

TUGAS AKHIR
**ANALISIS CACAT PADA MANGKOK DALAM PROSES DEEP
DRAWING MENGGUNAKAN SIMULASI
SOLID WORK**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

M ILHAM NST
1507230165



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. Ilham Nst
NPM : 1507230165
Judul Skripsi : Analisis Cacat Pada Mangkok Dalam Proses Deep Drawing
Menggunakan Simulasi Solid Work
Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah selesai melakukan bimbingan dan selanjutnya dapat melaksanakan seminar hasil sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 November 2020

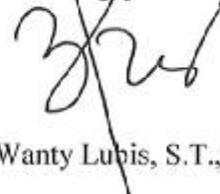
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



M. Yani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Riadini Wanty Lubis, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji IV



Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M Ilham Nst
Tempat /Tanggal Lahir : Medan /27 Juli 1996
NPM : 1507230165
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Cacat Pada Mangkok Dalam Proses Deep Drawing Menggunakan Solid Work”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 November 2020

Saya yang menyatakan,


M Ilham Nst

ABSTRAK

Deep drawing adalah proses pembentukan lembaran Alumunium menjadi bentuk cangkir, kotak, atau komponen melengkung dan cekung yang rumit. Proses ini dilakukan dengan menempatkan selebar Alumunium di atas lubang *die* dan kemudian mendorong Alumunium tersebut ke dalam lubang dengan *punch*. dalam penelitian kali ini untuk memenuhi syarat Untuk menyelidiki cacat mangkok untuk menganalisis cacat mangkok dan untuk memprediksi cacat mangkok pada proses deep drawing. Hasil penelitian ini memberikan gambaran yang jelas mengenai metode yang digunakan untuk mengurangi kecacatan produk dan Untuk meningkatkan hasil dan produktivitas mangkuk dan mengurangi cacat produk. dalam pengujiannya digunakan 5 buah spesimen berbentuk lingkaran berbahan aluminium. Proses pengujian ini dengan simulasi solid work setiap specimen uji specimen pada simulasi non linier, Menjalankan mesin uji tekan, Setelah terjadi deformasi, hentikan proses pembebanan secepatnya, Melepas kan specimen plat alumunium setelah ditekan. Setelah selesai matikan mesin ujitekan. Mesin uji tekan ini berjalan secara manual, sehingga meskipun specimen uji tekan mencapai batas optimal hingga patah atau sobek, alat ini akan terus berjalan. Karena itu diperlukan operator yang selalu berada di sisi mesin untuk mengontrol proses pengujian tekan. Setelah melaksanakan pengujian didapatkan nilai variasi ketebalan pelat pada material menggunakan software solidwork, maka diperoleh regangan yang dialami oleh pelat dengan tebal yaitu, 0,5 mm memiliki tegangan 12.261.195.776 N/m² dan regangan $8,773 \times 10^2$ N/m², 0,6 mm memiliki tegangan 19.248.396.288 N/m² dan regangan $5,184 \times 10^2$ N/m², 0,7 mm memiliki tegangan 23.234.072.576 N/m² dan regangan $4,944 \times 10^2$ N/m², 0,8 mm memiliki tegangan 1.679.990.784 N/m² dan regangan $4,585 \times 10^2$ N/m², 0,9 mm memiliki tegangan 19.804.841.984 N/m² dan regangan $5,000 \times 10^2$ N/m².

Kata Kunci : Deep Drawing, Deformasi, Uji Tekan

ABSTRACT

Deep drawing is the process of forming sheet metal into intricate cups, squares, or curved and concave components. This process is done by placing a sheet of metal over the die hole and then pushing the metal into the hole with a punch. In this study to qualify to investigate product defects, To analyze cups defects and To predict cups defects in the deep drawing process. The results of this study provide a clear picture of the methods used to reduce cups defects and To improve the results and productivity of bowls and reduce cups defects. In the test, four specimens were used in the form of aluminum circles. This testing process begins with marking on each specimen to avoid errors in data readings, Setting the test machine press on the press test machine, Installing the aluminum specimen on the press test machine, Running the press test machine, After deformation, stop the charge process immediately, Remove the iron plate specimen after pressing. When you're done turning off the test machine. This press test machine runs manually, so even if the test specimen reaches the optimal limit until it breaks or tears, it will continue to run. Therefore it is necessary for the operator who is always on the side of the machine to control the press testing process. After carrying out the test obtained the value of plate thickness variation on the material using solidwork software, the tension experienced by the plate with a thickness of 0,5 mm has a voltage of 12,261,195,776 N/m² and a strain of 8,773 x 10² N/m², 0,6 mm has a voltage of 19,248,396,288 N/m² and a strain of 5,184 x 10² N/m², 0,7 mm has a voltage of 23,234,072,576 N/m² and a strain of 4,944 x 10² N/m², 0,8 mm has a voltage of 1,679,990,784 N/m² and a strain of 4,585 x 10² N/m², 0,9 mm has a voltage of 19,804,841,984 N/m² and a strain of 5,000 x 10² N/m²

Keywords : Deep Drawing, Deformation, Test Press

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisis Cacat Pada Mangkok Dalam Proses Deep Drawing Menggunakan Solid Work”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak M. Yani, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Riadini Wanty Lubis, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Affandi, S.T., M.T. selaku Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Muhammad Suhdi dan Rukiah, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Lizardi, Nuron Nahdi, Sahri Fauzi, Fahrudin, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Mesin.

Medan, 13 November 2020

M Ilham Nst

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR SPESIFIKASI	
LEMBAR ASISTENSI	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Ruang Lingkup	2
1.4.Tujuan	2
1.5.Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1.Produk dan Produk Cacat	3
2.1.1.Pengertian Produk	3
2.1.2.Produk Cacat	3
2.2. Failure Mode and Effect Analysis (<i>FMEA</i>)	4
2.2.1. Manfaat <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (<i>FMEA</i>)	5
2.2.2. Tujuan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (<i>FMEA</i>)	5
2.2.3 Identifikasi Elemen-elemen Proses <i>FMEA</i>	6
2.2.4 Langkah Dasar <i>FMEA</i>	7
2.3. Jenis-Jenis Cacat Kristal	12
2.4. Deep Drawing	20
2.4.1.Kelebihan <i>Deep Drawing</i>	21
2.4.2.Kekurangan <i>Deep Drawing</i>	22
2.4.3.Aplikasi <i>Deep Drawing</i>	22
2.5 Pengertian Energi Mekanik	27
2.6 Sejarah Simulasi Solid Work	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1.Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.1.1.Tempat Penelitian	29
3.1.2.Waktu Penelitian	29
3.2 Diagram Alir Penelitian	30
3.3. Alat dan Bahan	31
3.3.1. Alat	31
3.4. Prosedur simulasi menggunakan solidwork	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1.Hasil Pengujian	36
4.2 Simulasi Tegangan dan Regangan menggunakan solidwork	36
4.2.1.Tegangan	36

4.2.2. Regangan	40
4.3 Hasil Cacat Produk Pada Pengujian	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	45
LAMPIRAN	
LEMBAR ASITENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Cacat pada Produk Ekstrusi	12
Gambar 2.2. Skema kekosongan pada Kristal	14
Gambar 2.3. Skema representasi cacat titik dalam kristal	14
Gambar 2.4. Skema representasi cacat Frenkel	15
Gambar 2.5. Tiga dimensi penyisipan setengah bidang tambahan melalui pusat gambar	16
Gambar 2.6. Edge dislocation screw dislocation	16
Gambar 2.7. Diagram dislokasi	17
Gambar 2.8. Batas sudut	19
Gambar 2.9. Susunan atom	19
Gambar 2.10. Batas kembar	20
Gambar 2.11. Proses <i>Deep Drawing</i> .	21
Gambar 2.12 Cacat (<i>Defect</i>) pada Hasil <i>Deep Drawing</i> .	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Mesin <i>Deep Drawing</i>	31
Gambar 3.3 Prosedur simulasi menggunakan solidwork	31
Gambar 3.4 Pemilihan Jenis Simulasi	32
Gambar 3.5 Pandangan Section Depth	32
Gambar 3.6 Komponen Material Yang Disimulasikan	33
Gambar 3.7 Connection bahan	33
Gambar 3.8 Fix Geometri Bahan	34
Gambar 3.9 Fix geometri	34
Gambar 3.10 Mesh Bahan	35
Gambar 4.1 Tegangan Spesimen Plat 0.5	37
Gambar 4.2 Tegangan Spesimen Plat 0.6	37
Gambar 4.3 Tegangan Spesimen Plat 0.7	38
Gambar 4.4 Tegangan Spesimen Plat 0.8	38
Gambar 4.5 Tegangan Spesimen Plat 0.9	39
Gambar 4.6 Grafik Tegangan Pada Pelat Aluminium	39
Gambar 4.7 Regangan Spesimen Plat 0.5	40
Gambar 4.8 Regangan Spesimen Plat 0.6	40
Gambar 4.9 Regangan Spesimen Plat 0.7	41
Gambar 4.10 Regangan Spesimen Plat 0.8	41
Gambar 4.11 Regangan Spesimen Plat 0.9	42
Gambar 4.12 Grafik Regangan Pada Pelat Aluminium	42
Gambar 4.13 Hasil Cacat Produk Pada Pengujian	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.4. Penentuan <i>Rating Severity</i>	15
Tabel 2.5 Penentuan <i>Rating Occurrence</i>	17
Tabel 2.6 Penentuan <i>Rating Detection</i>	18
Tabel 3.1 waktu pelaksanaan	29
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Tegangan	39
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Regangan	42

DAFTAR NOTASI

No Simbol Besaran		Satuan
<i>g</i>	Percepatan	m/s^2
<i>f</i>	Gaya Tekan	N
<i>L</i>	Panjang Pelat	m
<i>d</i>	Tebal Plat	mm
<i>m</i>	Kecepatan	m/s
<i>t</i>	Tegangan	Pa
<i>Z</i>	Jumlah Spesimen	Buah
<i>d</i>	Regangan	N/m^2

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produk cacat merupakan barang atau jasa yang dibuat dalam proses produksi namun memiliki kekurangan yang menyebabkan nilai atau mutunya kurang baik atau kurang sempurna. Menurut Hansen dan Mowen, (2011) Produk cacat adalah produk yang tidak memenuhi spesifikasinya, hal ini berarti juga tidak sesuai dengan standart kualitas yang ditetapkan. Produk cacat yang terjadi selama proses produksi mengacu pada produk yang tidak diterima oleh konsumen. Klasifikasi produk cacat dibagi menjadi 2 yaitu kecacatan mayor dan kecacatan minor. Kecacatan mayor merupakan tingkat kecacatan yang berpengaruh besar terhadap penurunan kualitas produk dan jika dilakukan perbaikan tidak sepenuhnya menjadi produk dengan kualitas yang baik lagi. Kecacatan minor merupakan kecacatan pada produk barang yang bersifat ringan serta tidak berpengaruh besar terhadap penurunan kualitas barang, tetapi tetap harus diminimalisir.

Pengaruh produk cacat pada perusahaan berdampak pada biaya kualitas, *image* perusahaan dan kepuasan konsumen. Semakin banyak produk cacat maka semakin besar pula biaya kualitas yang dikeluarkan, hal ini didasarkan pada semakin tingginya biaya kualitas yang dilakukan pada produk cacat maka akan muncul tindakan *inspeksi*, *rework*, dan sebagainya. Begitu juga semakin tingginya produk cacat maka *image* perusahaan akan semakin turun, hal ini dikarenakan konsumen akan menilai suatu perusahaan apabila menghasilkan suatu produk berkualitas serta memberikan kepuasan kepada konsumen dan jika konsumen menilai produk yang dihasilkan kurang memuaskan, maka perusahaan akan dinilai kurang baik oleh konsumen dan berdampak kepercayaan konsumen terhadap kualitas dari produk yang dihasilkan.

Upaya untuk mengurangi produk cacat terdapat beberapa metode pengendalian kualitas yang dapat digunakan. Tujuan dari pengendalian kualitas adalah untuk mengurangi tingkat kegagalan produk yang dihasilkan pada proses produksi dan menghasilkan produk yang berkualitas.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas maka yang akan dibahas berkaitan dengan alat tersebut antara lain :

1. Bagaimana pengaruh kinerja terhadap kecacatan pada mangkok dengan simulasi solid work ?
2. Bagaimana peningkatan hasil produk pada mangkok dengan simulasi solid work ?

1.3. Ruang Lingkup

Agar penelitian menjadi lebih terarah dan fokus pada ruang lingkup, maka dalam penelitian ini diberikan :

1. Penelitian dilakukan pada Simulasi *Solidworks* 2014.
2. Jenis produk yang diteliti adalah produk bahan *Alumunium*
3. Variabel yang diukur dalam mangkok yaitu variabel keliling lingkaran mangkok dan tinggi mangkok

1.4. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menyelidiki cacat mangkok pada simulasi solidwork
2. Untuk menganalisis cacat mangkok pada simulasi solid work
3. Untuk memprediksi cacat mangkok pada simulasi solid work

1.5. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Hasil penelitian ini memberikan gambaran yang jelas mengenai metode yang digunakan untuk mengurangi kecacatan mangkok pada simulasi solid work.
2. Untuk meningkatkan hasil mangkok dan mengurangi cacat dengan simulasi solid work

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Produk dan Produk Cacat

2.1.1. Pengertian Produk

Produk merupakan segala sesuatu yang ditawarkan ke pasar untuk mendapatkan perhatian, penggunaan atau konsumsi yang dapat memuaskan suatu kebutuhandan keinginan seseorang (Kotler & Amstrong, 2008).Menurut (Laksana, 2008) produk adalah segala sesuatu baik yang bersifat fisik, yang dapat ditawarkan kepada konsumen untuk memenuhi segala keinginan dan kebutuhan konsumen. Sedangkan menurut (Kotler & Keller, 2009) mendefinisikan produk adalah sesuatu yang dapat ditawarkan kepada pasar untuk memuaskan suatu keinginan atau kebutuhan, termasuk barang, jasa, pengalaman, acara, orang, tempat, properti, organisasi, informasi dan juga ide. Jadi, dapat disimpulkan bahwa produk merupakan segala sesuatu yang dapat dijual atau ditawarkan kepada pelanggan, untuk dikonsumsi atau digunakan guna memenuhi keinginan dan kebutuhan pelanggan.

2.1.2. Produk Cacat

Terdapat beberapa pengertian mengenai produk cacat, menurut (Bustami & Nurlela, 2007) produk cacat merupakan produk yang dihasilkan dalam proses produksi, dimana produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan, tetapi masih bisa diperbaiki dengan mengeluarkan biaya tertentu. Produk cacat menurut (Kholmi & Yuningsih, 2009) merupakan suatu produk yang dihasilkan namun tidak dapat memenuhi standar yang telah ditetapkan perusahaan, tetapi masih dapat diperbaiki.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa produk cacat merupakan produk yang dihasilkan melalui suatu proses dan produk tersebut tidak sesuai dengan spesifikasi atau standar, yang sudah ditetapkan oleh produsen pembuat produk tersebut, tetapi masih dapat diperbaiki dengan mengeluarkan beban atau biaya tertentu.

2.2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah suatu alat yang sering digunakan di dalam metode-metode perbaikan kualitas. Salah satu pabrik yang menggunakan FMEA sejak tahun 1800an yaitu pabrikan mobil Ford. FMEA berbentuk tabel dan berfungsi untuk mengidentifikasi dampak dari kegagalan, memberikan analisis mengenai prioritas dari penanggulangan, dengan menggunakan parameter nilai resiko prioritas atau *Risk Priority Number* (RPN), mengidentifikasi modus kegagalan potensial, serta meminimumkan peluang kegagalan di kemudian hari (Tannady,2015).

Menurut Dyadem Engineering Corporation (DEC), FMEA adalah suatu proses yang sistematis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan yang akan timbul dalam proses, dengan tujuan untuk mengeliminasi kegagalan dalam proses cacat mangkok atau perakitan (Dyadem,2003). Selain pabrikan mobil Ford FMEA juga digunakan pada industri Aerospace dan juga industri-industri besar lainnya. Berdasarkan beberapa pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa FMEA adalah alat kualitas yang berguna untuk mengidentifikasi kegagalan dan dampak dari kegagalan, serta mencegah terjadinya kegagalan untuk meningkatkan suatu hasil dari proses, agar tetap sesuai dengan standar yang di inginkan.

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digolongkan menjadi 4 jenis diantaranya (Stamatis, 1995):

a. *System*FMEA

Sistem FMEA digunakan untuk menganalisis sistem dan sub-sistem pada awal perancangan konsep. Sistem FMEA hanya fokus pada potensi mode kegagalan antara fungsi dari sistem yang disebabkan oleh kekurangan sistem.

b. *Design* FMEA

Design FMEA digunakan untuk menganalisis hasil rancangan produk sebelum produk tersebut diproduksi lebih banyak. *Design* FMEA hanya fokus pada modus kegagalan yang diakibatkan oleh desain, sebelum produk diproduksi banyak, atau jasa diberikan kepada pengguna atau konsumen.

c. *Process* FMEA

Proses FMEA digunakan untuk menganalisis proses-proses manufaktur dan perakitan. Proses FMEA hanya berfokus pada mode kegagalan yang disebabkan

oleh proses produksi atau perakitan (Tannady, 2015). Menurut (Dyadem, 2003) proses FMEA berfokus pada proses pembuatan, termasuk langkah dari proses, kondisi proses, alat yang digunakan, kesalahan pekerja, dan kualitas bahan.

FMEA berfungsi untuk mendefinisikan akibat-akibat dari kegagalan yang berkaitan pada tahap proses, kemudian membuat prioritas penanggulangannya berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang dinilai dari tingkatkeparahan (*severity*), frekuensi kegagalan (*occurence*), serta proses pencegahan yang dilakukan saat ini (*detection*), agar produk yang dibuat dapat memenuhi standar yang diinginkan oleh suatu perusahaan atau produsen.

d. *Service* FMEA

Service FMEA digunakan untuk menganalisis suatu pelayanan sebelum adanya pelanggan. Pelayanan FMEA ini berfokus pada mode kegagalan seperti tugas, *error*, dan kesalahan lainnya yang disebabkan oleh sistem atau proses. Penelitian mengenai perbaikan kualitas proses pembuatan sepatu untuk mengurangi jumlah cacat pada departemen *assembling* termasuk kedalam kategori proses FMEA, dikarenakan hanya berfokus pada mode kegagalan yang disebabkan oleh proses perakitan (*assembling*).

2.2.1. Manfaat *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Adapun manfaat dari penggunaan proses FMEA untuk perbaikan kualitas yaitu sebagai berikut (Tannady, 2015):

- a. Dapat meminimumkan jumlah cacat, karena kegagalan pada proses dapat sedini mungkindicegah.
- b. Jika jumlah cacat sudah berkurang, maka kegiatan *rework* pun berkurang atau dapatdihindari.
- c. Mencegah jumlah cacat produk, yang terdeteksi saat produk masih di area internal atau eksternalperusahaan.
- d. Berkurangnya cacat produk yang diterima pelanggan atau *zero defect* yang tentunya dapat meningkatkan kepuasanpelanggan.

2.2.2. Tujuan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Berikut merupakan tujuan yang dapat dicapai oleh suatu perusahaan dengan menerapkan FMEA, yaitu sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya.

- b. Mengidentifikasi tingkat karakteristik kritis yang signifikan.
- c. Mengurutkan potensi penyebab kegagalan.
- d. Membantu fokus *engineer* dalam mengurangi perhatian terhadap mangkok dan proses,

2.2.3. Identifikasi Elemen-elemen Proses FMEA

Adapun elemen-elemen proses FMEA (Gaspersz, 2002) yaitu sebagai berikut:

1. Fungsi Proses atau Identifikasi Proses
Adalah deskripsi singkat mengenai proses pembuatan suatu mangkok, dimana proses pembuatan tersebut dianalisis.
2. Mode Kegagalan
Mode Kegagalan adalah suatu kemungkinan kegagalan atau kecacatan terhadap setiap proses.
3. Efek Potensial dari Kegagalan
Efek Potensial dari Kegagalan adalah suatu efek dari kegagalan terhadap mangkok
4. Tingkat Keparahan(*Severity*)
Severity merupakan penilaian kegagalan dan akibat dari kegagalan dalam proses.
5. Penyebab Potensial (*Potential Cause*)
Penyebab Potensial (*Potential Cause*) adalah bagaimana kegagalan bisa terjadi. di deskripsikan sebagai suatu yang dapat diperbaiki.
6. Kejadian (*Occurrence*)
Occurrence merupakan penyebab kegagalan yang spesifik dalam suatu proses.
7. Deteksi (*Detection*)
Detection merupakan alat yang dapat mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu kegagalan.
8. *Risk Priority Number* (RPN)
RPN merupakan angka prioritas yang didapatkan dari hasil perkalian antara *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). RPN tidak memiliki nilai atau makna, karena hanya menunjukkan kekurangan saja, semakin tinggi nilai RPN

maka semakin tinggi kekurangan atau kegagalan yang terjadi (Stamatis,1995).

9. Tindakan yang direkomendasikan

Jika hasil dari perhitungan RPN sudah dilakukan, maka harus diadakan tindakan perbaikan sesegera mungkin berdasarkan hasil RPN.

2.2.4. Langkah Dasar FMEA

Terdapat langkah-langkah pengerjaan dalam proses FMEA yaitu sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi fungsi proses pada proses mangkok atauperakitan.
2. Mengidentifikasi potensi mode kegagalan (*failuremode*).
3. Mengidentifikasi potensi efek kegagalan (*failureeffect*) dalam proses mangkok dan penyebab-penyebab kegagalan (*failure cause*), pada proses simulasi solid work..
4. Mengidentifikasi mode-mode deteksi pada proses mangkok atau kendali yang dilakukan pada saat ini (*current processcontrol*).
5. Menentukan *rating severity* (S), *occurence* (O) dan *detection* (D).
6. Menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Adapun formula untuk menghitung RPN yaitu sebagaiberikut:
$$\text{Risk Priority Number (RPN)} = S \times O \times D$$
7. Langkah terakhir yaitu memberikan rekomendasi atau usulan perbaikan berdasarkan hasil RPN tertinggi ke terendah, karena dalam FMEA *analysis* berfungsi untuk memberikan evaluasi terhadap penyebab yang ditimbulkan, untuk mencegah atau meminimumkan terjadinya kegagalan.

Adapun pemberian nilai *Risk Priority Number* (RPN) terhadap nilai *severity*, *occurence*, dan *detection* yaitu sebagai berikut:

a. *Severity*

Severity adalah langkah awal untuk menganalisis resiko, yaitu menentukan mode kegagalan (*failure mode*) dan seberapa besar dampak kejadian yang akan mempengaruhi hasil akhir dari proses. Adapun cara pemberian nilai atau *rating severity* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Penentuan *Rating Severity*

No	Karakteristik	Keterangan	Rating
1	<i>None</i>	Dampak tidak terlihat atau tidak terjadi dampak 1. Hanya pelanggan yang jeli yang mengetahui cacat pada produk	1
2	<i>Very Minor</i>	2. Dilakukan proses pengerjaan ulang (<i>rework</i>) atas sebagian kecil produk 3. Ada gangguan kecil pada produksi	2
3	<i>Minor</i>	1. Sebagian pelanggan menyadari adanya cacat mangkok 2. Dilakukan <i>rework</i> atas sebagian kecil 3. Ada gangguan kecil pada produk	3
4	<i>Very Low</i>	1. Pelanggan secara umum menyadari adanya cacat pada produk 2. Dilakukan <i>rework</i> atas sebagian produk namun tidak perlu dibongkar 3. Ada gangguan kecil pada produk	4
5	<i>Low</i>	1. Dilakukan <i>rework</i> atas sebagian besar produk namun tidak perludi bongkar 2. Ada gangguan sedang pada cacat produk	5
6	<i>Moderate</i>	1. Dilakukan <i>rework</i> atas seluruh produk namun tidak perlu dibongkar 2. Ada gangguan sedang pada produk	6
7	<i>High</i>	1. Dilakukan <i>rework</i> atas seluruh produk dan sebagian kecil. 2. Ada gangguan besar pada cacat produk	7
8	<i>Very High</i>	1. Dilakukan <i>rework</i> atas seluruh produk dan sebagian harus dibongkar 2. Ada gangguan besar pada produk	8
9	<i>Hazardous with warning</i>	1. Dilakukan <i>rework</i> atas seluruh cacat produk dan sebagian besar harus lebih baik lagi 2. Produksi terhenti dan membahayakan pekerja.	9

	<i>Hazardous</i>	1. Dilakukan <i>rework</i> atas seluruh mangkok	
10	<i>without</i>	danseluruhnya harus dibongkar	10
	<i>warning</i>	2. mangkok terhenti dan membahayakan pekerja.	

(Sumber: Tannady, 2015)

Penentuan *rating severity* yang sudah dilakukan berdasarkan intensitas atau seberapa banyak kejadian yang mempengaruhi hasil akhir dari suatu proses. Setelah pemberian *rating severity*, selanjutnya harus menentukan *rating* untuk *occurence*.

b. Occurence

Occurence merupakan kemungkinan bahwa penyebab kegagalan akan terjadi dan akan menghasilkan bentuk kegagalan selama proses. Adapun cara pemberian *rating occurence* dapat dilihat pada Tabel 2.5 di bawah ini sebagai berikut:

Tabel 2.5 Penentuan *Rating Occurrence*

No	Karakteristik	Frekuensi Kejadian	<i>Rating</i>
1	<i>Very Low</i>	10 per 1000.000 atau 0.0001%	1
2	<i>Low</i>	100 per 1000.000 atau 0.01%	2
3		500 per 1000.000 atau 0.05%	3
4		1.000 per 1000.000 atau 0.1%	4
5	<i>Moderate</i>	3.000 per 1000.000 atau 0.3%	5
6	<i>High</i>	5.000 per 1000.000 atau 0.5%	6
7		10.000 per 1000.000 atau 1%	7
8		30.000 per 1000.000 atau 3%	8
9		50.000 per 1000.000 atau 5%	9
10	<i>Very High</i>	100.000 per 1000.000 atau 10%	10

(Sumber: Tannady, 2015)

c. *Detection*

Setelah penentuan *rating occurrence* didapatkan, selanjutnya dapat menentukan nilai *detection*. Penilaian atau *rating* pada *detection* berguna untuk mengetahui dan mendeteksi penyebab suatu potensi kegagalan, adapun pemberian *rating detection* dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Penentuan *Rating Detection*

No	Karakteristik	Keterangan	Berdasarkan Frekuensi Kejadian	Rating
1	<i>Very High</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan sangat berfungsi dengan baik 100%	10 per 1000.000 atau 0.0001%	1
2	<i>High</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan berfungsi baik 85-90%	100 per 1000.000 atau 0.01%	2
3		Pencegahan terjadinya kegagalan berfungsi baik 80-85%	500 per 1000.000 atau 0.05%	3
4	<i>Moderately High</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan cukup berfungsi dengan baik 70-80%	1.000 per 1000.000 atau 0.1%	4
5	<i>Moderate</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan masih cukup berfungsi dengan baik 65-70%	3.000 per 1000.000 atau 0.3%	5
6		Pencegahan terjadinya kegagalan masih cukup berfungsi dengan baik 50-65%	5.000 per 1000.000 atau 0.5%	6
7	<i>Low</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan kurang berfungsi dengan baik 30-50%	10.000 per 1000.000 atau 1%	7

8	<i>Very Low</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan kurang berfungsi 20-30%	30.000 per 1000.000 atau 3%	8
9	<i>Almost Impossible</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan tidak berfungsi 0-20%	50.000 per 1000.000 atau 5%	9
10	<i>Impossible</i>	Pencegahan terjadinya kegagalan sama sekali tidak berfungsi	100.000 per 1000.000 atau 10%	10

(Sumber: Tannady, 2015 & Stamatis, 1995)

A. Kelebihan *Hydrostatic Extrusion*

Berikut beberapa keunggulan proses *hydrostatic extrusion*:

- Bisa dilakukan pada suhu ruang maupun suhu tinggi.
- Tekanan hidrostatiknya dapat meningkatkan sifat mampu bentuk bahan.
- Cocok untuk bahan yang terlalu getas jika diproses dengan *direct extrusion*.
- Mampu mengekstrusi dengan perbandingan reduksi yang tinggi pada bahan yang ulet.

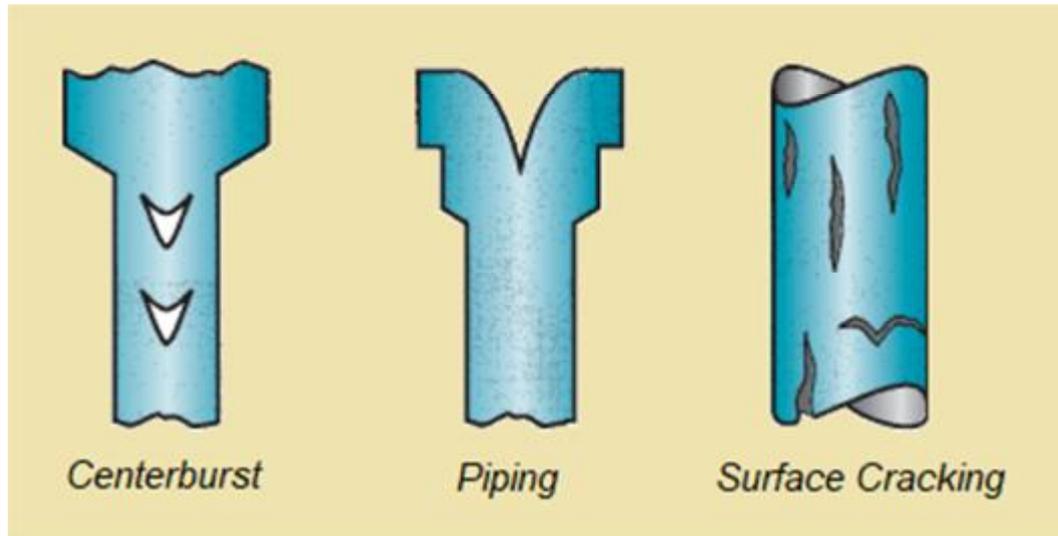
B. Kekurangan *Hydrostatic Extrusion*

Berikut kelemahan proses *hydrostatic extrusion*:

- Bahan awal harus dibentuk tirus atau lancip supaya rapat dengan *die*.
- Memerlukan *seal* untuk mencegah kebocoran pada lubang *die* ketika penekanan terjadi.

C. Cacat pada Produk Ekstrusi

Deformasi pada proses ekstrusi dapat mengakibatkan cacat (*defect*). Cacat tersebut diklasifikasikan menjadi tiga jenis seperti pada gambar 2.3..Mereka antara lain *centerburst*, *piping*, dan retak di permukaan.



Gambar 2.1. Cacat pada Produk Ekstrusi

1. *Centerburst*

Centerburst merupakan retakan yang terjadi di bagian dalam sepanjang garis tengah benda kerja. Cacat ini disebabkan oleh tegangan tarik selama proses ekstrusi. Kondisi lain yang menyebabkan *centerburst* yaitu: sudut *die* yang besar, perbandingan ekstrusi yang rendah, dan bahan baku yang kurang sempurna. Istilah lain dari cacat ini adalah *arrowhead fracture*, *center cracking*, atau *chevron cracking*.

2. *Piping*

Piping adalah cacat yang terjadi pada proses *direct extrusion*. Cacat ini berupa lubang pada akhir benda kerja. Nama lain dari cacat ini yaitu *tailpipe* dan *fishtailing*.

3. *Surface Cracking*

Surface cracking terjadi karena suhu benda kerja yang tinggi sehingga menciptakan retakan pada permukaan benda kerja. Faktor yang memengaruhi cacat ini yakni kecepatan ekstrusi yang terlalu tinggi dan gesekan. Pada ekstrusi panas, pendinginan permukaan benda kerja yang kurang juga menyebabkan retak permukaan.

2.3 Jenis-Jenis Cacat Kristal

Berikut ini akan dijelaskan masing-masing cacat pada bahan padat.

1. Cacat Titik

Cacat titik terdiri dari kekosongan, interstisial dan substitutional, cacat Schottky dan cacat Frenkel.

a. Kekosongan

Di alam ini tidak terdapat kristal yang sempurna dengan susunan atom yang teratur. Selalu terdapat cacat dalam suatu kristal, dan yang paling sering dijumpai adalah cacat titik. Hal ini terutama ketika temperatur kristal cukup tinggi dimana atom-atom bergetar dengan frekuensi tertentu dan secara acak dapat meninggalkan kisi, lokasi kisi yang ditinggalkan disebut vacancy atau kekosongan. Dalam kebanyakan kasus difusi atau transportasi massa oleh gerak atom juga dapat disebabkan oleh kekosongan.

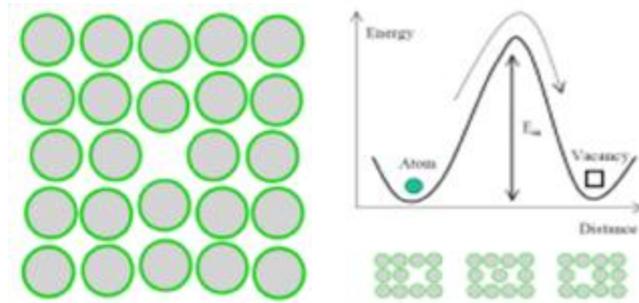
Semakin tinggi suhu, semakin banyak atom yang dapat meninggalkan posisi kesetimbangannya dan semakin banyak kekosongan yang dapat dijumpai pada kristal. Banyaknya kekosongan yang terjadi N_v meningkat dengan meningkatnya suhu kristal dan banyaknya kekosongan ini dapat diperoleh dengan persamaan berikut (distribusi Boltzman) :

$$R_j = R_0 \exp(-E_m/kT)$$

Dalam persamaan ini, N adalah banyaknya atom dalam kristal, Q_v adalah energy yang dibutuhkan untuk membentuk vacancy atau kekosongan, T adalah suhu kristal dalam Kelvin, dan k adalah konstanta Boltzman yang bernilai 1.38×10^{-23} J/atom-K, atau 8.62×10^{-5} eV/atom-K bergantung pada satuan Q_v . Dengan menggunakan persamaan tersebut kita dapat mengestimasi bahwa pada suhu kamar terdapat satu kekosongan dalam 10^{15} kisi kristal dan pada suhu tinggi atau suhu mendekati titik leleh zat padat terdapat satu kekosongan dalam 10000 atom.

Pada kristal, atom membutuhkan energy untuk bergerak ke posisi kekosongan (misalnya energi termal) untuk lepas dari tetangga-tetangganya. Energi tersebut disebut energy aktivasi kekosongan, E_m . Energi termal rata-rata atom biasanya lebih kecil dari energy aktivasi E_m dan fluktuasi energy yang besar dibutuhkan untuk loncat. Peluang untuk fluktuasi atau frekuensi loncatan atom R_j , tergantung secara eksponensial terhadap suhu dan dapat digambarkan oleh persamaan yang ditemukan kimiawan Swedia Arrhenius:

Dimana R_0 adalah frekuensi percobaan yang sebanding dengan frekuensi getaran atom



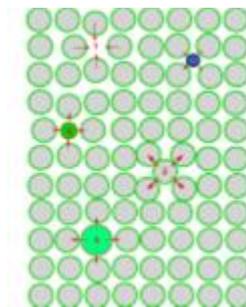
Gambar 2.2. Skema kekosongan pada Kristal

(kiri) Skema representasi kekosongan pada Kristal dalam 2 dimensi. (kanan) Skema representasi difusi atom dari posisi asalnya ke posisi kosong. Energy aktivasi E_m telah diberikan pada atom sehingga atom dapat memutuskan ikatan antar atom dan pindah ke posisi yang baru.

b. Interstitial dan Subtitutional

Interstitial yaitu Penekanan atau penumpukan antara tempat kisi teratur. Jika atom interstitial adalah atom yang sejenis dengan atom-atom pada kisi maka disebut self interstitial. Terciptanya self-interstitial menyebabkan distorsi besar disekeliling kisi dan membutuhkan energy lebih dibandingkan dengan energy yang dibutuhkan untuk membuat vacancy atau kekosongan ($E_i > E_v$), dan dibawah kondisi kesetimbangan, self-interstitial hadir dengan konsentrasi lebih rendah dari kekosongan.

Jika atom-atom interstitial adalah atom asing, biasanya lebih kecil ukurannya (karbon, nitrogen, hydrogen, oksigen) disebut interstitial impurities. Mereka memperkenalkan distorsi kecil pada kisi dan banyak terdapat pada material nyata. Subtitutional yaitu Penggantian atom pada matriks Kristal. Jika atom asing mengganti atau mensubtitusi matriks atom, maka disebut subtitusional impurity

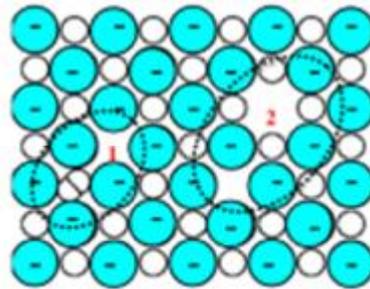


Gambar 2.3. Skema reprentasi cacat titik dalam kristal

dalam Kristal (1) kekosongan, (2) self-interstitial, (3) Interstitial impurity, (4) (5) substitutional impurities. Tanda panah menunjukkan tekanan local yang dihasilkan oleh cacat titik.

c. Cacat Schottky dan Cacat Frenkel

Dalam Kristal ionic (misalnya garam dapur- Na^+Cl^-), ikatannya disebabkan oleh gaya Coulomb antara ion positif dan ion negatif. Cacat titik dalam Kristal ion adalah muatan itu sendiri. Gaya Coulomb sangat besar dan setiap muatan yang tidak seimbang memiliki kecenderungan yang kuat untuk menyeimbangkan diri. Untuk membuat muatan netral, beberapa cacat titik akan terbentuk. Cacat Frenkel adalah kekosongan pasangan ion dan cation interstitial. Atau kekosongan pasangan ion dan anion interstitial. namun ukuran anion jauh lebih besar dari pada kation maka sangat sulit untuk membentuk anion interstitial. Cacat Schottky adalah kekosongan pasangan kation dan anion. Keduanya cacat Frenkel dan Schottky, pasangan cacat titik tetap berdekatan satu sama lain karena tarikan coulomb yang kuat antara muatan yang berlawanan.



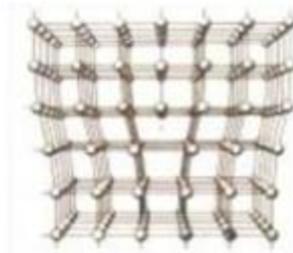
Gambar 2.4. Skema representasi cacat Frenkel

Gambar 2.4, merupakan skema representasi dari (1) cacat Frenkel (kekosongan dan pasangan interstitial) dan cacat schottky (kekosongan pasangan kation dan anion) dalam Kristal ionic

d. Cacat Linear

Mengapa logam dapat terdeformasi plastis dan mengapa sifat deformasi plastis dapat diubah sangat besar dengan ditempa tanpa mengubah komposisi kimia adalah sebuah misteri pada ribuan tahun yang lalu. Hal ini menjadi misteri yang sangat besar ketika awal tahun 1900an para ilmuwan memperkirakan bahwa logam mengalami deformasi plastis jika diberi gaya yang lebih kecil dari gaya yang mengikat atom-atom logam bersama.

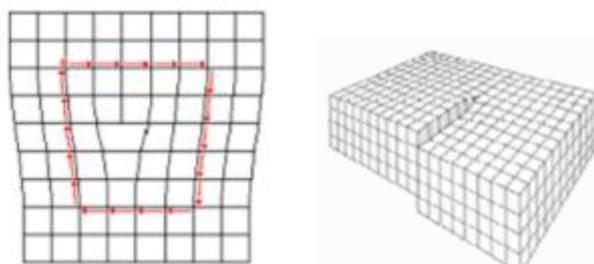
Kejelasan muncul pada tahun 1934 ketika Taylor, Orowan dan Polyani menemukan dislokasi. Dislokasi garis dapat dikenal dan dipikirkan sebagai bidang kisi tambahan dimasukkan kedalam Kristal, tetapi tidak diperpanjang ke seluruh Kristal tapi berakhir di dislokasi garis.



Gambar 2.5. Tiga dimensi penyisipan setengah bidang tambahan melalui pusat gambar.

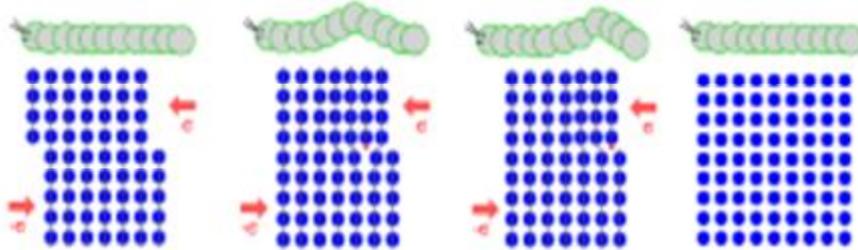
Dislokasi adalah cacat garis. Ikatan interatomik secara signifikan terdistorsi hanya dalam daerah sekitar dislokasi garis yang cepat. Dislokasi juga membentuk deformasi elastis kecil kisi pada jarak yang jauh. Untuk menggambarkan ukuran dan arah distorsi kisi utama disebabkan oleh dislokasi, kita seharusnya memperkenalkan vector Burger b . Untuk menentukan vector burger, kita dapat membuat lintasan dari atom ke atom dan menghitung masing-masing jarak antar atom dalam segala arah. Jika lintasan melingkupi dislokasi, lintasan tidak akan ditutup. Vektor yang menutup loop merupakan vector Burger b .

Dislokasi dengan arah vector Burger tegak lurus dengan dislokasi disebut dislokasi tepi atau dislokasi edge. Ada tipe dislokasi kedua yang disebut screw dislocation. Screw dislocation sejajar dengan arah Kristal yang dipindahkan atau yang digeser (vector Burger sejajar dengan dislokasi garis). Hampir seluruh dislokasi yang ditemukan pada Kristal bahan tidak terdiri dari edge dislocation saja atau screw dislocation saja tetapi terdiri dari campuran keduanya atau disebut mix dislocation.



Gambar 2.6. Edge dislocation screw dislocation

Gerak dislokasi mengikuti slip-deformasi plastis ketika ikatan interatomik patah dan terbentuk kembali. Sebenarnya, slip selalu terjadi melalui gerak dislokasi



Gambar 2.7. Diagram dislokasi

Lihatlah pada gambar 2.7., kita akan mengerti mengapa dislokasi memungkinkan slip pada tekanan yang kecil yang diberikan pada Kristal yang sempurna. Jika setengah bagian atas Kristal di geser dan pada saat itu hanya fraksi kecil dari ikatan yang patah dan hal ini membutuhkan gaya yang cukup kecil. Pada proses pergeseran ini dislokasi terbentuk dan menyebar melalui Kristal. Penyebaran satu dislokasi melalui bidang menyebabkan setengah bidang atas tersebut bergerak terhadap bagian bawahnya tetapi kita tidak memecah semua ikatan pada tengah bidang secara simultan (dimana akan membutuhkan gaya yang sangat besar).

Gerak dislokasi dapat dianalogikan dengan perpindahan ulat bulu. Ulat bulu harus mengadakan gaya yang besar untuk memindahkan seluruh tubuhnya pada waktu yang sama. Untuk itu bagian belakang tubuh akan bergerak ke depan sedikit dan membentuk punggung bukit. Punggung bukit lalu menyebar terus dan memindahkan ulat bulu. Cara yang sama digunakan untuk memindahkan karpet yang besar. Daripada memindahkan seluruhnya pada waktu yang bersamaan, kita dapat membuat punggung bukit pada karpet dan mendorongnya menyebarangi lantai.

e. Cacat interfacial

Kristal tunggal terkadang dapat ditemukan dalam material nyata yang tidak sedikit kondisinya pertumbuhannya secara khusus di desain dan di atur sebagai contoh ketika memproduksi Kristal tunggal silicon untuk device mikroelektronik atau bilah untuk turbin yang terbuat dari super alloy. Zat padat pada umumnya

terdiri dari beberapa Kristal-kristal kecil atau grain. Grain dapat berukuran dari ordo nanometer hingga millimeter dan orientasi bidang atom diputar terhadap grain tetangganya. Material ini disebut polikristal. Grain-grain tunggal dipisahkan oleh batas grain atau grain Boundaries, yaitu daerah yang berdensitas kecil dan twin boundaries.

1. Permukaan eksternal

Salah satu batas yang selalu ada adalah permukaan luar atau permukaan eksternal, dimana permukaan ada di setiap ujung Kristal. Di permukaan, atom tidak memiliki jumlah tetangga maksimum sehingga jumlah ikatannya lebih kecil dan memiliki keadaan energy yang lebih besar dari atom atom yang berada dibagian dalam. Ikatan atom pada permukaan Kristal yang tidak terikat memberikan energy permukaan yang diekspresikan dalam satuan energy persatuan luas permukaan (J/m^2 atau erg/cm^2). Untuk mengurangi energy tersebut, suatu bahan cenderung untuk memperkecil permukaannya. Namun untuk zat padat hal ini sulit karena memiliki sifat yang kaku.

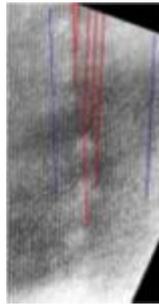
2. Grain Boundaries

Jenis lain dari cacat interfacial adalah grain boundaries yaitu batas yang memisahkan dua grain kecil atau Kristal yang memiliki struktur Kristal yang berbeda dalam bahan polikristalin. Didalam daerah batas, dimana terdapat jarak cukup lebar diantara atom, terdapat beberapa atom yang hilang dalam transisi dari orientasi Kristal dalam satu grain ke grain yang berdekatan.

Ber macam-macam ketidak sejajaran kristalografi diantara grain yang berdekatan merupakan hal yang mungkin. Ketika orientasi yang tidak cocok ini diabaikan atau derajatnya kecil maka bentuk sudut kecil grain boundaries digunakan. Batas ini dapat digambarkan dalam bentuk susunan dislokasi. Salah satu contoh sederhana dari sudut kecil grain boundaries dibentuk ketika dislokasi tepi disejajarkan seperti pada gambar 1. Jenis ini disebut tilt boundaries atau batas kemiringan. Jika sudut kecil dibentuk dari susunan dislokasi screw maka disebut twist boundaries.

Atom-atom disekitar batas diikat dengan jumlah kurang dari yang diperlukan dan konsekuensinya terdapat energy grain boundary yang serupa dengan energy permukaan eksternal. Besarnya energy ini merupakan fungsi dari derajat

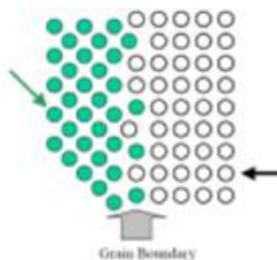
misorientasi dan menjadi besar jika sudut batasnya besar. Grain boundaries sifat kimianya lebih reaktif dari grain-grain itu sendiri sebagai akibat dari kehadiran energy tersebut. Lebih jauh lagi atom-atom yang tidak murni terpisahkan secara khusus karena tingkat energinya yang lebih besar. Energi interfacial total material bergrain kasar lebih kecil daripada material bergrain halus karena pada grain kasar memiliki area batas grain total yang kecil. Jumlah grain meningkat dengan meningkatnya suhu untuk mengurangi energy total batas.



Gambar 2.8. Batas sudut

Kita dapat membedakan antara sudut batas grain kecil dan sudut batas grain besar. Hal ini mungkin untuk menjelaskan sudut batas kecil grain sebagai kesatuan dislokasi. Gambar disamping merupakan transmisi mikroskop electron dari kemiringan sudut batas grain kecil silicon. Garis merah menandakan dislokasi tepi atau edge dislocation dan garis biru mengindikasikan kemiringan sudut. Jenis lain dari cacat permukaan dalam kisi adalah stacking fault dimana rentetan bidang atom memiliki kesalahan.

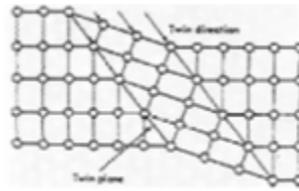
Walaupun susunan atom tidak teratur dan ikatan yang seharusnya sangat kurang, material polikristalin sangat kuat. Gaya kohesif didalam dan sepanjang batas terbentuk. Lebih jauh, densitas polikristalin sebenarnya serupa dengan Kristal tunggal pada bahan yang sama



Gambar 2.9. Susunan atom

3. Twin Boundaries

Twin boundaries atau batas kembar merupakan jenis khusus dari grain boundaries dimana terdapat cermin kisi yang simetri. Atom dalam satu sisi batas ditempatkan sebagai cermin atom pada sisi yang lainnya. Daerah diantara dua sisi tersebut terbentuk bidang twin. Batas kembar dihasilkan dari perpindahan atom yang diproduksi oleh gaya mekanik yang dikerjakan pada bahan (mechanic twin) dan juga terbentuk selama proses annealing panas yang mengikuti deformasi (annealing twins). Perkembaran terjadi pada bidang Kristal tertentu dan arah tertentu juga dan keduanya tergantung pada struktur Kristal. Annealing twin adalah tipe yang ditemukan dalam metal yang berstruktur FCC dan mechanic twin dapat di observasi pada logam berstruktur BCC dan HCP.



Gambar 2.10. Batas kembar

4. Manfaat Cacat Kristal

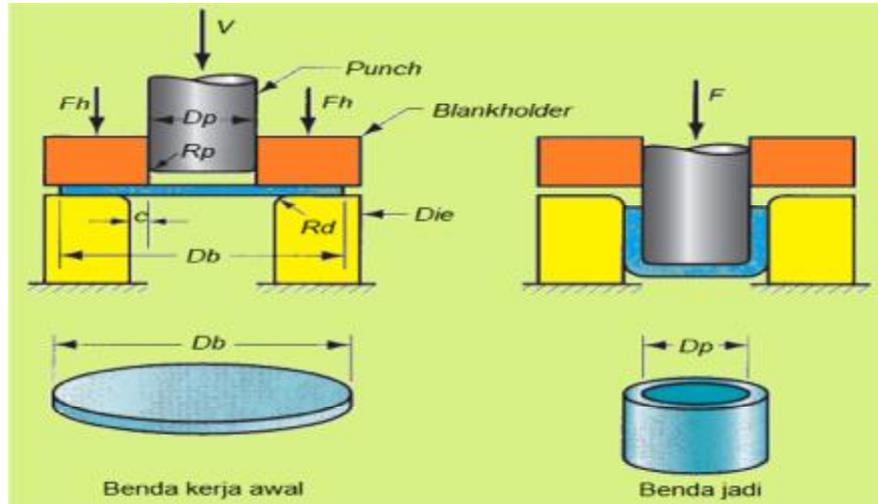
Cacat pada Kristal dapat mengubah sifat listrik dan mekanik bahan. Kekosongan pada Kristal dapat mengubah sifat listrik bahan. Sebagai contoh, kita memanfaatkan kekosongan pada Kristal silicon untuk pendopongan oleh phospor sehingga terbentuk semikonduktor tipe n. Selain itu cacat Kristal seperti kekosongan, dislokasi, dan boundaries dapat meingubah sifat mekanik bahan. Grain Boundaries dapat menghambat difusi atom dan gerak dislokasi sehingga deformasi bahan sulit terjadi. Semakin kecil grain, semakin kuat bahan tersebut.

Ukuran grain dapat diatur dengan laju pendinginan. laju pendinginan yang cepat menghasilkan grain-grain yang kecil sedangkan proses-proses pendinginan yang lambat menghasilkan grain-gran yang besar

2.4. Deep Drawing

Deep drawing adalah proses pembentukan lembaran Alumunium menjadi bentuk cangkir, kotak, atau komponen melengkung dan cekung yang rumit. Proses ini dilakukan dengan menempatkan selembur Alumunium di atas lubang *die* dan kemudian mendorong Alumunium tersebut ke dalam lubang

dengan *punch* (seperti pada gambar 1). Lembaran Aluminium awal biasanya harus dipegang rata terhadap *die* menggunakan bantuan *blankholder*. Benda-benda umum yang dibuat dengan *deep drawing* antara lain: kaleng minuman, amunisi, panci, dan panel bodi mobil.



Gambar 2.11 Proses *Deep Drawing*. (Sumber: Groover, Mikell P., 2010, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems*, 4th ed.)

Membentuk cawan adalah proses *drawing* dasar dengan dimensi dan parameter seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Lembaran awal berdiameter D_b ditarik ke dalam rongga *die* dengan menggunakan *punch* berdiameter D_p . *Punch* dan *die* harus memiliki sudut radius, yang ditunjukkan oleh R_p dan R_d . Jika *punch* dan *die* memiliki sudut tajam (R_p dan $R_d = 0$), maka proses *punching* (pembuatan lubang) yang akan terjadi dan bukan proses *deep drawing*. Sisi-sisi *punch* dan *die* dipisahkan oleh jarak c . Jarak c tersebut sekitar 10% lebih besar dari ketebalan benda kerja. *Punch* menerapkan gaya ke bawah F untuk mendeformasi logam, sedangkan gaya penahan ke bawah F_h diterapkan oleh *blankholder*.

2.4.1. Kelebihan *Deep Drawing*

Keunggulan proses *deep drawing* antara lain sebagai berikut:

- Proses pembentukan relatif cepat.
- Mengurangi proses perakitan.
- Tanpa sambungan (*seamless*).
- Bisa membentuk geometri yang kompleks.

- Komponen hasil *deep drawing* tergolong kuat.
- Material *ferritic* dan *non-ferritic* dapat dikerjakan.

2.4.2. Kekurangan *Deep Drawing*

Kelemahan proses *deep drawing* antara lain sebagai berikut:

- Kurang efektif untuk cacat mangkok kecil.
- Memerlukan banyak pengalaman dalam mengerjakan.
- Kualitas material menjadi hal yang kritis agar memperoleh mangkok unggulan.
- *Die* yang digunakan mahal.

2.4.3. Aplikasi *Deep Drawing*

Deep drawing adalah proses pembentukan lembaran Aluminium yang digunakan industri untuk menghasilkan produk berbentuk kotak, cangkir, dan lekukan rumit lainnya.

2.4.4. Cacat (*Defect*) pada Proses *Deep Drawing*

Deep drawing pada lembaran Aluminium adalah proses yang lebih kompleks daripada *cutting* atau *bending*. Sejumlah cacat yang dapat terjadi pada mangkok hasil *deep drawing* antara lain:

- Flensa bergelombang. Biasanya akibat *compressive buckling*.
- Dinding bergelombang.
- Sobek pada dinding di dekat dasar produk. Cacat ini terjadi karena tegangan tarik yang tinggi atau radius sudut *die* yang terlalu kecil.
- Ujung atas dinding produk yang tidak sama (*earing*). Biasanya terjadi karena bahan yang digunakan *anisotropic*.
- Permukaan dinding mangkok yang tergores *punch* dan *die*. Biasanya terjadi karena kurang pelumasan atau gerakan *punch* yang kurang halus.



Gambar 2.12 Cacat (*Defect*) pada Hasil *Deep Drawing*. (Sumber: Groover, Mikell P., 2010, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials*,

Mesin press lebih efektif karena dapat melakukan proses cutting sampai dengan proses bending dan forming pada sekali proses pengepresan saja. Dan dengan hasil yang 99.9% sama antara part buatan pertama hingga terakhir sehingga sangat cocok sekali digunakan pada proses produksi massal. Mesin press digunakan hampir pada seluruh proses produksi yang didalamnya ada proses pengerjaan dan pembentukan plat. Namun pada artikel ini hanya akan dibahas salah satunya yaitu pada proses manufacturing pembuatan body mobil. Mesin press yang digunakan adalah mesin press hidrolik 500 ton sampai ribuan ton, baik yang manual maupun yang sudah fully otomatis dengan menggunakan lengan robot. Berikut adalah tahapan-tahapan pembuatan body mobil

1. Shearing

Proses pertama adalah shearing atau proses pemotongan awal. Proses ini memotong lembaran plat Aluminium dari bahan mentah yaitu gulungan coil plat Aluminium menjadi lembaran-lembaran plat Aluminium berbagai ukuran. Proses shearing dibedakan menjadi beberapa macam yaitu pemotongan lurus, pemotongan miring dan pemotongan kombinasi.

2. Stamping (pengepresan)

Pengepresan dilakukan beberapa tahap, biasanya untuk membuat satu press part jadi dibutuhkan 3 sampai 4 kali proses pengepresan. Hal ini dilakukan untuk mencegah kerusakan yang terjadi pada plat karena dalam proses pengepresan juga terjadi proses cutting, penarikan dan bending. Secara umum proses stamping dapat dibagi menjadi beberapa macam yaitu:

a. Proses *Cutting* (pemotongan).

Proses pemotongan adalah proses dimana material di potong sesuai dengan ukuran yang diinginkan agar material tersebut dapat dikerjakan kedalam proses berikutnya. Jenis – jenis proses pemotongan antara lain :

1) *Blanking*

Blanking adalah proses persiapan material, material dipotong sesuai dengan yang dibutuhkan. Proses *blanking* bertujuan agar mendapatkan hasil potongnya atau *blank*, sedangkan sisanya akan dibuang sebagai sampah atau disebut *scrap*.

2) *Cutting*

Yaitu suatu proses pemotongan material yang masih berbentuk lembaran Aluminium (blank material). Proses *cutting* merupakan proses pemotongan beberapa bagian dari suatu *part*. Sisa pemotongan dibuang sebagai *scrap*.

3) *Trimming*

Yaitu suatu proses pemotongan material pada bagian tepi. Biasanya proses ini adalah lanjutan dari proses sebelumnya seperti draw, stamp dan sebagainya.

4) *Notching*.

Notching adalah proses pemotongan pada bagian pinggir material part, biasanya pada progressive dies. Dengan pemotongan tersebut, part berangsur terbentuk walaupun masih menempel pada scrap skeleton.

5) *Parting* atau *Separating*

Parting atau separating adalah proses pemisahan suatu part menjadi dua bagian atau beberapa bagian dari sheet metal strip sehingga menghasilkan part yang dikehendaki. Pada proses separating terdapat scrap yang tidak terpakai.

b. Proses *Forming* (pembentukan).

Forming adalah istilah umum yang dipakai pada proses pembentukan sheet metal untuk mendapatkan contour yang diinginkan. Proses forming, tidak menghasilkan pengurangan atau penghilangan material seperti yang terjadi pada proses cutting. Maka untuk istilah pembentukan juga berbeda-beda agar tidak salah pengertian. Jenis-jenis proses pembentukan tersebut antara lain:

1) *Bending*

Bending adalah proses penekukan plat dimana hasil dari penekukan ini berupa garis sesuai dengan bentuk sudut yang diinginkan.

2) *Flanging*.

Flanging adalah sama seperti bending namun garis bending yang dihasilkan tidak lurus melainkan mengikuti bentuk part yang bersangkutan. Proses ini dimaksudkan untuk memperkuat bagian sisi dari produk atau untuk alasan, keindahan.

3) *Forming*.

Forming mengacu pada pengertian yang lebih sempit yang artinya adalah deformasi dari sheet metal yang merupakan kombinasi dari proses bending dan

flanging. Proses forming menghasilkan bentuk yang sangat kompleks dengan tekukan-tekukan serta contour part yang rumit.

4) Drawing.

Drawing adalah forming yang cukup dalam sehingga proses pembentukannya memerlukan blank holder atau stripper dan air cushion / spring untuk mengontrol aliran dari material. Untuk bentuk yang tidak beraturan diperlukan bead untuk menyeimbangkan aliran material. Untuk menghasilkan produk yang baik, sebaiknya digunakan steel sheet khusus proses drawing dan menggunakan mesin press hidrolik.

5) Deep Drawing.

Deep Drawing merupakan proses drawing yang dalam sehingga untuk mendapatkan bentuk dan ukuran produk akhir diperlukan beberapa kali proses drawing. Blank holder / stripper mutlak diperlukan dan hanya dapat diproses pada mesin press hidrolik dan menggunakan sheet metal khusus untuk deep drawing.

c. Proses *Compression* (penekanan).

Proses ini termasuk dalam operasi forming yang mana tekanan yang kuat diberikan pada sheet metal untuk menghasilkan tegangan kompresi yang tinggi pada plat untuk menghasilkan deformasi plastis. Jenis-jenis proses penekanan ini adalah :

1) Stamping atau Marking.

Stamping atau *Marking* atau kadang-kadang disebut proses coining digunakan untuk membuat tanda, simbol, huruf atau bentuk lainnya dengan proses cold forging.

2) Heading.

Heading adalah proses pembentukan kepala dari part, biasanya pada material steel bar. Proses pembentukannya dengan proses hot forging atau cold forging dimana bagian ujung dari part diproses dengan menggunakan pressing dies untuk membentuk kepala.

3) Sizing.

Sizing adalah operasi dimana material plat diberi tekanan tinggi yang mana menyebabkan material mengalir, karena itu sizing bertujuan untuk memperbesar akurasi dimensi dari part / benda kerja.

Cacat Pada Deep Drawing Cacat pada mangkok dan kegagalan proses pembentukan dapat disebabkan berbagai faktor diantaranya :

- a. Faktor design / parameter drawing.
- b. Proses manufaktur (kekasaran permukaan).
- c. Sifat bahan pelat drawing
- d. Pelumasan maupun faktor produksinya (kecepatan pembentukan).

Cacat yang disebabkan dari factor desain dipengaruhi oleh parameter:

- a. Drawing ratio / prosentase restriksi.
- b. Clearance.
- c. gaya jepit.
- d. kehalusan permukaan

Dilihat dari produk hasil trial yang telah dilakukan ,pada penelitian tugas akhir ini, cacat yang terjadi pada proses pembentukan cover disk brake ialah cacat kerut(wrinkling) yang diakibatkan oleh cacat pada tooling. untuk cacat yang mengakibatkan wrinkling pada produk biasanya dikarenakan radius yang terlalu lebar dan gaya blankholder terlalu kecil. untuk menghindari hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menghaluskan kearah bawah permukaan drawing ring dan kurangi radius tepi. dan perbesar gaya tekan blankholder.

2.5 PENGERTIAN ENERGI MEKANIK

Energi Mekanik adalah energi yang dimiliki oleh benda karena gerak dan kedudukannya atau posisi energi mekanis merupakan jumlah atau gabungan dari energi kinetik dan energi potensial sifat enegi mekanis adalah nilainya selalu tetap meskipun energi kinetik dan energi potensial berubah-ubah jika energi kinetiknya minimum, maka energi potensialnya maksimum. Begitupun sebaliknya jika energi kinetiknya maksimum maka energi potensialnya minum. Hal ini yang membuat nilai energi mekanik selalu tetap. Oleh karena itu, energi mekanik tersusun dari energi kinetik dan energi potensial.

1. Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh sebuah benda karean geraknya. Energi ini adalah energi yang terdapat pada benda

bergerak.energi kinetik akan muncul ketika suatu benda bergerak pada saat benda berhenti atau diam maka energi kinetiknya juga ikut berhenti, atau nilai nol (0).

2. Energi Potensial

Energi potensial adalah energy yang tersimpan dalam benda atau sistem karena kedudukannya bentuknya atau keadaannya dan jika keadaan memungkinkan energi tersebut dapat dimunculkan. Misalnya benda yang berada pada kedudukan tertentu diatas permukaan tanah maka benda tersebut menyimpan energi potensial karena faktor ketinggiannya

3. Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki benda karena ketinggian atau kedudukannya diatas permukaan tanah, energi ini disebabkan oleh karena adanya gravitasi bumi.

Sebuah benda yang berada pada ketinggian terhadap bumi akan dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi. Sehingga benda itu mempunyai berat. Gaya berat inilah yang mampu melakukan usaha yaitu menggerakkan benda bumi.

4. Elastisitas

Elastisitas adalah kecenderungan bahan padat untuk kembali ke bentuk aslinya setelah terdeformasi. Benda padat akan mengalami deformasi ketika gaya diaplikasikan padanya. Jika bahan tersebut elastis, benda tersebut akan kembali ke bentuk dan ukuran awalnya ketika gaya dihilangkan.

2. 6 Sejarah Simulasi SolidWork

SolidWork simulasi merupakan software analisa berbasis FEA (Finite Element Analysis) dari SolidWork corp berawal dari SRAC Pada tahun 2001 hingga kemudian tepat ditahun 2003 SRAC bergabung dengan solidwork worp.

Cosmos Works sendiri adalah produk menjadi SolidWork simulation. Disamping kemunculan SolidWork simulasi menambah picture SolidWork sebagai 3D CAD. Produk analisa lain dikembangkan dan bersifat independen yang bernama cosmos M. Dengan user interpes sederhana dan

penggunaannya yang cukup rumit. Cosmos M tidak terlalu populer dibanding SolidWork simulation. Hingga pada tahun 2015 pengembangan software ini dihentikan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputer Menggunakan Simulasi Solid Work Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

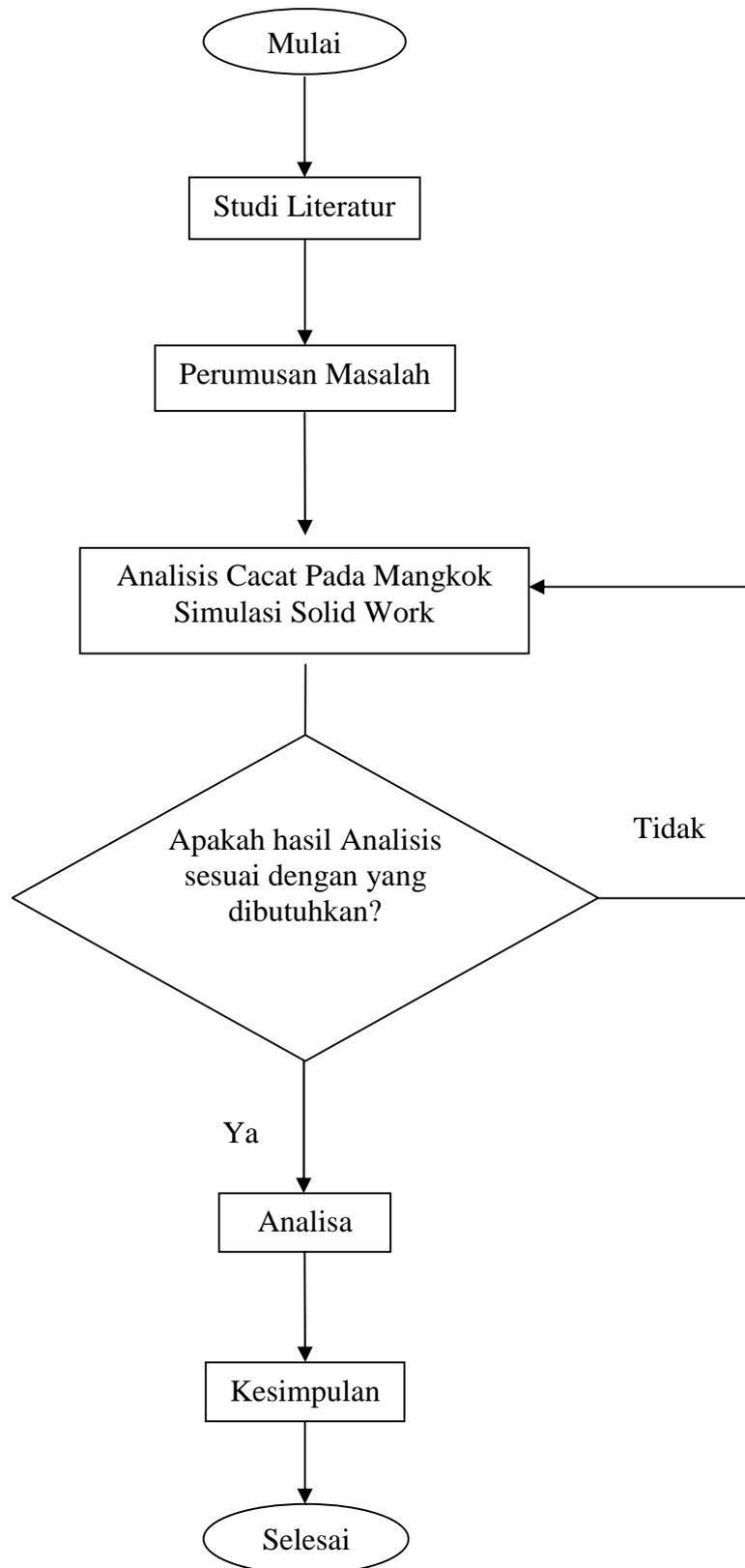
3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari Juni s/d November 2019/ 2020

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2020					
		6	7	8	9	10	11
1	Studi Literatur						
2	Penyediaan alat						
3	Simulasi Analisis deep drawing menggunakan <i>software solidwork</i>						
4	Pengujian Analisis cacat produk dengan menggunakan <i>software solidwork</i>						
5	Penyelesaian tugas akhir						

3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

Alat yang dipakai dalam pengujian ini terdiri dari :

1. Mesin *Deep Drawing*

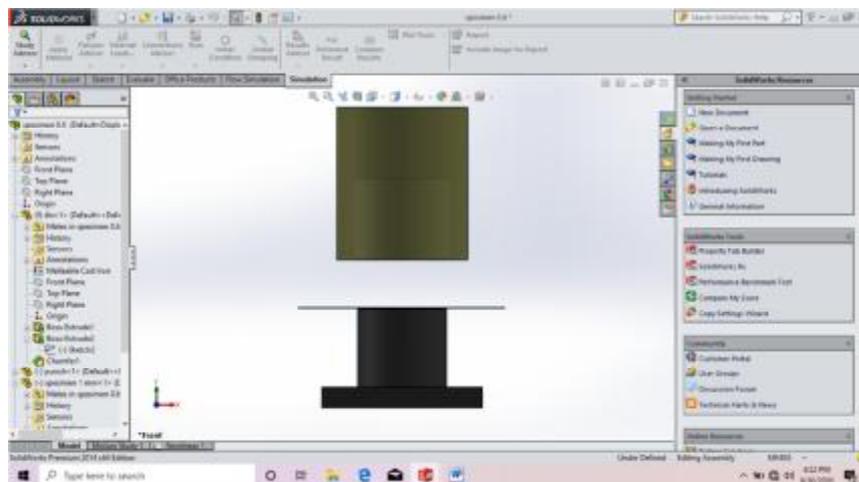
Deep drawing atau biasa disebut *drawing* adalah proses perubahan bentuk Alumunium dari bahan lembaran yang berbentuk lingkaran dengan diameter tertentu yang ditekan pada sebuah cetakan yang juga berbentuk lingkaran dengan kedalaman tertentu. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 3.1.



Gambar 3.2 Mesin *Deep Drawing*

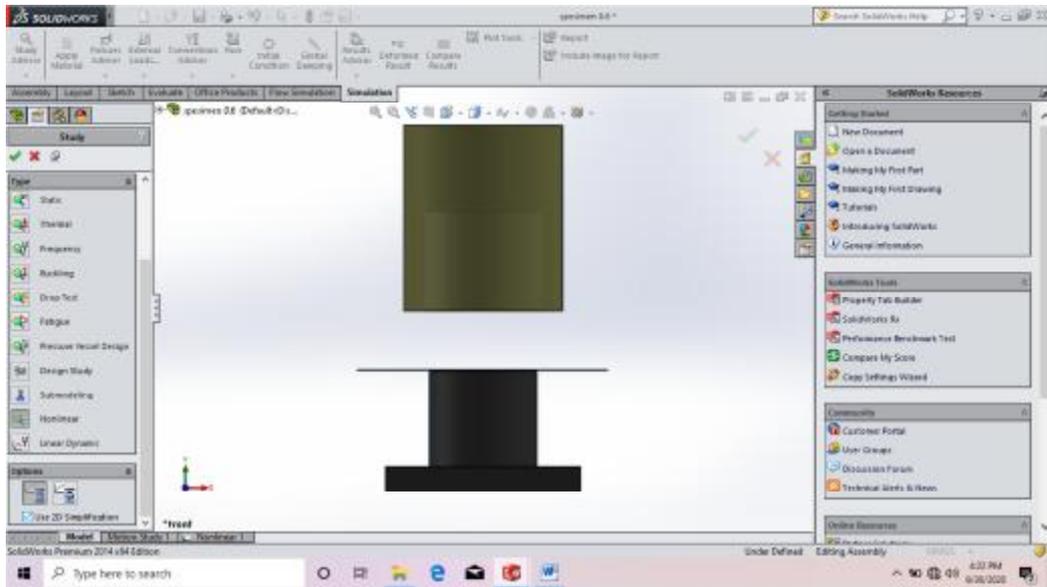
3.4 Prosedur simulasi menggunakan solidwork

1. Membuka file yang telah di assembly



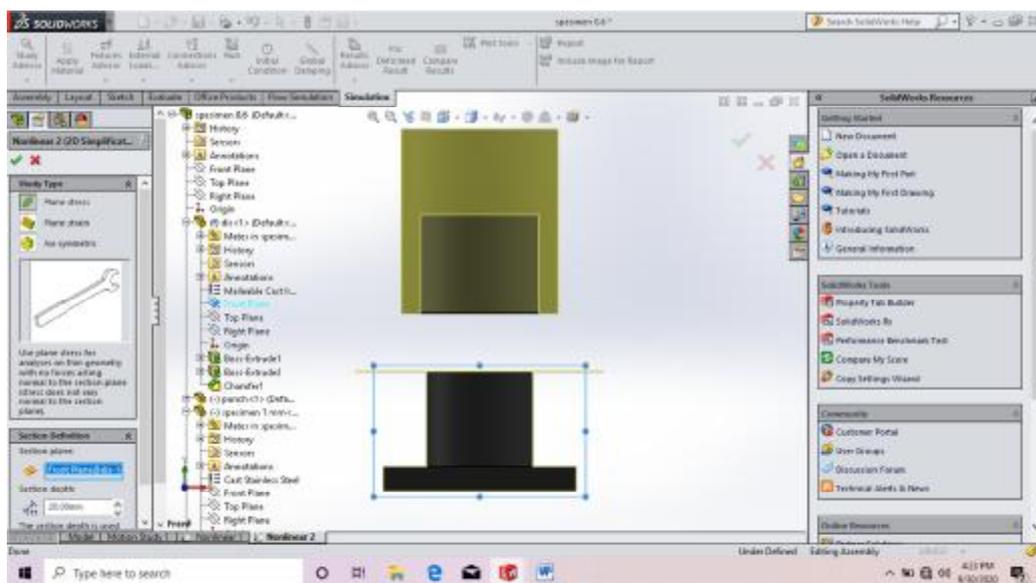
Gambar 3.3 Prosedur simulasi menggunakan solidwork

- Memilih jenis simulasi yang akan digunakan dengan cara pilih simulation lalu klik new study, kemudian pilih non linear lalu klik kotak ceklis use 2d simplification, lalu klik ceklis



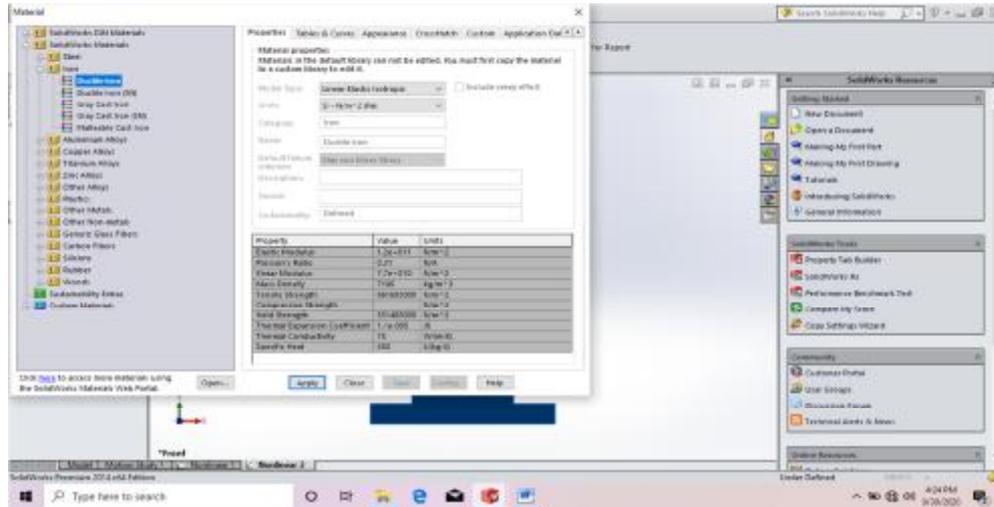
Gambar 3.4 Pemilihan Jenis Simulasi

- Setelah itu pilih pandangan yang digunakan lalu masukkan section depth nya lalu klik ceklis



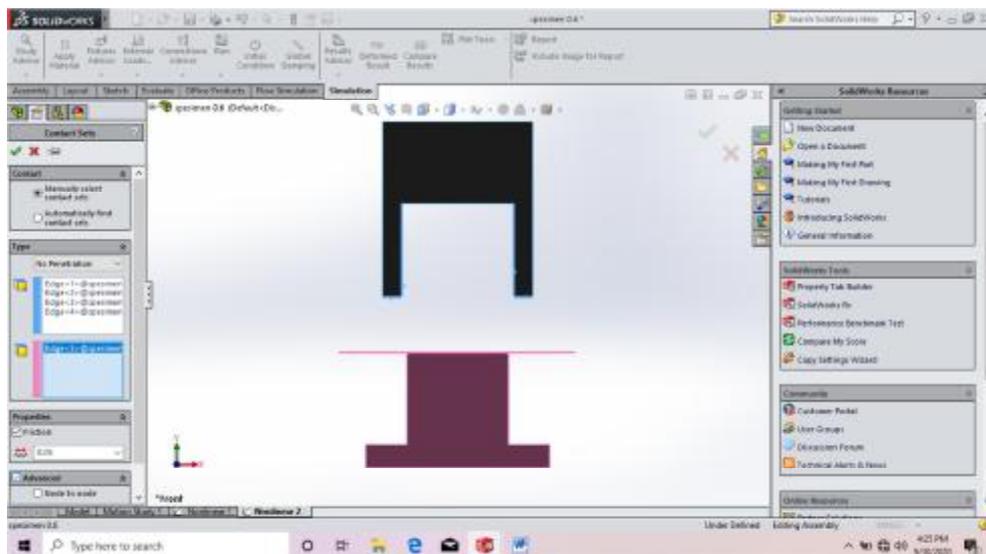
Gambar 3.5 Pandangan *Section Depth*

4. Kemudian pilih jenis material yang akan digunakan pada setiap komponen



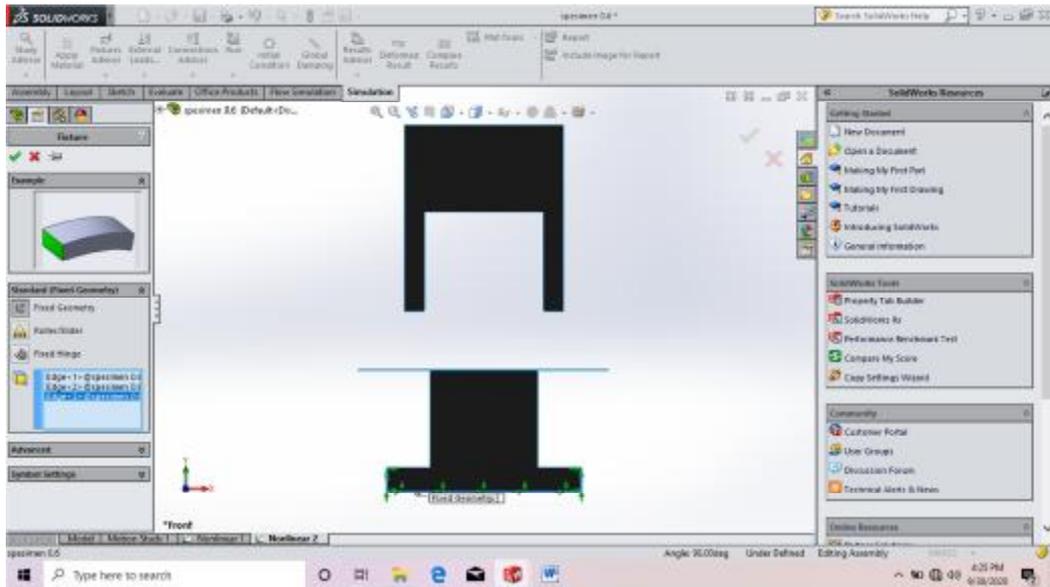
Gambar 3.6 Komponen *Material* Yang Disimulasikan

5. Selanjutnya klik kanan pada connections, lalu klik contact set, lalu klik bagian yang akan dipilih untuk dijadikan contact set



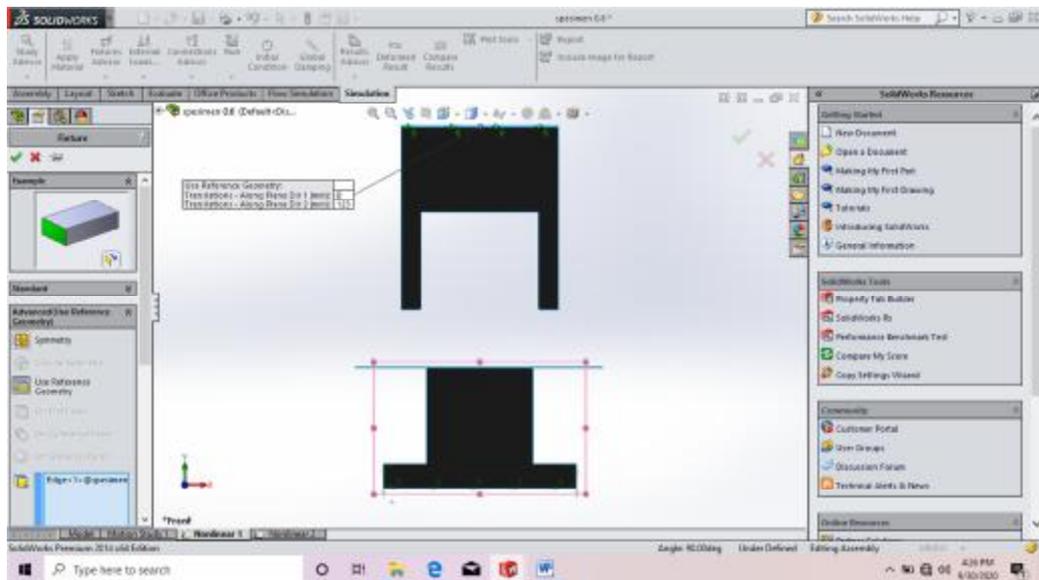
Gambar 3.7 *Connection* Bahan

6. Kemudian klik kanan fixtures, lalu klik fixed geometry, setelah itu klik bagian yang akan digunakan sebagai tahanan lalu klik ceklis



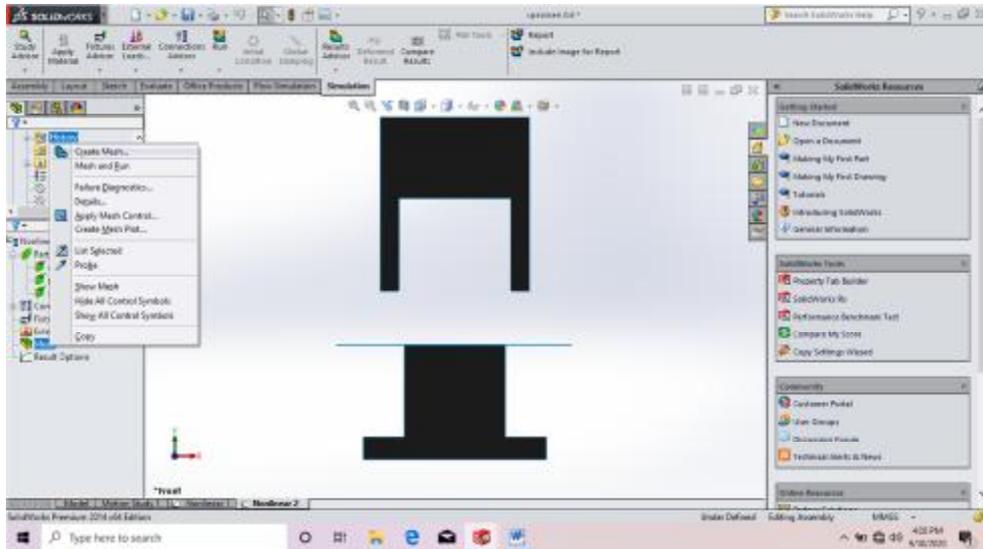
Gambar 3.8 *Fix Geometri Bahan*

7. Kemudian klik kanan lagi pada fixtures, lalu klik fixed geometry lagi, kemudian klik advance geometry, lalu klik bagian yang akan dijadikan tahanan lalu klik pandangan yang digunakan, kemudian klik tanda panah sebagai arah gerakan dari cetakan, lalu masukkan ukurannya, setelah itu klik ceklis



Gambar 3.9 *fix geometri*

8. Selanjutnya klik kanan mesh, lalu klik create mesh, setelah mesh selesai, klik run pada toolbar, tunggu sampai proses selesai, maka simulasi telah selesai



Gambar 3.10 Mesh Bahan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

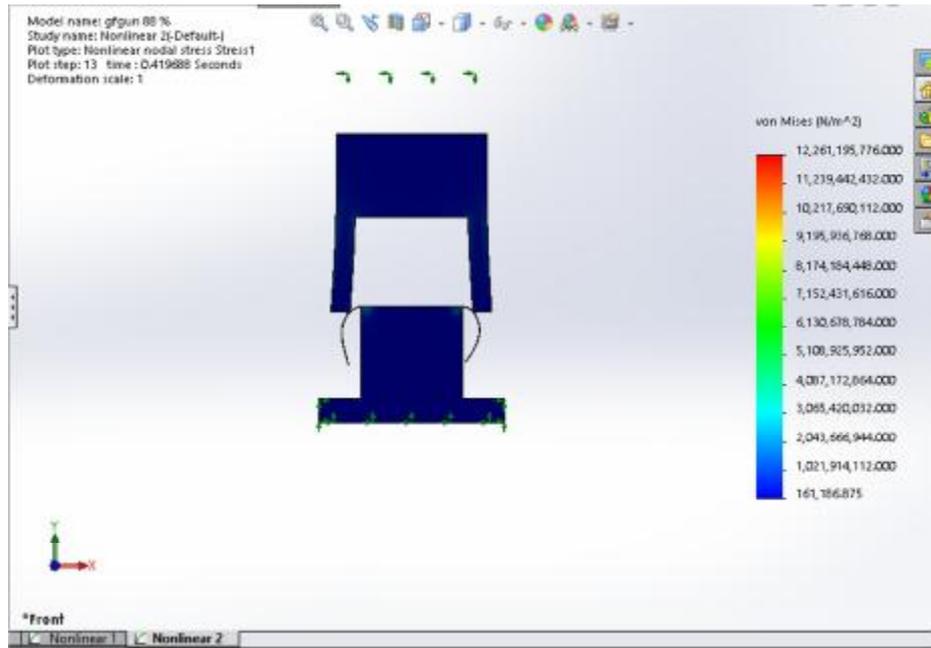
Proses pengambilan data dari pengujian spesimen aluminium yang dilakukan simulasi solid work 2014 dapat dilihat dari tekanan yang diberikan pada *punch dan dies* maka data pengujian di dapat dengan studi eksperimen dibagi menjadi 5, yaitu :

- Data pengujian tekan pada spesimen dengan ketebalan 0,5 mm dan berdiameter awal \varnothing 160 mm.
- Data pengujian tekan pada spesimen dengan ketebalan 0,6 mm dan berdiameter awal \varnothing 160 mm
- Data pengujian tekan pada spesimen dengan ketebalan 0,7 mm dan berdiameter awal \varnothing 160 mm
- Data pengujian tekan pada spesimen dengan ketebalan 0,8 mm dan berdiameter awal \varnothing 160 mm
- Data pengujian tekan pada spesimen dengan ketebalan 0,9 mm dan berdiameter awal \varnothing 160 mm

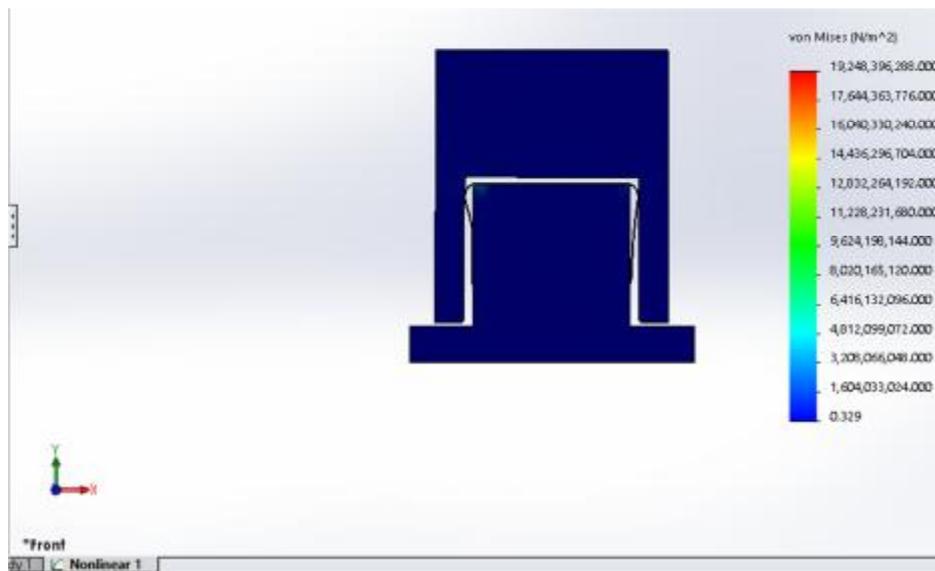
4.2. Simulasi tegangan dan regangan menggunakan solidwork

4.2.1 Tegangan

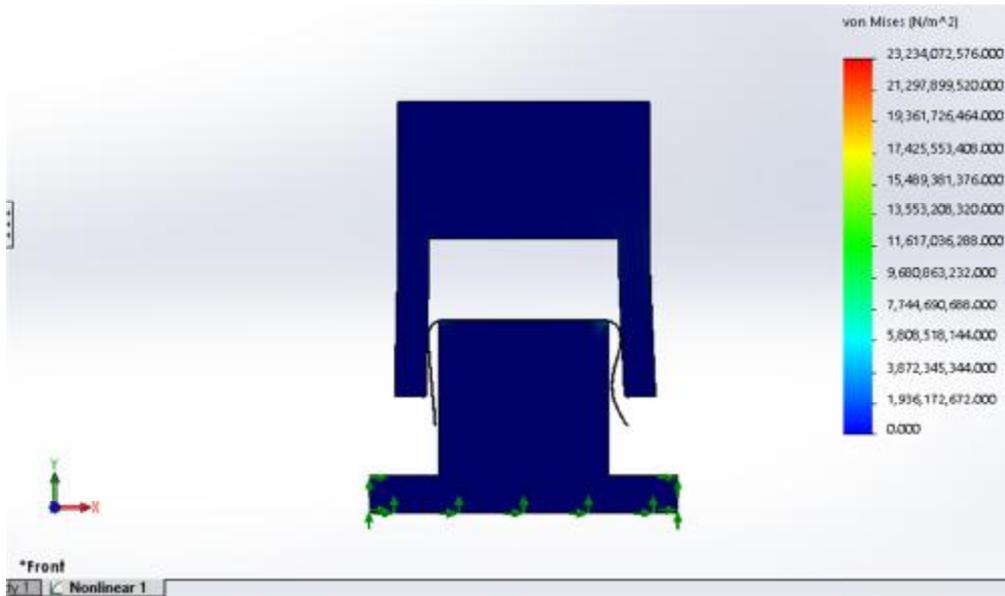
Pada pengujian ini, kita akan melihat distribusi tegangan yang terjadi pada pelat yang ditempah dengan bahan yang digunakan yaitu pelat aluminium. Simulasi ini menggunakan 5 variasi ketebalan pelat yaitu 0,5 mm, 0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm, 0,9 mm.



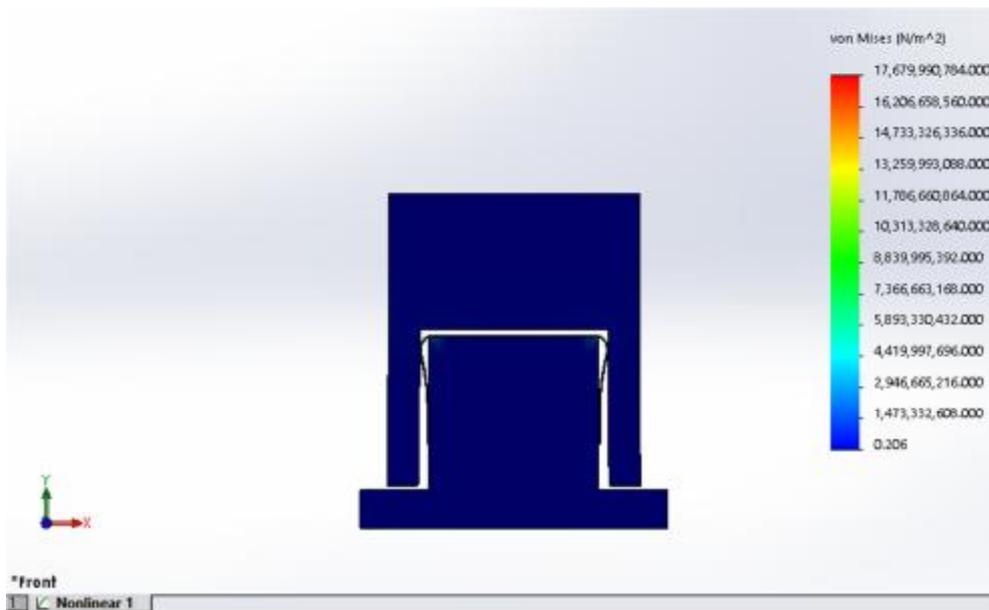
Gambar 4.1 Tegangan Spesimen Plat 0.5



Gambar 4.2 Tegangan Spesimen Plat 0.6



Gambar 4.3 Tegangan Spesimen Plat 0.7



Gambar 4,4Tegangan Spesimen Plat 0.8

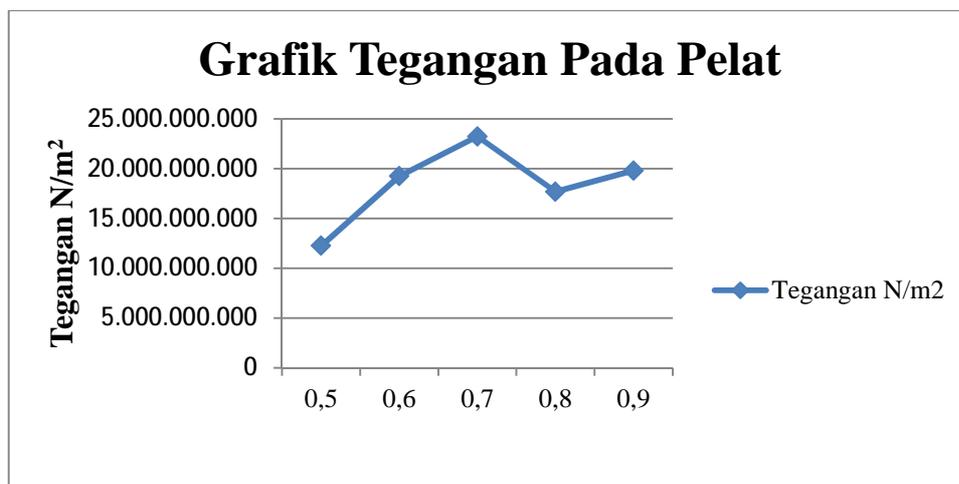


Gambar 4.5 Tegangan Spesimen Plat 0.9

Berdasarkan pemberian variasi ketebalan pelat pada material menggunakan software solidwork, maka diperoleh tegangan yang dialami oleh pelat dengan tebal yaitu 0,5 mm, 0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm, 0,9 mm.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Tegangan

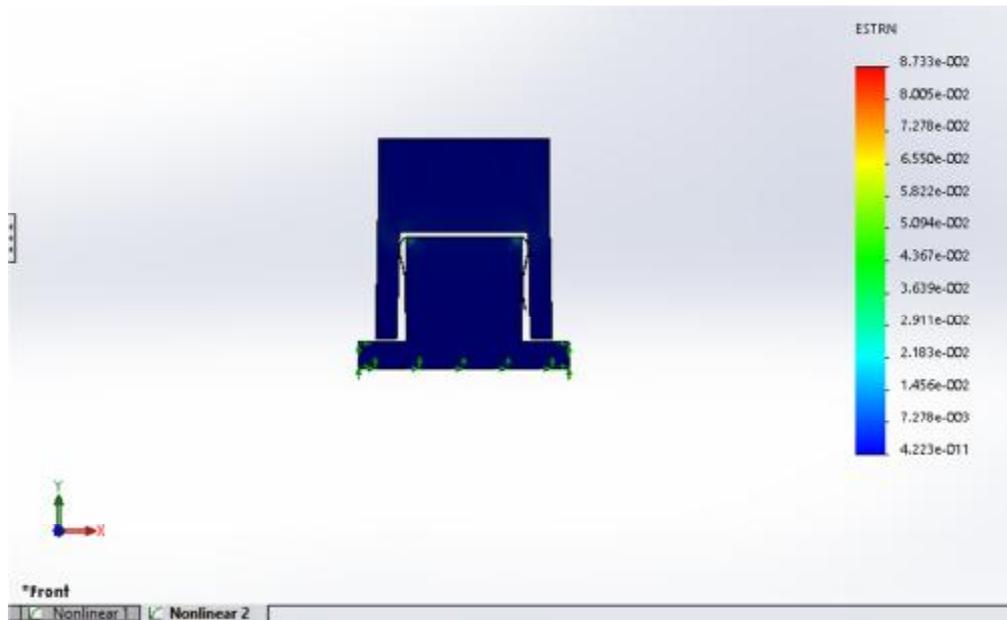
No	Tebal (mm)	Tegangan (N/m ²)
1	0,5	12.261.195.776
2	0,6	19.248.396.288
3	0,7	23.234.072.576
4	0,8	17.679.990.784
5	0,9	19.804.841.984



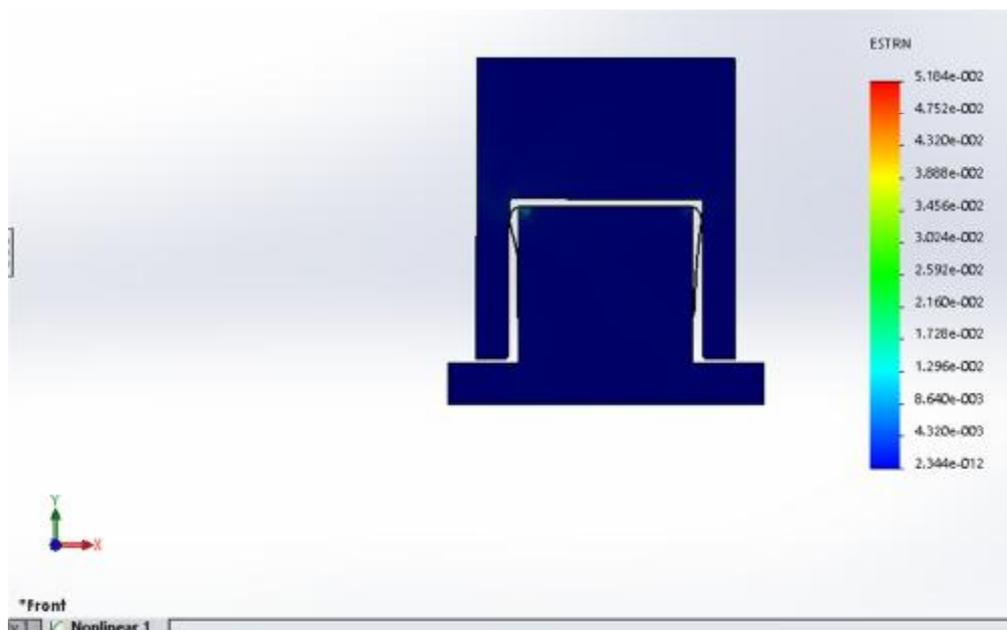
Gambar 4.6 Grafik Tegangan Pada Pelat Aluminium

4.2.2. Regangan

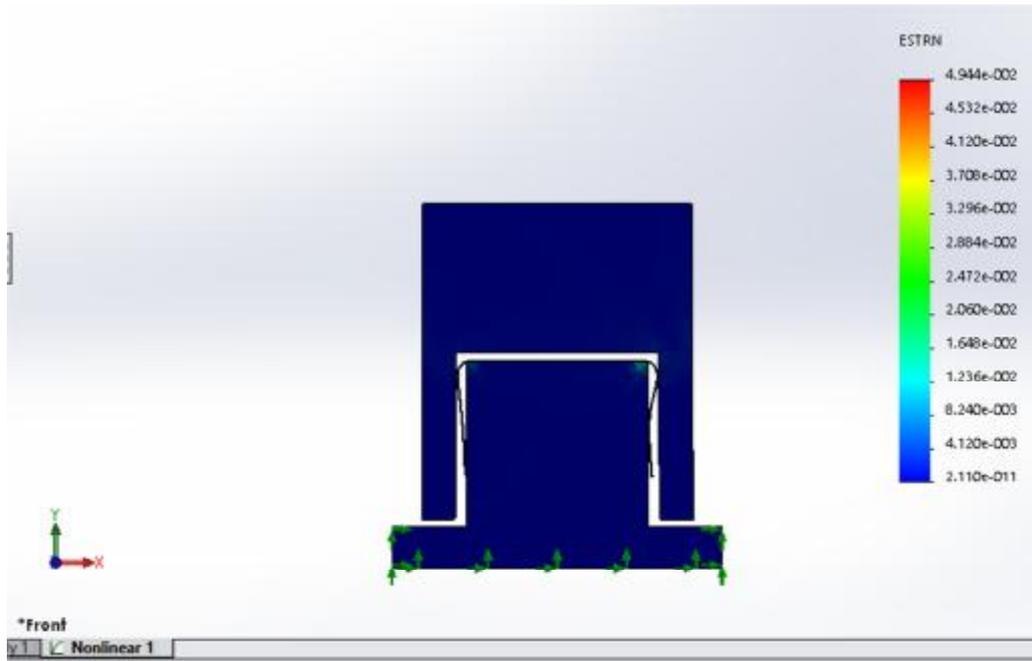
Pada pengujian ini, kita akan melihat distribusi regangan yang terjadi pada pelat yang ditempah dengan bahan yang digunakan yaitu pelat aluminium. Simulasi ini menggunakan 5 variasi ketebalan pelat yaitu 0,5 mm, 0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm, 0,9 mm.



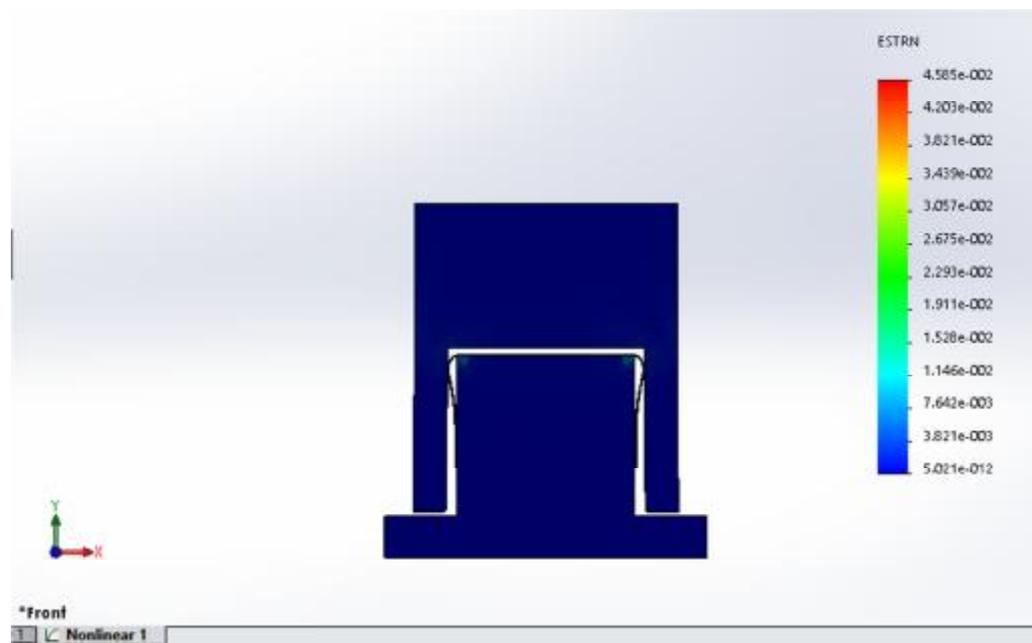
Gambar 4,7 Regangan Spesimen Plat 0.5



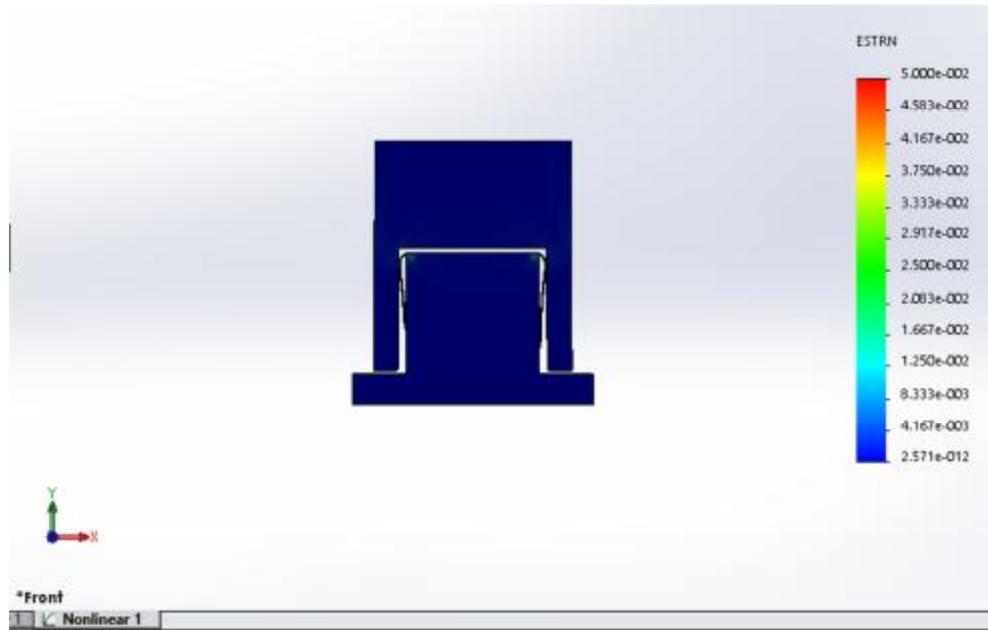
Gambar 4.8 Regangan Spesimen Plat 0.6



Gambar 4.9 Regangan Spesimen Plat 0.7



Gambar 4.10 Regangan Spesimen Plat 0.8

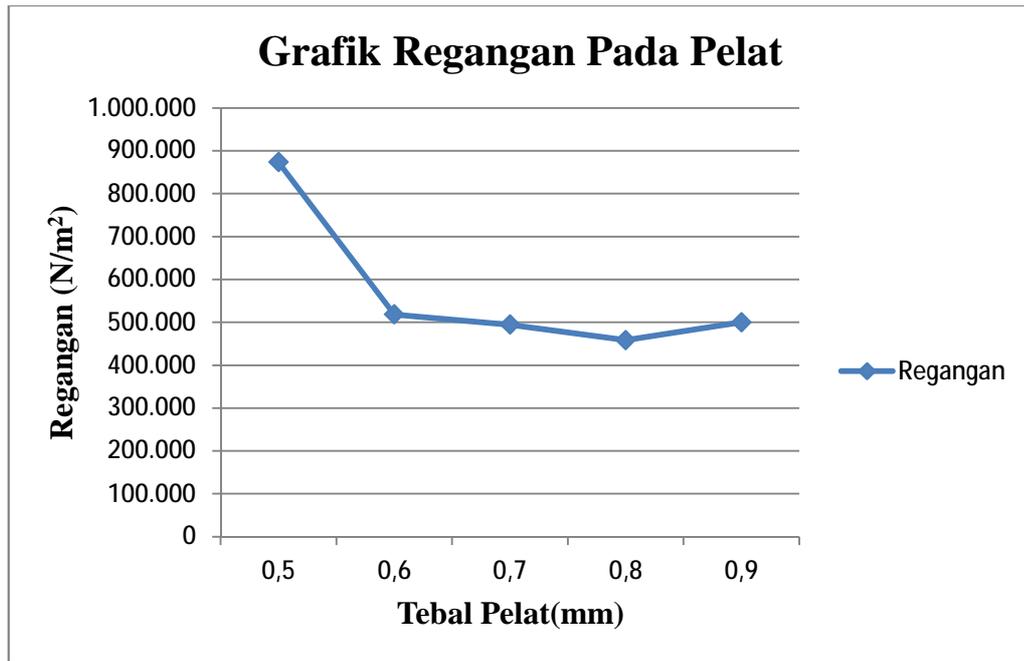


Gambar 4.11 Regangan Spesimen Plat 0.9

Berdasarkan pemberian variasi ketebalan pelat pada material menggunakan software solidwork, maka diperoleh regangan yang dialami oleh pelat dengan tebal yaitu 0,5 mm, 0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm, 0,9 mm.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Regangan

No	Tebal (mm)	Regangan (N/m ²)
1	0,5	8,733 x 10 ²
2	0,6	5,184 x 10 ²
3	0,7	4,944 x 10 ²
4	0,8	4,585 x 10 ²
5	0,9	5,000 x 10 ²



Gambar 4.12 Grafik Regangan Pada Pelat Alumunium

4.3. Hasil Cacat Produk Pada Pengujian



Gambar 4.13 Hasil Cacat Produk Pada Pengujian

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa cacat mangkok pada proses deep drawing yang dilakukan di Laboratorium Komputer Menggunakan Simulasi *Solid Work* Fakultas Teknik UMSU (Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara) didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil pengujian tekan pada aluminium, tekanan mempengaruhi aluminium pada tekanan yang semakin tinggi. Apabila tekanan yang di hasilkan hidrolik semakin besar maka semakin bagus pula hasil pengujian yang di dapat, sebaliknya apabila tekanan semakin rendah/kecil maka hasil pengujian yang di dapat dalam uji tekan plat Alumunium akan kurang baik hasilnya.
2. Berdasarkan hasil pengujian proses deep drawing, ketebalan aluminun mempengaruhi tekanan yang terjadi pada proses deep drawing, sehingga hasil yang didapatkan berbeda.
3. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka penulis dapat mengambil kesimpulan bahwa dalam pengujian ini penulis dapat mengaplikasikan cara pengerjaan dengan simulasi solid work 2014
4. Berdasarkan pemberian variasi ketebalan pelat pada material menggunakan software solidwork, maka diperoleh regangan yang dialami oleh pelat Alumunium dengan tebal yaitu

0.5 mm memiliki tegangan 12.261.195.776 N/m² dan regangan $8,773 \times 10^2$ N/m² , 0,6 mm memiliki tegangan 19.248.396.288 N/m² dan regangan $5,184 \times 10^2$ N/m² , 0,7 mm memiliki tegangan 23.234.072.576 N/m² dan regangan $4,944 \times 10^2$ N/m² , 0,8 mm memiliki tegangan 1.679.990.784 N/m² dan regangan $4,585 \times 10^2$ N/m² , 0,9 mm memiliki tegangan 19.804.841.984 N/m² dan regangan $5,000 \times 10^2$ N/m²

5.2. Saran

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa analisa cacat mangkok pada proses deep drawing ini masih belum cukup sempurna, maka dari itu pada riset berikutnya penulis menyarankan agar instrumen pengujian untuk uji tekan hidrolik ini bisa lebih dikembangkan lagi sesuai dengan perkembangan teknologi yang semakin hari semakin maju

DAFTAR PUSTAKA

- Ajar,Laksana,2008.Manajemen Pemasaran.Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu
- Assauri, Sofjan. 2008.Manajemen Produksi dan Operasi. Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia. Jakarta
- Budihardjo, M. 2014. Panduan Praktis Menyusun SOP. Jakarta: Raih Asa Sukses
- BustamiBastian.&Nurlela. (2007). Akuntansi Biaya. Yogyakarta; Graha Ilmu
- Björn Andersen, Tom Fagerhaug (2000) Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques, ASQ Quality Press ,Indiana
- Bos, A., Hoogstraten, J. and Andersen, B. (2007) Attitudes towards Orthodontic Treatment: A Comparison of Treated and Untreated Subjects. European Journal of Orthodontics, 27, 148-154
- Dyadem Engineering Corporation. 2003. Guidelines for Failure Mode and Effect Analysis forAutomotive, Aerospace and General Manufacturing Industries
- Gaspersz, Vincent, 2001, Total Quality Management, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hansen, Don R and Maryanne M Mowen dalam Dewi Fitriasari dan Deny Arnos Kwary. 2005. Akuntansi Manajemen buku 2, Edisi 7.Jakarta: Salemba Empat.
- Iridiastadi, H., Yassierli. 2014. Ergonomi Suatu Pengantar. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya
- Kholmi, Masiyah dan Yuningsih.(2009). Akuntansi Biaya. Malang: Penerbit UMM Press
- Kotler, Philip; Armstrong, Garry, 2008. Prinsip-prinsip Pemasaran,Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Kotler, Philip, dan Gary Armstrong. 2001.Prinsip-prinsip Pemasaran edisi keVIIIjilid 8.Jakarta:PenerbitErlangga
- Stamatis, 1995, Failure Mode and Effect Analysis,ASQC, United States Of America.
- Suhadri, Bambang. 2008. Perancangan Sistem Kerja Dan Ergonomi Industri Jilid 2.Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat

Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen
Pendidikan Nasional

Tannady, Hendy. (2015). Pengendalian Kualitas, Jakarta: Graha Ilmu

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : M. Ilham Nst
NPM : 1507230165
Tempat / Tanggal Lahir : Medan, 27 Juli 1996
Jenis kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : JL. Kapten M. Jamil Lubis No. 49 Medan
Nomor HP : 089509257175
Email : ilhamnstmhammad839@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : M. Suhdi Nasution
Ibu : Rukiah

PENDIDIKAN FORMAL

2003-2008 : MADRASAH IBTIDAIYAH NEGERI MEDAN (MIN)
2008-2011 : MADRASAH TSANAWIYAH NEGERI 2 MEDAN (MTSN 2)
2011-2013 : SMK NEGERI 1 PERCUT SEI TUAN