambar 2.20. Azas Kontinuitas (Kusrini, 2020)	37
Gambar 2.21. Volume Hopper	38
Gambar 2.22. Volume pertama barrel	39
Gambar 2.23. Volume kedua barrel	40
Gambar 2.24. <i>Nozzle</i>	41
Gambar 2.25. Volume 1 Injector	42
Gambar 2.26. Volume 2 Injector	43
Gambar 2.27. Volume Balok	44
Gambar 2.28. Sistem Pneumatik	46
Gambar 2.29. Air Filter	48
Gambar 2.30. Regulator	50
Gambar 2.31. Lubricator	51
Gambar 2.32. Konstruksi Silinder Kerja Ganda	54
Gambar 2.33. Analisis Gaya piston	55
Gambar 2.34. Analisis Kebutuhan Udara	57
Gambar 2.35. Analisis Kecepatan Piston	59
Gambar 2.36. Simbol Baut	62
Gambar 2.37. Beban Tarik pada baut	62
Gambar 2.38. Bentuk Penampang Silinder Berongga	67
Gambar 2.39. Kode Jenis Plastik	69
Gambar 3.1. Cacahan Plastik PET	73
Gambar 3.2. Mesin plastic injection molding vertical menggunakan sistem	74
Gambar 3.3. Timbangan Digital	74
Gambar 3.4. Regulator Pneumatik	75
Gambar 3.5. Thermocouple	76
Gambar 3.6. Thermostat	76

Gambar 3.7. Jangka Sorong	77
Gambar 3.8. Pressure Gauge	77
Gambar 3. 9. Waterpass	77
Gambar 3.10. Stopwatch	78
Gambar 3.11. Roll Meter	78
Gambar 3.12. Diagram alir analisis proses pengujian mesin plastic injection molding vertical	81
Gambar 4.1. Pengukuran diameter hopper	82
Gambar 4.2. Pengukuran tinggi hopper	82
Gambar 4.3. Pengukuran panjang seluncuran hopper	83
Gambar 4.4. Pengukuran massa hopper	83
Gambar 4.5. Hasil pengukuran hopper	83
Gambar 4.6. Pengukuran diameter barrel	85
Gambar 4.7. Pengukuran tinggi barrel	86
Gambar 4.8. Pengukuran massa barrel	86
Gambar 4.9. Hasil pengukuran tinggi barrel	87
Gambar 4.10. Hasil pengukuran diameter bawah barrel	87
Gambar 4.11. Pengukuran diameter injector	89
Gambar 4.12. Pengukuran tinggi injector	90
Gambar 4.13. Pengukuran massa injector	90
Gambar 4.14. Hasil pengukuran injector	91
Gambar 4.15. Posisi injector masuk kedalam barrel	93
Gambar 4.16. Pengukuran diameter nozzle	93
Gambar 4.17. Pengukuran tinggi nozzle	94
Gambar 4.18. Pengukuran massa nozzle	94
Gambar 4.19. Hasil pengukuran nozzle	95
Gambar 4.20. Pengukuran diameter atas mold clamp	96
Gambar 4.21. Pengukuran diameter bawah mold clamp	97
Gambar 4.22. Pengukuran tinggi mold clamp	97
Gambar 4.23. Pengukuran massa mold clamp	98
Gambar 4.24. Hasil pengukuran mold clamp	98
Gambar 4.25. Pengukuran diameter luar bushing stopper	99
Gambar 4.26. Pengukuran diameter dalam bushing stopper	100
Gambar 4.27. Hasil pengukuran bushing stopper	100
Gambar 4.28. Pengukuran panjang penyangga panel	101
Gambar 4.29. Pengukuran lebar penyangga panel	101
Gambar 4.30. Pengukuran massa penyangga panel	102
Gambar 4.31. Hasil pengukuran penyangga panel	102
Gambar 4.32. Pengukuran diameter atas bushing rail	103
Gambar 4.33. Pengukuran diameter bawah bushing rail	104
Gambar 4.34. Pengukuran tinggi bushing rail	104
Gambar 4.35. Hasil pengukuran bushing rail	105
Gambar 4.36. Pengukuran diameter kaki pendukung	106
Gambar 4.37. Pengukuran tinggi kaki pendukung	106
Gambar 4.38. Hasil pengukuran kaki pendukung	107
Gambar 4.39. Pengukuran panjang pelat dudukan hopper	108
Gambar 4.40. Pengukuran tebal pelat dudukan hopper	108
Gambar 4.41. Hasil pengukuran pelat dudukan hopper	109

Gambar 4.42. Silinder pneumatik	110
Gambar 4.43. Pengukuran massa silinder pneumatik	110
Gambar 4.44. Kompresor	111
Gambar 4.45. Spesifikasi Kompresor	111
Gambar 4.46. Band heater element	112
Gambar 4.47. Pengukuran kerataan pada pelat base frame	126
Gambar 4.48. Pengukuran panjang pelat base frame	126
Gambar 4.49. Pengukuran tebal pelat base frame	127
Gambar 4.50. Pengukuran massa pelat base frame	127
Gambar 4.51. Hasil pengukuran pelat base frame	128
Gambar 4.52. Pengukuran kerataan pelat dudukan cetakan	129
Gambar 4.53. Pengukuran panjang pelat dudukan cetakan	129
Gambar 4.54. Pengukuran tebal pelat dudukan cetakan	130
Gambar 4.55. Pengukuran massa pelat dudukan cetakan	130
Gambar 4.56. Hasil pengukuran pelat dudukan cetakan	131
Gambar 4.57. Pengukuran posisis kerataan pelat dudukan barrel	132
Gambar 4.58. Pengukuran panjang pelat dudukan barrel	132
Gambar 4.59. Pengukuran lebar pelat dudukan barrel	133
Gambar 4.60. Pengukuran massa pelat dudukan barrel	133
Gambar 4.61. Hasil pengukuran pelat dudukan barrel	134
Gambar 4.62. Pengukuran posisi kerataan pelat dudukan silinder pneumatik	135
Gambar 4.63. Pengukuran panjang pelat dudukan silinder pneumatik	135
Gambar 4.64. Pengukuran tebal pelat dudukan silinder pneumatik	136
Gambar 4.65. Pengukuran massa pelat dudukan silinder pneumatik	136
Gambar 4.66. Hasil pengukuran pelat dudukan silinder pneumatik	137
Gambar 4.67. Pengukuran posisi kerataan tiang penyangga mesin	138
Gambar 4.68. Pengukuran tinggi tiang penyangga mesin	138
Gambar 4.69. Pengukuran diameter tiang mesin	139
Gambar 4.70. Pengukuran massa tiang penyangga mesin	139
Gambar 4.71. Hasil pengukuran tiang penyangga mesin	140
Gambar 4.72. Pengukuran tinggi tiang penyangga barrel	141
Gambar 4.73. Pengukuran diameter tiang penyangga barrel	141
Gambar 4.74. Pengukuran massa tiang penyangga barrel	142
Gambar 4.75. hasil pengukuran tiang penyangga barrel	142
Gambar 4.76. Hasil timbangan cacahan plastik PET	163
Gambar 4.77. Volume cetakan pertama dengan suhu 250°C	163
Gambar 4.78. Volume cetakan kedua dengan suhu 250°C	164
Gambar 4.79. Volume cetakan ketiga dengan suhu 250°C	165
Gambar 4.80. Volume cetakan pertama dengan suhu 275°C	166
Gambar 4.81. Volume cetakan kedua dengan suhu 275°C	167
Gambar 4.82. Volume cetakan ketiga dengan suhu 275°C	168
Gambar 4.83. Volume cetakan pertama dengan suhu 300°C	169
Gambar 4.84. Volume cetakan kedua dengan suhu 300°C	170
Gambar 4.85. Volume cetakan ketiga dengan suhu 300°C	171
Gambar 4.86. Sisa plastik didalam barrel dan di injector	172

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Silinder Pneumatik	187
Lampiran 2. Filter Regulator Lucbricator	191
Lampiran 3. Solenoid Valve	193



DAFTAR NOTASI

ρ	= Massa jenis	(g/cm ³)
m	= Massa	(g)
V	= Volume	(cm ³)
$V_{plastik}$	= Volume plastik	(cm ³)
$m_{plastik}$	= Massa plastik	(g)
$\rho_{plastik}$	= Massa jenis plastik	(g/cm ³)
P_1	= Tekanan pada titik acuan 1	(N/cm ²)
P_2	= Tekanan pada titik acuan 2	(N/cm ²)
v_1	= Kecepatan aliran pada titik acuan 1	(cm/s)
v_2	= Kecepatan aliran pada titik acuan 2	(cm/s)
Z_1	= Ketinggian titik acuan 1	(cm)
Z_2	= Ketinggian titik acuan 2	(cm)
ρ	= Massa jenis fluida	(g/cm ³)
g	= Percepatan gravitasi	(cm/s ²)
V_{hopper}	= Volume <i>hopper</i>	(cm ³)
R_{hopper}	= Jari-jari besar <i>hopper</i>	(cm)
r_{hopper}	= Jari-jari kecil <i>hopper</i>	(cm)
t_{hopper}	= tinggi <i>hopper</i>	(cm)
π	= 3,14	
$Volume\ barrel$	= Volume tabung	(cm ³)
r_{barrel}	= Jari-jari tabung	(cm)
$t1_{barrel}$	= Tinggi tabung	(cm)
$Volume\ 2_{barrel}$	= Volume 2 <i>barrel</i>	(cm ³)
R_{barrel}	= Jari-jari besar <i>barrel</i>	(cm)
r_{barrel}	= Jari-jari kecil <i>barrel</i>	(cm)
$t2_{barrel}$	= tinggi <i>barrel</i>	(cm)
$Vtotal_{barrel}$	= Volume total <i>barrel</i>	(cm ³)
V_{nozzle}	= Volume <i>nozzle</i>	(cm ³)
r_{nozzle}	= Jari-jari <i>nozzle</i>	(cm)
t_{nozzle}	= Tinggi <i>nozzle</i>	(cm)
$V1_{injector}$	= Volume 1 <i>injector</i>	(cm ³)
$r_{injector}$	= Jari-jari penampang <i>injector</i>	(cm)
$t_{injector}$	= Tinggi <i>injector</i>	(cm)
$V2_{injector}$	= Volume 2 <i>injector</i>	(cm ³)
R	= Jari-jari besar <i>injector</i>	(cm)
r	= Jari-jari kecil <i>injector</i>	(cm)
$t2_{injector}$	= tinggi <i>injector</i>	(cm)
$Vtotal_{injector}$	= Volume total <i>injector</i>	(cm ³)
P_{heater}	= Daya <i>heater</i>	(watt)
m_{barrel}	= Massa <i>barrel</i>	(g)
C_{barrel}	= Kalor jenis <i>barrel</i>	(J/g°C)
ΔT	= Perubahan temperatur	(°C)

T	=	Temperatur yang diinginkan	(°C)
T_s	=	Temperatur lingkungan	(°C)
t	=	Waktu pemanasan	(s)
η	=	Efisiensi: 0,1-0,5	
F_{maju}	=	Gaya piston langkah maju	(N)
F_{mundur}	=	Gaya piston langkah mundur	(N)
D_{piston}	=	Diameter piston	(cm)
$d_{batang\ piston}$	=	Diameter batang piston	(cm)
A	=	Luas penampang piston	(cm ²)
P_e	=	Tekanan udara kerja	(N/cm ²)
μ	=	Koefisien Tekanan Beban Dorong	
Q_{v1}	=	Debit udara langkah maju	(cm ³ /s)
Q_{v2}	=	Debit udara langkah mundur	(cm ³ /s)
A_1	=	Luas penampang piston	(cm ²)
A_2	=	Luas penampang batang piston	(cm ²)
S	=	Panjang langkah piston	(cm)
P_e	=	Tekanan kerja	(N/cm ²)
P_{atm}	=	Tekanan udara luar	(N/cm ²)
n	=	Siklus kerja	
v_1	=	Kecepatan piston langkah maju	(cm/s)
v_2	=	Kecepatan piston langkah mundur	(cm/s)
Q_{v1}	=	Debit udara langkah maju	(cm ³ /s)
Q_{v2}	=	Debit udara langkah maju	(cm ³ /s)
A_1	=	Luas penampang piston	(cm ²)
A_2	=	Luas penampang batang piston	(cm ²)
σ_t	=	Tegangan Tarik	(N/cm)
F	=	Beban yang diterima	(N)
d_1	=	Diameter terkecil	(cm)
A	=	Luas penampang baut	(cm ²)
d_1	=	diameter terkecil	(cm)
σ_t	=	Tegangan tarik yang terjadi	(N/cm ²)
$\bar{\sigma}_t$	=	Tegangan tarik yang diizinkan	(N/cm ²)
σ_{tbahan}	=	Tegangan tarik bahan	(N/cm ²)
F	=	Beban yang diterima	(N)
A_{baut}	=	Luas penampang baut	(cm ²)
d_1	=	diameter terkecil	(cm)
sf	=	Faktor keamanan	
π	=	3,14	
σ_b	=	Tegangan bending yang terjadi	(N/cm ²)
$\bar{\sigma}_b$	=	Tegangan bending yang diizinkan	(N/cm ²)
σ_{bbahan}	=	Kekuatan bending yang bahan	(N/cm ²)
M_b	=	Momen bending	(Ncm)
W_b	=	Momen tahanan bending	(cm ³)
F	=	Gaya yang terjadi	(N)
e	=	Lengan gaya	(cm)
b	=	Lebar pelat	(cm)
h	=	Tebal pelat	(cm)

σ_d	=	Tegangan tekan	(N/cm ²)
$\bar{\sigma}_d$	=	Tegangan tekan izin	(N/cm ²)
σ_{dbahan}	=	Tegangan tekan maksimum	(N/cm ²)
A_{tiang}	=	Luas penampang tiang	(cm)
d_{tiang}	=	Diameter tiang	(cm)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman sekarang ini, kemajuan teknologi sudah mengalami perkembangan yang sangat pesat, terutama kemajuan teknologi dalam pengolahan plastik. Ada beberapa teknologi yang digunakan dalam proses pengolahan plastik seperti proses ekstrusi, proses *blow molding*, proses *thermoforming*, dan proses *injection molding* (Zubair Sultan dkk 2021). Salah satu kemajuan teknologi dalam pengolahan plastik yang paling banyak digunakan adalah proses *injection molding* (Hastarina dkk 2019).

Injection molding merupakan proses pembentukan material termoplastik dimana pada proses ini material plastik yang berupa biji plastik atau cacahan plastik dimasukkan kedalam *barrel* dan di panaskan hingga meleleh dengan temperatur tertentu, maka plastik tersebut didorong keluar dari dalam tabung melalui *nozzle* untuk diinjeksikan kedalam cetakan (*mold*), kemudian benda cetak dibiarkan membeku dan mendingin di dalam cetakan sebelum cetakan dibuka untuk mengeluarkan benda cetak (Nazarrudin dan Triyono 2020).

Di Indonesia, permasalahan sampah plastik masih belum terselesaikan. Berdasarkan data dari Asosiasi Industri Olefin Aromatik dan Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton pertahun dan sebanyak 3,2 juta ton sampah plastik dibuat kelaut (Setyo Arbintarso dan Kumalasari Nurnawati 2022).

Sebagian besar sampah plastik adalah konsumsi rumah tangga, seperti botol plastik, sedotan plastik, kantong plastik, dan kemasan saset. Sampah yang paling banyak ditemukan dilingkungan sekitar berupa botol plastik karena penggunaan botol plastik tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Botol plastik sering dipergunakan dan ditemukan sebagai botol minuman air mineral, jus, *soft drink*, dan lain sebagainya (Okatama 2016).

Jika sampah plastik tidak dikelola dengan benar maka akan berdampak pada pencemaran air, tanah, dan udara karena sampah plastik sangat sulit diuraikan oleh bakteri pengurai. Apabila sampah plastik dibakar akan menjadi gumpalan dan butuh waktu lama untuk menguraikannya sehingga sampah plastik yang terlalu lama tertimbun di dalam tanah akan mengakibatkan terjadinya pemanasan global yang berdampak pada kehidupan manusia itu sendiri (Aripin, Aa Santosa, dan Iman Dirja 2019).

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan akibat sampah plastik yaitu dengan menggunakan sebuah mesin atau alat daur ulang sampah plastik. Salah satu teknik yang cukup efektif dan banyak digunakan dalam pengolahan sampah plastik adalah proses *injection molding*. Dengan adanya proses *injection molding*, maka dapat dilakukan pengolahan sampah plastik seperti botol-botol plastik menjadi produk yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan bernilai guna karena pada proses ini tidak ada batasan kerumitan desain produk, sehingga dapat menghasilkan variasi produk yang luas, ukuran produk yang dapat dicetak dari produk kecil hingga besar, dan proses ini juga dapat menghasilkan produk dengan tingkat kepresisian yang baik (Mawardi dan Hanif 2015).

Pada umumnya, mesin *injection molding* masih banyak menggunakan sistem manual yaitu menggunakan tuas sebagai penekan dalam mencetak, memiliki kekurangan yaitu proses produksi masih terbilang lambat karena menggunakan tenaga manusia (Zubair Sultan dkk 2021).

Pada penelitian sebelumnya telah dibuat mesin *plastic injection molding horizontal* yang menggunakan sistem pneumatik, dimana mesin ini memiliki kekurangan yaitu :

- a) Lebih hemat ruang: mesin injeksi plastik horizontal membutuhkan ruang yang lebih besar karena mesinnya lebih panjang, sedangkan mesin injeksi plastik vertikal lebih hemat ruang karena mesin injeksi plastik vertikal dapat ditempatkan diruangan yang lebih kecil dan lebih fleksibel dalam pengaturan ruangan produksi
- b) Kecepatan injeksi: mesin injeksi plastik horizontal memiliki kecepatan injeksi yang lebih tinggi karena dapat menginjeksikan bahan baku plastik dengan tekanan yang lebih tinggi, sedangkan mesin injeksi plastik vertikal memiliki kecepatan injeksi yang lebih rendah karena dapat menginjeksikan bahan baku plastik dengan tekanan yang lebih rendah.
- c) Lebih mudah dalam perawatan: mesin injeksi plastik vertikal lebih mudah dalam perawatan karena mesin ini memiliki struktur yang lebih sederhana dan mudah diakses untuk perawatan dan perbaikan dibandingkan mesin injeksi plastik horizontal.
- d) Kegunaan: mesin injeksi plastik horizontal biasanya digunakan untuk produksi plastik yang lebih besar dan kompleks, sedangkan mesin injeksi plastik vertikal dapat digunakan untuk produksi produk plastik yang lebih kecil.

Maka dengan adanya mesin injeksi plastik vertikal sistem pneumatik ini sehingga dapat mempercepat proses produksi karena lebih efektif jika dibandingkan dengan penggunaan tenaga manusia atau dengan proses produksi manual (Wijaya, 2022). Mesin ini menggunakan menggunakan tenaga yang berasal dari kompresor. Kompresor digunakan untuk menggerakkan silinder pneumatik yang selanjutnya piston yang telah dihubungkan dengan *injector* akan mendorong material atau bahan plastik yang terdapat di dalam *barrel* menuju *modal* atau cetakan.

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan mesin injeksi plastik dengan sistem pneumatik, maka perlu dilakukan pengukuran, perhitungan serta pengujian terhadap mesin tersebut agar dapat mengetahui mesin injeksi ini dapat digunakan dalam pengolahan sampah plastik secara optimal. Dari penjelasan diatas, untuk mengetahui tingkat keberhasilan cara kerja mesin maka penulis melakukan “Analisis Proses Pengujian Mesin *Plastic Injection Molding Vertical* Menggunakan Sistem Pneumatik Dengan Volume 300 cm³”.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ adalah:

- a. Bagaimana kesesuaian dimensi bagian-bagian/komponen mesin yang terdiri *hopper, barrel, nozzle, injector, mold clamp, bushing stopper, bushing rail*, dan kaki pendukung pada mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik antara perancangan dan pembuatan?

- b. Bagaimana kesesuaian dimensi konstruksi mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik antara perancangan dan pembuatan?
- c. Bagaimana hasil uji coba pada proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ adalah:

- a) Menganalisis kesesuaian dimensi bagian-bagian/komponen mesin yang terdiri *hopper, barrel, nozzle, injector, mold clamp, bushing stopper, bushing rail*, dan kaki pendukung pada mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik antara perancangan dan pembuatan.
- b) Menganalisis kesesuaian dimensi konstruksi rangka mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik antara perancangan dan pembuatan.
- c) Menganalisis hasil uji coba pada proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ adalah bahwa agar mesin berjalan secara optimal maka bahan yang digunakan dan ukuran-ukuran pada komponen mesin tersebut harus sesuai dengan kapasitas mesin.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm^3 adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui cara menggunakan alat ukur dengan benar.
- b. Dapat mengetahui fungsi dari alat ukur.
- c. Dapat menambah pengetahuan tentang mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Injection molding*

Injection molding merupakan salah satu proses manufaktur yang dalam pembuatannya menggunakan bahan dari *thermoplastic* yang dipanaskan, kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan dan didinginkan, hingga membentuk produk sesuai cetakan. *Injection molding* juga diibaratkan seperti jarum suntik, di mana plastik cair di suntikkan ke dalam *mold* (cetakan) yang tertutup rapat, sehingga plastik cair tersebut mengisi ruang yang berada pada *mold* sesuai bentuk produk yang diinginkan (Arief Siregar dan Ridwan Rangkuti 2018).

Proses dalam satu siklus pada *injection molding* terdiri dari empat tahap yaitu, *clamping* merupakan proses dimana dua bagian cetakan harus tertutup rapat. Tahap kedua adalah menginjeksikan lelehan plastik yang disuntikkan ke dalam cetakan melalui *nozzle*, kemudian mengisi ruang *cavity* sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Tahap ketiga merupakan pendinginan bahan plastik setelah proses injeksi, pendinginan terjadi langsung dalam cetakan dengan sistem sirkulasi fluida di cetakan, dan tahap keempat merupakan proses pelepasan produk dari dalam cetakan (Arief Siregar dan Ridwan Rangkuti 2018).

Keuntungan yang dimiliki proses *injection molding* adalah kapasitas produksi yang besar, material yang digunakan sedikit, tenaga kerja yang minim, dapat membuat sebuah benda yang kompleks secara otomatis dengan satu kali proses produksi, produk dapat dibuat dengan dimensi yang kecil, dapat membuat

bentuk produk yang bervariasi dan dapat memproduksi banyak produk hanya dengan sekali pencetakan (Zubair Sultan dkk 2021).

Secara garis besar, terdapat tiga bagian utama dalam mesin injeksi *molding* yaitu (Mawardi dkk 2014) :

a) Unit injeksi (*Injection unit*)

Injection unit adalah bagian mesin yang berfungsi untuk mencairkan material plastik dan memasukkannya kedalam cetakan. Pada unit ini, material dimasukkan kedalam *hopper*, kemudian didalam *barrel* plastik akan dilelehkan dengan menggunakan *heater* hingga mencair dan didorong menggunakan silinder pneumatik. Kemudian cairan plastik akan diinjeksikan melalui *nozzle* ke dalam cetakan atau *mold*. Tekanan yang tepat dapat membuat plastik memenuhi cetakan dan menghasilkan produk sesuai dengan keinginan.

b) Unit penjepit (*Clamping unit*)

Unit penjepit adalah bagian mesin yang bertanggungjawab untuk memegang dan menahan cetakan pada saat proses injeksi berlangsung. Unit ini terdiri dari plat penjepit yang dapat membuka dan menutup untuk memasang atau melepaskan cetakan, serta mekanisme penjepit yang menahan cetakan agar tidak bergerak selama proses injeksi plastik berlangsung. Unit penjepit sangat penting dalam proses injeksi *molding* karena jika cetakan tidak terpasang dengan kuat dan stabil, dapat menyebabkan cacat pada produk akhir.

c) Unit cetakan (*molding unit*)

Unit cetakan adalah bagian yang bertanggung jawab untuk membentuk produk plastik dengan cara mencairkan material plastik dan memasukkannya ke dalam cetakan. Unit cetakan merupakan bagian terpenting pada proses *injection molding*,

karena hasil produk akan mengikuti bentuk cetakan. Setelah plastik cair masuk ke dalam cetakan dan mengalami pendinginan akan menghasilkan produk yang sesuai dengan bentuk cetakan.

2.2 Proses *Injection Molding*

Terdapat enam langkah atau tahapan penting dalam proses *injection molding*, yaitu sebagai berikut (Sukoco Hasibuan dan Bastandeo Ginting 2022):

a. *Clamping* (Pengapitan)

Clamping disebut sebagai proses penjepitan atau pengapitan yang memiliki fungsi untuk mengunci dan memegang cetakan selama proses injeksi dan pendinginan berlangsung. Setelah cetakan terisi dengan bahan plastik cair, *clamping* akan memberikan tekanan yang cukup untuk menjaga cetakan tetap tertutup dan mencegah kebocoran atau pergeseran bahan plastik.

b. *Injection* (Suntikan)

Sebelum masuk ke proses injeksi cacahan atau potongan-potongan kecil material plastik dimasukkan ke dalam *hopper*, kemudian cacahan plastik tersebut akan menuju *barrel* yang sudah dipanaskan oleh *band heater* hingga mencair dan diproses. Setelah material terkumpul dalam jumlah yang cukup didalam *nozzle*, maka proses injeksi akan dimulai, dimana material plastik yang sudah di ujung *nozzle* akan diinjeksikan ke dalam cetakan.

c. *Dwelling* (Penenangan)

Dwelling disebut langkah penghentian sementara proses injeksi. Pada langkah ini, material plastik yang sudah berada didalam cetakan dan telah diberi tekanan tertentu dipastikan harus mengisi kesemua bagian *cavity* atau rongga cetakan.

Tujuan dari langkah ini adalah agar menghindari adanya cacat akibat keropos atau *weld* pada produk yang dibuat.

d. *Cooling* (Pendinginan)

Proses pendinginan dilakukan, ketika material plastik yang sudah terisi penuh dalam cetakan dan membentuk produk yang sesuai cetakan. Agar produk cepat mengeras dan mudah dilepaskan dari cetakan maka harus didinginkan sesuai temperatur tertentu.

e. *Mold Opening* (Pembukaan Cetakan)

Mold opening adalah proses membuka cetakan pada mesin injeksi plastik . setelah bahan plastik diinjeksikan ke dalam cetakan dan mengeras, maka *mold opening* dilakukan untuk melepaskan produk injeksi dari cetakan. Terdapat dua bagian pada cetakan yaitu *cavity* dan *core*, dimana kedua bagian tersebut adalah satu kesatuan yang tidak bisa dipisahkan. Jadi, ketika material plastik sudah menjadi sebuah produk yang sesuai cetakan maka kedua sudah mengeras dan menjadi produk yang diinginkan, maka kedua bilah cetakan tersebut akan dibuka menggunakan peralatan yang berada pada bagian *clamping unit*.

f. *Ejection* (Pengeluaran)

Ejection adalah langkah terakhir pada proses mesin injeksi plastic, dimana produk injeksi yang telah selesai diproses dan terbentuk dalam cetakan dikeluarkan dari cetakan.

2.3 Mesin *Injection Molding Vertical*

Mesin *injection molding vertical* adalah mesin injeksi *molding* yang digunakan sebagai proses pembuatan material termoplastik. Jenis mesin ini memiliki orientasi vertikal pada unit injeksi dan cetakannya, dimana unit injeksi berada diatas cetakan dan material plastik dimasukkan ke dalam mesin dari atas. Proses pembuatan material pada mesin ini sama seperti mesin injeksi pada umumnya yaitu material dimasukan kedalam *hopper*, kemudian dipanaskan, lalu diinjeksikan ke dalam cetakan dan didinginkan, hingga membentuk produk sesuai cetakan. Pada umumnya mesin *plastic injection molding vertical* ini digunakan untuk kapasitas yang tidak terlalu besar. Mesin *plastic injection molding vertical* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



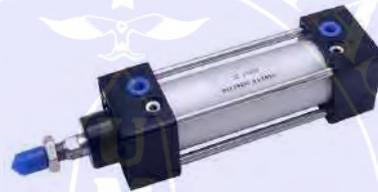
Gambar 2.1. Mesin *Injection Molding Vertical*

2.3.1 Komponen-Komponen pada Mesin *Injection Molding Vertical* Menggunakan Sistem Pneumatik

Komponen-komponen pada mesin *injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik secara umum adalah sebagai berikut:

a) Silinder Pneumatik

Silinder pneumatik merupakan aktuator atau perangkat mekanis yang menggunakan udara bertekanan atau terkompresi untuk menghasilkan gerakan linier secara berulang-ulang (gerakan keluar-masuk). Silinder pneumatik dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Silinder Pneumatik

b) Kompresor

Kompresor merupakan mesin atau alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan atau memampatkan fluida gas atau udara. Kompresor digunakan untuk menggerakkan silinder pneumatik. Kompresor dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Kompresor

c) *Hopper*

Hopper merupakan wadah awal yang digunakan sebagai tempat untuk menampung material plastik sebelum masuk ke dalam *barrel*. *Hopper* dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4. *Hopper*

d) *Barrel*

Barrel merupakan tempat untuk mencairkan bahan baku plastik dengan menggunakan *heater* sehingga material plastik dapat mencair. Pada *barrel* terdapat *band element heater* yang berfungsi sebagai elemen pemanas. *Barrel* dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5. *Barrel*

e) *Nozzle*

Nozzle merupakan bagian yang terhubung dengan *barrel* dan terletak di bagian ujung unit injeksi paling ujung yang terletak setelah *barrel*. *Nozzle* memiliki lubang kecil yang berfungsi untuk memasukkan material plastik yang telah mencair dari unit injeksi ke dalam saluran injeksi dan kemudian ke dalam cetakan. *Nozzle* dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6. *Nozzle*

f) *Band Heater Element*

Band heater element adalah jenis elemen pemanas yang digunakan pada mesin injeksi *molding*. Elemen pemanas ini berbentuk seperti ban dan terbuat dari bahan tahan panas yang dipasang pada bagian luar *barrel*. *Band heater element* berfungsi untuk memanaskan *barrel* agar bahan baku yang dimasukkan ke dalam *barrel* dapat dicairkan dan diinjeksikan ke dalam cetakan. *Band heater element* dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7. *Band Heater Element*

g) *Solenoid Valve*

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik baik AC maupun DC melalui kumparan atau selenoida. *Solenoid valve* ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem fluida. seperti pada sistem pneumatik, sistem hidrolik ataupun pada sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis.

Komponen ini berfungsi untuk mengatur aliran udara pada mesin injeksi *molding*. *Solenoid valve* dapat membuka dan menutup aliran udara pada mesin injeksi sesuai dengan kebutuhan produksi. *Solenoid valve* dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8. *Solenoid Valve*

h) *Air Filter Regulator*

Air filter regulator adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk mengatur dan menyaring udara sebelum masuk ke sistem pneumatik. Udara yang masuk ke dalam mesin injeksi *molding* harus bersih dan bebas dari kotoran, debu agar tidak merusak komponen-komponen mesin injeksi. *Air filter regulator* dapat digunakan untuk mengurangi tekanan udara yang masuk ke sistem, sehingga tekanannya tidak terlalu besar dan tidak merusak komponen-komponen pneumatik. *Air filter regulator* dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9. *Air Filter Regulator*

i) *Control Panel*

Control panel digunakan sebagai tempat perangkat elektronik yang terdiri dari beberapa komponen listrik yang diatur dan disusun sedemikian rupa yang berfungsi untuk membagi, menyalurkan, kemudian mendistribusikan energi listrik dari sumbernya (pusat) menuju komponen elektronik lainnya. Panel listrik dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10. *Control Panel*

j) *Air Hose (Selang Angin)*

Air hose atau selang angin berfungsi sebagai saluran untuk menyalurkan atau mengalirkan udara yang didorong oleh tekanan yang berasal dari sebuah sumber udara menuju tempat lain. Dengan tekstur yang fleksibel, *air hose* atau selang angin lebih sering digunakan sebagai pengganti pipa. *Air hose* atau selang angin dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11. *Air Hose*

k) *Pneumatic Fittings*

Pneumatic fittings digunakan untuk menghubungkan berbagai elemen atau *part* dalam sistem pneumatik, seperti pipa, selang, aktuator, dan elemen lainnya.

Pneumatic fittings dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12. *Pneumatic Fittings*

l) *Thermocouple*

Thermocouple merupakan alat ukur yang memanfaatkan tegangan *thermo-electric* untuk dapat mendeteksi terjadinya perubahan suhu pada sebuah sistem. *Thermocouple* berfungsi untuk mengukur suhu pada *barrel* dan *nozzle*. Alat ini terletak di sekitar *barrel* dan *nozzle* untuk mengirimkan sinyal suhu ke kontroler mesin injeksi dan kemudian hasil pembacaan suhu tersebut akan diproses oleh *thermostat*. *Thermocouple* dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13. *Thermocouple*

m) *Thermostat (Temperature Control)*

Thermostat merupakan suatu komponen elektronik yang digunakan untuk mengatur suhu pada *barrel*. Suhu pada *barrel* harus dijaga dengan stabil dan sesuai kebutuhan produksi agar material plastik dapat dicairkan dan diinjeksikan ke dalam cetakan dengan baik. *Thermostat* digunakan di perangkat atau sistem yang memanaskan atau mendinginkan hingga titik suhu yang diatur. *Thermostat* dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut.



Gambar 2.14. *Thermostat*

n) *Solid State Relay (SSR)*

Solid State Relay adalah jenis pengalih elektronik (sakelar elektronik) yang menggunakan komponen elektronika aktif untuk mengendalikan pengalihan arus dan tegangan listrik. SSR berfungsi untuk mengontrol daya yang masuk ke elemen pemanas agar suhu pada *barrel* tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan produksi. *Solid State Relay* dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15. *Solid State Relay*

2.3.2 Keuntungan dari Mesin *Injection Molding Vertical*

Mesin *injection molding vertical* memiliki beberapa keuntungan, yaitu :

- a) Lebih efisien dalam penggunaan ruang atau tempat, karena orientasinya yang vertikal memungkinkan mesin ditempatkan di ruangan dengan ketinggian lebih rendah.
- b) Lebih mudah dioperasikan dan diatur, karena operator dapat dengan mudah mengakses unit injeksi dan cetakan.
- c) Lebih mudah dalam proses perawatan dan perbaikan, karena unit injeksi dan cetakan dapat diakses dengan mudah.
- d) Dapat digunakan untuk memproses material plastik dengan volume kecil dan sedang, sehingga cocok untuk produksi dalam skala kecil hingga menengah.

2.4 Parameter Mesin *Injection Molding*

Untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang optimal pada proses *injection molding*, maka harus dilakukan beberapa kali proses sehingga dapat diketahui parameter apa saja yang mempengaruhi jalannya proses produksi. Dalam proses *injection molding*, ada beberapa parameter yang dapat berpengaruh pada saat proses produksi plastik yaitu (Nugraha Saputra dan Dheo Ardi 2019):

- a) Temperatur injeksi

Temperatur injeksi merupakan temperatur leleh plastik saat akan diinjeksikan kedalam cetakan melalui *nozzle*. Biasanya temperatur ini disesuaikan menurut spesifikasi jenis material yang telah ditetapkan industri pengolahan material plastik.

b) *Pressure limit* (Batas tekanan)

Batas tekanan adalah batas tekanan udara yang berguna menggerakkan piston untuk menekan material plastik yang telah mencair akibat energi panas. Jika tekanan yang diberikan terlalu rendah, maka kemungkinannya material plastik tidak akan bisa keluar atau terinjeksi kedalam cetakan. Tetapi jika tekanan udara yang diberikan terlalu tinggi juga dapat mengakibatkan tersemburnya cairan material plastik dari dalam cetakan sehingga membuat proses produksi menjadi tidak efisien.

c) *Holding time* (Waktu tahan)

Waktu tahan merupakan waktu yang diukur dari temperatur leleh yang telah di set dan sudah tercapai sehingga semua material plastik yang berada didalam *barrel* mencair dengan sempurna. Ini dikarenakan sifat rambatan panas yang memerlukan waktu untuk merambat ke seluruh bagian yang ingin dipanaskan. Jika waktu tahan dari proses injeksi terlalu cepat maka akan dikhawatirkan semua bahan plastik yang berada dalam *barrel* belum mencair dengan sempurna, sehingga dapat mempersulit jalannya aliran cairan material plastik dari dalam *nozzle*.

d) *Holding pressure* (waktu penekanan)

Holding pressure merupakan waktu yang digunakan untuk memberikan suatu tekanan saat piston mendorong plastik yang telah mencair selama proses injeksi. Waktu penekanan harus *disetting* agar material plastik benar-benar telah mencair dan mengisi seluruh cetakan. Waktu penekanan sangat bergantung pada besar kecilnya dimensi cetakan, jika semakin besar ukuran dari cetakan maka waktu yang diperlukan untuk penekanan semakin lama.

Begitu pun sebaliknya, jika semakin kecil ukuran dari cetakan, maka waktu yang diperlukan untuk melakukan penekanan jadi semakin cepat.

e) *Mould temperature* (temperatur cetakan)

Temperatur cetakan merupakan temperatur pemanasan awal cetakan sebelum proses injeksi dari material plastik yang sudah mencair.

f) *Injection Rate* (Kecepatan injeksi)

Kecepatan injeksi yaitu kecepatan dari laju material plastik yang sudah mencair keluar dari *nozzle* untuk mengisi rongga cetak (*mold*).

2.5 Jenis Material

Jenis material yang digunakan pada konstruksi mesin dan komponen mesin dalam pembuatan mesin ini adalah sebagai berikut :

a. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja adalah paduan unsur besi (Fe) dan karbon (C) dengan kandungan karbon kurang dari 2%. Terdapat ribuan jenis baja yang tersedia di pasar, yang mana berbeda komposisi kimia dan proses perlakuan panasnya. Pada baja karbon, besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penambahan kandungan unsur kimia lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan (Sofyan, 2021).

Didalam perancangan mesin *plastic injection molding vertical*, perancangan memilih baja yang berbentuk plat. Plat baja adalah berbentuk lembaran yang memiliki permukaan yang rata serta merupakan salah satu bahan baku utama dalam dunia konstruksi maupun industri manufaktur. Keunggulan dari

material ini adalah mudah dibor maupun dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi yang digunakan sebagai *frame* dudukan berbagai komponen seperti dudukan silinder pneumatik, *hopper*, cetakan, dan lainnya.

Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut (Sofyan, 2021):

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Dibandingkan dengan jenis baja lainnya, baja karbon rendah merupakan jenis baja yang diproduksi dalam jumlah terbesar. Kadar karbon baja ini kurang dari 0,25%, serta struktur mikronya terdiri atas ferit dan perlit, sehingga bersifat lunak, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik. Baja ini dapat dimesin (dibubut) dan dilas, tetapi tidak responsif terhadap perlakuan panas.

Salah satu dari jenis baja karbon rendah adalah baja ST 42. Baja ini merupakan jenis baja karbon yang memiliki kadar karbon rendah (*low carbon steel*) yaitu dibawah 0,25%. Baja ST 42 memiliki kekuatan tarik sampai dengan 42 kg/mm² (Mahendra dkk, 2021). Selain itu baja karbon memiliki nilai kalor jenis sebesar $450 \frac{J}{kg^{\circ}C}$ (Giancoli, 2014).

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang mengandung karbon sebesar 0,25-0,60%. Baja ini memiliki kelebihan daripada baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas

(*heat treatment*) yang sesuai. Aplikasi dari baja ini seperti rel kereta, roda gigi, *crankshaft*, dan komponen mesin lainnya.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi mengandung karbon sebesar 0,60-1,40% dan merupakan baja karbon yang paling kuat dan paling keras, serta tidak ulet. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Aplikasi dari baja karbon tinggi seperti alat potong, bantalan, cetakan, pisau, mata gergaji, dan pegas.

b. *Stainless Steel*

Stainless Steel (SS) adalah paduan besi dengan minimal 12 % kromium. Komposisi ini membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan. Tentunya harus dibedakan mekanisme *protective layer* ini dibandingkan baja yang dilindungi dengan *coating* (misal seng dan cadmium) ataupun cat. Meskipun seluruh kategori *stainless steel* didasarkan pada kandungan krom (Cr), namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat *stainless steel* sesuai aplikasinya. Karena sifatnya yang anti korosi, maka didalam perancangan mesin *plastic injection molding vertical*, jenis *stainless steel* yang digunakan

berbetuk silinder pejal yang digunakan sebagai *injector*. *Stainless steel* memiliki massa jenis sebesar 8 g/cm^3 (Kutz, 2015).

Secara umum *stainless steel* memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

1. Ketahanan terhadap korosi, *stainless steel* memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik dan menjadikannya pilihan yang cocok untuk digunakan di berbagai lingkungan, termasuk lingkungan luar ruangan dan lingkungan kelautan.
2. Kekuatan dan daya tahan dari *stainless steel* sudah dikenal sangat luas dan menjadikannya pilihan yang cocok untuk digunakan dalam industri yang membutuhkan bahan yang kokoh dan tahan lama.
3. Perawatan untuk *stainless steel* cenderung minim dan tidak memerlukan pengecatan atau lapisan pelindung lainnya. Hal tersebut dapat menghemat waktu dan biaya dalam jangka panjang.

Selain memiliki kelebihan, *stainless steel* juga memiliki beberapa kelemahan sebagai berikut:

1. Umumnya *stainless steel* harganya lebih mahal dibandingkan jenis baja lainnya seperti *carbon steel*. Hal ini membuatnya kurang ekonomis untuk diterapkan di beberapa aplikasi.
2. *Stainless steel* bersifat lebih padat dan memiliki densitas yang lebih tinggi daripada jenis baja lainnya seperti baja karbon sehingga cenderung lebih berat. Faktor ini bisa menjadi perhatian dalam beberapa aplikasi di mana massa material menjadi faktor utama.
3. Memiliki konduktivitas termal yang rendah membuat *stainless steel* tidak dapat mentransfer panas dengan baik.

Kategori *stainless steel* tidak sama halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metalurginya. Lima golongan utama *stainless steel* adalah sebagai berikut (Samlawi dan Rudi, 2016):

1. *Austenitic Stainless Steel*

Austenitic stainless steel mengandung sedikitnya 16% *Chrom* dan 6% *Nickel* (*grade* standar untuk 304), sampai ke *grade super autenitic stainless steel* seperti 904L (dengan kadar *Chrom* dan *Nickel* lebih tinggi serta unsur tambahan Mo sampai 6%). *Molybdenum* (Mo), *Titanium* (Ti) atau *Copper* (Co) berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap temperatur serta korosi. *Austenitic* cocok juga untuk aplikasi temperatur rendah disebabkan unsur *Nickel* membuat *stainless steel* tidak menjadi rapuh pada temperatur rendah. *Stainless steel* 304 memiliki nilai tegangan tarik sebesar 466,67 MPa (Setyowati dan Eriek, 2017).

2. *Ferritic Stainless Steel*

Stainless steel jenis ini memiliki kadar *Chrom* bervariasi antara 10,5-18% seperti *grade* 430 dan 409. Ketahanan korosi tidak begitu istimewa dan relatif lebih sulit di fabrikasi atau *machining*. Tetapi kekurangan ini telah diperbaiki pada *grade* 434 dan 444 dan secara khusus pada *grade* 3Cr12.

3. *Martensitic Stainless Steel*

Stainless steel jenis ini memiliki unsur utama *Chrom*, masih lebih sedikit jika dibanding *ferritic stainless steel* dan kadar karbon relatif tinggi misal *grade* 410 dan 416. *Grade* 431 memiliki kadar *Chrom* sampai 16% tetapi mikrostrukturnya masih *martensitic* disebabkan hanya memiliki *Nickel* 2%. *Grade stainless steel* lain misalnya 17-4PH/630 memiliki *tensile strength* tertinggi

dibanding *stainless steel* lainnya. Kelebihan dari *grade* ini, jika dibutuhkan kekuatan yang lebih tinggi maka dapat di *hardening*.

4. *Duplex Stainless Steel*

Duplex stainless steel seperti 2304 dan 2205 (dua angka pertama menyatakan persentase *chrom* dan dua angka terakhir menyatakan persentase *Nickel*) memiliki bentuk mikrostruktur campuran *austenitic* dan *ferritic*. *Duplex ferritic-austenitic* memiliki kombinasi sifat tahan korosi dan temperatur relatif tinggi atau secara khusus tahan terhadap *stress corrosion cracking*. Sebagai tambahan, *duplex stainless steel* ketahanan korosinya sedikit lebih baik dibanding 304 dan 316 tetapi ketahanan terhadap *pitting coorrosion* jauh lebih baik (superior) dibanding 316. Ketangguhannya *duplex stainless steel* akan menurun pada temperatur dibawah -50°C dan diatas 300°C .

c. Kuningan

Kuningan adalah logam perpaduan dari tembaga dan seng. Komponen utama logam ini adalah tembaga yang memiliki kadar berkisar 60-96% massa sedangkan kandungan seng pada logam kuningan ini berkisar antara 32-39%, kadar ini akan meningkatkan kemampuan kerja material kuningan di suhu panas, namun akan menurun/terbatas saat berada di lingkungan bersuhu dingin.

Paduan ini menghasilkan berbagai macam sifat kuningan dan warna material kuningan. Jumlah seng yang meningkat memberi kekuatan dan keuletan yang lebih baik. Pergantian warna pada material kuningan biasanya menjadi merah kekuningan tergantung banyaknya atau sedikitnya kadar seng yang ditambahkan kedalam campuran. Kuningan lebih kuat dan lebih keras dari pada

tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Kuningan juga memiliki kekuatan, ketahanan korosi dari air garam dan memiliki sifat mampu bentuk mesin yang baik. Karena sifat-sifat tersebut kuningan kebanyakan digunakan untuk membuat pipa tabung, sekrup, radiator, alat musik, aplikasi kapal laut, dan *casing catridge* untuk senjata api (Nugroho dkk, 2017). Logam kuningan 60/40 (Cu Zn) memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 260,12 N/mm² (Setiawan, 2021).

Ada 3 jenis material kuningan, yaitu :

1. Kandungan tembaga yang memiliki kawat kuningan (*brass wire*) sekitar 62-95%.
2. Kadar tembaga pada pipa kuningan (*seamless brass tube*) yaitu 6-90%.
3. Kandungan tembaga pada plat uningan (*brass sheet*) antara 60-90%.

Karena memiliki sifat-sifat yang baik, kuningan banyak diaplikasikan untuk berbagai keperluan dan industri. Kuningan memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

1. Tahan terhadap suhu tinggi.
2. Memiliki sifat anti karat dan sifat lunak sehingga mudah untuk dibentuk.
3. Memiliki fleksibilitas dalam hal penggunaan, sehingga kuningan banyak dijumpai dalam berbagai bentuk salah satunya dalam bentuk pipa kuningan.

Selain memiliki kelebihan, kuningan juga memiliki beberapa kelemahan sebagai berikut:

1. Rentan terhadap noda, kuningan dapat membentuk noda kehitaman akibat oksidasi jika tidak dirawat dengan baik.

2. Biaya tinggi, dibandingkan dengan logam biasa lainnya seperti baja, kuningan lebih mahal karena kandungan tembaga yang tinggi.

2.6 Alat Ukur

Alat ukur merupakan suatu alat yang digunakan untuk melakukan proses inspeksi terhadap suatu benda, juga mengatakan bahwa alat ukur adalah perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur dimensi atau sudut. Alat ukur yang digunakan dalam menganalisis mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik adalah sebagai berikut:

a) Timbangan Digital

Timbangan digital adalah alat yang digunakan sebagai pengukuran untuk mengukur suatu berat atau beban maupun massa pada suatu benda. Cara menggunakan timbangan digital sebagai berikut :

1. Letakkan Ditempat yang Rata

Setiap timbangan digital, harus diletakkan di tempat yang rata (kecuali timbangantung). Tempat yang miring sangat mempengaruhi hasil penimbangan, apalagi benda yang ditimbang dihitung dalam satuan gram atau milligram. Pastikan kaki-kaki semua menyentuh lantai atau media dimana cara menggunakan timbangan digital diletakkan.

2. Pilih Tempat / Lantai yang Kokoh

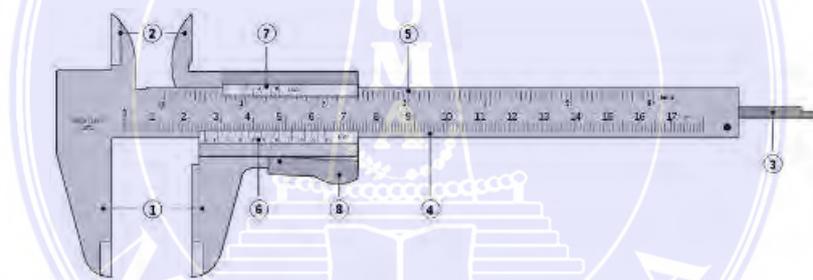
Pastikan tempat meletakkan timbangan cukup kokoh untuk menahan berat timbangan dan beban yang akan ditimbang. Hindari meletakkan timbangan di atas meja yang lentur. Tanah yang lembek, basah dan tidak rata juga perlu dihindari.

3. Nyalakan Timbangan

Semua timbangan digital dilengkapi tombol on/off untuk menyalakan atau mematikan. Setelah timbangan diletakkan ditempat yang benar maka timbangan sudah siap dinyalakan. Disini ada beberapa karakteristik timbangan terkait cara menyalakannya.

b) Jangka sorong

Jangka sorong adalah alat yang berfungsi untuk mengukur panjang, diameter luar, dan diameter dalam suatu benda serta dapat juga mengukur kedalaman lubang atau bangun ruang. Bagian-bagian pada jangka sorong sebagai berikut :



Gambar 2.16. Bagian-bagian jangka sorong

1. Rahang dalam

Terdiri dari rahang geser dan rahang tetap. Rahang dalam memiliki fungsi untuk mengukur dimensi luar atau sisi bagian luar sebuah benda misal tebal, lebar sebuah benda kerja.

2. Rahang luar

Terdiri dari rahang geser dan rahang tetap. Rahang luar memiliki fungsi untuk mengukur diameter dalam atau sisi bagian dalam sebuah benda misalnya

diameter hasil pengeboran. (pada gambar ditunjukkan dengan nama pengukuran dalam).

3. *Depth probe* atau pengukur kedalaman

Seperti namanya bagian ini mempunyai fungsi untuk mengukur kedalaman sebuah benda.

4. Skala Utama (dalam cm)

Skala utama dalam bentuk satuan cm memiliki fungsi untuk menyatakan ukuran utama dalam bentuk centimeter (cm).

5. Skala utama (dalam inchi)

Skala utama dalam bentuk satuan inchi memiliki fungsi untuk menyatakan ukuran utama dalam bentuk inchi.

6. Skala nonius (dalam mm)

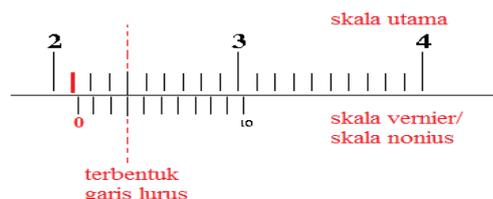
Skala nonius dalam bentuk milimeter berfungsi sebagai skala pengukuran fraksi dalam bentuk mm.

7. Skala Nonius (dalam inchi)

Skala nonius dalam bentuk inchi berfungsi sebagai skala pengukuran fraksi dalam bentuk inchi

8. Pengunci

Mempunyai fungsi untuk menahan bagian-bagian yang bergerak saat berlangsungnya proses pengukuran misal rahang dan Depth probe.



Gambar 2.17. Contoh hasil pengukuran

Perhatikan hasil pengukuran diatas. Cara membaca jangka sorong untuk melihat hasil pengukurannya hanya dibutuhkan dua langkah pembacaan:

1. Membaca skala utama: Lihat gambar diatas, 21 mm atau 2,1 cm (garis merah) merupakan angka yang paling dekat dengan garis nol pada skala vernier persis di sebelah kanannya. Jadi, skala utama yang terukur adalah 21 mm atau 2,1 cm.
2. Membaca skala vernier: Lihat gambar diatas dengan seksama, terdapat satu garis skala utama yang yang tepat bertemu dengan satu garis pada skala vernier. Pada gambar diatas, garis lurus tersebut merupakan angka 3 pada skala vernier. Jadi, skala vernier yang terukur adalah 0,3 mm atau 0,03 cm.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran akhir, tambahkan kedua nilai pengukuran diatas. Sehingga hasil pengukuran diatas sebesar $21 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 21,3 \text{ mm}$ atau 2,13 cm.

c) *Waterpass*

Waterpass merupakan sebuah alat modern yang bermanfaat dalam pembangunan beraneka ragam konstruksi. Alat ini digunakan untuk mengukur apakah posisi bangunan berada dalam keadaan sejajar baik itu vertikal maupun horizontal untuk menciptakan pijakan yang stabil. Untuk memastikan keakuratannya dapat ditentukan dengan adanya air yang terdapat pada alat. Lakukan pengecekan secara berkala agar tidak terjadi kesalahan dalam pengukuran.

Cara menggunakan *waterpass* adalah dengan membersihkan terlebih dahulu alat ini agar tidak ada debu dan kotoran yang menempel. Hal ini dimaksudkan agar tidak terkecoh saat membaca hasil pengukuran. Cara penggunaan *waterpass*

cukup mudah dengan meletakkan alat ini dengan posisi sejajar secara vertikal maupun horizontal pada benda yang diukur. Pegang alat dan tunggu sampai gelembung tidak lagi melakukan pergerakan. Perhatikan dengan seksama letak gelembung pada sisi tabung. Jika gelembung menunjukkan dua garis maka bidang yang diukur telah sejajar. Untuk pengukuran benda yang tinggi, sebaiknya anda menggunakan waterpass dengan ukuran 1 meter untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

d) Regulator Pneumatik

Regulator berfungsi untuk mengatur besarnya tekanan udara yang diinginkan dalam sistem pneumatik. Rata-rata tekanan yang digunakan sekitar 0,4 Mpa - 0,6 Mpa atau 4 bar – 6 bar. Regulator terletak ditengah antara *filter* dan *lubricator*.



Gambar 2.18. Regulator Pneumatik

Pada *pressure regulator*, terdapat beberapa bagian yang berperan sangat penting untuk mendukung fungsi dari regulator pneumatik yaitu:

1. *Head Regulator Unit*

Head regulator unit adalah bagian kepala dari regulator unit yang berfungsi untuk bagian masuknya angin *supply* dari *filter unit* untuk diteruskan ke

lubricator unit, bisa juga sebagai bagian penyambung dengan bagian unit lainnya seperti *filter unit* dan *lubricator unit* dan sebagai dudukan *pressure gauge* atau penunjuk tekanan angin yang masuk kesistem.

2. *Valve Adjuster Pressure Angin*

Valve adjuster pressure angin adalah sebagai penekan tekanan *supply* angin yang akan dipakai didalam sistem benda kerja. Adapun fungsi *valve adjuster pressure angin* untuk menaikkan *settingan pressure* atau tekanan *supply* angin yang akan digunakan pada sistem pneumatik benda kerja, kemudian untuk menurunkan *settingan pressure* atau tekanan *supply* angin yang akan di digunakan pada sistem pneumatik benda kerja dan bisa juga sebagai *lock* atau kunci untuk *settingan pressure* atau tekanan angin yang di butuhkan agar tidak terjadi perubahan *settingan pressure* angin dengan sendirinya.

3. *Pressure Gauge*

Pressure gauge adalah sebuah alat pengukur tekanan yang digunakan untuk mengukur tekanan suatu cairan atau gas dalam sebuah sistem tertentu. Alat ini biasanya terdiri dari sebuah meter yang menunjukkan besarnya tekanan dalam satuan psi (*pound per square inch*) atau bar. *Pressure gauge* digunakan pada berbagai aplikasi seperti dalam industri, kendaraan bermotor, dan peralatan rumah tangga untuk mengukur tekanan pada sistem fluida atau gas, seperti tekanan ban, tekanan oli, tekanan udara, dan lain sebagainya.

Fungsi *pressure gauge* adalah untuk mengukur tekanan cairan atau gas dalam sebuah sistem tertentu. Alat ini memberikan informasi yang penting dalam mengoperasikan peralatan dan mesin industri, kendaraan bermotor, peralatan

rumah tangga, dan sistem lainnya yang menggunakan fluida atau gas. Dengan menggunakan *pressure gauge*, pengguna dapat memantau tekanan pada sistem dan mengetahui apakah tekanan yang dihasilkan sudah sesuai dengan spesifikasi dan aman untuk dioperasikan.

Cara kerja *pressure gauge* cukup sederhana. Alat ini bekerja dengan menggunakan prinsip gaya dan tekanan fluida. Ketika fluida (baik cairan atau gas) mengalir melalui pipa atau tabung, tekanan fluida tersebut akan membuat pergerakan pada sebuah elemen pemindah, yang kemudian ditransmisikan ke indikator atau penunjuk pada *pressure gauge*. Di dalam *pressure gauge* terdapat sebuah elemen pemindah yang berupa sebuah tabung atau diafragma yang berisi cairan atau gas tertentu, yang kemudian terhubung dengan pipa atau tabung yang mengalirkan fluida dari sistem yang akan diukur tekanannya. Ketika fluida mengalir melalui pipa atau tabung, tekanan tersebut akan membuat pergerakan pada elemen pemindah tersebut, yang kemudian ditransmisikan melalui sebuah penghubung atau spindle ke indikator atau penunjuk pada *pressure gauge*.

2.7 Perhitungan Mesin *Plastic Injection Molding Vertical Sistem Pneumatik*

2.7.1 Perhitungan Massa Plastik

Massa adalah jumlah partikel yang terkandung dalam suatu zat atau benda. Volume merupakan perhitungan seberapa banyak ruang yang bisa ditempati dalam satu objek. Massa jenis (densitas atau kerapatan) adalah pengukuran massa tiap satuan volume benda atau perbandingan antara massa dengan volume benda. Jika semakin tinggi massa jenis suatu benda maka semakin besar massa setiap

volumenya. Secara teoritis untuk menentukan massa benda dapat ditentukan jika volume benda dan massa jenis benda telah diketahui.

Secara umum rumus untuk menentukan massa jenis adalah sebagai berikut (Yulianto dkk, 2014):

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

$$\rho = \text{Massa jenis} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$m = \text{Massa} \quad (\text{g})$$

$$V = \text{Volume} \quad (\text{cm}^3)$$

Berdasarkan persamaan (2.1) maka secara teoritis untuk menghitung massa plastik yang akan dimasukkan kedalam *hopper* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$m_{plastik} = \rho_{plastik} \times V_{plastik} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

$$V_{plastik} = \text{Volume plastik} \quad (\text{cm}^3)$$

$$m_{plastik} = \text{Massa plastik} \quad (\text{g})$$

$$\rho_{plastik} = \text{Massa jenis plastik} \quad (\text{g/cm}^3)$$

2.7.2 Perhitungan Tekanan Injeksi Mesin *Injection Molding Vertical*

Tekanan adalah besarnya gaya yang bekerja pada setiap satuan luas. Untuk mengetahui tekanan injeksi pada mesin maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dari *Hukum Bernoulli*.

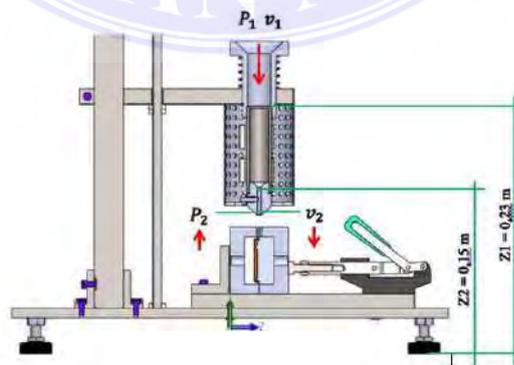
Hukum Bernoulli sebenarnya adalah hukum tentang energi mekanik yang diterapkan pada fluida bergerak. Dimana *hukum Bernoulli* membicarakan

hubungan antara tekanan, kelajuan aliran air, dan ketinggian fluida tersebut untuk massa jenis yang tetap. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah tekanan, serta energi kinetis persatuan volume dan energi potensial persatuan volume mempunyai nilai yang sama disetiap titik sepanjang aliran. Untuk mengetahui tekanan injeksi pada mesin maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.3 berikut (Adhianto dkk 2017):

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

- P_1 = Tekanan pada titik acuan 1 (N/cm²)
- P_2 = Tekanan pada titik acuan 2 (N/cm²)
- v_1 = Kecepatan aliran pada titik acuan 1 (cm/s)
- v_2 = Kecepatan aliran pada titik acuan 2 (cm/s)
- h_1 = Ketinggian titik acuan 1 (cm)
- h_2 = Ketinggian titik acuan 2 (cm)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/cm³)
- g = Percepatan gravitasi (cm/s²)



Gambar 2.19. Hukum Bernoulli pada Barrel dan Nozzle

Untuk menghitung kecepatan aliran pada penampang *barrel* dan *nozzle* dapat ditentukan menggunakan persamaan kontinuitas berikut (Kusrini, 2020):

$$Q_1 = Q_2 \dots\dots\dots(2.4)$$

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana :

$$Q_1 = \text{Debit pada penampang besar (barrel)} \quad (\text{cm}^3/\text{s})$$

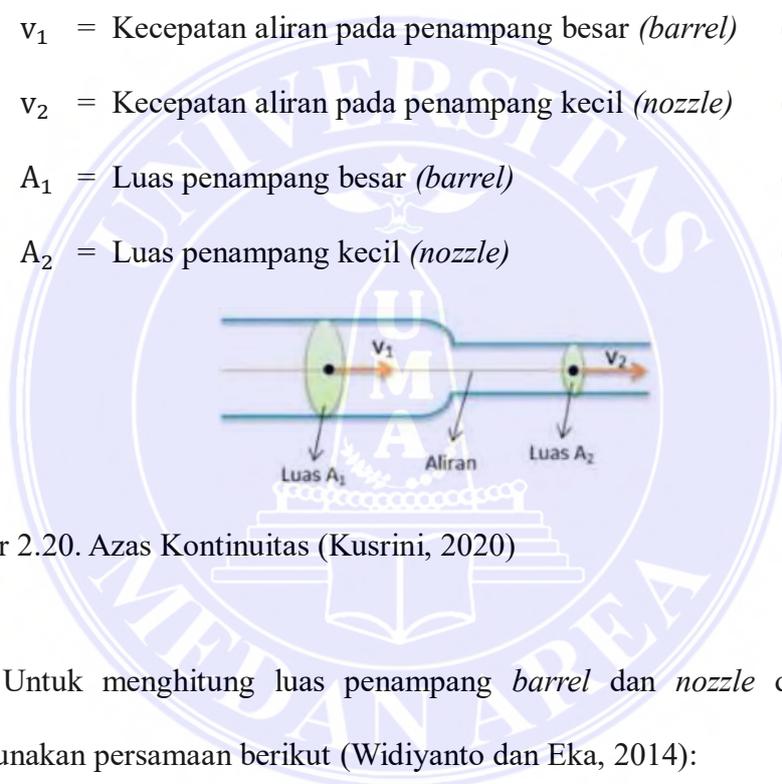
$$Q_2 = \text{Debit pada penampang kecil (nozzle)} \quad (\text{cm}^3/\text{s})$$

$$v_1 = \text{Kecepatan aliran pada penampang besar (barrel)} \quad (\text{cm/s})$$

$$v_2 = \text{Kecepatan aliran pada penampang kecil (nozzle)} \quad (\text{cm/s})$$

$$A_1 = \text{Luas penampang besar (barrel)} \quad (\text{cm}^2)$$

$$A_2 = \text{Luas penampang kecil (nozzle)} \quad (\text{cm}^2)$$



Gambar 2.20. Azas Kontinuitas (Kusrini, 2020)

Untuk menghitung luas penampang *barrel* dan *nozzle* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Widiyanto dan Eka, 2014):

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

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

$$d = \text{Diameter penampang} \quad (\text{cm})$$

$$\pi = \text{pi} : 3,14$$

Setelah diperoleh tekanan pada titik acuan 1 (*barrel*), maka untuk menentukan gaya yang dibutuhkan untuk mendorong atau menekan material

plastik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Adhianto ddk, 2017):

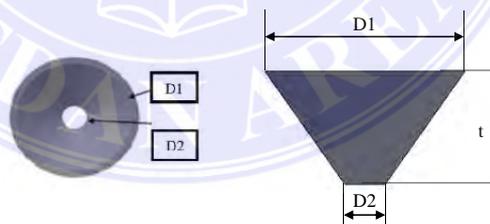
$$F = P_1 \times A_{barrel} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

- F = Gaya (N)
- P₁ = Tekanan pada titik acuan 1 (N/cm²)
- A_{barrel} = Luas penampang barrel (cm²)

2.7.3 Perhitungan Volume Hopper

Volume adalah perhitungan seberapa banyak ruang yang bisa ditempati dalam satu objek. Tujuan dari menghitung volume *hopper* adalah memastikan bahwa volume yang direncanakan oleh rancangan sudah sesuai dengan volume cetakan yaitu 300 cm³. Untuk menghitung volume *hopper* dapat menggunakan rumus dari bangun ruang yaitu volume kerucut terpancung dengan persamaan 2.8 berikut :



Gambar 2.21. Volume Hopper

$$V_{hopper} = \frac{1}{3} \times \pi \times t_{hopper} \times \{Rr + (R)^2 + (r)^2\} \dots\dots\dots(2.8)$$

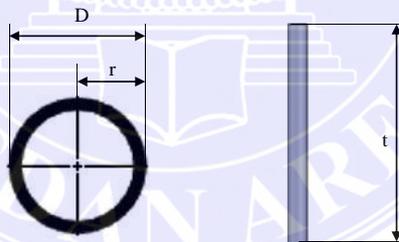
dimana:

$$V_{hopper} = \text{Volume } hopper \quad (\text{cm}^3)$$

- R_{hopper} = Jari-jari besar *hopper* (cm)
- r_{hopper} = Jari-jari kecil *hopper* (cm)
- t_{hopper} = tinggi *hopper* (cm)
- π = 3,14

2.7.4 Perhitungan Volume *Barrel*

Volume adalah perhitungan seberapa banyak ruang yang bisa ditempati dalam satu objek. Tujuan dari menghitung volume *barrel* adalah memastikan bahwa volume yang direncanakan oleh rancangan sudah sesuai. Untuk menghitung ukuran ataupun volume dari *barrel* dapat menggunakan gabungan dari ukuran tabung sebagai volume pertama dan ukuran kerucut terpancung sebagai volume kedua. Untuk menghitung volume pertama *barrel* dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:



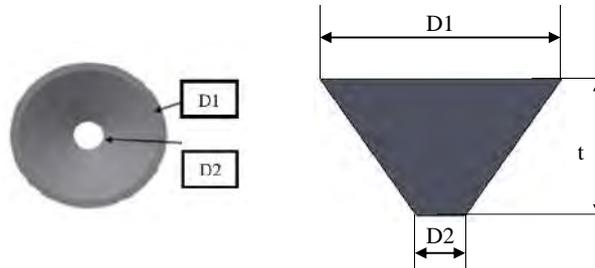
Gambar 2.22. Volume pertama *barrel*

$$Volume\ 1_{barrel} = \pi \times r_{barrel}^2 \times t1_{barrel} \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana:

- $Volume\ barrel$ = Volume tabung (cm³)
- r_{barrel} = Jari-jari tabung (cm)
- $t1_{barrel}$ = Tinggi tabung (cm)

Untuk menghitung volume kedua *barrel* dengan menggunakan persamaan berikut:



Gambar 2.23. Volume kedua *barrel*

$$Volume\ 2_{barrel} = \frac{1}{3} \times \pi \times t_{2barrel} \times \{Rr + (R)^2 + (r)^2\} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana:

- $Volume\ 2_{barel}$ = Volume 2 *barrel* (cm³)
- R_{barrel} = Jari-jari besar *barrel* (cm)
- r_{barrel} = Jari-jari kecil *barrel* (cm)
- $t_{2barrel}$ = tinggi *barrel* (cm)
- π = 3,14

Untuk menentukan volume keseluruhan dari *barrel* diperoleh dengan menambahkan persamaan 2.9 dengan persamaan 2.10 sebagai berikut :

$$V_{total\ barrel} = Volume\ 1_{barrel} + Volume\ 2_{barrel} \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana :

- $V_{total\ barrel}$ = Volume total *barrel* (cm³)
- $V1_{barrel}$ = Volume 1 *barrel* (cm³)
- $V2_{barrel}$ = Volume 2 *barrel* (cm³)

2.7.5 Perhitungan Volume Nozzle

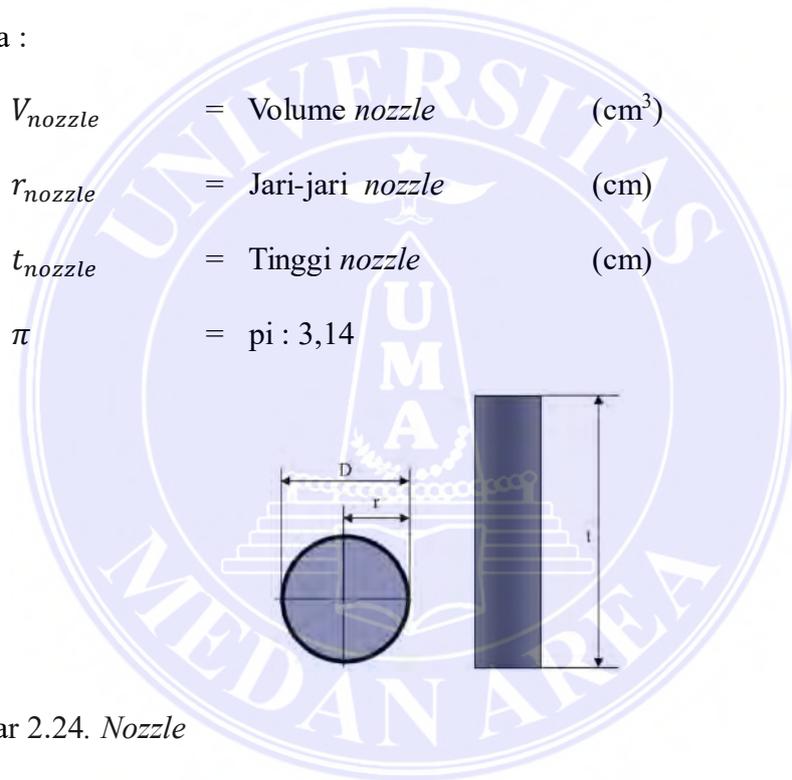
Nozzle merupakan bagian dari mesin yang berfungsi sebagai lubang keluarnya plastik cair yang telah dilelehkan di dalam *barrel*. Untuk menghitung volume *nozzle* dapat menggunakan rumus dari volume tabung dengan menggunakan persamaan 2.12 berikut:

Volume *nozzle* :

$$V_{nozzle} = \pi \times r_{nozzle}^2 \times t_{nozzle} \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana :

- V_{nozzle} = Volume *nozzle* (cm³)
- r_{nozzle} = Jari-jari *nozzle* (cm)
- t_{nozzle} = Tinggi *nozzle* (cm)
- π = pi : 3,14



Gambar 2.24. *Nozzle*

2.7.6 Perhitungan *Injector*

Injector merupakan bagian dari mesin yang berfungsi untuk mendorong plastik cair yang terdapat di dalam *barrel* keluar melalui *nozzle*. *Injector* akan dipasangkan pada batang piston silinder pneumatik. Untuk menentukan ukuran ataupun volume dari *injector* dapat menggunakan gabungan dari ukuran tabung sebagai volume pertama dan ukuran kerucut sebagai volume kedua. Untuk

menentukan volume 1 atau bagian yang sama dengan *barrel* pada *injector* dapat menggunakan persamaan 2.13 berikut (Alfara dkk, 2020) :

$$V1_{injector} = \pi \times r_{injector}^2 \times t_{injector} \dots\dots\dots(2.13)$$

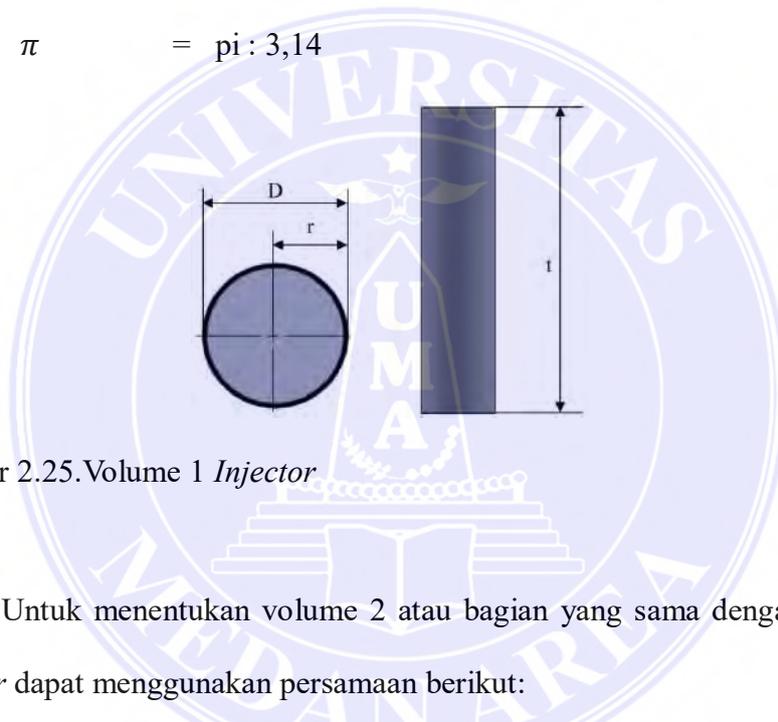
dimana :

$$V1_{injector} = \text{Volume 1 injector} \quad (\text{cm}^3)$$

$$r_{injector} = \text{Jari-jari penampang injector} \quad (\text{cm})$$

$$t_{injector} = \text{Tinggi injector} \quad (\text{cm})$$

$$\pi = \text{pi} : 3,14$$



Gambar 2.25. Volume 1 *Injector*

Untuk menentukan volume 2 atau bagian yang sama dengan *nozzle* pada *injector* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$V2_{injector} = \frac{1}{3} \times \pi \times t2_{injector} \times \{Rr + (R)^2 + (r)^2\} \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

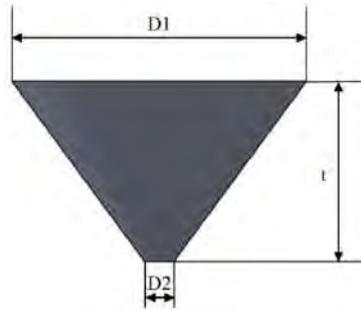
$$V2_{injector} = \text{Volume 2 injector} \quad (\text{cm}^3)$$

$$R = \text{Jari-jari besar injector} \quad (\text{cm})$$

$$r = \text{Jari-jari kecil injector} \quad (\text{cm})$$

$$t2_{injector} = \text{tinggi injector} \quad (\text{cm})$$

$$\pi = \text{pi} : 3,14$$



Gambar 2.26. Volume 2 *Injector*

Untuk menentukan volume keseluruhan dari *injector* diperoleh dengan menambahkan persamaan 2.13 dengan persamaan 2.14 sebagai berikut :

$$V_{total\,injector} = V1_{injector} + V2_{injector} \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana :

- $V_{total\,injector}$ = Volume total *injector* (cm³)
- $V1_{injector}$ = Volume 1 *injector* (cm³)
- $V2_{injector}$ = Volume 2 *injector* (cm³)

2.7.7 Perhitungan *Band Heater*

Band heater element merupakan bagian dari komponen mesin yang digunakan untuk memanaskan dan melelehkan material plastik yang terdapat di dalam *barrel*. Untuk menentukan daya yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan 2.16 berikut (Rinanto 2012):

$$P_{heater} = \frac{m_{barrel} \cdot c_{barrel} \cdot \Delta T}{t \cdot \eta} \dots\dots\dots(2.16)$$

Perubahan suhu:

$$\Delta T = T - T_s \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana:

$$P_{heater} = \text{Daya heater} \quad (\text{watt})$$

$$m_{barrel} = \text{Massa barrel} \quad (\text{g})$$

$$C_{barrel} = \text{Kalor jenis barrel} \quad (\text{J/g}^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = \text{Perubahan temperatur} \quad (^\circ\text{C})$$

$$T = \text{Temperatur yang diinginkan} \quad (^\circ\text{C})$$

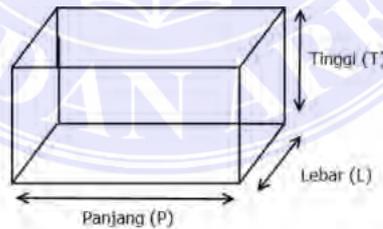
$$T_s = \text{Temperatur lingkungan} \quad (^\circ\text{C})$$

$$t = \text{Waktu pemanasan} \quad (\text{s})$$

$$\eta = \text{Efisiensi: } 0,1-0,5$$

2.7.8 Perhitungan Volume Cetakan

Cetakan adalah alat atau perangkat yang digunakan dalam proses manufaktur untuk membentuk produk dari bahan plastik cair. Untuk menghitung volume cetakan maka dapat digunakan rumus volume balok karena cetakan berbentuk balok dalam persamaan berikut:



Gambar 2.27. Volume Balok

$$\text{Volume Cetakan} = p \times l \times t \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

$$p = \text{panjang} \quad (\text{cm}^3)$$

$$l = \text{lebar} \quad (\text{cm}^3)$$

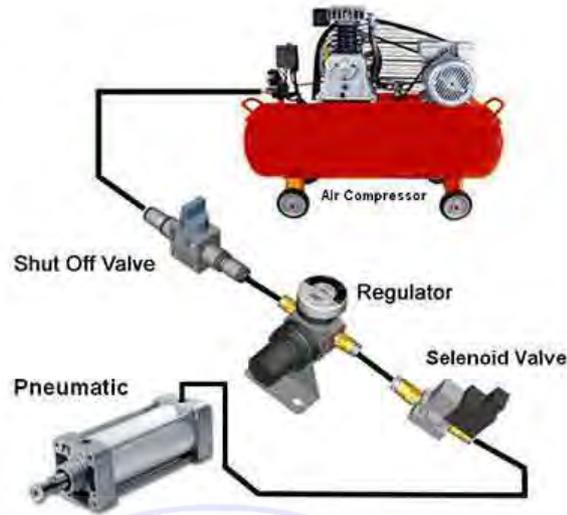
$$t = \text{tinggi} \quad (\text{cm}^3)$$

2.8 Sistem Pneumatik

Kata pneumatik berasal dari bahasa Yunani yang berarti udara atau angin. Sistem pneumatik adalah sistem yang menggunakan tenaga yang disimpan dalam bentuk udara yang dimampatkan untuk menghasilkan suatu kerja. Sistem kontrol pneumatik merupakan bagian pokok sistem pengendalian yang menjadikan sistem pneumatik dapat bekerja secara otomatis.

Cara kerja sistem pneumatik adalah kompresor diaktifkan dengan cara menghidupkan penggerak awal umumnya motor listrik. Udara akan disedot oleh kompresor kemudian ditekan ke dalam tangki udara hingga mencapai tekanan beberapa bar. Untuk menyalurkan udara bertekanan ke seluruh sistem (sirkuit pneumatik) diperlukan unit pelayanan atau *service unit* yang terdiri dari penyaring (*filter*), katup kran (*shut off valve*) dan pengatur tekanan (*regulator*). *Service unit* ini diperlukan karena udara bertekanan yang diperlukan di dalam sirkuit pneumatik harus benar-benar bersih, tekanan operasional pada umumnya hanyalah sekitar 6 bar.

Selanjutnya udara bertekanan disalurkan dengan bekerjanya *solenoid valve pneumatic* ketika mendapat tegangan input pada kumparan dan menarik *plunger* sehingga udara bertekanan keluar dari *outlet port* melalui selang elastis menuju katup pneumatik (katup pengarah/*inlet port pneumatic*). Udara bertekanan yang masuk akan mengisi tabung pneumatik (silinder pneumatik kerja tunggal) dan membuat piston bergerak maju dan udara bertekanan tersebut terus mendorong piston dan akan berhenti di lubang *outlet port pneumatic* atau batas dorong piston (Wirawan Sumbodo dkk 2008).



Gambar 2.28. Sistem Pneumatik

Pneumatik terdiri dari beberapa komponen antara lain (Wirawan Sumbodo dkk 2008):

a) Aktuator Pneumatik

Aktuator pneumatik adalah perangkat mekanis yang menggunakan kekuatan udara bertekanan (udara yang terkompresi) agar dapat menghasilkan kekuatan dalam gerakan bolak-balik piston secara linier (gerakan keluar-masuk). Tenaga udara bertekanan dari kompresor diubah menjadi gerakan lurus oleh silinder pneumatik. Besarnya tenaga yang didapat tergantung pada besarnya tekanan, luas penampang silinder, serta gesekan yang timbul antara dinding dalam dengan batang toraknya. Ada dua *actuator* pneumatik yaitu silinder kerja tunggal (*Single Acting Cylinder*) dan silinder kerja ganda (*Double Acting Cylinder*).

b) Katup *Control Solenoid*

Katup merupakan komponen-komponen sinyal dan kontrol yang menggunakan rangkaian atau urutan operasi dari bagian kerja. Penggunaan katup dalam pneumatik yaitu untuk mengontrol tekanan, kecepatan aliran dan

untuk mengatur arah aliran udara dalam sirkuit pneumatik. Katup *control* berfungsi untuk mengatur arah udara kempa yang akan bekerja menggerakkan aktuator. Katup *solenoid* terdiri dari beberapa jenis, pemberian nama dari setiap jenis berdasarkan pada jumlah lubang/saluran kerja (*port*), jumlah posisi kerja, jenis penggerak katup dan nama tambahan lain sesuai dengan karakteristik katup. Jenis-jenis katup *solenoid* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Jenis-jenis katup *control solenoid*

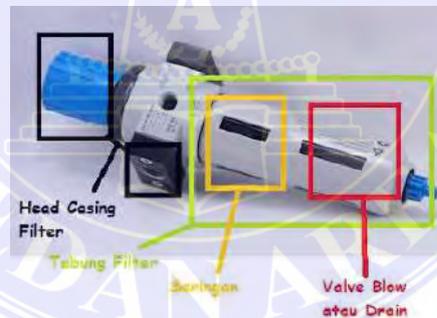
Jenis Katup	Keterangan	Simbol
Katup 2/2	<ul style="list-style-type: none"> – Mempunyai 2 saluran udara (masukan dan keluaran) dan 2 perubahan posisi kerja. – Saluran keluaran tertutup, pada posisi normal tertutup, tidak ada aliran yang keluar . – Pada posisi normal terbuka, ada aliran udara yang keluar. 	
Katup 3/2	<ul style="list-style-type: none"> – Mempunyai 3 saluran udara (masukan, keluaran, dan pembuangan) dan ada 2 perubahan posisi kerja. – Pada posisi normal, tidak ada aliran udara yang keluar. – Pada posisi normal, ada aliran udara yang keluar. 	
Katup 4/2	<ul style="list-style-type: none"> – Mempunyai 4 saluran udara (masukan, keluaran, dan 1 pembuangan) dan 2 perubahan posisi kerja. 	
Katup 5/2	<ul style="list-style-type: none"> – Mempunyai 5 saluran udara (masukan, keluaran, dan 2 pembuangan) dan 2 perubahan posisi kerja. 	

c) *Filter Regulator Lubricator (FRL)*

FRL adalah salah satu alat dari sistem pneumatik yang berfungsi untuk menjaga kualitas udara bertekanan yang digunakan pada sistem pneumatik. Ada 3 (tiga) elemen didalam FRL adalah:

1. *Air filter*

Air filter berfungsi untuk menyaring partikel-partikel seperti debu, minyak atau partikel lainnya yang terdapat diudara. Udara diatmosfir yang dikempa oleh kompresor mengandung benda-benda pengotor seperti debu, oli residu, uap basah, dan butiran-butiran halus lainnya. Apabila udara ditekan dengan kompresor, udara kompresi tersebut akan mengandung sejumlah pengotor atau cemaran. Jika partikel-partikel kecil tersebut masuk ke dalam peralatan pneumatik maka dapat menyebabkan kerusakan pada komponen-komponen pneumatik.



Gambar 2.29. *Air Filter*

Pada *air filter* terdapat beberapa *part* yang berperan penting untuk menyaring partikel – partikel asing, yaitu:

a. *Head Casing Filter*

Head casing filter sebagai kepala dari pada *filter unit* yang berfungsi sebagai *part input supply* angin utama yang menuju ke regulator unit.

b. Tabung *Filter*

Tabung *filter* adalah pelindung dari *filter unit* yang berfungsi sebagai penampung benda asing atau kotoran seperti air dan debu yang masuk ke sela-sela *filter unit*, bisa juga sebagai pelindung pada saringan atau *filter* dan untuk tempat *valve blow* atau *drain* penyaringan benda asing yang akan masuk ke *filter unit*.

c. *Filter* (Saringan)

Filter adalah *part* yang berbentuk saringan berpoti – pori halus yang bertugas sebagai penyaring benda asing yang masuk ke *filter unit* yang ikut terbawa oleh sirkulasi angin dan bisa juga sebagai tempat mengendapnya kotoran yang tersaring di *filter unit*.

d. *Valve Blow* atau *Drain*

Valve blow atau *drain* merupakan *valve* sebagai pintu *blow drain* pada *filter unit* yang berfungsi sebagai pembuang benda asing atau kotoran yang tersaring di *filter unit* tersebut, bisa juga digunakan untuk membuang angin yang tercampur dengan air yang sudah masuk ke sirkulasi pneumatik dan untuk membuang atau *mengeblow* sisa tekanan angin yang masih di instalasi benda kerja.

2. *Pressure regulator*

Pressure regulator berfungsi untuk mengatur tekanan udara yang didistribusikan ke bagian kontrol dan kerja yang biasanya dipasang secara bersatu dengan penyaring udara. Tekanan udara yang keluar dari kompresor masih mempunyai tekanan yang lebih tinggi dari pada tekanan yang didapat pada bagian-bagian kontrol atau bagian kerjanya. Setelah udara keluar dari saringan

kemudian masuk pada regulator untuk diatur tekanannya sampai pada batas tertentu. Suatu sistem yang menggunakan tekanan harus mempunyai alat yang bisa mengukur tekanan yang dipakai untuk menjalankan sistem tersebut. Alat yang digunakan untuk mengukur tekanan baik tekanan dari kompresor atau tekanan sistem adalah *pressure gauge*.



Gambar 2.30. Regulator

Pada *pressure regulator*, terdapat beberapa bagian yang berperan sangat penting untuk mendukung fungsi dari regulator pneumatik yaitu:

a) *Head Regulator Unit*

Head regulator unit adalah bagian kepala dari regulator unit yang berfungsi untuk bagian masuknya angin *supply* dari *filter unit* untuk diteruskan ke *lubricator unit*.

b) *Valve Adjuster Pressure Angin*

Valve adjuster pressure angin adalah sebagai penekan tekanan *supply* angin yang akan dipakai didalam sistem benda kerja. Adapun fungsi *valve adjuster pressure angin* untuk menaikkan *settingan pressure* atau tekanan *supply* angin yang akan digunakan pada sistem pneumatik benda kerja, kemudian untuk menurunkan *settingan pressure* atau tekanan *supply* angin yang akan digunakan

pada sistem pneumatik benda kerja dan bisa juga sebagai *lock* atau kunci untuk *settingan pressure* atau tekanan angin yang di butuhkan agar tidak terjadi perubahan *settingan pressure* angin dengan sendirinya.

c) *Pressure Gauge*

Pressure gauge adalah alat penunjuk besaran atau tekanan angin yang masuk keinstalasi pneumatik benda kerja.

3. *Lubricator*

Lubricator adalah bagian dari FRL yang berfungsi sebagai media lubrikasi atau sebagai wadah oli pelumas yang akan bercampur dengan *pressure* angin yang masuk ke unit pneumatik bagian-bagian yang bergerak dan menimbulkan gesekan memerlukan pelumas. Untuk menjamin supaya bagian-bagian yang bergesekan pada perlengkapan tersebut dapat bekerja dan dipakai secara terus menerus, maka harus memberikan pelumas yang cukup. Jumlah tertentu dari minyak pelumas ditambahkan kedalam udara bertekanan dengan menggunakan perangkat pelumasan.



Gambar 2.31. *Lubricator*

Pada *lubricator* terdapat beberapa bagian yaitu:

a. *Head Lubricator*

Head lubricator adalah sebagai kepala dari *lubricator* yang berfungsi masuknya angin *supply* dari regulator untuk di teruskan ke benda kerja pneumatik.

b. Tabung *Lubricator*

Tabung *lubricator* adalah tabung tempat oli lubrikasi yang berfungsi sebagai wadah cairan oli lubrikasi yang akan diteruskan untuk bercampur dengan *pressure supply* angin yang akan masuk ke pneumatik unit, bisa juga untuk melindungi oli lubrikasi agar tidak terjadinya kebocoran sistem dan untuk melindungi oli lubrikasi dari bercampurnya dengan debu atau kotoran dari area bebas.

c. Selang Penyalur Oli *lubricator*

Selang penyalur oli *lubricator* adalah bagian penyalur oli *lubricator* ke *pipping* pneumatik unit yang berfungsi sebagai jalur atau jalannya oli *lubricator* untuk menuju *pipping* pneumatik unit dan bisa juga untuk meneruskan oli *lubricator* yang terbawa *pressure* atau tekanan *supply* angin ke *pipping* pneumatik unit.

d) Kompresor Udara

Kompresor merupakan alat untuk mengompresi udara atau dengan kata lain kompresor adalah suatu alat yang menghasilkan udara bertekanan karena pada proses kompresi udara mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan tekanan udara lingkungan. Pneumatik bekerja dengan memanfaatkan udara yang dimampatkan (*Compressed Air*). Dalam hal ini, udara yang dimampatkan akan didistribusikan kepada sistem yang ada sehingga kapasitas sistem terpenuhi.

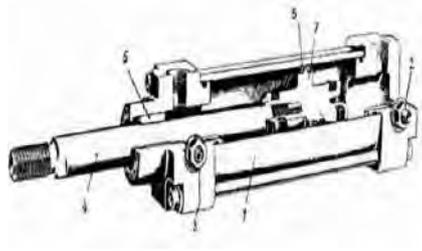
Untuk menghasilkan udara yang dimampatkan, maka dibutuhkan kompresor untuk memadatkan udara sampai pada tekanan kerja yang diinginkan. Cara kerja dari kompresor adalah jika piston pompa ditarik keatas, tekanan di bawah silinder akan turun sampai di bawah tekanan atmosfer sehingga udara akan masuk melalui celah katup hisap yang kendur. Setelah itu udara masuk, pompa kemudian torak turun kebawah dan menekan udara, sehingga volumenya menjadi kecil.

e) Konduktor dan Konektor

Konduktor dan konektor adalah komponen yang menyalurkan udara bertekanan menuju komponen pendukung pneumatik sampai ke *actuator* sehingga menjadi satu rangkaian pneumatik. Konduktor berfungsi untuk menyalurkan udara bertekanan yang akan membawa/mentransfer tenaga ke *actuator*, sedangkan konektor berfungsi untuk menyambungkan atau menjepit konduktor (selang atau pipa) agar tersambung erat pada bodi komponen pneumatik. Bentuk ataupun macamnya disesuaikan dengan konduktor yang digunakan.

2.9 Silinder Kerja Ganda (*Double Acting Cylinder*)

Silinder ini sama dengan silinder kerja tunggal, tetapi tidak mempunyai pegas pengembali. Silinder pneumatik ganda mempunyai dua saluran (saluran masukan dan saluran pembuangan). Silinder pneumatik ini terdiri dari tabung silinder dan penutupnya, piston dengan *seal*, batang piston, bantalan, *ring* pengikis dan bagian penyambungan. Gambar konstruksi dari silinder kerja ganda dapat dilihat pada Gambar 2.32 berikut :



Gambar 2.32. Konstruksi Silinder Kerja Ganda

Keterangan:

1. Batang/rumah silinder
2. Saluran masuk
3. Saluran keluar
4. Batang piston
5. *Seal*
6. *Bearing*
7. Piston

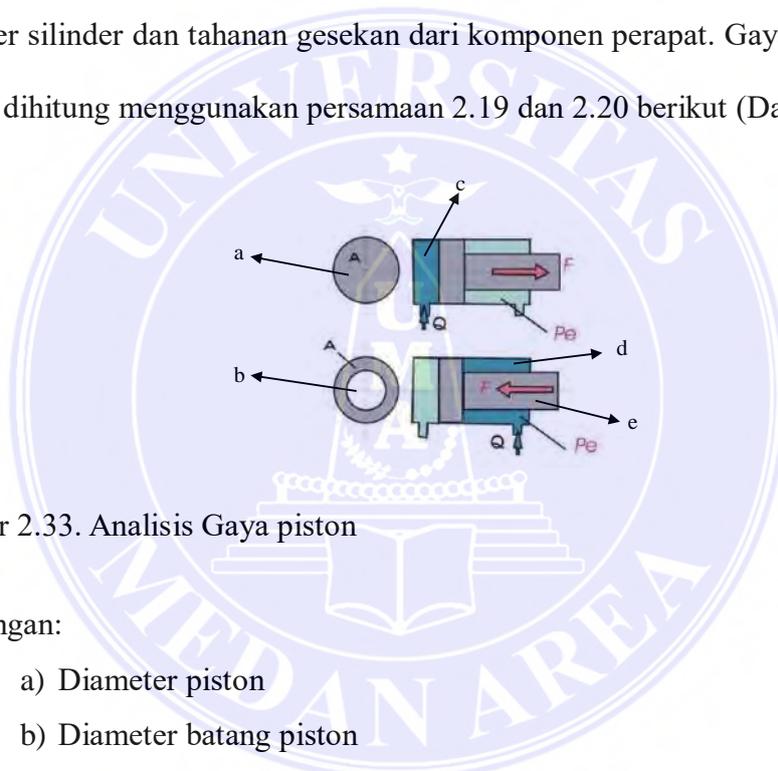
Prinsip kerja pada silinder pneumatik ganda adalah dengan memberikan udara bertekanan pada satu sisi permukaan piston (arah maju), sedangkan sisi yang lain (arah mundur) terbuka ke atmosfer, maka gaya diberikan pada sisi permukaan piston tersebut sehingga batang piston akan terdorong keluar sampai mencapai posisi maksimum dan berhenti. Gerakan silinder kembali masuk, diberikan oleh gaya pada sisi permukaan batang piston (arah mundur) dan sisi permukaan piston (arah maju) udaranya terbuka ke atmosfer. Silinder kerja ganda memiliki kelebihan sebagai berikut :

- a. Lebih banyak kontrol atas gerakan karena udara bertekanan bergerak dua arah.
- b. Lebih cepat, lebih kuat dan menggunakan lebih sedikit energi.

2.10 Perhitungan Silinder Pneumatik

a) Gaya Piston

Gaya piston yang dihasilkan oleh silinder bergantung pada tekanan udara, diameter silinder dan tahanan gesekan dari komponen perapat. Gaya piston secara teoritis dihitung menggunakan persamaan 2.19 dan 2.20 berikut (Darto 2015):



Gambar 2.33. Analisis Gaya piston

Keterangan:

- a) Diameter piston
- b) Diameter batang piston
- c) Kapasitas udara saat piston maju
- d) Kapasitas udara saat piston mundur
- e) Batang piston

Untuk silinder kerja ganda (*Double Acting Cylinder*)

$$F = A \times P \dots\dots\dots(2.19)$$

Langkah maju:

$$F_{maju} = D_{piston}^2 \times \frac{\pi}{4} \times P_e \times \mu \dots\dots\dots(2.20)$$

Langkah mundur:

$$F_{mundur} = (D_{piston}^2 - d_{batang piston}^2) \times \frac{\pi}{4} \times P_e \times \mu \dots\dots\dots(2.21)$$

dimana :

- F_{maju} = Gaya piston langkah maju (N)
- F_{mundur} = Gaya piston langkah mundur (N)
- D_{piston} = Diameter piston (cm)
- $d_{batang piston}$ = Diameter batang piston (cm)
- A = Luas penampang piston (cm²)
- P_e = Tekanan udara kerja (N/cm²)
- μ = Koefisien Tekanan Beban Dorong

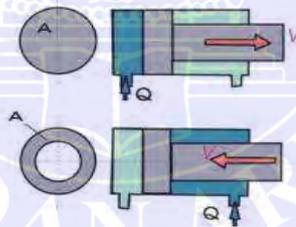
Dalam sistem pneumatik, untuk tekanan kerja yang umum digunakan adalah 6-12 bar (Arif dkk 2018). Silinder pneumatik tahan terhadap beban lebih. Silinder pneumatik dapat dibebani lebih besar dari kapasitasnya. Beban yang tinggi menyebabkan silinder diam. Gaya piston silinder dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut (Syahril dan Hidayat 2018).

Tabel 2.2. Gaya piston silinder

No.	Diameter			Tekanan Kerja (bar)						
	Piston (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	6	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
2.	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.	16	2	5	6	8	10	12	14	16	18
4.	25	4	9	13	17	21	24	30	34	38
5.	35	8	17	26	35	43	52	61	70	78
6.	40	12	24	36	48	60	72	84	96	108
7.	50	17	35	53	71	88	106	124	142	159
8.	70	34	69	104	139	173	208	243	278	312
9.	100	70	141	212	283	353	424	495	566	636
10.	140	138	277	416	555	693	832	971	1110	1248
11.	200	283	566	850	1133	1416	1700	1983	2266	2550

b) Kebutuhan Udara

Pada tekanan kerja, diameter piston dan langkah tertentu, maka kebutuhan udara pada pneumatik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.21 dan 2.22 sebagai berikut (Darto 2015.) :



Gambar 2.34. Analisis Kebutuhan Udara

Langkah maju:

$$Q_{v1} = A_1 \times S \times n \times \frac{Pe+Patm}{Patm} \times 2 \dots \dots \dots (2.22)$$

Langkah mundur:

$$Q_{v2} = A_2 \times S \times n \times \frac{Pe+Patm}{Patm} \times 2 \dots \dots \dots (2.23)$$

dimana :

$$Q_{v1} = \text{Debit udara langkah maju} \quad (\text{cm}^3/\text{s})$$

- Q_{v2} = Debit udara langkah mundur (cm³/s)
- A_1 = Luas penampang piston (cm²)
- A_2 = Luas penampang batang piston (cm²)
- S = Panjang langkah piston (cm)
- P_e = Tekanan kerja (N/cm²)
- P_{atm} = Tekanan udara luar (N/cm²)
- n = Siklus kerja

c) Waktu Langkah

Waktu langkah piston merupakan waktu yang dibutuhkan piston untuk melakukan langkah maju dan mundur. Waktu langkah piston dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Darto, 2015):

Rumus menentukan kecepatan:

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana :

- v = Kecepatan (cm/s)
- s = Jarak (cm)
- t = Waktu (s)

Berdasarkan persamaan (2.24) maka diperoleh rumus untuk mencari waktu langkah piston sebagai berikut (Darto, 2015):

Langkah maju :

$$t_1 = \frac{S}{v_1} \dots\dots\dots(2.25)$$

Langkah mundur :

$$t_2 = \frac{S}{v_2} \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana :

$$t_1 = \text{Waktu langkah maju piston} \quad (\text{s})$$

$$t_2 = \text{Waktu langkah mundur piston} \quad (\text{s})$$

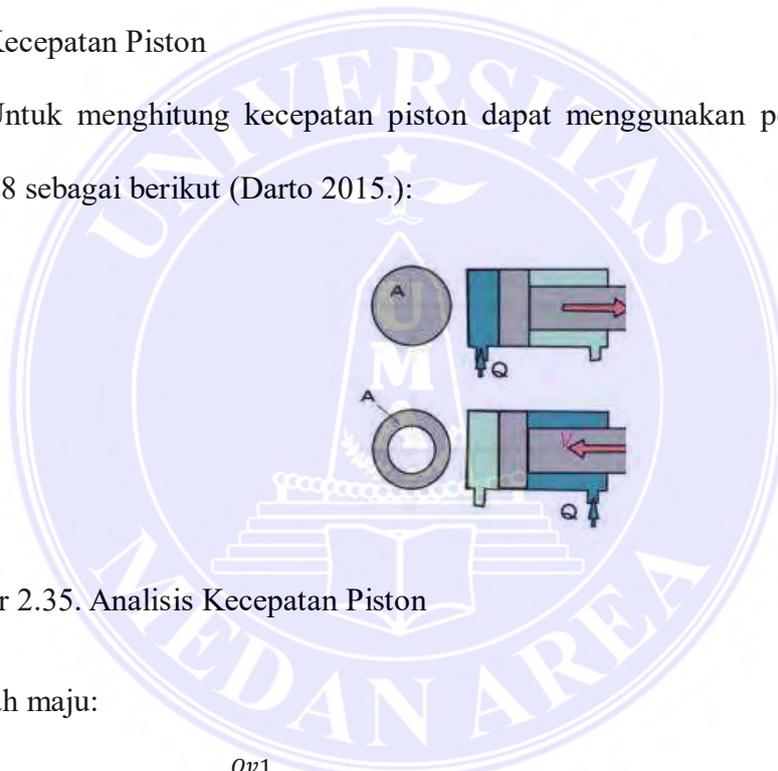
$$S = \text{Panjang langkah piston (stroke)} \quad (\text{cm})$$

$$v_1 = \text{Kecepatan piston langkah maju} \quad (\text{cm/s})$$

$$v_2 = \text{Kecepatan piston langkah mundur} \quad (\text{cm/s})$$

d) Kecepatan Piston

Untuk menghitung kecepatan piston dapat menggunakan persamaan 2.27 dan 2.28 sebagai berikut (Darto 2015.):



Gambar 2.35. Analisis Kecepatan Piston

Langkah maju:

$$v_1 = \frac{Qv_1}{A_1} \dots\dots\dots(2.27)$$

Langkah mundur:

$$v_2 = \frac{Qv_2}{A_2} \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana :

$$v_1 = \text{Kecepatan piston langkah maju} \quad (\text{cm/s})$$

$$v_2 = \text{Kecepatan piston langkah mundur} \quad (\text{cm/s})$$

$$Q_{v1} = \text{Debit udara langkah maju} \quad (\text{cm}^3/\text{s})$$

- Q_{v2} = Debit udara langkah maju (cm³/s)
- A_1 = Luas penampang piston (cm²)
- A_2 = Luas penampang batang piston (cm²)

2.11 Perhitungan Daya Kompresor

Untuk mengetahui daya kompresor yang digunakan maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.29 berikut (Darto 2015):

$$P_{output} = Q_v \cdot P_e \dots\dots\dots(2.29)$$

dimana:

- P_{output} = Daya kompresor (Watt)
- Q_v = Debit udara kompresor (cm³/s)
- P_e = Tekanan udara (N/cm²)

2.12 Pegas

Pegas merupakan gulungan lingkaran kawat yang digulung sedemikian rupa agar memiliki kelenturan. Didalam sebuah pegas terdapat gaya pemulih, yaitu gaya yang berlawanan dengan perpindahan sistem sehingga mendorong atau menarik sistem kembali pada posisi kesetimbangan. Sebuah gaya pemulih yang ditimbulkan oleh sebuah pegas ditentukan oleh *Hukum Hooke*.

Hukum Hooke adalah hukum atau ketentuan mengenai gaya dalam ilmu fisika yang terjadi karena sifat elastisitas dari sebuah pegas. Ukuran elastisitas sebuah pegas berbeda-beda sesuai dengan ukuran kekuatan pegas tersebut.

Konstanta pegas merupakan besarnya gaya yang diperlukan sehingga terjadi perubahan panjang pada pegas. Apabila suatu pegas dengan konstanta pegas

diberi beban, maka ujung pegas akan bergeser sepanjang x . Untuk menentukan konstanta pegas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Refiantoro dan Kurniawanti, 2022):

$$k = F \cdot \Delta x \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana:

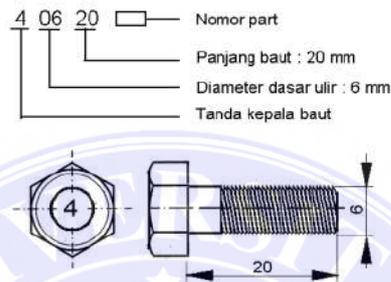
- k = Konstanta pegas (N/cm)
- F = Gaya tekan (N)
- Δx = Perubahan panjang pegas (cm)

2.13 Baut dan Mur

Suatu konstruksi mesin terdiri atas elemen-elemen mesin yang dirakit dan disatukan satu sama lainnya dengan cara disambung dan tersusun menjadi suatu mesin yang utuh. Salah satu bentuk sambungan elemen mesin tersebut adalah sambungan ulir. Sambungan ulir pada elemen mesin berfungsi sebagai sambungan sementara yaitu sambungan yang dapat dibuka dan dipasang kembali tanpa merusak elemen mesin itu sendiri atau alat penyambungannya. Sambungan ulir terdiri atas baut dan mur oleh karena itu sambungan ulir disebut juga dengan sambungan mur baut (Widiyanto dan Eka Yogaswara 2013).

Baut dan mur adalah pengikat yang sangat penting untuk menyambungkan dua benda atau lebih agar dapat mencegah kerusakan pada mesin. Bahan untuk baut dan mur biasanya baja carbon, baja konstruksi, atau baja Batangan. Sambungan mur baut banyak digunakan pada sambungan konstruksi mesin, konstruksi jembatan, konstruksi bangunan rangka baja, mesin *automotive* dan elemen-elemen mesin lainnya, hampir 90% dari suatu mesin disambung dengan

menggunakan ulir yaitu dengan menggunakan baut, sekrup dan mur. Salah satu jenis baut yang umum digunakan adalah baut dengan material baja karbon *grade* 8.8, dimana baut jenis ini memiliki tegangan tarik mencapai 800 Mpa (Allo dkk, 2022). Simbol baut dapat dilihat pada Gambar 2.36 berikut (Widiyanto dan Eka Yogaswara, 2013).



Gambar 2.36. Simbol Baut

Baut-baut yang digunakan untuk sambungan dengan beban tarik atau beban aksial, dimana arah gayanya searah dengan sumbu baut, dan daerah yang berbahaya yaitu kemungkinan baut itu putus adalah pada penampang yang mempunyai ukuran diameter terkecil yaitu pada penampang x-x seperti terlihat pada Gambar 2.37 berikut (Widiyanto dan EkaYogaswara 2013).



Gambar 2.37. Beban Tarik pada baut

Jika suatu baut mempunyai ukuran diameter dalam atau diameter terkecil d_1 mendapatkan gaya tarik akibat dari gaya aksial sebesar F maka tegangan tarik pada baut dapat dihitung dengan persamaan 2.31 berikut (Widiyanto dan Eka Yogaswara, 2013):

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.31)$$

Jika baut mempunyai ukuran diameter terkecil adalah d_1 , maka luas penampangnya dapat dihitung menggunakan persamaan 2.32 berikut:

$$A = \frac{\pi}{4} d_1^2 \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan memasukan persamaan 2.31, pada persamaaan 2.32, maka didapat persamaan 2.33 seperti berikut :

$$\sigma_t = \frac{4.F}{\pi d_1^2} \dots \dots \dots (2.33)$$

Untuk menentukan tegangan tarik yang diizinkan pada baut dapat menggunakan persamaan 2.34 berikut (Widiyanto dan Eka, 2014) :

$$\bar{\sigma}_t = \frac{\sigma_{t_{bahan}}}{sf} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana :

- σ_t = Tegangan tarik yang terjadi (N/cm²)
- $\bar{\sigma}_t$ = Tegangan tarik yang diizinkan (N/cm²)
- $\sigma_{t_{bahan}}$ = Tegangan tarik bahan (N/cm²)
- F = Beban yang diterima (N)
- A_{baut} = Luas penampang baut (cm²)
- d_1 = diameter terkecil (cm)
- sf = Faktor keamanan
- π = 3,14

Faktor keamanan dapat ditentukan berdasarkan jenis beban yang terjadi pada baut, apabila baut mengalami beban statis maka faktor keamanan yang digunakan berkisar 1,25 – 2 dan apabila baut mengalami beban dinamis maka faktor keamanan yang digunakan berkisar 2 – 2,5 (Mott dkk, 2018). Supaya baut tidak patah saat dibebani maksimum, hendaknya nilai tegangan tarik yang terjadi sama atau lebih kecil dari tegangan tarik yang diizinkan.

2.14 Konstruksi Mesin *Plastic Injection Molding Vertical* Sistem Pneumatik

Konstruksi merupakan suatu struktur desain atau model dari apa yang akan dibuat. Untuk itulah suatu konstruksi didesain sedemikian rupa, guna memenuhi tuntutan yang ditunjukkan pada produk itu sendiri. Pada desain rangka mesin *plastic injection molding vertical* ini dituntut memiliki konstruksi yang kuat dengan tujuan bisa menahan beban dan menopang bagian-bagian mesin lainnya.

a) Menghitung Tegangan Pelat Dudukan Komponen Mesin

Pelat dudukan komponen mesin digunakan sebagai dudukan beberapa komponen mesin *plastic injection molding vertical*. Pelat yang digunakan pada dudukan komponen mesin yaitu plat baja karbon ST 42. Dimana material ini memiliki kekuatan bending sebesar 1819.69 N/mm^2 (Johan dkk, 2023) serta baja karbon memiliki massa jenis sebesar $7,85 \text{ g/cm}^3$. Pada dudukan komponen mesin, harus dihitung tegangan yang terjadi pada plat tersebut, hal ini bertujuan agar pelat yang digunakan dapat menahan tegangan yang terjadi dan konstruksi mesin menjadi kokoh.

Pada pelat baja terjadi tegangan bending. Untuk menghitung tegangan bending pada pelat baja tersebut, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Pratama, 2020):

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \dots\dots\dots(2.35)$$

Untuk menentukan momen bending yang terjadi pada pelat baja dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Pratama, 2020) :

$$M_b = F \cdot e \dots\dots\dots(2.36)$$

Pada mesin ini plat baja yang digunakan memiliki penampang yang berbentuk persegi, sehingga untuk menentukan momen tahanan bending pada pelat baja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Pratama, 2020) :

$$W_b = \frac{1}{6} \cdot b h^2 \dots\dots\dots(2.37)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.35) kedalam persamaan (2.36) maka untuk menentukan tegangan bending pada pelat baja dapat menggunakan persamaan 2.38 berikut (Pratama, 2020) :

$$\sigma_b = \frac{6M_b}{b h^2} \dots\dots\dots(2.38)$$

Agar pelat tidak rusak saat dibebani maksimum, sebaiknya nilai tegangan bending yang terjadi sama atau lebih kecil dari tegangan bending yang diizinkan pada pelat atau dapat dituliskan sebagai $\sigma_b \leq \bar{\sigma}_b$. Untuk menentukan tegangan bending yang diizinkan pada pelat dapat menggunakan persamaan 2.39 berikut (Pratama, 2020) :

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\sigma_{bbahan}}{sf} \dots\dots\dots(2.39)$$

dimana :

σ_b	= Tegangan bending yang terjadi	(N/cm ²)
$\bar{\sigma}_b$	= Tegangan bending yang diizinkan	(N/cm ²)
σ_{bbahan}	= Kekuatan bending yang bahan	(N/cm ²)
M_b	= Momen bending	(Ncm)
W_b	= Momen tahanan bending	(cm ³)
F	= Gaya yang terjadi	(N)
e	= Lengan gaya	(cm)
b	= Lebar plat	(cm)
h	= Tebal plat	(cm)
sf	= Faktor keamanan	

Faktor keamanan dapat ditentukan berdasarkan jenis beban yang terjadi pada plat, apabila plat mengalami beban statis maka faktor keamanan yang digunakan berkisar 1,25 – 2 dan apabila plat mengalami beban dinamis maka faktor keamanan yang digunakan berkisar 2 – 2,5 (Mott dkk, 2018).

b) Menghitung Tegangan dan Ukuran Tiang Penyangga Rangka Mesin

Tiang penyangga mesin adalah bagian dari rangka mesin atau konstruksi mesin yang berfungsi sebagai penyangga dari komponen-komponen mesin. Tiang penyangga yang digunakan adalah silinder baja pejal atau as pejal ST 42, dimana material jenis ini memiliki nilai tegangan tarik sebesar 42 kg/mm² (Mahendra dkk, 2021). Pada tiang penyangga rangka mesin terjadi tegangan tekan. Tegangan tekan terjadi akibat pembebanan yang berasal dari silinder pneumatik, *control panel*, *solenoid valve*, *FRL (Filter Regulator Lubricator)*, dan pelat besi dudukan

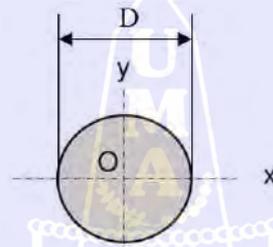
silinder pneumatik. Maka, harus dihitung tegangan tekan yang terjadi pada tiang penyangga agar tiang penyangga tersebut dapat menahan beban yang terjadi sehingga konstruksi mesin menjadi kokoh.

Untuk menghitung tegangan tekan pada tiang penyangga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.40 berikut (Irawan 2009):

$$\sigma_d = \frac{F}{A_{tiang}} \dots\dots\dots(2.40)$$

Untuk menghitung luas penampang yang berbentuk silinder baja pejal dapat menggunakan persamaan 2.41 berikut (Widiyanto dan Eka Yogaswara 2013):

$$A_{tiang} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{tiang}^2 \dots\dots\dots(2.41)$$



Gambar 2.38. Bentuk Penampang Silinder Berongga

Dengan memasukkan persamaan (2.40) ke dalam persamaan (2.41), maka untuk menghitung tegangan tekan izin dapat diperoleh persamaan 2.42 berikut:

$$\sigma_d = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_{tiang}^2} \dots\dots\dots(2.42)$$

Untuk menghitung tegangan tekan izin dari material dapat menggunakan persamaan 2.43 berikut (Irawan 2009):

$$\bar{\sigma}_d = \frac{\sigma_{dbahan}}{sf} \dots\dots\dots(2.43)$$

dimana:

σ_d	= Tegangan tekan	(N/cm ²)
F	= Gaya yang terjadi	(N)
$\bar{\sigma}_d$	= Tegangan tekan izin	(N/cm ²)
σ_{dbahan}	= Tegangan tekan maksimum	(N/cm ²)
A_{tiang}	= Luas penampang tiang	(cm)
d_{tiang}	= Diameter tiang	(cm)
sf	= Faktor keamanan	
π	= 3,14	

Faktor keamanan dapat ditentukan berdasarkan jenis beban yang terjadi pada tiang, apabila tiang mengalami beban statis maka faktor keamanan yang digunakan berkisar 1,25–2 dan apabila tiang mengalami beban dinamis maka faktor keamanan yang digunakan berkisar 2–2,5 (Mott dkk 2018).

Agar tiang penyangga rangka mesin aman untuk digunakan pada konstruksi mesin, maka tegangan izin material harus lebih besar atau sama dengan tegangan yang terjadi, dapat dituliskan sebagai $\bar{\sigma}_d \geq \sigma_d$.

2.15 Pengertian Plastik

Plastik merupakan salah satu makromolekul yang proses pembentukannya melalui tahap polimerisasi yaitu penggabungan secara kimia beberapa molekul sederhana atau monomer menjadi molekul besar yang disebut makromolekul atau polimer. Salah satu bahan dalam pembuatan plastik adalah *Naptha*, bahan ini berasal dari hasil penyulingan minyak bumi atau gas alam. Plastik adalah material yang sangat sulit diuraikan oleh mikroba tanah dan akan mencemari lingkungan

(Wahyudi dkk 2018). Berdasarkan ketahanan plastik terhadap perubahan suhu, maka plastik dibedakan menjadi dua kategori, yaitu (Okatama 2016):

a) Termoplastik

Termoplastik adalah plastik yang meleleh jika dipanaskan pada suhu tertentu, sehingga dapat dibentuk sesuai keinginan. Plastik ini juga termasuk jenis yang nantinya bisa didaur ulang lagi. seperti *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polycarbonate* (PC), *Polyethylene Terephthalate* (PET/PETE), *Polypropylene* (PP), *Polyvinyl Chloride* (PVC/V) dan *Polystyrene* (PS).



Gambar 2.39. Kode Jenis Plastik

b) Termoset

Termoset adalah plastik yang jika dibuat menjadi padat tidak dapat meleleh kembali jika dipanaskan. Karena sifat-sifat ini, plastik tersebut tidak dapat didaur ulang lagi. Proses pemanasan dengan temperatur tinggi tidak dapat membuat jenis plastik ini menjadi lunak melainkan akan membentuk arang dan terurai. Contoh material dari termoset yaitu, PU (*Polyurethane*), UF (*Urea Formaldehyde*), MF (*Melamine Formaldehyde*), PS (*Polyester*), epoksi, dan lain-lain (Okatama, 2016).

2.16 Pengertian Plastik PET

PET adalah termoplastik semikristalin dan transparan yang memiliki sifat kekuatan mekanik dan ketahanan kimia yang baik, karena sifat tersebut PET banyak digunakan untuk membuat botol minuman ringan, botol minyak goreng, botol kecap, botol saus sambal, botol obat-obatan, botol air mineral, serat sintesis, kaset video, kemasan makanan, dan lain-lain (Setyo Arbintarso dan Kumalasari Nurnawati 2022). PET merupakan salah satu jenis plastik yang paling banyak tersedia di pasaran. Plastik PET memiliki massa jenis sebesar $1,37 \text{ gr/cm}^3$ (Miskah dkk,2016).

Meskipun plastik jenis PET sangat berguna dan berkontribusi pada kehidupan sehari-hari, keberadaan limbah plastik PET di lingkungan sekitar akan menimbulkan masalah serius karena produk akhir yang diperoleh PET membutuhkan waktu sekitar 300-450 tahun untuk terurai secara alami pasaran (Wahyu utomo dan Susi Arfiana, 2023). Plastik PET direkomendasikan untuk sekali pakai atau *single use*, bukan untuk menyimpan air hangat atau panas, seperti botol minuman. Jika botol digunakan terlalu sering, dapat menyebabkan lapisan polimer pada botol meleleh dan melepaskan zat karsinogen yang dapat menyebabkan kanker. PET pada umumnya memiliki karakter yang sangat fleksibel dan tembus pandang.

2.18 Sifat Thermal Plastik

Ada beberapa sifat *thermal* yang penting yaitu titik leleh (T_m), temperatur transisi (T_g), dan temperatur dekomposisi (Surono, 2013). Temperatur transisi adalah suhu di mana plastik akan mengalami perubahan dari keadaan kaku ke keadaan yang lebih fleksibel. Titik leleh adalah suhu dimana plastik akan berubah wujud menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan suhu dimana suatu zat terdekomposisi secara kimia. Sifat *thermal* plastik dapat dilihat seperti pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3. Sifat-Sifat *Thermal* Plastik

Jenis Bahan	Titik Leleh (°C)	Titik Transisi (°C)	Temperature Kerja Maksimum (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LHDE	330	-110	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS	-	110	85
PS	-	90	70
PMMA	-	100	85
PC	-	150	246
PVC	-	90	71

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Waktu yang diperkirakan untuk menganalisa proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ ini kurang lebih 2 bulan, seperti terlihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian

Aktifitas	2023-2024			
	Desember		Januari	
	3	4	1	2
Menganalisis kesesuaian dimensi <i>hopper, barrel, nozzle, injector, mold clamp, bushing stopper, bushing rail</i> , dan kaki pendukung				
Menganalisis kesesuaian konstruksi mesin				
Menganalisis hasil uji coba pada proses pengujian mesin				

3.1.2 Tempat Penelitian

Tempat untuk menganalisa proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* sistem pneumatik ini dilakukan di bengkel bubut Sudarman Jl. Mangan VIII, Pasar III, Kec. Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dari analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ adalah limbah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang sudah dicacah.



Gambar 3.1. Cacahan Plastik PET

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dari mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ ini adalah sebagai berikut:

- a) Mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³.

Mesin *plastic injection molding vertical* ini adalah alat utama yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.2. Mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm^3

b) Timbangan Digital

Timbangan digital adalah alat yang digunakan sebagai pengukuran untuk mengukur suatu berat atau beban maupun massa pada suatu benda. Pada analisa mesin ini, timbangan digital digunakan untuk mengukur berat atau massa cacahan plastik PET yang akan dimasukkan ke dalam *hopper*.



Gambar 3.3. Timbangan Digital

c) Regulator Pneumatik

Regulator adalah berfungsi untuk mengatur tekanan udara yang didistribusikan ke bagian kontrol dan kerja yang biasanya dipasang secara bersatu dengan penyaring udara. Tekanan udara yang keluar dari kompresor masih mempunyai tekanan yang lebih tinggi dari pada tekanan yang didapat pada bagian-bagian kontrol atau bagian kerjanya. Setelah udara keluar dari saringan kemudian masuk pada regulator untuk diatur tekanannya sampai pada batas tertentu.



Gambar 3.4. Regulator Pneumatik

d) *Thermocouple*

Thermocouple merupakan sebuah sensor suhu yang terdiri dari dua kawat logam yang berbeda yang dihubungkan pada satu ujung dan ditempatkan pada suhu yang ingin diukur pada ujung lainnya. Pada mesin ini *thermocouple* berfungsi untuk mengukur suhu, kemudian hasil pembacaan suhu tersebut akan diproses oleh *thermostat*, agar diperoleh suhu sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.5. *Thermocouple*

e) *Thermostat*

Thermostat adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengatur suhu yang terhubung dengan sebuah sensor suhu yaitu *thermocouple*, sehingga suhu yang diinginkan dapat diatur sesuai dengan preferensi pengguna.



Gambar 3.6. *Thermostat*

f) *Jangka sorong*

Jangka sorong adalah alat yang berfungsi untuk mengukur panjang, diameter luar, dan diameter dalam suatu benda serta dapat juga mengukur kedalaman lubang atau bangun ruang. Pada penelitian ini, *jangka sorong* digunakan untuk mengukur panjang, diameter luar dan diameter dalam pada mesin *plastic injection molding vertical*.



Gambar 3.7. Jangka Sorong

g) *Pressure Gauge*

Fungsi *pressure gauge* pada kompresor yaitu sebagai alat ukur penunjuk besaran tekanan udara pada tabung penyimpanannya.



Gambar 3.8. *Pressure Gauge*

h) *Waterpass*

Waterpass adalah alat yang digunakan untuk mengukur atau menentukan sebuah benda atau garis dalam posisi rata baik pengukuran secara vertikal maupun horizontal. Pada analisa mesin *plastic injection molding vertical*, alat ini digunakan untuk mengukur konstruksi mesin, apakah konstruksi mesin sudah dalam posisi stabil baik secara vertikal maupun horizontal.



Gambar 3. 9. *Waterpass*

i) *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan dalam proses pemanasan pengujian.



Gambar 3.10. *Stopwatch*

j) *Roll Meter*

Roll meter adalah alat yang digunakan mengukur panjang pada objek yang ingin diukur.



Gambar 3.11. *Roll Meter*

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm^3 dilakukan secara kuantitatif, yaitu melalui pengamatan secara langsung, pengumpulan data serta analisis data yang dapat diukur pada mesin *plastic injection molding vertical*.

3.4 Populasi dan Sampel

Dalam menganalisa proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³, populasi adalah mesin *injection molding* dan untuk membatasi penelitian maka sampel penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut: .

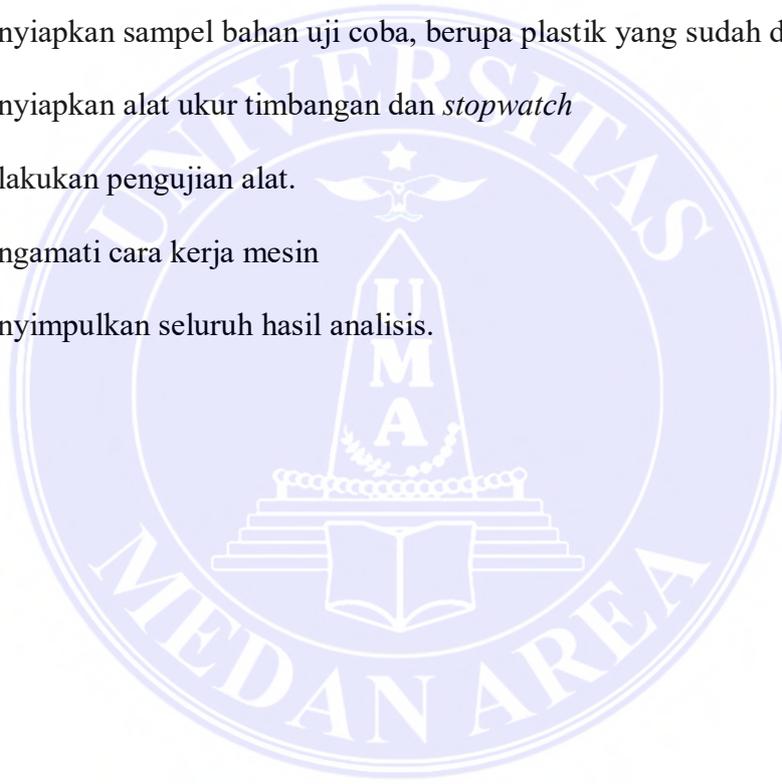
Tabel 3.2. Populasi dan Sampel

No.	Komponen	Jumlah
1.	<i>Hopper</i>	1
2.	<i>Barrel</i>	1
3.	<i>Injector</i>	1
4.	<i>Nozzle</i>	1
5.	Plat Dudukan	5
6.	Tiang Penyangga Mesin	4
7.	Tiang penyangga Barrel	2
8.	<i>Bushing Rail</i>	2
9.	Kaki Pendukung	4
10.	<i>Mold Clamp</i>	2
11.	Penyangga Panel	1

3.5 Prosedur Kerja

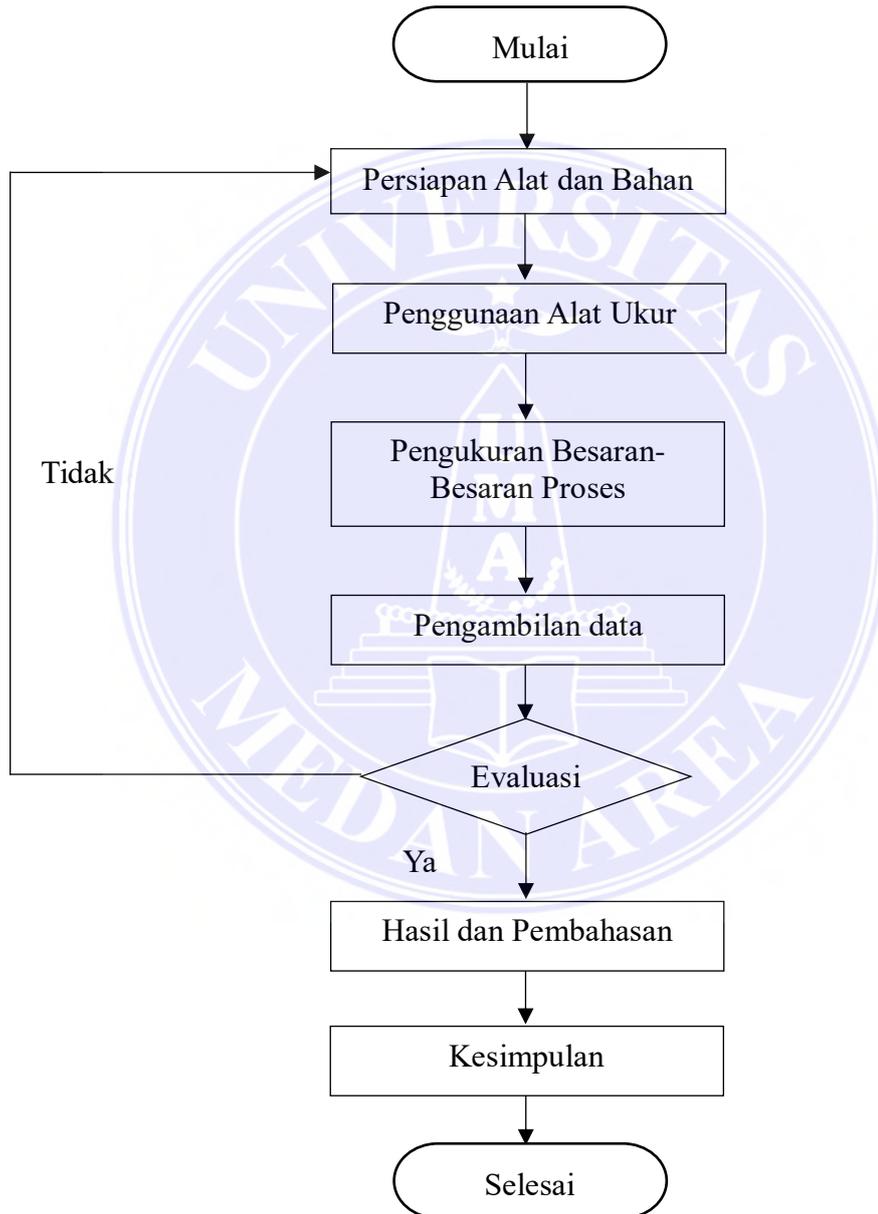
Prosedur yang dilakukan analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ adalah:

- a. Persiapan alat dan bahan untuk proses menganalisa mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³
- b. Mengukur dan menghitung dimensi atau ukuran komponen-komponen mesin.
- c. Mengukur dan menghitung konstruksi mesin agar sesuai baik dalam segi bentuk dan ukuran.
- d. Menentukan suhu yang akan digunakan untuk uji coba.
- e. Menyiapkan sampel bahan uji coba, berupa plastik yang sudah dicacah.
- f. Menyiapkan alat ukur timbangan dan *stopwatch*
- g. Melakukan pengujian alat.
- h. Mengamati cara kerja mesin
- i. Menyimpulkan seluruh hasil analisis.



3.5.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik dengan volume cetakan 300 cm³ dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12. Diagram alir analisis proses pengujian mesin *plastic injection molding vertical*

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan maka diperoleh simpulan sebagai berikut :

- a. Kesesuaian dimensi bagian-bagian komponen pada mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik

Dimensi diameter pada *hopper; bushing stopper; bushing rail*, dan kaki pendukung terjadi ketidaksesuaian antara perancangan dan pembuatan karena pada proses pembuatan komponen mesin tersebut masih menggunakan mesin bubut manual sehingga tingkat akurasi pada mesin bubut tersebut rendah maka dapat terjadi ketidaksesuaian pada dimensi komponen tersebut serta ketidaksesuaian dimensi massa pada *hopper; barrel; injector; nozzle*, dan *clamp* terjadi karena dipengaruhi massa jenis yang digunakan perancang dalam perhitungan massa. Namun, ketidaksesuaian dimensi tersebut tidak mempengaruhi komponen tersebut.

- b. Kesesuaian konstruksi mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik

Dimensi diameter luar pada tiang penyangga mesin dan tiang penyangga *barrel* terjadi ketidaksesuaian antara perancangan dan pembuatan karena pada proses pembuatan masih menggunakan mesin bubut manual sehingga tingkat akurasi pada mesin bubut tersebut rendah maka dapat terjadi ketidaksesuaian pada

dimensi konstruksi mesin tersebut serta ketidaksesuaian dimensi massa pada pelat *base frame*, pelat dudukan cetakan, pelat dudukan *barrel*, pelat dudukan silinder pneumatik, tiang penyangga mesin, dan tiang penyangga *barrel* terjadi karena dipengaruhi massa jenis yang digunakan perancang dalam perhitungan massa. Namun, ketidaksesuaian dimensi tersebut tidak mempengaruhi komponen tersebut.

- c. Hasil Uji Coba Mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik.

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada mesin *injection molding vertical*, maka hasil volume cetakan rata-rata dengan suhu 250°C diperoleh sebesar 358,6351 cm³; hasil volume cetakan rata-rata dengan suhu 275°C diperoleh sebesar 385,0156 cm³; dan hasil volume cetakan rata-rata dengan suhu 300°C diperoleh 397,2089 cm³. Sehingga dari hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa mesin *plastic injection molding vertical* menggunakan sistem pneumatik telah berhasil menghasilkan volume cetakan sebesar 300 cm³.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan maka saran yang ingin disampaikan adalah:

- a. Sebelum mengoperasikan mesin, pastikan operator harus mengetahui cara kerja mesin, termasuk komponen dan fungsi operasionalnya.
- b. Mesin injeksi harus dirawat secara rutin untuk memastikan performa optimalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiharto, Riky dkk. 2017. "Studi Rancang Bangun Mesin *Benchtop Injection Molding* Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Botol Plastik". *Researchgate*.
- Alfara, Muh. Devo dkk. 2020. "Rancang Bangun Mesin Injeksi Plastik Dengan Sistem Penekan Pneumatik". Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Andalucia, Sefilra. 2023. "Operasi Dan *Troubleshooting Gas Compressor* Di Stasiun Kompresor Gas (SKG) Lembak PT Pertamina Hulu Rokan Region 1 Zona 4". *Jurnal Cakrawala Ilmiah* Vol.2, No.5.
- Arif, Mochamad Sya'roni Shobar dan Faiq Rozaano. 2018. "Rancang Bangun Mesin *Press* Pet Topi Dengan Sistem Pneumatik". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arif Siregar, Rakmad., Ahmad Ridwan Sangkuti. 2018. "Pembuatan Cetakan Kotak sabun Pada Mesin *Injection Molding* Plastik". *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi* Vol 1 No. 1 September:57-62
- Aripin, Aa Santosa, dan Iman Dirja. 2019. "Rancang Bangun *Mesin Injection Moulding* Untuk *Keperluan Home Industry* Dengan Bahan Baku Sampah Plastik". *Infomatek* 21(2) : 88-90
- Ashar, Viwaldi Iqbal dan Adi Bayu Ramadhan. 2018. "Penyempurnaan Mesin *Press* Carang Mas Apel Kapasitas 9 Biji/Siklus Dengan Sistem Pneumatik". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Darto. 2015. "Perencanaan dan Simulasi Sistem Pneumatik Pada Mesin *Press* Briket Blothong Berbantuan Perangkat Lunak". *Teknologi dan Manajemen Informatika* Volume 1 Nomor 1.
- Fadhila, Rizkika, dkk. 2018. "Rancang Bangun Mesin Injeksi Mini Pengolahan Limbah Cangkir Plastik". Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Bangka Belitung.
- Faradini, Arnanda Metrika. 2018. "Rancang Bangun Cetakan *Sole* Sepatu *Rotary Injection Molding*". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Firdausi, Muhammad dan Fikri Ramdani. 2020. "Cacat Produk Akibat Temperatur *Cylinder Barrel* Pada Proses Produksi Menggunakan *Injection Molding*". *Presisi*, Vol : 22, No.2.
- Giancoli, Douglas C. 2014. "Fisika Prinsip dan Aplikasi. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Gusniar, Iwan Nugraha. 2018. "Metode Pembuatan *Paving Block* Segi Enam Berbahan Sampah Plastik Dengan Mesin *Injection Molding*". *Barometer*, Vol.3 No.2, 130-133.
- Hasibuan, Reza Saputra. 2023. "Perancangan Alat Gelombang Air dengan Metode Lengan Engkol Skala Laboratorium". Medan: Universitas Medan Area.
- Hastarina, Merisha., A Ansyori Masruri, dan Surya Adi Saputra. 2019. "Perancangan Mesin Peleleh Biji Plastik Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Plastik Dengan Penerapan Metode *Value Engineering*". *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri* 2(6) : 49-54
- Irawan, Agustinus Purna. 2009. "Diktat Elemen Mesin". Jakarta: Universitas Tarumanagara.
- Istiqlalayah, Hetsi dkk. 2018. "*Characteristics Of Pet Plastic Pyrolysis Products With Temperature Variations*". *Prosiding SNTTM XVII*, Oktober 2018, hal. 078-082.
- Johan, Chendri dkk. 2023. "Analisis Kekuatan *Bending* Hasil Pengelasan SMAW Pada Baja ST 42 Menggunakan Pendingin Oli SAE 20W-50 Dengan Memvariasi Kuat Arus". *Jurnal Teknik Industri* Vol. 9, No. 2.
- Kusri. 2020. "Modul Pembelajaran SMA Fisika". Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.

- Kustiawan, Eko. 2018. "Meningkatkan Efisiensi Peralatan Dengan Menggunakan *Solid State Relay* (SSR) Dalam Pengaturan Suhu *Pack Pre-Heating* (PHO)". *Jurnal STT YUPPEN TEK* Vol. 9 No. 1 April 2018 : 1-6.
- Kutz, Myer. 2015. "*Mechanical Engineers' Handbook Fourth Edition Materials and Engineering Mechanics*". New Jersey: John Wiley and Son, Inc.
- Laksono, Enggal Noor dkk. 2020. "Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja ST 40 Akibat Pengelasan *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) Dengan Variasi Suhu *Normalizing*". *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 8, No. 4.
- Mahendra, Refa Anugrah dkk. 2021. "Analisa Efektifitas Uji Kekasaran Permukaan Baja ST 42 Dengan Variabel Mekanik Mesin Dengan Metode *Taguchi*". *Jurnal JMMME*, Volume 1, Nomor 1.
- Malau, Parulian. 2022. "Perancangan Alat Uji Tarik Universal Statis Dengan Penggerak Servomotor Berkapasitas Maksimum
- Mawardi, Indra., Zuhaimi, Hanif. 2014. "Pengembangan Mesin Injeksi Plastik Skala Industri Kecil". *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM Sains, Teknologi, dan Kesehatan* Vol 4 No.1:291-298
- Miskah, Siti dkk. 2016. "Pengaruh Penggunaan Katalis CU-AL203 Terhadap Pembuatan Bahan Bakar Cair Dari Bahan LDPE dan PET". *Jurnal Teknik Kimia* No. 1, Vol. 22.
- Mott, Robert L dkk. 2018. "*Machine Elements In Mechanical Design Sixth Edition*". New York: Pearson Education, Inc.
- Nazaruddin dan Budi Triyono. 2020. "Perancangan Mesin Injeksi Plastik Portabel". *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*.
- Nugraha Saputra, dan Dheo Ardi. 2019. "Pengaruh Variasi *Barrel Temperature*, *Injection Pressure*, dan *Cooling Time* Terhadap Cacat *Warpage* Pada Proses *Injection Molding*(Al-PP)." *Jember : Universitas Jember*.
- Okatama, Irvan. 2016. "Analisa Peleburan Limbah Plastik *Polyethylene Terphthalate* (PET) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik". *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*: Vol.05.
- Pratama, Indra Adi. 2020. "Rancang Bangun Alat Bantu Angkat Produk Atap Baja Ringan Di PT NS Bluescope Lysaght Indonesia". Surabaya : Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- Purba, Anjaka Fernando dkk. 2021. "Rancang Bangun Mesin Pendaaur Ulang Plastik Bekas Menjadi Pot Bunga Mini Kapasitas 20 Buah/Jam". *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, Vol. 2, No.1.
- Refiantoro, Richo Fenda dan Kurniawanti. 2022. "Penentuan Konstanta Pegas Dalam Hukum Hooke Pada Rangkaian Tunggal, Seri dan Paralel. *Journal of Industrial Engineering Universitas PGRI Yogyakarta* p-ISSN 2809-7809 Volume 1 No. 2.
- Rinanto, Andhy. 2012. "Desain Ulang Unit Pemanas dan Pengendali Kecepatan Injeksi Mesin *Molding*". Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Samlawi, Achmad Kusairi dan Rudi Siswanto. 2016. "Material Teknik". Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Setiawan, Feddy Wanditya. 2021 "Analisa Sifat Mekanik Uji Tarik Logam Paduan Kuningan 60/40 (Cu Zn), Baja Karbon 0,4% (Oil Quench-Temper) dan Perunggu Aluminium". *JMIO*, 2021, 2(2), 33-41 ISSN 2721-8651.
- Setyo Arbintarso, E., dan Kumalasari Nurnawati, E. (2022). "Peranan keluarga dalam upaya meningkatkan kualitas lingkungan melalui daur ulang limbah plastic rumah tangga (*The Family Role in Improving Environmental Quality Through Domestic Plastic Waste Recycling*). " *Jurnal Berdaya Mandiri* 4(3), 300-318.
- Setyowati, Vuri Ayu dan Eriek Wahyu Restu Widodo. 2017. "Analisis Kekuatan Tarik dan Karakteristik XRD Pada Material *Stainless Steel* Dengan Kadar Karbon Yang Berbeda". *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*.

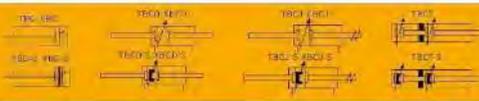
- Sofyan, Bondan Tiara. 2021. "Pengantar Material Teknik". Bogor: UNHAN RI PRESS.
- Sukoco Hasibuan, Muhammad Tri., dan Nicodemus Bastandeo Ginting. 2022. "Optimasi Pendaur Ulang Plastik Bekas Jadi Pot Mini Kapasitas 12 Buah/Jam." *Jurnal Teknologi Mesin UDA*: 143–50.
- Sultan, Ahmad Zubair dkk. 2021. "Rancang Bangun Mesin Injeksi Plastik dengan Sistem Penekan Pneumatik". *Sinergi*, Vol 19 (2): 244-251.
- Surono, Untoro Budi. 2013. "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar". *Jurnal Teknik* Vol.3 No.1.
- Suyuti, Muhammad Arsyad dkk. 2019. "Rancang Bangun *Automatic Press Tool* Untuk *Blanking* Cetakan Kue". *Sinergi* 2019, Volume 17 (2): 156-167.
- Syaifuludin, Muhammad. 2017. "Rancang Bangun *Plastic Injection Moulding* Pada Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Gagang Pisau". Kudus: Universitas Muria Kudus.
- Syamsuri. Heris dan Ade Herdiana. 2023. "Perancangan Simulator Kompresor Torak untuk Media Pembelajaran". *Jurnal Mesin Galuh*. Vol. 1, No.1.
- Syahril, A dan Hidayat, M. F. 2018. Perancangan Ulang Peralatan Pneumatik Berbasis *Programmable Logic Control (PLC)* Untuk Kegiatan Praktikum. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 5(1): 40–49.
- Wahyudi, Jatmiko., Hermain Teguh Prayitno, dan Arieiyanti Dwi. 2018. "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif (*The Utilization Of Plastic Waste As Raw Material For Producing Alternative Fuel*)."*Jurnal Litbang* XIV(1): 58–67.
- Wahyu Utomo, Luthfi., dan Susi Arfiana. 2023 "Pemanfaatan Limbah Plastik Daur Ulang dari *Polietilen Tereftalat (PET)* Sebagai Bahan Tambahan dalam Pembuatan Nanokomposit, Semen Mortar, dan Aspal". *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 4(1): 164-179
- Welta, Zella Junia. 2022. "Rancang Bangun *Plastic Injection Molding*". Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wibowo, Agung. 2017. "Rancang Bangun Aktuator *Solenoid Valve* Pada Pengendalian *Pressure* Reaktor OAW (*Oxygen Acetylene Welding*) Di Bengkel Las Diral Menur Surabaya". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Widiyanto dan Eka Yogaswara. 2014. "Elemen Mesin". Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Wijaya, Jordan Natanael. 2022. "Rancang Bangun Alat Mesin *Plastic Injection Molding*". Semarang: Universitas Diponegoro.
- Yulianto, Irwan dkk. 2014. "Rancangan Desain Mold Produk Knob Regulator Kompom Gas Pada Proses *Injection Molding*". *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional* No.03, Vol.02.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Silinder Pneumatik



TBC/XBC Series Standard Cylinder

TBC/XBC
Standard Cylinder




Specifications

Bore Size (mm)	32	40	50	63	80	100	125	160
Acting type	Double Acting							
Working medium	Clean Air(40 μm filtration)							
Working pressure (MPa)	0.1-1.0							
Guaranteed pressure (MPa)	1.5							
Working temperature (°C)	-20-70(No freezing)							
Speed range (mm/s)	50-800				30-500			
Cushion type	Air Cushion							
Cushion stroke (mm)	25		24		30		28	
Mounting type	LB FA FB CA CB TC							
Port size	G1/8		G1/4		G3/8		G1/2 G3/4	

① PT, NPT port size is optional.

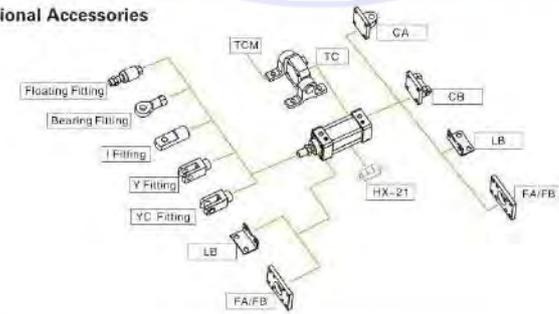
How to Order?

Series No.	Cushion Type	Type No.	Bore X Stroke	Adjustable Stroke	Magnet No.	Seal Material	Mounting Type	Thread Type
	C: Air cushion		32 25 10	10	Blank: No magnet		Blank: No	Blank: G
	TB: Round type barrel		40 50 20	20	S: With magnet		CA TCM	P: PT
	XB: Profile barrel		50 75 30	30			CB U	T: NPT
			63 40	40	Blank: Standard material (NBR seal)		LB YJ	
			80 50	50	Y: VITON seal		FA YC J	
	D: Double shaft type		100 75	75			FB BJ	
	J: Double shaft and adjustable type		125 (Only TB is optional) 100	100	(The standard is VITON seal, if HNBR seal please apply for non-standard)		TC FD	
			160 (Only TB is optional)					

Series No.	Cushion Type	Type No.	Bore X Stroke	Adjustable Stroke	Magnet No.	Seal Material	Mounting Type	Thread Type
	C: Air cushion		32 25 25	25	Blank: No magnet			Blank: G
	TB: Round type barrel		40 50 50	50	S: With magnet			P: PT
			50 75 75	75				T: NPT
			63 80					
	T: Multi-position type		100					

Order Example
 TBC series, bore 40mm, stroke 50mm, with magnet, seal material is standard material, CA mounting accessory
 EPR code is: TBC40X50-S-CA
 Note: If cylinder with several different mounting accessories, please use this sequential coding: CA/CB/CR/LB/FA/FB/TC/LJ/YJ/BJ/FD(TC only available for TBC)

Optional Accessories



3.103
www.emc-machinery.com

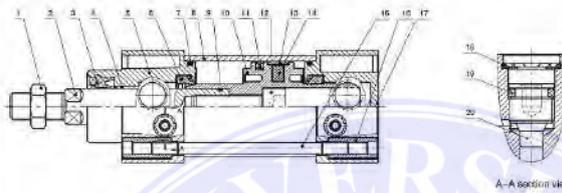
TBC/XBC Series Standard Cylinder



Stroke

Bore (mm)	Standard Stroke (mm)	Max. Stroke (mm)
32	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500	1900
40	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800	1900
50-160	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1900

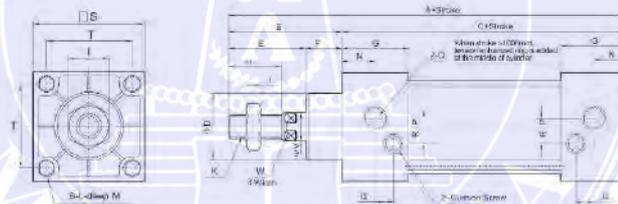
Internal Structure



NO	Part Name	Material
1	Nut	Carbon steel
2	Piston rod	S45C hard chrome carbon steel
3	Piston rod seal	TPU
4	Self lubricating bearing	Bronze powder
5	Head cover	Aluminum alloy
6	Cushion seal	NBR
7	O-ring	NBR
8	Barrel	Aluminum alloy
9	O-ring	NBR
10	Piston	Aluminum alloy
11	Piston seal	NBR
12	Screw	Carbon steel
13	Wear ring	PTFE
14	Magnet	Plastic
15	Tie rod	Carbon steel
16	Tie rod nut	Carbon steel
17	Rear cover	Aluminum alloy
18	Retainer ring	Spring steel
19	O-ring	NBR
20	Nut	Brass

Main Dimension

TBC Ø32 - Ø160



Bore/Sign	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
32	140	47	93	26	32	15	27.5	22	17	6	M10X1.25	M6X1
40	142	49	93	32	34	15	27.5	24	17	7	M12X1.25	M6X1
50	160	57	93	38	42	15	27.5	32	23	8	M16X1.5	M8X1
63	153	57	96	38	42	15	27.5	32	23	8	M16X1.5	M8X1.25
80	182	75	107	46	54	21	33	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5
100	188	75	113	46	54	21	33	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5
125	218	88	139	52	68	20	38	54	41	19.5	M27X2.0	M12X1.75
160	254	113	141	62	88	25	38	72	55	18	M36X2.0	M16X2.0

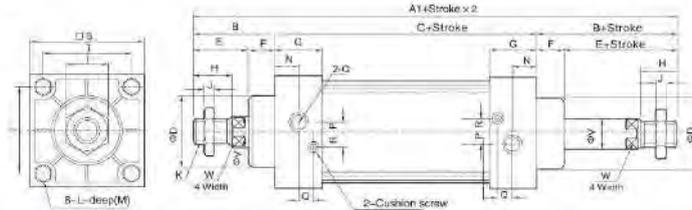
Bore/Sign	M	N	O	P	Q	R	S	T	V	W
32	13	14	1/8"	3.5	7	6.5	4.5	33	12	10
40	13	13.5	1/4"	5	5.5	8.5	50	37	18	14
50	13	14.5	1/4"	8.5	3	11	82	47	20	17
63	13	15	3/8"	7	5	9.5	75	56	20	17
80	15.5	16.5	3/8"	7	8	10	94	70	25	22
100	15.5	16.5	1/2"	7.5	8	13	112	84	25	22
125	19	19	1/2"	15	5	15	137.5	104	32	27
160	19.5	19	3/4"	15	6	15	173.5	154	40	36

TBC/XBC Series Standard Cylinder



Main Dimension

TBCD $\Phi 32 - \Phi 160$

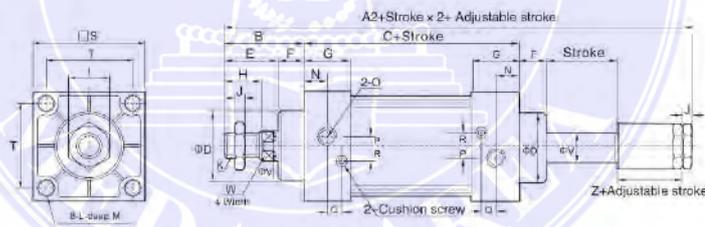


Bore/Sign	A1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
32	187	47	93	26	32	15	27.5	22	17	6	M10X1.25	M6X1
40	191	49	93	32	34	15	27.5	24	17	7	M12X1.25	M8X1
50	207	57	93	38	42	15	27.5	32	23	8	M16X1.5	M8X1
63	210	57	96	38	42	15	27.5	32	23	8	M16X1.5	M8X1.25
80	257	75	107	46	54	21	33	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5
100	283	75	113	46	54	21	33	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5
125	306	88	130	52	66	20	38	54	41	13.5	M27X2.0	M12X1.75
160	367	113	141	62	88	25	38	72	55	18	M36X2.0	M16X2.0

Bore/Sign	M	N	O	P	Q	R	S	T	V	W
32	13	14	1/8"	3.5	7	6.5	45	33	12	10
40	13	13.5	1/4"	5	5.5	8.5	50	37	16	14
50	13	14.5	1/4"	8.5	3	11	62	47	20	17
63	13	15	3/8"	7	5	9.5	75	56	20	17
80	15.5	16.5	3/8"	7	8	10	94	70	25	22
100	15.5	16.5	1/2"	7.5	8	13	112	84	25	22
125	19	19	1/2"	15	5	15	137.5	104	32	27
160	19.5	19	3/4"	15	6	15	173.5	134	40	36

Note: 1. With magnet and no magnet, the dimensions are same.
2. XBC series dimensions are same as TBC.

TBCJ $\Phi 32 - \Phi 160$



Bore/Sign	A2	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
32	182	47	93	26	32	15	27.5	22	17	6	M10X1.25	M6X1
40	185	49	93	32	34	15	27.5	24	17	7	M12X1.25	M8X1
50	199	57	93	38	42	15	27.5	32	23	8	M16X1.5	M8X1
63	199	57	96	38	42	15	27.5	32	23	8	M16X1.5	M8X1.25
80	242	75	107	46	54	21	33	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5
100	248	75	113	46	54	21	33	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5
125	286.5	88	130	52	66	20	38	54	41	13.5	M27X2.0	M12X1.75
160	337	113	141	62	88	25	38	72	55	18	M36X2.0	M16X2.0

Bore/Sign	M	N	O	P	Q	R	S	T	V	W	Z
32	13	14	1/8"	3.5	7	6.5	45	33	12	10	21
40	13	13.5	1/4"	5	5.5	8.5	50	37	16	14	21
50	13	14.5	1/4"	8.5	3	11	62	47	20	17	23
63	13	15	3/8"	7	5	9.5	75	56	20	17	23
80	15.5	16.5	3/8"	7	8	10	94	70	25	22	29
100	15.5	16.5	1/2"	7.5	8	13	112	84	25	22	29
125	19	19	1/2"	15	5	15	137.5	104	32	27	35
160	19.5	19	3/4"	15	6	15	173.5	134	40	36	40

3.105

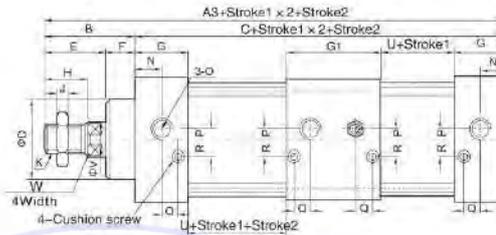
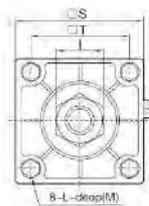
www.emc-machinery.com

TBC/XBC Series Standard Cylinder



Main Dimension

TBC/T Φ 32-Φ 100



Bore/Sign	A3	B	C	Ø	E	F	G	G1	H	J	J	K	L
32	233	47	186	28	32	15	27.5	66	22	17	8	M10X1.25	M6X1
40	235	49	186	32	34	15	27.5	65	24	17	7	M12X1.25	M6X1
50	243	57	186	38	42	15	27.5	55	32	23	8	M16X1.5	M6X1
63	249	57	192	38	42	15	27.5	65	32	23	8	M16X1.5	M8X1.25
80	296	75	221	46	54	21	33	73	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5
100	308	75	233	46	54	21	33	73	40	26	10	M20X1.5	M10X1.5

Bore/Sign	M	N	O	P	Q	R	S	T	V	U	W
32	13	14	1/8"	3.5	7	6.5	45	33	12	38	10
40	13	13.5	1/4"	5	5.5	8.5	50	37	16	38	14
50	13	14.5	1/4"	8.5	3	11	62	47	20	38	17
63	13	15	3/8"	7	5	9.5	75	56	20	41	17
80	15.5	15.5	3/8"	7	8	10	94	70	25	41	22
100	15.5	15.5	1/2"	7.5	8	13	112	84	25	47	22

Note: 1. With magnet and no magnet, the dimensions are same. 2. XBC series dimensions are same as TBC.

TBC/XBC

E Series Air Preparation Unit



EC
FR.L



Specifications

Model	EC1010	EC2010	EC3010	EC4010	EC5010
Proof pressure(MPa)			1.6		
Max. working pressure(MPa)			1.0		
Working temperature (C)			-5~80 (No freezing)		
Filter precision			25µm (5 µm is optional.)		
Recommended oil			Turbine No.1 Oil (ISOVG32)		
Bowl material			Polycarbonate		
Bowl guard	None			Available	
Pressure adjusting range(MPa)			0.15~0.85		
Valve type			With overflow		

Model	Assembly		Specifications				Accessories
	Filter sub-assembly	Lubricator	* Rated flow (L/min)	** Port size (G)	Pressure gauge/head size (G)	Weight (kg)	Bracket
EC1010-M5	EW1000	EL1000	90	M5	1/16	0.22	Y10T
EC2010-01	EW2000	EL2000	945	1/8		0.65	Y20T
EC2010-02			960	1/4	1/8		
EC3010-02	EW3000	EL3000	1874	1/4	1/8	0.96	Y30T
EC3010-03			1956	3/8			
EC4010-03	EW4000	EL4000	4923	3/8	3/4	1.93	Y40T
EC4010-04			5120	1/2			
EC4010-06	EW4000-06	EL4000-06	5000	3/4	1/4	1.89	Y50T
EC5010-06	EW5000	EL5000	8000	3/4	1/4	3.20	Y60T
EC5010-10			6200	1			

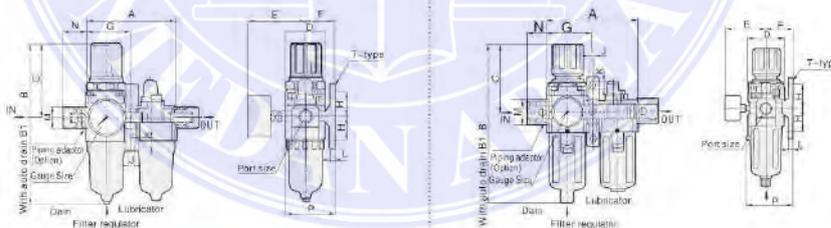
* The above information is based on 8.0 Bar supply pressure and 6.3 Bar set pressure

** NPT,PT port size is optional

Main Dimension

EC1010-EC2010

EC3010-EC5010



Model	Port Size (G)	A	B	B1	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
EC1010	M5	58	109.5	-	50.5	25	26	25	29	20	4.5	7.5	5	17.5	16	38.5
EC2010	1/8"-1/4"	90	162	200	76	40	53	29.5	45	24	5.5	8.5	5	22	23	50
EC3010	1/4"-3/8"	116	210.5	224.5	92	53	51	40	58.5	35	7.5	11	7.2	34.2	26	69.5
EC4010	1/4"-3/8"	154	264	267	113.5	70	67	48.5	77	40	8	13	7.2	42.2	33	88
EC4010-06	3/4"	164	268	271	115	70	67	49.5	82	40	8	13	7.2	46.2	35	88
EC5010	3/4"-1"	195	343	348	116.5	90	72	68.5	97.5	50	12	16	10.5	55.2	40	115

Lampiran 3. Solenoid Valve

RV Series Standard/ Low Power Solenoid Valve (5/2,5/3 way)

How to Order?

Standard Solenoid Valve

Symbol	Port Size	Working Medium	Control	Coil	Coil Voltage	Coil Connection	Coil Safety	Coil Type	Thread
RV	5: 5 ways 2: 2 positions 3: 3 positions	1: Single control 2: Double control	M5: Center close M6: Center pressure M8: Center exhaust (Only for 5/3 way)	M5: 1/8" M6: 1/8" M8: 1/4" M10: 3/8" M15: 1/2"	Blank: Spring O: Air (Only single control)	Blank: DIN connector L: Plug-in type F: Flying leads K: Waterproof DIN connector (Only S, 4 series is optional for K11)	Blank: Brown translucent J: Cables and translucent B: Black (KM connector is only available in black)	Blank: Internal pilot WB: External pilot	Blank: G P: PT T: NPT

Example:
RV series solenoid valve, 2 series valve body size, 5/2 way, single control, 1/4" port size, standard coil, DC24V, DIN connector, G thread, ERP code is: RV5221-08E4

Blank: Patchcord length is 0.3 meter
0.6M: Patchcord length is 0.6 meter
1M: Patchcord length is 1 meter
(Options for "L Plug-in type" and "F Flying leads type" Only)

Specifications

Model No.	RV5211-M5 RV5212-M5 RV5312-M5	RV5211-06 RV5212-06 RV5312-06	RV5221-08 RV5222-08 RV5322-08	RV5221-08 RV5222-08 RV5322-08	RV5231-06 RV5232-08 RV5332-08	RV5231-10 RV5232-10 RV5332-10	RV5241-10 RV5242-10 RV5342-10	RV5241-16 RV5242-16 RV5342-16
Port size	M5	G1/8	G1/8	G1/4(Ex.G1/8)	G1/4	G3/8(Ex.G1/4)	G3/8	G1/2
Sectional area(mm ²)	5/2: 4.5(CV=0.31) 5/3: 4.5(CV=0.25)	5/2: 12(CV=0.67) 5/3: 9(CV=0.60)	5/2: 14(CV=0.78) 5/3: 12(CV=0.67)	5/2: 18(CV=1.09) 5/3: 12(CV=0.67)	5/2: 25(CV=1.49) 5/3: 18(CV=1.09)	5/2: 30(CV=1.88) 5/3: 18(CV=1.09)	5/2: 50(CV=2.78) 5/3: 30(CV=1.67)	5/2: 50(CV=2.78) 5/3: 30(CV=1.67)
Working medium	Clean air(After 40 μm filtration)							
Acting type	Internal pilot type / External pilot type							
Reset Type	Air reset				Spring reset / Air reset			
Lubrication	Not required							
Working pressure(MPa)	0.15-0.8							
Curved pressure(MPa)	1.2							
Working temperature(°C)	-20-70(No freezing)							
Voltage range	-15%~+10%							
Power consumption	DC:2.6W ; AC:3.0VA				DC:3.6W ; AC:4.0VA			
Insulation class	Class F							
Protective class	IP65(DIN40050)							
Max. acting frequency	5/2: 5 Cycles/s ; 5/3: 3 Cycles/s							
Activate time(s)	~0.05							
Weight(g)	RV5211: 110 RV5212: 171 RV5312: 181	RV5221: 208 RV5222: 314 RV5322: 367	RV5231: 289 RV5232: 400 RV5332: 460	RV5241: 528 RV5242: 636 RV5342: 727				

Flow Chart

RV Series Standard/ Low Power Solenoid Valve (5/2,5/3 way)



RV (5/2, 5/3)

Internal Structure

Single Solenoid Valve

Double Solenoid Valve

5/3 Solenoid Valve

No.	Part Name	Material
1	Connector	Engineered plastics
2	Nut	POM+Carbon steel
3	Coil	Cu
4	Pilot units	Engineered plastics
5	Plate	Carbon steel
6	Piston	POM
7	Pilot seat	Engineered plastics
8	Valve body	Aluminium alloy
9	Spool	Aluminium alloy
10	O-ring	HNBR
11	Rear cover	Engineered plastics
12	Filter	Synthetic material
13	Piston	POM
14	Spring	Stainless steel
15	Manufoverride	Engineered plastics
16	Back seat	Aluminium alloy
17	Spring seat	Aluminium alloy
18	C-type buclde	65Mn

Main Dimension

DIN Type

Flying Leads Type

Model/Sign	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	W
RV5211-M5	M5	M6	30	13	15.5	18	0	24.5	14.1	3.2	3.3	24.5	14	9.5	27	65.2	33.0	17.0	27.2	31.6	103.1
RV5211-06	G1/8	G1/8	30	13	19.5	18	0	23.5	14	3.3	3.4	24.5	14	9.5	27	55.2	33.9	17.5	28	31.5	103.1
RV5221-06	G1/8	G1/8	38	17	18	22	0	26	18	3.3	4.2	25	20	10.5	36	86.7	40.2	17	36	35	120.7
RV5221-08	G1/4	G1/8	38	17	16	22	0	24.5	21	3.3	4.3	25	20	10.5	35	66.7	40.2	17	36	35	120.7
RV5231-08	G1/4	G1/4	51	20	19.1	27	0	33.1	22	4.3	4.3	32.1	24	13.6	49	89.2	40.2	21.6	45	41.1	139.2
RV5231-10	G3/8	G1/4	39	20	19.1	27	0	32.1	22	4.3	4.3	32.1	24	13.6	49	89.2	40.2	21.6	45	41.1	139.2
RV5241-10	G3/8	G3/8	72	27	21	34	0	38	36	4.3	5.5	45	23	17.5	59	74.2	40.2	25.5	63	57	168.7
RV5241-15	G1/2	G1/2	72	27	21	34	4	39	36	4.3	5.5	45	23	17.5	59	74.2	40.2	25.5	63	57	168.7

Note: The dimensions of NR series and RV series are same.

Double Solenoid Valve

5/3 Solenoid Valve

DIN Type

Flying Leads Type

DIN Type

Flying Leads Type

Model/Sign	W1
RV5212-M3	143.2
RV5216-06	143.2
RV5226-06	171.4
RV5226-08	171.4
RV5236-08	190.4
RV5236-10	190.4
RV5242-10	223.4
RV5242-15	223.4

Model/Sign	W2
RV5312-M3	158.2
RV5312-06	158.2
RV5322-06	190.4
RV5322-08	190.4
RV5336-08	209.4
RV5336-10	209.4
RV5342-10	244.4
RV5342-15	244.4

Note: The dimensions of NR series and RV series are same.