



**PENGARUH VARIASI SUDUT TEKUK DAN SISTEM
PENGEROLLAN TERHADAP KUALITAS HASIL
PENGEROLLAN PIPA ALUMINIUM DENGAN
MENGUNAKAN MESIN ROLL *PNEUMATIC***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Rian Gusti A

5201414086

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2018**



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**“PENGARUH VARIASI SUDUT TEKUK DAN SISTEM Pengerollan
TERHADAP KUALITAS HASIL Pengerollan PIPA ALUMINIUM
DENGAN MENGGUNAKAN MESIN ROLL *PNEUMATIC*”**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Rian Gusti A

NIM : 5201414086

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Variasi Sudut Tekuk Dan Sistem Pengerollan Terhadap
Kualitas Hasil Pengerollan Pipa Aluminium Dengan Menggunakan
Mesin Roll *Pneumatic*

Skripsi/TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/TA Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Desember 2018

Pembimbing



Dr. Muhammad Khumaedi M.Pd

NIP. 196209131991021001

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Sudut Tekuk Dan Sistem Pengerollan Terhadap Kualitas Hasil Pengerollan Pipa Aluminium Dengan Menggunakan Mesin Roll *Pneumatic*” telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal ... Bulan ... Tahun...

Oleh

Nama : Rian Gusti A
NIM : 5201414064
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia

Ketua



Rusiyanto, S. Pd., M. T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Rusiyanto, S. Pd., M. T.
NIP. 197403211999031002

Penguji 1



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T
NIP. 196601051990021002

Penguji 2



Drs. Sunyoto, M. Si
NIP. 196511051991021001

Penguji 3/Pembimbing



Dr. Muhamad Khumaedi M.Pd
NIP. 196209131991021001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T.

NIP. 196911301994031001


PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor) baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, Desember 2018

Yang membuat pernyataan,



Rian Gusti A

NIM. 5201414086

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

1. Menjadi baik adalah keharusan maka teruslah melakukannya.
2. Berakit – rakit ke hulu berenang ketepian.
3. Tetaplah menjadi baik, jika beruntung kamu akan menemukan orang baik jika tidak, kamu akan ditemukan orang baik.
4. Kegagalan sesungguhnya adalah kesuksesan yang tertunda.
5. Kurang cerdas dapat diperbaiki dengan belajar, kurang cakap dapat dihilangkan dengan pengalaman, namun tidak jujur itu sulit diperbaiki.

PERSEMBAHAN :

Rasa syukur atas karya sederhana ini penulis persembahkan untuk :

1. Bapak, Ibu, dan Keluarga, terima kasih atas segala doa, bimbingan dan dukungannya baik moril maupun materil.
2. Kakak yang saya sayangi.
3. Teman - teman PTM terima kasih atas dukungan dan motivasinya.
4. Bapak ibu guru SMK yang selalu mendukung untuk melanjutkan kependidikan yang lebih tinggi.

RINGKASAN

Rian Gusti Artanto. 2018. Pengaruh Variasi Sudut Tekuk Dan Sistem Pengerollan Terhadap Kualitas Hasil Pengerollan Pipa Aluminium Dengan Menggunakan Mesin Roll *Pneumatic*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Pembimbing. Dr. Muhamad Khumaedi. M.Pd.

Kata Kunci: Sudut Tekuk, Sistem Pengerollan, *Pneumatic*, Kualitas Pengerollan.

Mesin pengeroll pipa sistem *pneumatic* adalah pengembangan dari alat pengeroll pipa manual. Pada saat melakukan proses pengerollan tentunya ada sudut – sudut yang akan di tekuk sehingga menjadi macam – macam bentuk hasil pengerollan yang bagus. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas hasil pengerollan sehingga hasilnya bagus seperti, ketepatan sudut penekukan, persentase keovalan, dan kecacatan hasil tekukan. Pada proses pengerollan sudut penekukan akan mempengaruhi kualitas dari hasil pengerollan.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kualitas hasil pengerollan antara mesin pengeroll pipa sistem manual dan sitem *pneumatic* dengan cara melakukan variasi sudut penekukan. Variasi sudut yang akan digunakan yaitu 45°, 90°, 180° pada tiap sistem pengerollan.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan desain faktorial 3 x 2 dimana terdapat kelompok yang diberikan perlakuan kemudian diobservasi hasilnya. Observasi dilakukan dengan cara melakukan penilaian kualitas hasil pengerollan dengan indikator yang sudah ditentukan. Data yang diperoleh dari penilaian kualitas hasil pengerollan kemudian dianalisis menggunakan analisis varian dua jalur dan uji *Pos Hoc Test* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang signifikan dari perlakuan yang di berikan yaitu variasi sudut penekukan dan sistem pengerollan.

Hasil penelitian yang telah dianalisis dengan analisis varian dua jalur dengan interaksi dan uji *Pos Hoc Test* menunjukkan bahwa variasi sudut tekuk tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kualitas hasil pengerollan dengan nilai signifikansi $0,638 > 0,05$ dan sistem pengerollan memiliki pengaruh dengan nilai signifikansi $0,039 < 0,05$. Interaksi antara variasi sudut tekuk dengan sistem pengerollan tidak memiliki pengaruh dengan nilai signifikansi $0,564 > 0,05$. Hasil pengerollan pipa dengan nilai kualitas tertinggi diperoleh pada sistem pengerollan *pneumatic* yaitu sebesar 7,89 dan terendah oleh sistem manual sebesar 6,89. Sudut penekukan sebesar 45° lebih baik kualitasnya dibandingkan dengan sudut 90° dan 180° hal tersebut dibuktikan dari rata-rata nilai kualitas sudut tekuk 45° sebesar 7,67 untuk sudut tekuk 90° sebesar 7,3 dan sudut tekuk 180° sebesar 7,17.

SUMMARY

Rian Gusti Artanto. 2018. The Effect Of Bend Angle Variations And Rolling Systems On Quality Of Aluminum Pipe Roll Using Pneumatic Roll Machines Essay. Department of Mechanical Engineering State University of Semarang. Advisor. Dr. Muhammad Khumaedi. M.Pd.

Key words: Bend Angle, Rolling System, Pneumatic, Rolling Quality.

Pneumatic system pipe bending machine is the development of a manual pipe bending tool. When carrying out the rolling process, of course there are corners that will be bent so that they form various forms of good rolling results. There are several factors that affect the quality of the curling results, so the results are good, such as the accuracy of bending angle, oval percentage, and bending defects. In the rolling process the bending angle will affect the quality of the bending results.

The aim of the study was to determine the quality of the rolling results between manual pipe roll machine and pneumatic system by doing bending angle variations. The angle variations to be used are 45°, 90°, 180° on each roller system.

The research method used in this study is an experimental method with a factorial 3 x 2 design where there is a group given treatment then the results are observed. Observation is carried out by evaluating the quality of the rolling results with a predetermined indicator. The data obtained from the assessment of the quality of the rolling results were then analyzed using two-way variance analysis and the Post Hoc Test which aimed to determine the significant effect of the treatments given, namely variations in bending angles and bending systems.

The results of the study that have been analyzed by analysis of two-way variants with interaction and the Post Hoc Test showed that variations in buckling angles did not have a significant effect on the quality value of the rolling results with a significance value of $0.638 \geq 0.05$ and the rolling system had an effect with a significance value of $0.039 \leq 0.05$. The interaction between bending angle variations with the rolling system has no effect with a significance value of $0.564 \geq 0.05$. The results of pipe rolling with the highest quality values were obtained in the pneumatic rolling system which was 7.89 and the lowest by manual systems was 6.89. The results of pipe rolling with the highest quality values were obtained on the pneumatic rolling system which was equal to 7.89 and the lowest by the manual system of 6.89. The bending angle is 45° better than the 90° and 180° angles. This is evidenced by the average value of 45° bend angle of quality equal to 7.67 for 90° bending angle of 7.3 and 180° bending angle of 7, 17

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Pengaruh Variasi Sudut Tekuk Dan Sistem Pengerollan Terhadap Kualitas Hasil Pengerollan Pipa Aluminium Dengan Menggunakan Mesin Roll *Pneumatic*. Skripsi ini sebaga salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Sholawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat-Nya di yaumil akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesepatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT, Dekan Fakultas Teknik (nama), Ketua Jurusan bapak Rusiyanto, Koordinator program Studi.atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. Muhammad Khumaedi M.Pd, pembimbing 1 yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.

4. Dr. Wirawan Sumbodo, M. T, penguji I dan Drs. Sunyoto, M. Si penguji II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin, FT, UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis telah berusaha sebaik-baiknya untuk menyelesaikan skripsi ini. Namun pepatah mengatakan tak ada gading yang tak retak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam pelaksanaan penelitian ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan dunia pendidikan pada khususnya.

Semarang, 12 Desember 2018


Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| COVER | i |
| LEMBAR BERLOGO | ii |
| JUDUL DALAM | iii |
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING | iv |
| LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN | v |
| LEMBAR PERSYARATAN KEASLIAN KAYA ILMIAH | vi |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN | vii |
| RINGKASAN | viii |
| PRAKATA | x |
| DAFTAR ISI | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah..... | 3 |
| 1.3 Pembatasan Masalah..... | 4 |
| 1.4 Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Tujuan penelitian | 4 |
| 1.6 Manfaat Penelitian | 5 |
| BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 7 |
| 2.1 Kajian Pustaka | 7 |
| 2.2 Landasan Teori | 17 |
| 2.2.1 Pembentukan logam..... | 17 |
| 2.2.2 Proses <i>Bending</i> (Penekukan) | 17 |
| 2.2.3 Sumbu Netral | 20 |
| 2.2.4 <i>Buckling</i> | 21 |
| 2.2.5 <i>Spring back</i> | 23 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.2.6 | Tegangan Normal | 23 |
| 2.2.7 | Momen gaya | 25 |
| 2.2.8 | Tegangan Tekan..... | 26 |
| 2.2.9 | Hukum Hooke..... | 27 |
| 2.2.10 | Deformasi plastis | 28 |
| 2.2.11 | Diagram Tegangan dan Regangan | 28 |
| 2.2.12 | Mesin pengerol pipa sistem <i>pneumatic</i> | 29 |
| 2.2.13 | <i>Pneumatic</i> | 32 |
| 2.2.14 | Pipa | 39 |
| 2.2.15 | Pengertian <i>Non Destructive Test</i> (NDT)..... | 43 |
| 2.3 | Hipotesis | 50 |
| BAB III. METODE PENELITIAN | | 51 |
| 3.1 | Waktu dan Tempat Penelitian..... | 51 |
| 3.2 | Metode dan Desain Penelitian | 51 |
| 3.3 | Alat dan Bahan penelitian..... | 52 |
| 3.4 | Parameter Penelitian | 53 |
| 3.5 | Teknik Pengumpulan Data..... | 54 |
| 3.6 | Kalibrasi Instrumen..... | 58 |
| 3.7 | Teknik Analisis Data | 59 |
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | | 63 |
| 4.1 | Deskripsi Data..... | 63 |
| 4.2 | Analisis Data..... | 66 |
| 4.3 | Pembahasan | 72 |
| BAB V. PENUTUP..... | | 76 |
| 5.1 | Kesimpulan | 76 |
| 5.2 | Saran | 77 |
| DAFTAR PUSTAKA | | |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1.1 Data Karakteristik Material..... | 25 |
| Tabel 3.1 Desain Penelitian Faktorial 3×2 | 52 |
| Tabel 3.2 Indikator kualitas pengerollan pipa..... | 54 |
| Tabel 3.3 Penilaian Kualitas Hasil Penegrolan Pipa..... | 58 |
| Tabel 3.4 Data Hasil Nilai Kualitas Pengerollan | 58 |
| Tabel 4.1 Hasil Penilaian Kualitas Hasil Penegrolan Pipa | 63 |
| Tabel 4.2 Data Hasil Nilai Kualitas Pengerollan | 64 |
| Tabel 4.3 Deskriptif Data Kualitas Hasil Pengerollan..... | 64 |
| Tabel 4.4 <i>Test of Normality Shapiro-Wilk</i> pada Kualitas Variasi Sudut Tekuk ... | 67 |
| Tabel 4.5 <i>Test of Normality Shapiro-Wilk</i> pada Kualitas Sistem Pengerollan Pipa | 67 |
| Tabel 4.6 <i>Test Of Homogeneity Of Variance</i> Hasil Pengerollan Pipa | 68 |
| Tabel 4.7 <i>Test of Between-Subject Effect</i> | 69 |
| Tabel 4.8 Hasil Uji Lanjut <i>Post Hoc Test</i> dengan LSD menggunakan aplikasi SPSS 16.0 pada Variasi Sudut Tekuk..... | 70 |
| Tabel 4.9 Hasil Uji Lanjut <i>Post Hoc Test</i> dengan LSD menggunakan aplikasi SPSS 16.0 pada Variasi Sistem Pengerollan | 71 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Proses Penekukan..... | 18 |
| Gambar 2.2 <i>Bending Rotary Draw</i> | 19 |
| Gambar 2.3 Gambar Sumbu Netral..... | 20 |
| Gambar 2.4 Proses Ovalisasi Akibat <i>Local Buckling</i> | 21 |
| Gambar 2.5 Penampang Pipa Pada Suatu Titik | 21 |
| Gambar 2.6 Fenomena <i>Spring Back</i> | 23 |
| Gambar 2.7 Batang Prismatik Yang Mengalami Tarik..... | 23 |
| Gambar 2.8 Skema Momen Sederhana..... | 24 |
| Gambar 2.9 Batang Yang Mengalami Pembebanan Tekan | 25 |
| Gambar 2.10 Diagram Tegangan Dan Regangan Doformasi Plastis..... | 27 |
| Gambar 2.11 Diagram Tegangan Regangan | 28 |
| Gambar 2.10. Desain Mesin Pengerol Pipa <i>Pneumatic</i> | 29 |
| Gambar 2.11. Diagram Weiring Mesin Roll Pipa..... | 31 |
| Gambar 2.12.(a) Jenis <i>Double acting Cylinder</i> & (b) Jenis <i>Single Acting Cylinder</i> | 33 |
| Gambar 2.13. Kompresor..... | 34 |
| Gambar 2.14. Diameter Nominal Pipa..... | 38 |
| Gambar 2.15. Diameter Pipa Menurut ANSI Dan ASME..... | 38 |
| Gambar 2.16. Proses Kerja <i>Magnetic Particle Inspection</i> | 43 |
| Gambar 2.17. Proses Kerja <i>Eddy Current Test</i> | 44 |
| Gambar 2.18. Proses Kerja <i>Ultrasonic Inspection</i> | 45 |
| Gambar 2.19. Dasar Pengujian <i>Radiografi</i> | 46 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian..... | 52 |
| Gambar 4.1 Kualitas Pengerollan Berdasarkan Sudut Tekuk..... | 65 |
| Gambar 4.2 Kualitas Pengerollan Berdasarkan Sistem Pengerollan | 66 |
| Gambar 4.3 Kualitas Pengerollan Berdasarkan Sudut Tekuk..... | 72 |
| Gambar 4.4 Kualitas Pengerollan Berdasarkan Sistem Pengerollan | 73 |
| Gambar 4.5 Grafik Hubungan Sudut Tekuk Dan Sistem Pengerollan Terhadap Kualitas Hasil Pengerollan Pipa Aluminium | 74 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keputusan Penetapan Dosen Pembimbing.

Lampiran 2. Surat Tugas Pembimbing dan Penguji.

Lampiran 3. Surat Ijin Penelitian di SMK AZ Zahro Kendal.

Lampiran 4. Presensi Seminar Proposal.

Lampiran 5. Persentase Keovalan.

Lampiran 6. Hasil Pengerolan.

Lampiran 7. Tabel Penilaian Kualitas hasil Pengerollan.

Lampiran 8. Hasil Uji Normalitas dan Uji Homogenitas SPSS 16.0.

Lampiran 9. Hasil Uji Anava Dua Arah Pada SPSS 16.0.

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era sekarang ini setiap pekerjaan dituntut untuk dilakukan dengan cepat dan dengan hasil yang baik khususnya di bidang industri. Berdasarkan hal tersebut tuntutan bagi pekerja akan ikut bertambah yaitu pekerja harus memiliki skil yang baik agar bisa mengimbangi perkembangan teknologi yang terus semakin pesat. Darto, (2015: 5) mengemukakan bahwa, “Dahulu manusia menggunakan udara bertekanan untuk berbagai keperluan yang terbatas seperti menambah angin ban mobil dll, sebenarnya penggunaan udara bertekanan masih dapat dikembangkan untuk berbagai keperluan seperti proses produksi misalnya gerakan mekanik yang selama ini dilakukan oleh tenaga manusia.

Dengan hal seperti itu, khususnya dalam usaha proses produksi, telah sering kita jumpai sebuah alat pengerol pipa yang telah banyak digunakan dalam dunia perbengkelan dan dunia industri yaitu untuk membuat profil lengkung atau lingkaran sesuai dengan permintaan konsumen. Dengan semakin banyaknya permintaan konsumen sehingga produsen kesulitan memenuhi permintaan maka mesin pengerol pipa yang tadinya menggunakan proses manual dalam pengoprasianya yaitu masih mengandalkan tenaga manusia untuk melakukan pengerollan pipa sekarang berubah menjadi sistem hidrolik dan sistem *pneumatic*. Dalam proses pengerollan secara manual tentunya memerlukan tenaga manusia yang cukup besar sehingga dapat menyebabkan kelelahan bagi pekerja. Wibowo,

dkk (2014: 63) mengatakan bahwa bengkel yang mengerjakan penekukan plat besar sudah tidak menggunakan proses manual. Kebanyakan sudah menggunakan mesin universal dengan sistem press secara *pneumatic* dan hidrolik untuk mempercepat proses produksi dan meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan.

Patial, dkk (2015: 4472) mengemukakan bahwa untuk memperbaiki kinerja mesin pengerol pipa yang awalnya menggunakan sistem manual telah dilakukan modifikasi mesin pengerol pipa yang tadinya manual menjadi mesin pengerol pipa sistem *pneumatic* yaitu dimana penggerak batang pemutar mesin roll pipa tidak lagi digerakan menggunakan tenaga manusia tetapi menggunakan sistem *pneumatic* yaitu memanfaatkan udara bertekanan untuk memutar batang pemutar mesin roll sehingga nantinya pekerjaan penekukan pipa bisa dilakukan dengan lebih, cepat dan efisien

Iswahyudi (2011: 47), menjelaskan bahwa pada proses penekukan, permasalahan umum yang dihadapi adalah ketidak tepatan geometri akibat *springback*. Pada penekukan pipa, permasalahan bertambah karena terjadinya ovalisasi. Pada penekukan pipa berdinding tipis, timbulnya kerutan menyebabkan kegagalan disamping terjadinya ovalisasi. Dari hal tersebut peneliti ingin mengetahui kualitas hasil pengerollan pipa dengan sistem *pneumatic*. Fitriany dkk, (2013: 2) Menjelaskan bahwa di industri pembuatan desain kursi menggunakan berbagai macam jenis material yang semakin beragam dan variatif seiring perkembangan zaman. Material tersebut misalnya rotan, bambo, logam, dan kayu. Wisnujati dkk, (2016: 85) mengemukakan bahwa penggunaan aluminium dan logam paduan aluminium di dunia industri terus berkembang. Bahan tersebut

termasuk dalam golongan logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap karat. Aluminium sendiri dipilih karena pada penggunaannya nanti kursi tersebut akan digunakan didalam ruangan sehingga nantinya mudah dipindahkan karena memiliki sifat ringan. Tentunya dalam pembuatan kursi tersebut dibutuhkan berbagai macam variasi sudut untuk melakukan penekukan sehingga bisa tercipta kursi dengan berbagai macam model yang indah dengan demikian penulis ingin mengetahui kemampuan dari alat pengerol pipa yang menggunakan sistem *pneumatic* ini dalam melakukan pengerollan dengan berbagai macam sudut.

Dari hal tersebut penulis ingin mengetahui kualitas hasil penekukan mesin pengerol pipa yang telah di modifikasi menjadi sistem *pneumatic* dengan melakukan uji coba penekukan pipa dengan berbagai macam variasi sudut penekukan sehingga nantinya akan mengetahui kualitas dari hasil pengerollan pipa dengan sistem *pneumatic* dan sistem manual.

1.2. Identifikasi Masalah

1.2.1. Produsen kesulitan memenuhi permintaan konsumen.

1.2.2. Pemanfaatan udara bertekanan yang masih minim.

1.2.3. Kualitas hasil pengerollan dengan sistem *pneumatic* yang belum diketahui

1.2.4. Proses pengerollan manual membutuhkan tenaga yang besar.

1.2.5. Pada prorses pengerollan terjadi ketidaktepatan geometri.

1.2.6. Pada prorses pengerollan terjadi ovalisasi.

1.2.7. Pada prorses pengerollan terjadi kecacatan berupa kerutan.

1.3. Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini peneliti menggunakan pipa berbahan aluminium dengan diameter $\frac{3}{4}$ inch yang di beri perlakuan penekukan dengan pengerol pipa sistem *pneumatic* dan sistem manual. Penekukan dengan sudut yang bervariasi 45° , 90° , dan 180° . Kualitas hasil penekukan pipa ditentukan dari ketepatan geometri, kecacatan pada penekukan dan ovaliasi.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah tersebut maka dapat ditarik beberapa rumusan masalah yaitu:

- 1.4.1. Bagaimana nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium dengan sistem *pneumatic* dan sistem manual?
- 1.4.2. Bagaimana nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium dengan variasi sudut tekuk pengerollan 45° , 90° , dan 180° ?
- 1.4.3. Apakah variasi sudut tekuk pengerollan 45° , 90° , dan 180° , berpengaruh pada nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium?
- 1.4.4. Apakah sistem pengerollan *pneumatic* dan manual, berpengaruh pada nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium?
- 1.4.5. Apakah ada interaksi variasi sudut tekuk pengerollan 45° , 90° , dan 180° dan sistem pengerollan *pneumatic* dan manual terhadap nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium?

1.5. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.5.1. Untuk membandingkan kualitas hasil pengerollan pipa dengan sistem *pneumatic* dan sistem manual.
- 1.5.2. Untuk mengetahui kualitas hasil pengerollan pipa dengan variasi sudut tekuk pengerollan 45°, 90°, dan 180°.
- 1.5.3. Menguji pengaruh variasi sudut tekuk pengerollan 45°, 90°, dan 180°, berpengaruh pada nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium.
- 1.5.4. Menguji pengaruh sistem pengerollan *pneumatic* dan sistem manual, berpengaruh pada nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium.
- 1.5.5. Menguji interaksi variasi sudut tekuk pengerollan 45°, 90°, dan 180° dan sistem pengerollan *pneumatic* dan sistem manual terhadap nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium.

1.6. Manfaat

Manfaat dengan adanya penelitian mengenai penkukan pipa ini dihaapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1.6.1. Manfaat Teoritis

Secra teoritis hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat yaitu:

- a. Memberikan pengetahuan bagi pengusaha untuk dapat meningkatkan hasil dan kualitas pengerollan pipa.

- b. Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang pengerollan pipa.
- c. Sebagai pijakan dan referensi pada penelitian – penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengerollan pipa.

1.6.2. Manfaat Praktis

Dapat memberikan informasi untuk meningkatkan produksi dan kawalitas hasil pengerollan pipa kepada pengusaha pengerollan pipa sehingga biaya produksi bisa menjadi sedikit dan kualitas penggerolan bertambah bagus sehingga produk yang dihasilkan dapat bersaing di dunia industri.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Penelitian oleh Armanto, dkk, (2015: 103) yang berjudul “Roll Bender Pipa Galvanis Diameter 1,5 Inchi”. Mesin pengerol pipa ini dioperasikan secara manual yaitu menggunakan tenaga manusia di mana dioperasikan menggunakan tangan, maka daya/energi diteruskan melalui rantai sprocket pada roller. Metode yang digunakan untuk membuat mesin ini adalah observasi, perancangan, produksi, perakitan, dan pengujian. Radius lentur terkecil yang dapat dicapai oleh mesin adalah $R = 500$ mm. Penelitian tersebut bertujuan untuk membentuk radius/membengkokkan pipa dengan metode tekan yang diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas dalam industri mesin, terutama industri pagar, kanopi, dan industri besi lainnya. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil: merancang dan membuat alat pembengkok pipa galvanis diameter 1,5 inchi dengan spesifikasi panjang = 600 mm, lebar = 450 mm, dan tinggi = 1120 mm berpengerak manual (engkolan tangan manusia), alat dapat membengkokkan pipa dengan sudut pembengkokan maksimal 1 lingkaran penuh dengan radius pembengkokan minimum yang dapat dicapai $R = 500$ mm.

Penelitian oleh Tambat, dkk (2015: 9) yang berjudul “*Pneumatic Shearing and Bending Machine*” melakukan pengembangan dari mesin pengerol sistem hidrolis dan sistem elektik menjadi mesin *bending* dengan menggunakan sistem *pneumatic*. Penelitian tersebut bertujuan untuk meningkatkan efektivitas waktu

produksi dan produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik yang diharapkan lebih menghemat tenaga operator dan waktu yang terbuang karena kemampuan operator yang terbatas. Dari penelitian ini didapatkan hasil: mesin *pneumatic* memiliki gaya yang bekerja lebih baik dari pada mesin *hidrolik*. Dimana kekuatan mesin *Pneumatic* dapat diatur sesuai gaya yang diperlukan untuk membengkokkan benda kerja. Mesin *pneumatic* lebih murah dibandingkan dengan mesin *hidrolik* yang mahal.

Penelitian oleh Surahto, dkk (2016: 140) yang berjudul “Pengaruh Pengisian Pasir dan Lilin terhadap Kualitas Pembentukan Batang Silinder Pipa” Penelitian ini membahas masalah perubahan bentuk pipa berdiameter 0,5 inci pada ketebalan pipa 1,2 mm dan 1,8 mm yang terkena *stres* (*stres*) selama proses *bending*. Di setiap pipa diberi perlakuan, pipa tanpa isian, pipa berisi pasir dan pipa berisi lilin. Pipa ditebuk dengan sudut 90°. Setelah itu, pipa dipotong untuk mengetahui kondisi masing-masing tekukan pipa. Hasil pengujian dalam mendapatkan bahwa pada diameter pipa 1,2 mm berubah sangat drastis dan diameter pipa 1,8 mm tidak terlalu berubah bentuk drastis. Penelitian ini bertujuan untuk mencari ada tidaknya retakan yang terjadi setelah diberi efek *bending* yang bisa mengakibatkan beberapa kerugian baik dari segi material dan fungsi. Dari penelitian tersebut telah mendapatkan hasil: hasil dari tekukan tidak terjadi retakan pada permukaan bengkakan pipa hanya saja terjadinya perubahan diameter pada bengkakan pipa. Diameter awal pipa sebelum di bengkakan 22,20 mm setelah di bengkakan diameter pipa 1,2 mm mendapatkan diameter *actual* sumbu x 18,54 mm dan *actual* sumbu y 24,64 mm, dan pada pipa 1,8 mm diameter *actual* yang didapat

pada diameter *actual* sumbu x 18,90 mm dan diameter *actual* sumbu y 24,48. Pengisian lilin dan pasir sangat berpengaruh terhadap hasil *bending* pipa, dari hasil pengujian yang telah penulis lakukan pipa dengan ketebalan 1,2 mm lebih pas dengan melakukan pengisian lilin pada saat proses *bendingnya*, dan pipa ketebalan 1,8 mm lebih pas dengan melakukan pengisian pasir pada saat proses *bending*. Semakin tebalnya ketebalan pipa maka hasil bengkokan yang dihasilkan setelah proses *bending* akan semakin bagus.

Penelitian oleh Darto, (2015: 5) yang berjudul “Perencanaan dan Simulasi Sistem *Pneumatic* Pada Mesin Pres Briket Blothong Berbantuan Perangkat Lunak” Penelitian ini membahas tentang penggunaan udara terkompresi yang berkembang dari waktu ke waktu. Sebelumnya, hanya sebatas menggunakan udara bertekanan untuk meningkatkan tekanan udara di ban kendaraan. Saat ini desain *pneumatic* juga telah berkembang pesat sehingga tidak lagi dilakukan secara manual tetapi dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak simulasi, penggunaan perangkat lunak ini lebih cepat dan mudah dalam hal desain. Hasil akhir dari penelitian ini adalah berhasil menerapkan simulasi perangkat lunak sistem *pneumatic* pada mesin press briket blothong. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerja suatu sistem *pneumatic* dan mengetahui proses pengepresan briket serta mampu memahami dan membuat perancangan dan perhitungan sistem *pneumatic* dari penelitian tersebut telah mendapatkan hasil: Telah dapat dirancang dan disimulasikan mesin press briket blothong dengan menggunakan sistem *pneumatic* berbantuan perangkat lunak. Pengembangan alat pembuat briket dengan sistem kendali *pneumatic*, dapat menghasilkan waktu proses kerja yang lebih cepat dari pada alat pembuat briket

manual hal ini dapat dilihat dari perhitungan langkah maju piston yang sebesar 0,38 detik. Daya luaran pompa yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan udara dalam rangka menunjang kerja dari alat pres briket blothong yaitu sebesar 3,9 kW

Penelitian oleh Hermawan & Mulyadi, (2013: 6) yang berjudul “Peningkatan Kualitas Produk UKM Kursi Lipat Dengan Metode Internal *Pressure* dan Rancang Bangun Mesin *Bending* Konvensional” Penelitian ini membahas tentang Produk dengan kualitas yang baik diperoleh dari adanya proses pembentukan yang baik. Keovalan salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh proses *bending*. Proses *bending* tanpa tekanan internal. Tekanan internal yang digunakan: 100, 200, 250 dan 300 bar. Peralatan yang digunakan dalam proses *bending* terdiri dari pompa hidrolis, *Pressure gauge*, regulator/*valve*, T Fitting, Oli SAE 40 dan *Nivle Pipe* (NPT) .Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh tekanan hidrolis terhadap proses keovalan *bending* dengan bahan baku pipa melingkar kursi kamp. Penelitian dilakukan untuk merancang dengan melakukan variasi diameter tabung 16, 19,05 dan 25,4 mm. Hasilnya tekanan *hidrolis* menghasilkan minimum keovalan adalah untuk D tube 16 mm sama dengan 300 bar sedangkan untuk D tube 19,05 mm dan 25,4mm sama dengan 250 bar.

Penelitian oleh Geraldine dkk, (2016: 596) yang berjudul “Analisis Tekuk Kritis Pada Pipa Akibat Tekanan Internal” Penelitian ini membahas tentang tekanan internal yang terjadi pada pipa dapat menyebabkan kegagalan struktur yaitu berupa *buckling* atau tekuk. Penyebab terjadinya *buckling* bisa bermacam-macam, salah satunya adalah kondisi pembebanan. Pada penelitian ini, model pipa divariasikan

menjadi dua belas macam berdasarkan panjang, diameter dan ketebalan. *Buckling* dianalisis menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan sifat material pada pipa, yaitu elastis dan elasto-plastis, serta deformasi yang terjadi pada setiap pipa. Untuk analisa elasto-plastis, *Pressure buckling* berkisar 1.7×10^7 Nm dikarenakan material bersifat elastis karena *yield stress* dari material tersebut. Semakin panjang pipa yang dimana perbandingan L/D semakin besar maka besarnya *Pressure buckling* semakin besar tetapi efek tekanan internal yang berkerja semakin kecil sehingga membuat konstan. Dari penelitian tersebut telah mendapatkan hasil: Pertambahan panjang pipa dan diameter pipa dengan ketebalan yang tetap menyebabkan nilai *pressure buckling* yang terjadi semakin kecil karena efek kondisi batas pada ujung akan menghilang pada pipa panjang. Untuk analisis elasto-plastis, nilai *pressure buckling* yang terjadi lebih kecil dari pipa yang bersifat elastis. Hal ini disebabkan oleh dibatasi *yield stress* yang membatasi kekuatan *bucklingnya*. Nilai tegangan yang terjadi berkisar 1.7×10^8 Pa hampir sama dengan nilai *yield stress* 1.72×10^8 Pa.

Penelitian oleh Rokhim dkk, (2016: 658) yang berjudul “Analisa Tekuk Kritis Pada Pipa Berbentuk Segi Empat Yang Dikenai Beban *Bending* Dengan Variasi Penampang Horizontal” Penelitian ini membahas tentang perubahan *cross-sectional oval deformation* pipa segi empat divariasikan horizontal menjadi 27 macam dengan model principle $a/b = 1, 2, 4$; $a/t = 15, 10, 20$; $l/a = 10, 15, 20$ menggunakan momen *bending*. *Buckling* dianalisis menggunakan metode elemen hingga, mempertimbangkan sifat material pada pipa yaitu elastis dan elasto-plastis, serta deformasi yang terjadi pada setiap pipa. Semakin pipih pipa yang di mana

semakin besar nilai a/b , maka semakin kecil terjadinya deformasi. Tetapi, dengan semakin besar nilai deformasi, momen *buckling* yang terjadi semakin besar dan yang akhirnya akan konstan. Dari penelitian tersebut telah mendapatkan hasil: Daerah yang terjadi *buckling* berada di tengah model, terlihat di *midspan*. Dengan bertambahnya panjang pipa segi empat, momen *buckling* yang terjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh semakin kecilnya deformasi yang terjadi menjadikan semakin kecil pula momen *buckling* yang terjadi saat elastis, namun saat elasto plastis nilai deformasi dan momen *buckling* relatif sama. Semakin besar a/b atau semakin pipih model dengan panjang sama dan tebal sama maka semakin kecil nilai deformasinya dan momen *buckling* saat elastis begitu pula saat elasto plastis.

Penelitian oleh Iswahyudi, (2013: 47) yang berjudul “Kajian Teoretis Kerutan Di Daerah Tekukan Pada Pipa Hasil Proses *Bending*” Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan teori *buckling* plastis untuk memperkirakan kapan mulai terjadi kerutan pada proses penekukan profil khususnya pipa. Profil atau pipa yang ditebuk dilokalisir pada bagian yang mendapatkan beban tekan kemudian dianalogikan sebagai kolom yang mendapatkan beban tekan. Pipa dengan rasio tebal dibanding diameter luarnya dengan nilai di atas 0,1 akan mengalami kerutan plastis. Metode tangent modulus, metode *shanley* dan metode *reduced* modulus digunakan untuk memperkirakan kapan mulai terjadi pembentukan kerutan. Hasil analisa menunjukkan bahwa perkiraan pembentukan kerutan dengan menggunakan *reduced* modulus lebih cepat dari pada dengan menggunakan metode *shanley* dan tangent modulus. Persentase perbedaan jari-jari penekukan di mana kerutan mulai timbul antara hasil analisa menggunakan metode *reduced* modulus dengan tangent

modulus dibanding tangent modulus adalah 95%. Sementara itu, persentase perbedaan jari-jari penekukan antara hasil perhitungan menggunakan metode *shanley* dengan tangent modulus dibanding metode tangent modulus adalah 39%. Dari penelitian tersebut telah mendapatkan hasil metode tangent modulus, *shanley* dan *reduced* modulus yang digunakan untuk memperkirakan terjadinya *buckling* plastis pada kolom yang diberi beban tekan dapat digunakan untuk memperkirakan terjadinya kerutan pada proses penekukan pipa. Metode tangent modulus dapat digunakan untuk memperkirakan batas penekukan pipa jika diinginkan hasil penekukan tanpa kerutan. Penggunaan metode tangent modulus untuk menentukan batas terjadinya kerutan pada proses penekukan pipa dapat dikoreksi menurut syarat batas perancangan terjadinya kerutan pada proses penekukan pipa. Penggunaan metode perkiraan mulai terjadinya kerutan pada proses penekukan pipa atau profil sebaiknya dikoreksi kembali berdasarkan persyaratan tingkat terjadinya kerutan produk.

Penelitian oleh Pranowo Sidi, (2012: 398) yang berjudul “Analisis Kekerasan Pada Pipa Yang Dibengkokkan Akibat Pemanasan” Penelitian ini membahas tentang proses *bending* pipa memerlukan perhatian khusus karena membuat sifat mekanik yang berbeda. Peningkatan kekerasan menyebabkan material rapuh. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis distribusi gaya pada bagian pipa sebagai akibat dari kurva pemanasan dan 800°C 670°C dengan sudut lentur 90° dan 180°. SA 335 adalah spesimen pipa dengan ukuran diameter luar 44,5 mm dan ketebalan 8 mm. Pada awalnya, kedua pipa dipanaskan hingga suhu 670°C dan 2 pipa lainnya yang dipanaskan hingga suhu 800°C, kemudian 2

pipa ditekuk pada setiap suhu pemanasan 90° dan 180° . Setelah itu potong pipa untuk meraih ketiga dalam replikasi di setiap kondisi 4 pipa. Dari hasil pengujian ditemukan bahwa sudut *bending* berpengaruh pada nilai kekerasan. Semakin besar sudut *bending*, semakin tinggi nilai kekerasannya

Penelitian oleh Sasidharan et al, (2017: 254) yang berjudul “*Ramifications of Structural Deformations on Collapse Loads of Critically Cracked Pipe Bends Under In-Plane Bending and Internal Pressure*” Penelitian ini membahas tentang analisis elemen hingga berdasarkan bahan plastik *elastis-epersfectly* dilakukan untuk memeriksa pengaruh deformasi struktural pada beban sirkumensial melalui-dinding kritis retak dengan sudut tekuk 90° mengalami tekukan pipa dibidang tekukan terahir dan tekanan internal. Retakan kritis didefinisikan untuk retakan keliling melalui dinding pada ekstradena dengan sudut tersubstitusi di bawah ini yang tidak ada efek pelemahan pada momen gagalnya siku yang mengalami tekukan pipa dibidang tekukan terahir. Penampang elips dan semioval didalilkan di daerah bengkokan dan dibandingkan. *Metode twice-elastic-slope* digunakan untuk mendapatkan beban keruntuhan. Deformasi struktural, yaitu, *ovality* dan penipisan, masing-masing bervariasi dari 0% hingga 20% dalam langkah 5% dan tekanan internal yang dinormalisasi bervariasi dari 0,2 hingga 0,6. Hasil menunjukkan bahwa penampang eliptik cocok untuk rasio pipa 5 dan 10, sedangkan untuk rasio pipa 20, penampang semioval memberikan solusi yang memuaskan. Efek dari *ovality* pada kegagalan beban adalah signifikan, meskipun dibatalkan pada nilai tertentu dari tekanan internal yang diterapkan. Penyusutan memiliki efek yang dapat diabaikan pada gagalnya beban tikungan dengan geometri retak dianggap.

Penelitian oleh Okafor & Isiohia (2014: 305) yang berjudul “*Development of a Motorized Pipe Bending Machin*” melakukan pengembangan dari mesin pengerol pipa manual dimana dalam pengoperasiannya menggunakan motor elektrik dengan dilengkapi dengan mekanisme untuk mereduksi menggunakan spur gear. Penelitian tersebut bertujuan untuk medesain dan menganalisis gaya yang bekerja pada mesin pengerol motor elektrik serta memberikan solusi agar pekerjaan pengerollan lebih efektif dengan menggunakan alat semi-otomais seperti mesin *bending* motor listrik/elektrik dibandingkan mesin pengerol manual. Dari penelitian ini didapatkan hasil: Ketebalan pipa hingga 2 mm dapat ditebuk secara manual bergantung pada kekuatan fisik operator. Ketebalan pipa hingga 1 mm dapat secara elektrik ditebuk paling aman, tetapi waktu yang lama untuk pipa di atas 1 mm. Penyimpangan tipis dari sudut lengkung yang diinginkan disebabkan oleh aksi pegas pipa, yang mengurangi dengan penurunan sudut lengkung. Kerutan dan tonjolan pipa selama pembengkokan terlihat pada pipa dengan ketebalan yang lebih rendah. Dengan roll yang semi melingkar, sudut antara 80° sampai 180° dapat diperoleh, di mana pipa bengkok diamati mengikuti kontur roll untuk memberi bentuk U atau C. Untuk mendapatkan sudut lengkungan yang lebih rendah, roll yang berbeda khusus dibuat menjadi 45° .

Penelitian oleh Manoj et al, (2017: 1403) yang berjudul “*Design And Fabrication Of Pneumatic Bar Bending Machine*” melakukan pengembangan alat pembuat begel yang tadinya manual menjadi sistem *pneumatic* dalam pengoprasianya penelitian ini bertujuan untuk melakukan operasi *bending* untuk behel menggunakan *pneumatic* dan dinamakan sebagai mesin *bending pneumatic*

batang. Tujuan utama dari penelitian kami adalah untuk menerapkan mesin *bending pneumatic* batang di lokasi konstruksi dengan biaya lebih rendah dibandingkan dengan mesin *bending* yang ada, dan meningkatkan produktivitas begel. Mesin *pneumatic rod bending* terdiri dari *Pneumatic cylinder, Compressor, Hoses, Pulley, Cutting blades, Fixture, Electronic circuits, Switches* dan *wiring*. Batang diteuk oleh piston *Pneumatic cylinder* dengan memegang *rod* di *fixture*. Keuntungan utama dari alat mereka adalah bentuk persegi dari begel dibengkokkan terus menerus tanpa memosisikan kembali batang di dalam mesin. Dari penelitian ini didapatkan hasil dengan menggunakan berbagai perlengkapan di meja, kita dapat mencapai berbagai bentuk dan ukuran begel. Sistem ini dapat ditangani oleh operator apa pun dengan sangat mudah. Karena desainnya yang murah dan sederhana, mesin ini dapat dijual ke mana saja di seluruh negeri. Penggunaan mesin *bending* bar untuk produksi massal. Dengan menggunakan mesin *bending* bar muka meningkatkan tingkat produksi dan mengurangi biaya tenaga kerja.

2.2. Landasan Teori

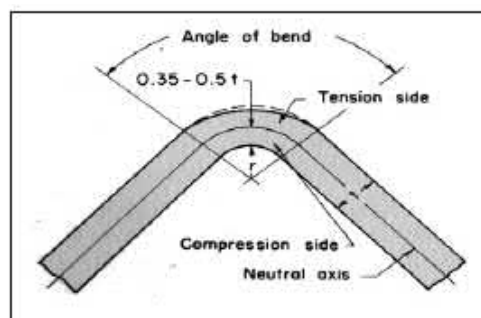
2.2.1. Pembentukan logam

Metode yang digunakan pada proses pembentukan logam diantaranya adalah proses *bending* atau penekukan, *squeezing*, *rolling*, *spinning*, *deep drawing*, *stretching*, *crumping*, *blanking*, *press* dan sebagainya. Setiap proses memiliki kemampuan pembentukan tersendiri, misalnya untuk proses *bending*, proses ini mampu menekuk pelat secara lurus dan rapi yang digunakan untuk peralatan perkantoran seperti file *cabinet*, *locker*, lemari data dan sebagainya. Proses pengerollan pelat juga sangat banyak digunakan untuk pembuatan-pembuatan pipa, tangki-tangki, bejana bertekanan seperti ketel atau boiler dan lain-lain. Produk pengerollan ini juga dapat dilakukan secara manual maupun dengan motor kontrol. Penggerak dengan motor kontrol ini memudahkan dalam proses pengerollan, khususnya pengerollan pipa dengan tingkat ketelitian yang tinggi

2.2.2. Proses *Bending* (Penekukan)

Ambiyar, dkk (2008: 554) menjelaskan bahwa mekanika proses penekukan terdiri dari dua komponen gaya yakni: tarik dan tekan (lihat gambar 2.1). Pada gambar memperlihatkan pipa yang mengalami proses pembengkokan ini terjadi peregangan, netral, dan pengkerutan. Daerah peregangan terlihat pada sisi luar pembengkokan, dimana daerah ini terjadi deformasi plastis atau perubahan bentuk. Peregangan ini menyebabkan pelat mengalami pertambahan panjang. Daerah netral merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan. Artinya pada daerah netral ini pipa tidak

mengalami pertambahan panjang atau diperpendekkan. Daerah sisi bagian dalam pembengkokan merupakan daerah yang mengalami penekanan, dimana daerah ini mengalami pengkerutan dan penambahan ketebalan, hal ini disebabkan karena daerah ini mengalami perubahan panjang yakni diperpendekkan. atau menjadi pendek akibat gaya tekan yang dialami oleh pipa.



Gambar 2.1. Proses Penekukan (Ambiyar, 2008: 555)

Bending merupakan pengerjaan dengan cara memberi tekanan pada bagian tertentu sehingga terjadi deformasi plastis pada bagian yang diberi tekanan. Sedangkan proses *bending* merupakan proses penekukan atau pembengkokan menggunakan alat *bending* manual maupun menggunakan mesin *bending*. Adapun macam-macam dari proses penekukan yaitu:

a. *Bending Ram*

Biasanya digunakan untuk membuat lengkungan besar untuk logam yang mudah bengkok. Dalam metode ini, plat atau pipa ditekan pada 2 poin eksternal dan ram mendorong pada besi pada poros tengah untuk menekuknya. Cara ini cenderung membentuk menjadi bentuk oval baik di bagian dalam dan luar lengkungan.

b. *Bending Rotary draw*

Digunakan untuk membengkokkan besi sebagai pegangan tangan, yang lebih keras. Bending Rotary draw imbang menggunakan 2 cetakan: cetakan bending stasioner dan cetakan bending dengan diameter tetap untuk membentuk lengkungan. Cara ini digunakan apabila plat atau pipa yang akan dibending perlu memiliki hasil akhir yang baik dengan diameter konstan di seluruh panjang.

c. *Bending Mandrel*

Selain cetakan yang digunakan dalam rotary bending, yakni dengan cara menggunakan support fleksibel yang ikut bengkok dengan logam untuk memastikan interior logam tidak cacat.

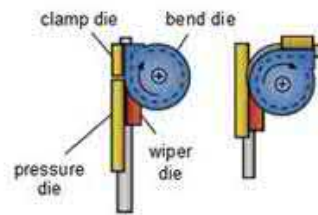
d. *Bending Roll*

Digunakan ketika diperlukan lengkungan yang besar pada logam. Banyak digunakan untuk pekerjaan konstruksi. Bending Roll menggunakan 3 roller yang disusun membentuk segi tiga pada satu poros untuk mendorong dan membengkokkan logam.

e. *Bending Panas*

Sistem ini banyak digunakan dalam proses perbaikan, yaitu dengan cara logam dipanaskan didaerah penekukan sehingga menjadi lebih lunak.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengerollan pipa dengan cara *bending rotary draw* karena hasil yang diinginkan lengkungan hasil pengerol tidak terlalu besar dan tidak banyak terjadi perubahan diameter pada daerah tekukan pipa yang diroll



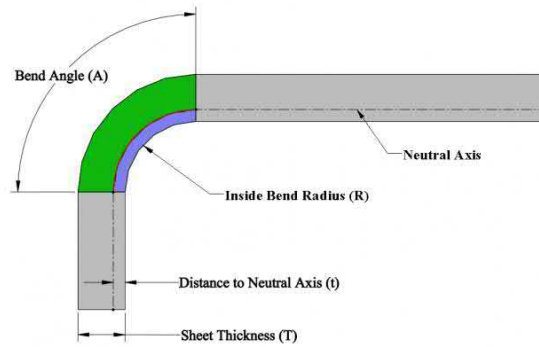
Gambar 2.2 *Bending Rotary Draw* (Marsis & Iswantoro, 2007: 43)

2.2.3. Sumbu Netral

Surahto, dkk (2016: 141) menjelaskan bahwa radius *sheet metal* bagian luar terjadi gaya tarik dan pada bagian dalam terjadi gaya tekan, maka pada daerah pertemuan yang tidak ada gaya tarik ataupun gaya tekan. Titik-titik tersebut bila disambung akan menjadi garis yang disebut sumbu netral (*neutral axis*). Walaupun namanya sumbu netral tetapi ternyata tidak selalu berada tepat di tengah-tengah antara kedua sisi. Karena panjang dari sumbu netral masih tetap sama dengan panjang material aslinya, maka dipakai untuk perhitungan panjangnya material bukaan (*development material*). Beberapa hal yang mempengaruhi sumbu netral tersebut antara lain sebagai berikut:

- a. Bila tebal material sama dan *bending* radius. Maka sumbu netral akan bergerak ke dalam.
- b. Bila *bending* radius sama dan tebal material bertambah, maka sumbu netral akan bergerak ke dalam.
- c. Bila *bending* radius dan tebal material sama dan sudut bengkok (*degree of bend*) bertambah, maka sumbu netral akan bergerak ke dalam.

Hal hal tersebut diatas sering kali akan menyebabkan melesetnya perhitungan *blank development*, sehingga masih perlu adanya perubahan-perubahan setelah *trial*.



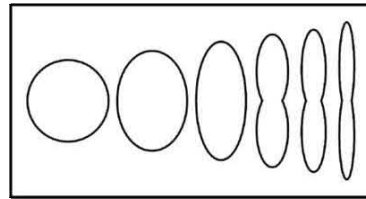
Gambar 2.3 Gambar Sumbu Netral (Mojarad, 2018: 5)

2.2.4. Buckling

Geraldine, dkk., (2016: 597) menjelaskan bahwa *buckling* dapat didefinisikan sebagai sebuah fenomena kegagalan yang terjadi secara tiba-tiba akibat dari tekanan atau gangguan yang terjadi pada sebuah struktur sehingga menyebabkan terjadinya perubahan bentuk struktur tersebut berupa *defleksi lateral* ke bentuk kesetimbangannya yang lain.

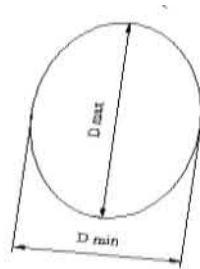
Buckling pada pipa dapat diartikan sebagai pemipihan atau ovalisasi pada penampang pipa yang terjadi pada satu atau seluruh bagian pipa. Buckle dapat berupa “*buckle kering*” dan “*buckle basah*”. *Buckle* disebut kering jika pipa tidak retak dan disebut basah jika pipa terjadi retak dan retaknya diisi oleh air. Berdasarkan beban dan kondisi *support* pipa, satu atau lebih dari 2 tipe *Buckling* di bawah ini dapat terjadi, yaitu:

- a. *Local Buckling* dari dinding pipa karena tekanan eksternal, gaya aksial dan momen lentur.
- b. *Propagation Buckling* karena tekanan eksternal dan juga karena telah terjadi *local buckle* sebelumnya



Gambar 2.4 Proses Ovalisasi Akibat *Local Buckling*

Adapun cara untuk mengukur *ovaliasi* adalah:



Gambar 2.5 Penampang Pipa Pada Suatu Titik (Hermawan & Mulyadi, 2013: 2)

$$\text{Ovaliasi (\%)} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\text{nom}}} \times 100\%$$

Dimana:

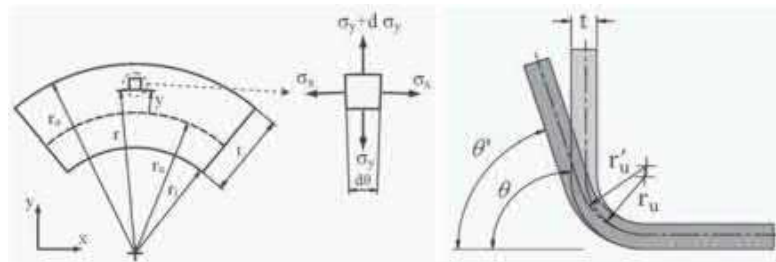
D_{\max} = Diameter maximum (mm)

D_{\min} = Diameter minimum (mm)

D_{nom} = Diameter nominal (mm)

2.2.5. Spring back

Ambiyar, dkk (2008: 540) menjelaskan bahwa *spring back* merupakan gaya balik yang ditimbulkan akibat pengaruh elastisitas bahan pelat yang mengalami proses pembentukan. Besarnya gaya balik ini ditentukan oleh harga modulus elastisitas bahan. Dalam proses pembengkokan ini harus diperhatikan gaya balik atau *spring back* ini. Biasanya akibat *spring back* terjadi penyimpangan terhadap sudut pembengkokan yang dibentuk. Seorang pekerja harus dapat memperhitungkan besarnya *spring back* ini. Contoh sederhana dapat diperlihatkan pada saat proses pembengkokan apabila diinginkan untuk pembentukan *bending* dengan sudut 90° maka besarnya sudut tekan pada sepatu pembengkok harus diperkecil dari 90° ($<90^\circ$). Sehingga pada saat dilepas sepatu pembengkok akan menghasilkan sudut pembentukan menjadi sama dengan 90° .

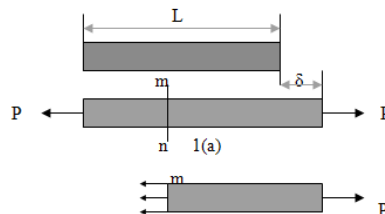


Gambar 2.6 Fenomena *Spring Back* (Prayoga, 2016: 26)

2.2.6. Tegangan Normal

Widarto (2008: 10) menjelaskan konsep dasar dari tegangan dapat dilakukan dengan meninjau batang prismatik (*prismatic bar*) yang di bebani dengan gaya-gaya aksial (P) pada setiap ujung – ujungnya. Batang prismatik

adalah batang lurus yang memiliki penampang yang sama pada keseluruhan panjangnya. Gaya-gaya aksial menimbulkan tarikan sama rata pada batang sehingga batang mengalami tegangan tarik (*tension stress*).



Gambar 2.7 Batang Prismatik Yang Mengalami Tarik (Surahto, dkk, 2008: 144)

Dengan menganalisa tegangan internal yang ditimbulkan oleh gaya aksial maka dibuat suatu irisan mn, irisan ini dikenal sebagai suatu penampang (*cross section*). Beban tarik (P) bekerja pada ujung batang, sementara pada bagian lain bekerja yang menyatakan gaya aksi dari bagian batang yang dipisahkan. Tegangan terdistribusi secara merata pada gambar 10 bahwa resultannya sama dengan intensitas (σ) kali luas penampang A, resultan ini besarnya sama dengan beban P yang dikenakan tetapi arahnya berbeda, maka di peroleh $\sigma_{\text{tarik}} = \frac{P}{A}$

Dimana:

σ : tegangan yang terjadi pada penampang(kgf/cm²)

P : gaya pada penampang batang (kg/cm)

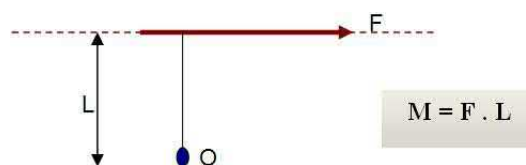
A: luas penampang batang (cm²)

Tabel 1.1. Data Karakteristik Material (Alfadhlan dkk, 2013: 402)

| Jenis Material | Aluminium | Baja Karbon | Stainless Steel |
|--|-----------|-------------|-----------------|
| Berat Jenis (G/Cm3) | 2,73 | 7,85 | 7,81 |
| Modulus Elastisitas (GPa) | 68,9 | 200 | 197 |
| Tegangan Luluh (Yield Strength) (MPa) | 41,4 | 250 | 397 |
| Tegangan Tarik Kritis (Ultimate Tensile Strength)(MPa) | 110 | 330 | 758 |

2.2.7. Momen gaya

Widarto (2008: 6) menjelaskan momen gaya F terhadap titik pusat O adalah hasil kali antara besarnya gaya F dengan jarak garis gaya, ke titik pusat O . Besarnya momen tergantung dari besarnya gaya F dan jarak garis gaya terhadap titik putarnya (L). Dalam bidang teknik mesin momen sering terjadi pada saat mengencangkan mur atau baut, pengguntingan pelat, sistem pegas, dan sebagainya. Apabila momen bekerja ke arah kanan (searah dengan jarum jam) maka dinamakan momen positif (+), sebaliknya apabila momen bekerja berlawanan arah jarum jam maka momen tersebut dinamakan momen negative (-).



Gambar 2.8 Skema Momen Sederhana (Widarto, 2008: 6)

Karena gerakan gaya itu memutar maka momen gaya tersebut besarnya sama dengan besar gaya yang dikalikan dengan jarak . Maka besar momen yang terjadi adalah:

Dimana:

M: Momen gaya (N/cm, kgf.cm)

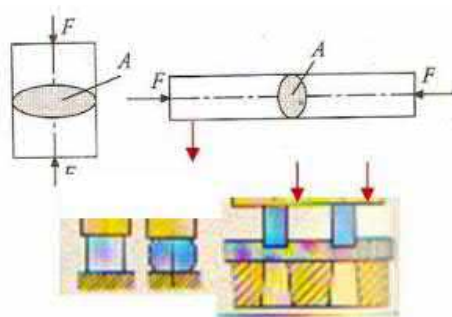
$$M = F \times L$$

F: Gaya (kg)

L: Panjang Lengan (cm)

2.2.8. Tegangan Tekan

Widarto (2008: 11) Menjelaskan bahwa tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya F yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Pembebanan tekan merupakan kebalikan dari pembebanan tarik, maka tegangan tekan tekan juga merupakan tegangan tarik. Pembebanan tekan terjadi apabila gaya luar bekerja sejajar dengan sumbu batang ke arah batang tersebut. Akibat beban tekan tersebut , penampang batang akan bertambah pendek dan terjadi pembesaran penampang. Bila batang tidak mampu menahan beban tekan tersebut maka batang akan rusak atau pecah.



Gambar 2.9 Batang yang Mengalami Pembebanan Tekan (Widarto, 2008: 11)

Gaya dalam (F_n) benda itu menahan pengaruh gaya luar, makin besar luas penampangnya makin besar pula kekuatan benda itu. Untuk mengetahui besar tegangan yang terjadi maka dapat di ketahui dengan menggunakan persamaan $\sigma \text{ tekan} = F/A$

Dimana:

σ : tegangan tekan yang terjadi pada penampang (kgf/cm^2)

F: gaya pada penampang batang (kg/cm)

A: luas penampang batang (cm)

2.2.9. Hukum Hooke

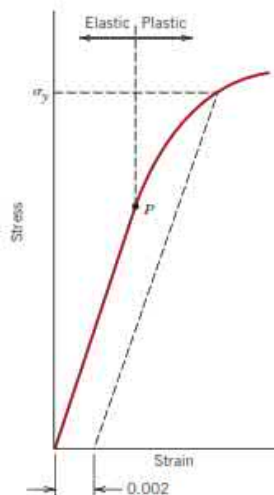
Gere & Timosenko (2000: 21) Menjelaskan bahwa Hooke adalah orang pertama yang menyelidiki secara ilmiah besaran elastis beberapa bahan, dan ia menguji bahan-bahan seperti metal, kayu, batu, dan tulang. lalu mengukur perpanjangan kawat yang memikul gaya berat dan mengamati bahwa perpanjangannya "selalu mempunyai proporsi yang sama dengan berat material yang membentuk kawat tersebut". Jadi, Hooke membangun hubungan linier antara beban dan perpanjangan yang ditimbulkannya.

Apabila beban yang dikenakan pada suatu batang sebelum melampaui batas proposionalnya maka akan berlaku ketentuan sebagai berikut:

- a. Perpanjangan atau perpendekan akan berbanding lurus dengan beban dan panjang semula, tetapi berbanding terbalik dengan penampangnya.
- b. Perubahan memanjang dari sebuah batang berbanding lurus dengan beban dan panjang semula, tetapi berbanding terbalik dengan modulus kenyal.

2.2.10. Deformasi plastis

Callister & Wiley (2006: 143) Menjelaskan bahwa deformasi plastis merupakan proses perubahan bentuk yang terjadi diakibatkan dari tegangan yang melampaui kekuatan dari bahan tersebut sehingga mengakibatkan penampang/permukaan bahan mengalami tarikan atau tekukan permukaan bagian luar mengalami perpanjangan dan permukaan pada bagian dalam terjadi tekukan akibat tarikan/gaya yang bekerja pada bahan tersebut. Deformasi plastis inilah yang terjadi pada proses penekukan pipa, karena pipa mengalami gaya tarik yang bekerja memutar pada sebuah titik sumbu.

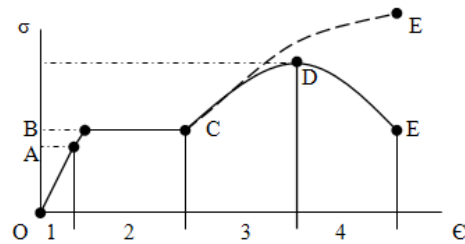


Gambar 2.10 Diagram Tegangan Dan Regangan Doformasi Plastis (Callister & Wiley, 2006: 143)

2.2.11. Diagram Tegangan dan Regangan

Surahto, dkk, (2016: 145) Menjelaskan bahwa apabila batang dalam pemakaian pada konstruksi dibebani gaya luar melebihi kekuatan bahan itu sendiri maka bahan akan mengalami kerusakan seperti memanjang,

memendek, melengkung, bahkan patah atau pecah. Tegangan yang terjadi pada beban maksimum merupakan batas tegangan patah. Tegangan patah adalah beban maksimum yang menyebabkan patah dan dibagi dengan luas penampang batang



Gambar 2.11 Diagram Tegangan Regangan (Surahto, dkk, 2016: 146)

Keterangan:

A: Batas sebanding 1: Daerah *linear*

B: Tegangan leleh 2: Plastisitas sempurna

C: Tegangan leleh 3: Perkuatan regangan

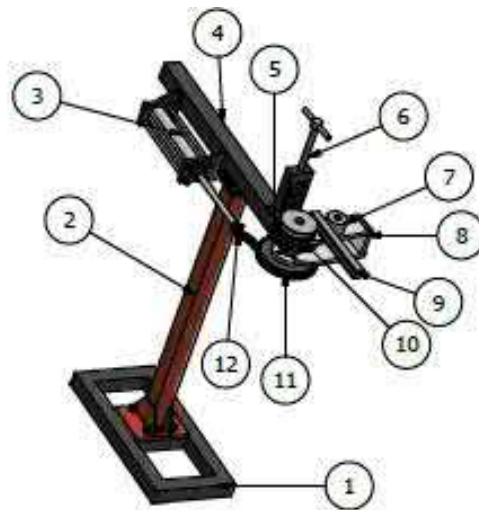
D: Tegangan batas 4: Konstruksi luas

E: Putus

2.2.12. Mesin pengerol pipa sistem *pneumatic*

Mesin pengerol pipa merupakan salah satu mesin tepat guna. Mesin pengerol pipa adalah mesin yang digunakan untuk mengerol pipa yang semula dalam bentuk lonjoran lurus berubah menjadi melengkung dan melengkungnya pipa ini disesuaikan sesuai kebutuhan dan kegunaan. Mesin pengerol pipa ini menggunakan tenaga angin bertekana sebagai tenaga

penggeraknya. Untuk pengerollan ini dibutuhkan penekanan pada bagian pipa yang akan dibuat melengkung.



Gambar 2.12. Desain Mesin Pengerol Pipa *Pneumatic*

Keterangan bahan:

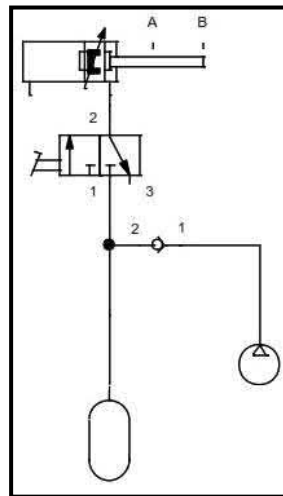
- | | |
|----------------------------|---------------------|
| 1. Rangka bawah | 7. Bantalan Penahan |
| 2. Rangka tengah/penyangga | 8. Rangka Penekuk |
| 3. Piston <i>Pneumatic</i> | 9. Pembentuk Profil |
| 4. Rangka Atas | 10. Roller |
| 5. Pengatur Sudut Tekuk | 11. Gear |
| 6. Penjepit Pipa | 12. Rantai |

Untuk konsep cara kerja mesin ini memiliki persamaan dengan mesin pengerol pipa secara manual. Dengan mempunyai dua roller sebagai penompang dan satu roller sebagai penekannya. Selain itu, penggunaan

sistem *pneumatic* pada mesin ini sangat membantu untuk mempermudah dalam proses pengerollannya karena hanya membutuhkan sedikit tenaga untuk memutar handle penekanannya. Pada roller penekan dihubungkan dengan handle oleh poros berulir sebagai penerus tekanannya. Handle ini akan diputar secara pelan-pelan saat mesin dihidupkan.

Penekanan pada roller ini lah yang nantinya akan menentukan hasil dari pengerollan. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal maka dalam memutar handle ini harus pelan-pelan dan terus menerus. Prinsip kerja dalam proses pengerollan pipa ini ada beberapa tahap yaitu:

1. Pengukuran benda kerja, pada tahap ini benda kerja ditentukan bagian-bagian yang akan dilakukan proses pengerollan. Setelah itu, pada bagian yang akan dirol diberi tanda.
2. Pengerollan benda kerja, pada tahap ini benda kerja yang sudah diberi tanda selanjutnya akan dimulai proses pengerollan. Pada proses ini dilakukan secara berulang ulang dari kiri kekanan atau sebaliknya.
3. Pemeriksaan benda kerja, pada tahap ini benda kerja yang sudah dirol akan diperiksa kelengkungannya apakah sudah sesuai keinginan atau masih ingin dilakukan proses pengerollan lagi.
4. Pemeriksaan akhir, pada tahap ini benda kerja yang sudah selesai dirol akan diperiksa kembali. Untuk memeriksa apakah bentuknya sudah baik dan apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 2.13. Diagram Weiring Mesin Roll Pipa

2.2.13. *Pneumatic*

Menurut Sumbodo, dkk (2008: 469) menyatakan *Pneumatic* berasal dari bahasa Yunani, yaitu 'pneuma' yang berarti napas atau udara. Istilah *pneumatic* selalu berhubungan dengan teknik penggunaan udara bertekanan, baik tekanan di atas 1 atmosfer maupun tekanan di bawah 1 atmosfer (*vacuum*).

Sistim gerak dalam *pneumatic* memiliki optimalisasi/efektifitas bila digunakan pada batas-batas tertentu. Adapun batas-batas ukuran yang dapat menimbulkan optimalisasi penggunaan *pneumatic* antara lain: diameter piston antara 6 s/d 320 mm, anjang langkah 1 s/d 2.000 mm, tenaga yang diperlukan 2 s/d 15 bar, untuk keperluan pendidikan biasanya berkisar antara 4 sampai dengan 8 bar, dapat juga bekerja pada tekanan udara di bawah 1 atmosfer (*vacuum*), misalnya untuk keperluan mengangkat plat baja dan sejenisnya melalui katup karet hisap *flexibel*.

1. Keuntungan *Pneumatic*

a. Fluida mudah di dapat

Udara di mana saja tersedia dengan jumlah yang tak terhingga serta udara bekas yang di hasilkan dari proses penekanan pada *pneumatic* dapat di buang bebas.

b. Bersih dan kering

Udara mampat adalah bersih dan kering jadi apabila terjadi kebocoran pada saluran perpipaan tidak akan mengotori lingkungan sekitar pipa yang terjadi kebocoran.

c. Tidak peka terhadap suhu

Jadi udara yang di gunakan sepenuhnya bersih sehingga dapat di gunakan baik pada suhu tinggi mau pun suhu yang rendah,udara mampat juga dapat di gunakan pada tempat yang sangat panas.

d. Aman terhadap kebakaran dan ledakan

Keamanan kerja serta produksi besar dari udara mampat tidak mengandung bahaya kebakaran maupun ledakan.

2. Kerugian *Pneumatic*

a. Gaya tekan terbatas

Udara mampat hanya dapat membangkitkan gaya yang terbatas.Untuk gaya gaya yang besar pada suatu tekanan bisa dalam jaringan,dan di butuhkan diameter torak yang besar.

b. Biaya energi tinggi

Biaya produksi udara mampat tinggi oleh karena itu untuk produksi dan distribusi di butuhkan peralatan – peralatan khusus.

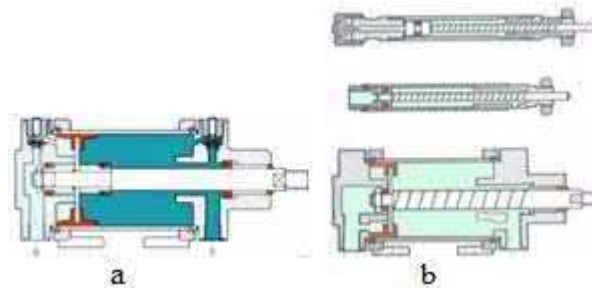
c. Menimbulkan suara bising

Udara yang di tiup keluar menyebabkan kebisingan terutama dalam ruang-ruang kerja yang sangat mengganggu.

3. Komponen *Pneumatic*

a. *Acumulator*

Acumulator atau silinder kerja merupakan peralatan *pneumatic* yang melakukan kerja langsung. *acumulator* gerak *linear* terdiri dari beberapa jenis yaitu *single acting* dan *double acting*.



Gambar 2.14. (a) Jenis *Double acting cylinder*.

(b) Jenis *Single acting cylinder*.

(Sumbodo, dkk, 2008: 494)

b. Katup control *solenoid*

Katup control berfungsi untuk mengatur arah udara kempa yang akan bekerja menggerakkan akuator. Katup solenoid terdiri dari beberapa jenis, pemberian nama dari setiap jenis berdasarkan pada jumlah lubang

(*port*), jumlah posisi kerja, jenis penggerak katup dan nama tambahan lain sesuai dengan karakteristik katup, jenis katup solenoid seperti 2/2, 3/2, 4/2, dan 5/2.

c. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk membangkitkan udara bertekanan dengan cara menghisap dan memampatkan udara kemudian di simpan di dalam tangki udara sampai udara mencapai tekanan yang di perlukan.



Gambar 2.15. Kompresor (Akhmad, 2009: 23)

d. *Air service unit*

Merupakan unit pengolahan udara bertekanan, udara kempa yang akan masuk dalam sistem *pneumatic* harus memenuhi persyaratan seperti tidak mengandung debu, kadar air rendah, mengandung pelumas hal ini bertujuan sebagai perawatan dari komponen *pneumatic*. komponen pendukung *air service unit* antara lain:

a) Filter udara

Berfungsi sebagai alat penyaring udara yang diambil dari udara luar yang masih banyak mengandung kotoran. Filter berfungsi untuk memisahkan partikel-partikel yang terbawa seperti debu dll.

b) Tangki udara

Berfungsi untuk menyimpan udara bertekanan hingga pada tekanan tertentu hingga pengisian akan berhenti, kemudian dapat digunakan sewaktu-waktu diperlukan.

c) Pengering udara

Berfungsi untuk mengeringkan udara yang mengandung air agar tidak merusak komponen *pneumatic*.

d) Tabung pelumas

Komponen sistem *pneumatic* memerlukan pelumasan (lubrication) agar tidak cepat aus, serta dapat mengurangi panas yang timbul akibat gesekan. Oleh karena itu udara bertekanan/mampat harus mengandung kabut pelumas yang diperoleh dari tabung pelumas pada regulator.

e) Regulator udara bertekanan

Udara yang telah memenuhi persyaratan, selanjutnya akan disalurkan sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengatur besar kecilnya udara yang masuk, diperlukan keran udara yang terdapat pada regulator, sehingga udara yang disuplai sesuai dengan kebutuhan kerjanya.

4. Konduktor dan Konektor

Konduktor dan konektor merupakan komponen yang menyalurkan udara kepa menuju komponen pendukung *pneumatic* sapai ke akuator sehingga menjadi satu rangkaian *pneumatic*.

5. Perhitungan *Pneumatic*

Pada penggunaan pnenumatik tentunya ada beberapa rumus yang harus digunakan untuk menghitung berbagai macam gaya dan kebutuhan udara yang akan kita gunakan bebrapa rumus tersebut yaitu:

a. Tekanan Udara

Penyelesaian:

$$\Delta P = \frac{1,6 \times 10^3 \times Q^{1,85} \times L}{d^5 \times P_{abs}}$$

Keterangan :

- L = Panjang Saluran
- D = Diameter Saluran
- Q = Debit Aliran Kompresor
- P_{abs} = P atmosfer + P ukur

b. Aliran Fluida

Penyelesaian:

$$Q \text{ (m}^3\text{/dtk)} = A \text{ (m}^2\text{)} \cdot V \text{ (m/dtk)}$$

Keterangan:

- r = Jari-jari saluran
- s = panjang saluran
- t = waktu
- A = luas penampang
- V = kecepatan

c. Kecepatan Torak

Penyelesaian:

$$V \text{ mundur} = Q/A_n$$

Keterangan:

r_1 = jari-jari piston

r_2 = jari-jari batang piston

Q = debit

$$A_1 = \pi \cdot r^2$$

$$A_2 = \pi \cdot r^2$$

$$A_n = A_1 - A_2$$

d. Tekanan Torak

$$F = A \cdot P$$

$$\text{Dimana: } A = \frac{\pi}{4} (D)^2$$

Untuk silinder kerja ganda:

$$\text{Langkah maju} : F_{Maju} = \frac{\pi}{4} (D)^2 \cdot P \cdot \mu$$

$$\text{Langkah Mundur} : F_{Mundur} = \frac{\pi}{4} (D - d)^2 \cdot P \cdot \mu$$

Keterangan :

F = Gaya Piston (N)

d = Diameter batang piston (m)

D = Diameter piston (m)

P = Tekanan kerja (N/m²)

μ = efisiensi

e. Udara Yang Diperlukan

Penyelesaian:

$$Q \text{ mundur} = A_n \cdot S \cdot n \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m)²

P_e = Tekanan Kerja (N/m^2)

S = jarak (m)

n = frekuensi sentuhan (kali/mnt)

f. Daya Kompresor

Penyelesaian:

$$\eta = P_2 / P_1$$

Keterangan:

P_1 = Daya Kompresor (Kw)

η = efisiensi

2.2.14. Pipa

Pipa adalah media tempat mengalirnya fluida proses dari suatu unit yang satu ke unit lainnya. Secara umum karakteristiknya ditentukan berdasarkan material (bahan) penyusunnya. Ukuran diameter pipa didasarkan pada diameter "Nominal" antara diameter luar (OD) atau diameter dalam (ID). Tubing adalah pipa dengan ukuran diameter yang lebih kecil dari pipa, kegunaannya (secara umum) adalah untuk penghubung antara alat ukur dengan pipa proses an dari instrumen ke sistem kontrol. Ukuran standar untuk tubing selalu diameter luar (OD).

1. Standarisasi Pipa Internasional

a. Diameter Standar

Diameter dalam : (ID = *Inside Diameter*)

Diameter luar : (OD = *Outside Diameter*)

Diameter Nominal : (NPS = *Nominal Pipe Size*)

- a) NPS: *Nominal Pipe Size*, diameter, ID) satuannya Inchi (pendekatan dalam bentuk diameter bagian dalam (*inside* dari pipa).
- b) DN: Diameter Nominal, digunakan oleh Negara di daratan Eropa, dengan satuan milimeter.
- c) Sch atau *Schedule* adalah menunjukkan ukuran ketebalan dinding pipa atau *wall thickness* (seringkali merupakan data ID dan *wall thickness*)

Sebagai tambahan beberapa *Standart* memberikan metode untuk menentukan ketebalan suatu pipa. Salah satu cara yang umum adalah dinyatakan dengan beratnya yang diklasifikasikan sebagai berikut,

- a) STD-Standard atau *Standart Weight* untuk tebal dinding normal pada tekanan pipa 150 psi
- b) XS-Extra strong atau *Extra Heavy* dengan tekanan diatas 300 psi
- c) XXS - *Double extra strong* untuk tekanan diatas 600 psi

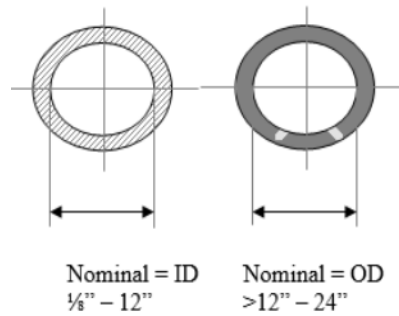


Gambar 2.16. Diameter Nominal Pipa

Ukuran diameter pipa ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk ukuran pipa $\frac{1}{8}$ '' – 12'' nominal diameter pipa tidak sama dengan diameter luarnya, yang diukur adalah ID atau *Inside Diameter*.

2. Untuk ukuran pipa >12" – 24" nominal diameter pipa sama dengan OD (diameter luar).



Gambar 2.17. Diameter Pipa

Untuk pipa yang memiliki OD- *Outside Diameter* sama , namun bisa memiliki tebal dinding yang berbeda beda sesuai dengan *Schedule* number-nya.

2. Material Standar

Standar bahan yang dipakai biasanya memakai standard amerika, yaitu yang dikenal dengan nama:

ASTM = *American Society for Testing Material*

API = *American Petroleum Institute*

ANSI = *American National Standard Institute*

a. Pipa Baja Karbon (*Carbon steel Pipe*)

a) ASTM – A. 53 (Grade A and B)

b) ASTM – A. 106 (Grade A,B,C)

c) ASTM – A. 155

b. Pipa Aluminium (*Aluminium Steel Pipe*)

a) ASTM – A.132 Type 304 (AISI 304)

b) ASTM – A.312 Type 321 (NASI 321)

- c) ASTM – A.358 Type 321 (AISI 321)
- c. Pipa Baja Tuang
 - a) ANSI – A.211
- d. Pipa Lapisan Seng (*Galvanized Pipe*)
 - b) ASTM – A. 53 *Galvanized*
 - c) ASTM – A. 120 *Galvanized*
- e. Standar bentuk pipa berdasarkan ujungnya
 - a) *PLAIN END* adalah sambungan pipa dengan *socket welding*
 - b) *THREADED END* adalah sistim sambungan pipa berulir
 - c) *BEVELED END* adalah sistim sambungan *butt welding*

3. Macam-macam Pipa Berdasarkan Kegunaannya

a. Carbon steel Pipe

Pipa baja karbon atau *steel pipe* banyak digunakan pada industri migas. Pipa ini memiliki kekuatan yang tinggi, kenyal, dapat dilas dan tahan lama. Kelemahannya adalah tidak tahan terhadap serangan korosi (H_2SO_4) *Carbonate* (K_2CO_3) dan air laut. Karena itu untuk pipa yang dipasang dibawah laut maupun dalam tanah akan menggunakan lapisan khusus (*coating*) agar tidak di serang zat yang korosif.

b. Aluminium Steel Pipe

Pipa jenis ini mempunyai sifat tahan terhadap oksidasi dan zat yang korosif, untuk fasilitas LNG jenis pipa ini dipakai pada CO_2 -removal

unit, untuk menyalurkan *Carbonate*, dan untuk *flare stack*. *Stainless steel pipe* memiliki *thermal strength* yang tinggi (1,5 x *carbon steel*).

c. Pipa Basi Tuang (*Cast iron*)

Pipa besi tuang golongan kelas yang tahan akan korosi, besi tuang memiliki kekerasan tinggi tetapi memiliki kerapuhan yang tinggi pula, besi tuang tidak baik dipakai untuk fasilitas yang memiliki kontraksi dan getaran tinggi.

d. Pipa *Galvanized* (*Galvanized Pipe*)

Pipa jenis ini adalah jenis *carbon steel* namun bagian luar dan dalam pipa dilapisi dengan seng agar tahan terhadap karat, digunakan untuk saluran air dan *conduit*.

2.2.15. Pengertian *Non Destructive Test* (NDT)

Callister & Wiley (2006: 220) Menjelaskan bahwa teknik uji *nondestructive* (NDT) itu digunakan untuk memeriksa komponen-komponen struktural yang melayani cacat dan cacat yang dapat menyebabkan kegagalan prematur; Selain itu, NDT digunakan sebagai alat kontrol kualitas untuk proses manufaktur. Septiano (2016: 11) Mengemukakan bahwa uji tak-merusak (NDT) adalah teknik non-invasif untuk menentukan integritas bahan, komponen atau struktur. Karena memungkinkan pemeriksaan tanpa mengganggu penggunaan suatu produk, NDT memberikan keseimbangan yang sangat baik antara kontrol kualitas dan efektivitas biaya. Sesuai namanya, teknik-teknik ini tidak boleh menghancurkan material/struktur yang sedang diperiksa. Selain itu, beberapa metode pengujian harus

dilakukan dalam pengaturan laboratorium; yang lain dapat diadaptasi untuk digunakan di lapangan. Salah satu contoh penting penggunaan NDT adalah untuk mendeteksi retakan dan kebocoran di dinding pipa minyak di daerah terpencil seperti Alaska. Analisis ultrasonik digunakan bersama dengan “penganalisis robot” yang dapat melakukan perjalanan jarak yang relatif jauh di dalam pipa. Tujuannya adalah menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui *damage tolerance*-nya. Metode utama *Non Destructive Testing* meliputi:

1. Pengujian Amatan

Wiryosumarto & Okumura (2000: 375) Mengemukakan bahwa sering kali metode ini merupakan langkah yang pertama kali diambil dalam NDT. Metode ini bertujuan menemukan cacat atau retak permukaan dan korosi. Dalam hal ini tentu saja adalah retak yang dapat terlihat oleh mata telanjang atau dengan bantuan lensa pembesar ataupun mikroskop. Pada penelitian ini dilakukan uji tidak merusak yaitu uji visual untuk melakukan pengecekan berupa pengecekan ukuran sudut tekuk, cek kerutan pada hasil penekukan.

2. Pengujian Dengan Penembusan Zat Warna

Wiryosumarto & Okumura (2000: 370) Menjelaskan bahwa metode *Liquid Penetrant Test* merupakan metode NDT yang paling sederhana. Metode ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun non logam karena proses *welding*, *forging*, manufaktur dan sebagainya. Melalui metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas. Caranya adalah dengan memberikan cairan berwarna

terang pada permukaan yang diinspeksi. Cairan ini harus memiliki daya penetrasi yang baik dan *viskousitas* yang rendah agar dapat masuk pada cacat dipermukaan material. Selanjutnya, *penetrant* yang tersisa di permukaan material disingkirkan. Cacat akan nampak jelas jika perbedaan warna *penetrant* dengan latar belakang cukup kontras. Seusai inspeksi, *penetrant* yang tertinggal dibersihkan dengan penerapan *developer*.

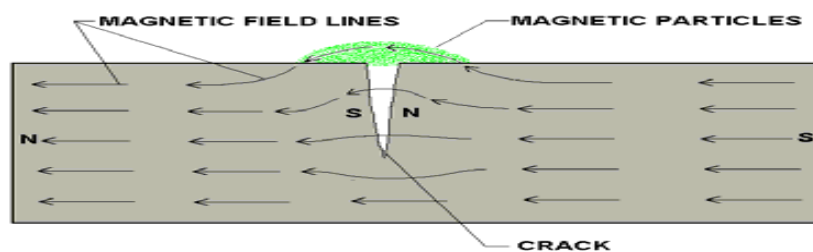
Zacharias, dkk (2016: 4) Mengemukakan prosedur pengujian dengan larutan *Dye Penetrant* adalah sebagai berikut:

- a. Benda uji harus dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran yang menempel baik berupa karat, oli, dan kotoran lain yang menempel. Untuk membersihkan kotoran ini bisa digunakan udara bertekanan, alkohol, ataupun *thinner*.
- b. Pada permukaan benda uji diberi cairan *dye penetrant* dengan jalan dicelup atau dioleskan, atau disemprotkan sehingga menutupi semua permukaan yang akan diuji. Benda uji dibiarkan selama 10-20 menit, agar cairan *penetrant* meresap pada cacat. Lamanya tergantung rekomendasi dari pabrik pembuat larutan *dye penetrant*.
- c. Kemudian membersihkan permukaan benda uji dengan jalan dilap dengan kain yang dibasahi dengan larutan pembersih.
- d. Memberikan cairan *developer* agar cairan *penetrant* yang masuk pada retakan dapat tertarik dan muncul kepermukaan. Ditunggu selama 5–10 menit untuk memberi kesempatan cairan *penetrant* tertarik cairan *developer*.

e. Memeriksa cacat yang terlihat pada permukaan.

3. Pengujian Serbuk Magnet

Wiryosumarto & Okumura (2000: 369) Menjelaskan bahwa dengan menggunakan metode ini, cacat permukaan (*surface*) dan bawah permukaan (*subsurface*) suatu komponen dari bahan *ferromagnetik* dapat diketahui. Prinsipnya adalah dengan memagnetisasi bahan yang akan diuji. Adanya cacat yang tegak lurus arah medan magnet akan menyebabkan kebocoran medan magnet. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material. Cara yang digunakan untuk mendeteksi adanya kebocoran medan magnet adalah dengan menaburkan partikel magnetik dipermukaan. Partikel-partikel tersebut akan berkumpul pada daerah kebocoran medan magnet.



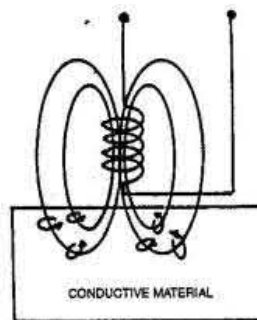
Gambar 2.18. Proses kerja *Magnetic Particle Inspection* (IAEA, 2005: 12)

Kelemahannya, metode ini hanya bisa diterapkan untuk material *ferromagnetik*. Selain itu, medan magnet yang dibangkitkan harus tegak lurus atau memotong daerah retak serta diperlukan demagnetisasi di akhir inspeksi.

4. Pengujian Dengan Elektromagnet

Wiryosumarto & Okumura (2000: 370) mengemukakan bahwa inspeksi ini memanfaatkan prinsip elektromagnet. Prinsipnya, arus listrik dialirkan

pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet didalamnya. Jika medan magnet ini dikenakan pada benda logam yang akan diinspeksi, maka akan terbangkit arus *Eddy*. Arus *Eddy* kemudian menginduksi adanya medan magnet. Medan magnet pada benda akan berinteraksi dengan medan magnet pada kumparan dan mengubah impedansi bila ada cacat.



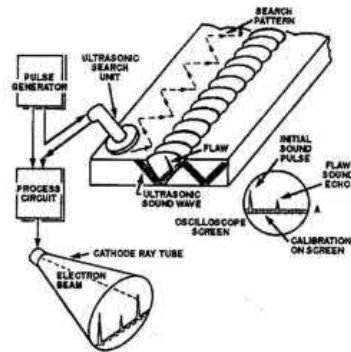
Gambar 2.19. Proses kerja *Eddy Current Test* (Jokosisworo & Yudo, 2000: 29)

Keterbatasan dari metode ini yaitu hanya dapat diterapkan pada permukaan yang dapat dijangkau. Selain itu metode ini juga hanya diterapkan pada bahan logam saja.

5. Pengujian Dengan Gelombang Ultrasonik

Wiryosumarto & Okumura (2000: 367) Menjelaskan bahwa prinsip yang digunakan adalah prinsip gelombang suara. Gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal yang ditransmisi atau dipantulkan diamati dan interpretasikan. Gelombang *ultrasonic* yang digunakan memiliki frekuensi 0.5 - 20 MHz. Gelombang suara akan terpengaruh jika ada *void*, retak, atau delaminasi pada material. Gelombang *ultrasonic* ini dibangkitkan

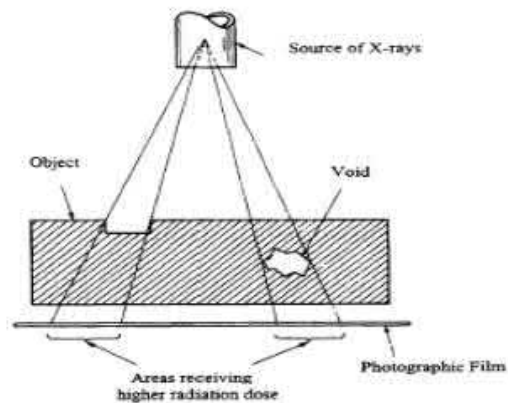
oleh transducer dari bahan *piezoelektri* yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi getaran mekanik kemudian menjadi energi listrik lagi.



Gambar 2.20. Proses kerja *Ultrasonic Inspection* (Jokosisworo & Yudo, 2000: 28)

6. Pengujian Dengan Radiografi

Wiryosumarto & Okumura (2000: 362) mengemukakan bahwa metode NDT ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film inilah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat. Skema pengujian ini dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21. Pengujian *Radiografi* (IAEA, 2005: 15)

Untuk mengetahui kualitas dari hasil penekukan maka hal – hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. *Springback*

Springback terjadi karena semua benda - benda memiliki modulus tertentu dari elastisitas, perubahan logam diikuti dengan pemulihan lenting pada pulihan beban. Dalam pembentukan, pemulihan ini dikenal sebagai *springback*., sudut lengkung akhir setelah diberi kekuatan tekanan/pembentukan lebih kecil dan radius lengkung akhir lebih besar dari yang sebelumnya. Sudut lengkung yang dihasilkan menjadi lebih besar setelah pembentukan dilakukan. Kegagalan *springback* negatif dapat berupa kembalinya bentuk benda menuju ke bentuk semula.

2. Sobek

Kegagalan ini disebabkan karena keelastisan benda yang kurang atau pada saat pembentukan terjadi tumbukan yang terlalu besar sehingga

benda yang dibentuk menerima tekanan lebih yang menyebabkan sobek. Umumnya sobek terjadi pada pengerjaan yang menggunakan benda plat atau piringan.

3. Patah Benda

Salah satu kegagalan dalam proses *pembendingan* yaitu patah. Penyebab patah antara lain terlalu kerasnya benda yang dibentuk. Benda yang didorong atau ditekan dalam cetakan tidak memiliki elastisitas yang cukup, sehingga tekanan yang dilakukan bukan membentuk tapi mematahkan. Sebab lain yaitu berulang kalinya penekukan yang dilakukan pada benda di titik tekukan yang sama.

2.3. Hipotesis

Berdasarkan dasar-dasar teori yang telah diutarakan dengan demikian dapat diajukan hipotesis penelitian sebagai berikut:

- 2.3.1. Ada pengaruh variasi sudut tekuk pengerollan 45° , 90° , dan 180° terhadap nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium.
- 2.3.2. Ada pengaruh sistem pengerollan *pneumatic* dan manual terhadap nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium.
- 2.3.3. Ada interaksi variasi sudut tekuk pengerollan 45° , 90° , dan 180° dan sistem pengerollan *pneumatic* dan manual terhadap nilai kualitas hasil pengerollan pipa berbahan aluminium.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan dari hasil yang diperoleh, antara lain adalah:

1. Sistem pengerollan secara *pneumatic* lebih baik kualitasnya dibandingkan dengan sistem pengerollan secara manual hal tersebut dibuktikan dari rata-rata nilai kualitas sistem *pneumatic* sebesar 7,89 sedangkan untuk sistem manual sebesar 6,89.
2. Sudut penekukan sebesar 45° lebih baik kualitasnya dibandingkan dengan sudut 90° dan 180° hal tersebut dibuktikan dari rata-rata nilai kualitas sudut tekuk 45° sebesar 7,67 untuk sudut tekuk 90° sebesar 7,3 dan sudut tekuk 180° sebesar 7,17.
3. Tidak terdapat pengaruh sudut tekuk terhadap nilai kualitas pengerollan pada proses pengerollan pipa aluminium. Hal ini dibuktikan pada proses pengerollan menggunakan variasi sudut tekuk yang menghasilkan nilai sigifikasi sebesar $0,638 > 0,05$ yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi sudut tekuk terhadap kualitas pengerollan pipa. dan dalam perhitungan uji lanjut menggunakan uji *Post Hoc Test* menghasilkan nilai signifikansi $> 0,05$ pada semua variasi sudut tekuk.
4. Terdapat pengaruh sistem pengerollan terhadap nilai kualitas pengerollan pada proses pengerollan pipa aluminium. Hal ini dibuktikan pada proses pengerollan

menggunakan variasi sistem pengerollan yang menghasilkan nilai sigifikasi sebesar $0,039 < 0,05$ yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi sudut tekuk terhadap kualitas pengerollan pipa. dan dalam perhitungan uji lanjut menggunakan uji *Post Hoc Test* menghasilkan nilai signifikansi $< 0,05$ pada semua variasi sistem pengerollan.

5. Tidak ada pengaruh pada interaksi antara variasi sudut tekuk dan sistem pengerollan pada nilai kualitas hasil pengerollan pipa aluminium. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan secara statistik dengan nilai singnifikansi sebesar $0,564 > 0,05$.

5.2. Saran

Dari serangkaian penelitian, pengujian, analisis data, dan pengambilan simpulan yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pada proses pengerollan pipa untuk mendapatkan kualitas hasil pengerollan yang terbaik gunakan sudut tekuk 45° menggunakan sistem pengerollan pnenumatik. untuk penelitian lebih lanjut diharapkan dapat melakukan variasi paramater yang berbeda agar dapat menghasilkan kualitas pengerollan lebih baik.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan penelitian sebelumnya adalah dengan melakukan pengembangan variasi tekanan udara yang digunakan pada *pneumatic* dan kecepatan pengerollan pipa menggunakan mesin roll pipa sistem *pneumatic*.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, A.A., 2009. Perancangan Simulasi Sistem Pergerakan Dengan Pengontrolan *Pneumatic* Untuk Mesin Pengamplas Kayu Otomatis. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya*, 18(3), hal.21–28.
- Alfadhlan, Meuthia, Y. & Valent, D.F., 2013. Perbaikan Rancangan Kruk Ketiak Untuk Penderita Cedera Dan Cacat Kaki. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 12(2), hal.400–410
- Ambiyar dkk., 2008. *Teknik Pembentukan Pelat Jilid 3*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Armanto, E. dkk., 2015. Roll bender pipa galvanis diameter 1,5 inchi. *jurnal Rekayasa Mesin*, 10(3), hal.103–106.
- Callister, W.D. & Wiley, J., 2006. *Materials Science and Engineering 7 ed.*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Darto, 2015. Perencanaan Dan Simulasi Sistem *Pneumatic* Pada Mesin Pres Briket Blothong Berbantuan Perangkat Lunak. *Teknologi & Manajemen Informatika*, 1(1), hal.5–11.
- Fitriany, D., Jamaludin & Adani, I., 2013. Desain Kursi Berbahan Baku Rotan Dari Masa ke Masa. *Jurnal Rekajiva*, 01(01), hal.1–13.
- Geraldine, A., Yudo, H. & Amirrudin, W., 2016. Analisis Tekuk Kritis Pada Pipa Akibat Tekanan Internal . *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(3), hal.596–601.
- Gere, J.M. & Timosenko, S.P., 2000. *Mekanika Bahan Jilid 1* 4 ed., Jakarta: Erlangga.
- Hermawan, Y. & Agus Sigit Pramono, 2007. Studi pengaruh internal pressure terhadap ovalisasi dan *springback* pada proses bending pipa circular. In *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi V*. hal. 1–9.
- Hermawan, Y. & Mulyadi, S., 2013. Peningkatan Kualitas Produk UKM Kursi Lipat Dengan Metode Internal *Pressure* Dan Rancang Bangun Mesin Bending. Konvensional. *Jurnal Rotor*, 6(2), hal.6–11.
- IAEA Division. 2008. *Non-destructive Testing For Life Assesment*. Vienna : IAEA.
- Iswahyudi, S., 2011. Mekanisme pembentukan kerutan pada proses penekukan pipa. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2*. hal. 65–69.
- Jokosisworo, S. & Yudo, H., 2007. Proses Pengujian Tidak Merusak. *KAPAL*, 4(1), hal.26–31.
- Marsis, W.P. & Iswantoro, 2007. Perancangan Mesin *Bending* Dengan

- Memanfaatkan Sitem Dongkrak Hidrolik Sederhana. *SINTEK*, 1(2), hal.42–51.
- Mojarad, S., 2018. What Are Bend Allowance, Bend Deduction and K-Factor. , hal.1. Available at: <https://www.javelin-tech.com/blog/2017/06/sheet-metal-design-terminology/> [Diakses Mei 21, 2018].
- Okafor, B.E. & Isiohia, D.O., 2014. Development of a Motorized Pipe Bending Machine. *Intenational Journal Of Engineering & Technology*, 4(5), hal.305–312.
- Patial, V. dkk., 2015. Design And Manufacturing Of *Pneumatic Pipe Bending Machine*. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(6), hal.4472–4476.
- Prayoga, B.T., 2016. *Springback* Pada Pembentukan Plat Baja Dengan Air Vee Bending. In *Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Ke 19*. hal. 24–29.
- Rokhim, Y.S., Yudo, H. & Amirudin, W., 2016. Analisa Tekuk Kritis Pada Pipa Berbentuk Segi Empat Yang Dikenai Beban Bending Dengan Variasi Penampang Horizontal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(3), hal.658–666
- Sasidharan, S., Arunachalam, V. & Subramaniam, S., 2017. Ramifications of Structural Deformations on Collapse Loads of Critically Cracked Pipe Bends Under In-Plane Bending and Internal Pressure. *Nuclear Engineering and Technology*, 49(1), hal.254–266
- Septiano, A.F., 2016. Uji Keretakan Knalpot Dengan Metode Radiography Non Destructive Testing. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Sumbodo, W, dkk., 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 3*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Surahto, A., Laura, N. & Perdi, 2016. Pengaruh Pengisian Pasir dan Lilin terhadap Kualitas Pembentukan Batang Silinder Pipa. In *140 Seminar Nasional Teknoka FT Uhamka*. hal. 140–148.
- Surya, D.P. & Edi Septe, 2015. Analisa Pengaruh *Springback* Terhadap Sudut Tekuk Pada Proses Penekukan Pelat Aluminium. *JFTI*, 5(2), hal.5–9.
- Tambat, V, dkk., 2015. *Pneumatic Shearing and Bending Machine*. *International Journal of Recent Research in Civil and Mechanical Engineering (IJRCME)*, 2(1), hal.9–18.
- Wibowo, S.B., 2016. Modul Pelatihan SPSS, Lampung: Fakultas Psikologi, Universitas Muhammadiyah Lampung.

- Wibowo, T.A., Raharjo, W.P. & Kusharjanta, B., 2014. Perancangan Dan Analisis Kekuatan Konstruksi Mesin Tekuk Plat Hidrolik. *Mekanika*, 12(2), hal.63–70.
- Widarto, 2008. *Teknik Pemesinan Jilid 1*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Wiryo Sumarto, H. & Okumura, T., 2000. *Teknologi Pengelasan Logam* 8 ed., Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wisnujati, A., Octantha, E.F. & Mudjijana, 2016. Manufaktur Sampan (Canoe) Dengan Bahan Paduan Aluminium untuk Wisata Sungai. *Jurnal Berdikari*, 4(2), hal.84–97.
- Zacharias, P., Garnito, H. & Wahono, T., 2016. Uji Tanpa Rusak Pada Sambungan Lasan Liner Kolam Iradiator Gamma. *Prima*, 13(2), hal.1–11.