

TUGAS AKHIR

SIMULASI REGANGAN PADA PLAT STAINLESS STEEL MENGUNAKAN SOFTWARE SOLIDWORKS 2016

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

Disusun Oleh:

ALDI GUNAWAN
1307230037



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

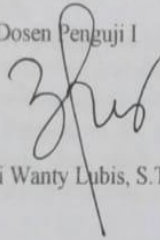
Nama : Aldi Gunawan
NPM : 1307230037
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Simulasi Regangan Pada Plat Stainless Steel Menggunakan Software Solidworks 2016
Bidang ilmu : Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, November 2020

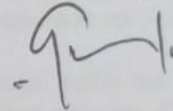
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



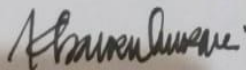
Riadini Wanty Lubis, S.T., M.T

Dosen Penguji II



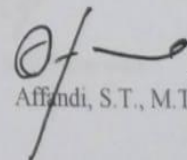
Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji IV



Affandi, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Aldi Gunawan
Tempat /Tanggal Lahir: Medan/15 Mei 1996
NPM : 1307230037
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Simulasi Regangan Pada Plat Stainless Steel Menggunakan Software Solidworks 2016”

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 atau pun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 November 2020



Saya yang menyatakan,

Aldi Gunawan



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

nama/jawab suratri agar disebutkan
pembimbingnya

DAFTAR HADIR ASISTENSI
TUGAS SARJANA

NAMA : ALDI GUNAWAN
NPM : 1307230037

PEMBIMBING – I : KHAIRUL UMURANI, S.T.,M.T
PEMBIMBING – II : AFFANDI, S.T.,M.T

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
	Selasa, 7-08-2018	Pemberian spesifikasi Tugas Sarjana	U
	Kamis, 9-08-2018	Perbincangan pendahuluan.	U
	Senin, 13-08-2018	Perbincangan tugas awal	U
	Senin, 26-10-2020	Perbincangan Metode Penelitian	U
	Selasa, 27-10-2020	Perbincangan hasil penelitian	U
	Selasa, 27-10-2020	Lanjut ke pembimbing 2	U
	Selasa, 10-11-2020	Perbincangan format penulisan dan cara mengolah tulisan lanjut ke pembimbing 1.	U
	Rabu, 11-11-2020	Ate, semua	

ABSTRAK

Tujuan yang ingin didapat dari simulasi ini yaitu mengetahui fenomena pada proses deep drawing khususnya pada plat jenis stainless steel yang menggunakan pelat 0,3 mm dan Sehingga dapat dilakukan permodelan desain deep drawing untuk optimasi hasil draw piece. Pada simulasi ini menggunakan variasi tekanan yaitu, 100, 300, 500, model yang digunakan adalah square cup deep drawing dengan dimensi model dies. Secara umum, hasil simulasi deep drawing pada stainless steel menunjukkan bagian yang paling besar meregangnya adalah pada bagian dinding. Pada bagian dinding; berdasarkan hasil pengujian memberikan keterangan bahwa pada pelat dengan ketebalan 0,3 mm (pelat tipis) terjadi cacat wrinkling. Berdasarkan hasil simulasi, tekanan pada plat stainless steel sehingga terjadinya regangan pada plat. Apabila tekanan semakin besar maka semakin besar regangan, sebaliknya apabila tekanan semakin kecil maka semakin kecil terjadinya regangan. Berdasarkan hasil simulasi penyebab terjadinya penurunan pada tekanan yang kurang optimal yang menyebabkan penurunannya regangan kemudian secara perlahan meningkat hingga ke titik akhir simulasi. Warna merah pada plat menunjukkan bahwa statik yang terjadi di plat disebabkan adanya titik fokus pada tekanan (plat) yang membuat plat menekuk.

Kata-kata kunci: simulasi regangan, *solidworks*, deep drawing

ABSTRAK

The aim to get from this simulation is to look at the inner drawing process, especially on the type of stainless steel plate that uses a 0.3 mm plate and so that it can be carried out in modeling the inner drawing design to optimize the results of the drawing. In this simulation using pressure variations, namely, 100, 300, 500, the model used is a square cup deep drawing with the dimensions of the dies model. In general, the simulation results of the internal image on stainless steel show that the part that stretches the most is the wall. On the inner wall; Based on the results of the examiner, it is evident that a plate with a thickness of 0.3 mm (a thin plate) has a wrinkle defect. Based on the simulation results, the pressure on the stainless steel plate creates a strain on the plate. If the pressure is greater, the greater the strain. Based on the simulation results, the sub-optimal pressure drop causes a decrease in strain and then increases to the end point of the simulation. The red color on the plate indicates that the static that occurs on the plate is caused by a focal point on the pressure (plate) that makes the plate bend.

Key words: strain simulation, solidworks, deep drawing

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat 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 “Simulasi Regangan Pada Plat Stainless Steel Menggunakan Software Solidworks 2016” 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.
2. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji sekaligus Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Riandini Wanty Lubis, 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. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji sekaligus Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik mesin kepada penulis.

7. Kedua orang tuapenulis, Ayahanda Abdul Jalal, dan Ibunda Sumarsih yang telah banyak memberikan kasih sayang, nasehatnya, doanya, serta pengorbanan yang tidak dapat ternilai dengan apapun itu kepada penulis selaku anak yang di cintai dalam melakukan penulisan Tugas Akhir ini.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin khususnya kelas A-1 dan B1-Pagi.
10. Para sahabat tercinta dan keluarga dirumah yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Sarjana ini.

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 Sipil/Mesin/Elektro.

Medan, November 2020

ALDI GUNAWAN

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	
iii	
KATA	PENGANTAR
iv	
DAFTAR	ISI
vi	
DAFTAR	TABEL
viii	
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang lingkup	2
1.4 Tujuan	2
1.4.1 Tujuan Umum	2
1.4.2 Tujuan Khusus	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Defenisi deep drawing	4
2.1.1. Deep drawing dan drawing	4
2.2 Proses Drawing	5
2.2.1 Kontak awal	6
2.2.2 Bending	6
2.2.3 Straightening	6
2.2.4	Compresion
6	
2.2.5 Tension	6
2.3. Komponen utama die set	7
2.3.1. Blank Holder	8
2.3.2. Punch	8
2.3.3. Dies	9
2.4. Variabel Proses drawing	9
2.4.1. Gesekan	9
2.4.2. Bending dan straightening	10

	2.4.3. Penekanan	11
	2.4.4 Diameter blank	12
	2.4.5 Kelonggaran	12
	2.4.6. Strain Ratio	12
	2.4.7. Kecepatan Drawing	13
	2.4.8. Elastisitas Pada deep drawing	13
BAB 3	METODE PENELITIAN	17
	3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	17
	3.1.1 Tempat Penelitian	17
	3.1.2 Waktu	17
	3.2 Alat Penelitian	18
	3.2.1 Laptop	18
	3.2.2 Software Solidworks	18
	3.3 Diagram Alir	19
	3.4 Tahap Mendesain	20
	3.4.1 Menyalakan Komputer Dan Memilih <i>Software Solidworks</i>	20
	3.5 Pembuatan Spesimen	20
	3.5.1. Tahapan Pembuatan Plat Lingkaran	20
	3.5.2. Tahapan Pembuatan Simulasi Regangan Pada Plat	25
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
	4.1 Hasil Konsep Simulasi <i>Regangan Pada Mesin Penekan</i>	31
	4.2 Hasil dari run study	31
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	39
	5.1 Kesimpulan	39
	5.2 Saran	39
	DAFTAR PUSTAKA	40
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	SURAT KETENTUAN PEMBIMBING	
	BERITA ACARA	
	RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Waktu Pembuatan Dan Pengelolaan Data	18
Tabel. 4.1 Hasil Static 100 N/m	33
Tabel. 4.2 Hasil Static 300 N/m	35
Tabel. 4.3 Hasil Statik 500 N/m	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 2.1 Blank Dan Draw Piece	4
Gambar. 2.2 Proses Drawing	5
Gambar. 2.3 Beberapa Macam Bentuk Draw Piece	7
Gambar. 2.4 Bagian Utama Dies Drawing	8
Gambar. 2.5 Beberapa Macam Bentuk Draw Piece	14
Gambar. 2.6 Hasil Proses Deep Drawing	14
Gambar. 2.7 Gaya Penekanan Vs Waktu Penekanan Toilored Blank	15
Gambar. 2.8 Gaya Penekan Vs Waktu Penekan Plat Tebal	16
Gambar. 2.9 Gaya Penekanan Vs Waktu Penekan Plat Tipis	16
Gambar. 2.10 Grafik Gabungan Tiga Plat	17
Gambar. 3.1 Diagram Alir	20
Gambar. 3.2 Tampilan Layar Laptop	21
Gambar. 3.3 Klik Front Plant	21
Gambar. 3.4 Klik Sketch	22
Gambar. 3.5 Klik Circle	22
Gambar. 3.6 Hasil Dari Klik Circle	23
Gambar. 3.7 Klik Smart Dimension Untuk Membuat Ukuran	23
Gambar. 3.8 Menentukan Ukuran Diameter	24
Gambar. 3.9 Klik Extruded Base Boss Untuk Menentukan Ukuran Tebal	24
Gambar. 3.10 Hasil Dari Extrude Base Boss	25

Gambar. 3.11 Menentukan Ketebalannya	25
Gambar. 3.12 Hasil Dari Menentukan Ukuran Ketebalan	26
Gambar. 3.13 Klik Solidwork	26
Gambar. 3.14 Klik Simulation	27
Gambar. 3.15 Klik New Study	27
Gambar. 3.16 Klik Static	28
Gambar. 3.17 Klik Parts Menentukan Material	28
Gambar. 3.18 Pilih Material Yang Akan Digunakan	29
Gambar. 3.19 Klik Apply	29
Gambar. 3.20 Klik Fixed Geometry	30
Gambar. 3.21 Klik Preasure	30
Gambar. 3.22 Klik Run Study	31
Gambar. 4.1 Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 100 N/m^2	32
Gambar. 4.2 Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 300 N/m^2	34
Gambar. 4.3 Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 500 N/m^2	36

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dunia industri saat ini dituntut untuk dapat membuat suatu produk secara efisien. Satu cara yang mulai banyak dilakukan dunia industri adalah dengan memanfaatkan fasilitas perangkat lunak, namun hal ini belum dikembangkan secara maksimal bagi industri mobil maupun karoseri (Rangka/Chasis mobil). Menyangkut proses manufaktur di industri mobil dan karoseri (Rangka/Chasis mobil), sebagai contoh pada proses penempaan untuk membuat bodi mobil dari pelat yang dibentuk. Proses desain mulai dari merancang komponen yang diinginkan, membuat cetakan dan proses penempaan. Berbagai proses pembentukan material dari material lembaran telah berhasil dilakukan dengan cukup memuaskan. Keberhasilan untuk pembentukan material lembaran ini juga telah mendorong penerapan metode yang berbasis komputasi numerik untuk diterapkan pada kasus pembentukan material, seperti *deep drawing*.

Proses *deep drawing* adalah proses pembentukan material logam mengikuti cetakan, dimana material logam dijepit dan dipasang pada blank holder (penahan) dan dies (cetakan) yang selanjutnya dengan bantuan mesin press dilakukan penekanan, bentuk akhir ditentukan oleh punch sebagai penekan dan cetakan sebagai penahan benda kerja saat ditekan oleh punch, sehingga terbentuk komponen yg diinginkan.

Berkembangnya teknologi hardware dan software pada komputer sangat membantu dalam proses manufaktur karena dapat mensimulasikan perhitungan

numerik dan memvisualisasikan hal-hal yang mungkin terjadi pada proses manufacturing yang selanjutnya dapat diaplikasikan di lapangan. Teknologi digital pendukung proses rekayasa dan pengembangan produk seperti halnya Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM), Computer Aided Engineering (CAE) sangat membantu sekali untuk terciptanya produk yang berkualitas tinggi. Terdapat beberapa perangkat lunak (software) yang dapat digunakan dalam proses manufacturing seperti, ABAQUS, CATIA, PRO ENGINEER, AUTOCAD, INVENTOR, SOLIDWORKS, NASTRAN, LS DYNA, MARC dan lain sebagainya.

Pada proses *deep drawing* banyak kegagalan terjadi dalam proses manufakturnya seperti halnya plat sobek, cacat kerut (*wrinkling*), adanya gaya *springback* yang dapat menjadikan *draw piece* tidak sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Hal ini dapat di tanggulangi dengan *software Solidworks*, karena didalam *Solidworks* dapat dianalisa hal-hal yang mungkin terjadi selama proses *drawing* sehingga dapat menghasikan *draw piece* yang memiliki kualitas yang baik.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan di bahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat simulasi regangan pada plat stainless steel menggunakan Software Solidwork 2016.

1.3. Ruang Lingkup

Agar tidak mengalami perluasan pembahasan ada tugas akhir ini maka diberikan batasan – batasan sebagai berikut:

1. Simulasi menggunakan software *solidworks*.
2. Pembahasan hanya dititik beratkan pada simulasi regangan pada plat stainless steel.
3. Memperhitungkan beban gaya tekan yang bervariasi 100, 300, 500 N/m

1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisa Simulasi regangan pada plat stainless steel.
2. Untuk mengetahui Nilai Regangan Pada Simulasi Menggunakan Software Solidworks.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah;

1. Untuk menganalisa tegangan.
2. Untuk menganalisa regangan.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan tugas akhir ini berisi tentang :

Bab 1 Pendahuluan Dalam bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka Bab ini menjelaskan tentang dasar teori bahan logam dan pengertian dan prinsip kerja pembentuk logam.

Bab 3 Metode Penelitian Bab ini menjelaskan tentang mesin dan alat yang digunakan, langkah kerja dalam perakitan dan pengambilan data.

Bab 4 Hasil Dan Pembahasan Bab ini memaparkan secara rinci proses pengujian dan data yang diperoleh pada saat pengujian.

Bab 5 Kesimpulan Dan Saran, Kesimpulan dan saran dari seluruh pembahasan.

BAB 2

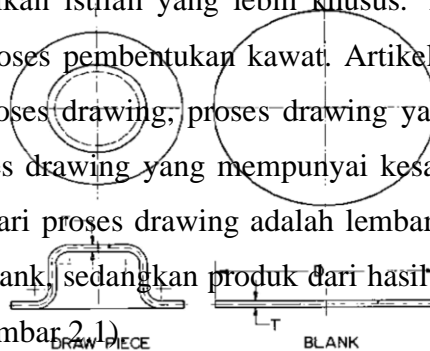
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Deep Drawing

Deep drawing merupakan proses pengerjaan logam yang digunakan untuk membentuk lembaran/plat menjadi bentuk seperti mangkuk, panel mobil, panci dan lain-lain. Pembentukannya dengan melakukan penekanan terhadap bagian tengah dari bakalan (Blank) dengan sebuah penekan (Punch) kedalam rongga cetakan (Dies) sampai terjadi aliran material masuk kedalam cetakan.

2.1.1. Deep Drawing dan Drawing

Deep drawing dan drawing pada intinya merupakan satu jenis proses produksi namun terdapat beberapa ahli yang membedakan dengan indeks ketinggian, proses deep drawing mempunyai indeks ketinggian yang lebih besar dibandingkan dengan drawing. Selain itu terdapat proses produksi yang berbeda dengan proses drawing tetapi juga diberi istilah drawing, proses tersebut berupa penarikan, seperti pada pembuatan beberapa jenis bentuk kawat, untuk membedakan kedua proses tersebut (penarikan dan pembuatan bentuk silinder) beberapa ahli memberikan istilah yang lebih khusus. Yaitu rod drawing atau wire drawing untuk proses pembentukan kawat. Artikel ini akan mengenalkan lebih lanjut tentang proses drawing, proses drawing yang dimaksudkan dalam artikel ini adalah proses drawing yang mempunyai kesamaan arti dengan deep drawing bahan dasar dari proses drawing adalah lembaran logam (sheet metal) yang disebut dengan blank, sedangkan produk dari hasil proses drawing disebut dengan draw piece, (gambar 2.1).



Sumber : D. Eugene Ostergaard ;1967 : 131

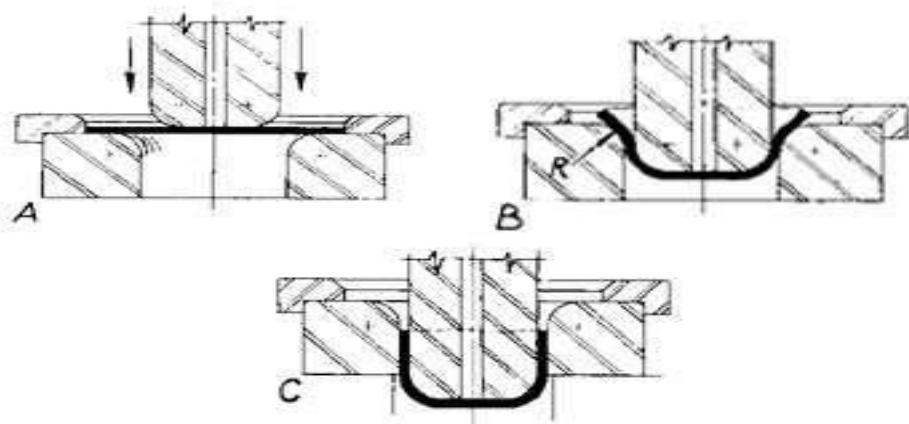
Gambar 2.1. Blank dan draw piece

2.2. Proses Drawing

Proses drawing dilakukan dengan menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam yang disebut dengan *blank* sehingga terjadi peregangan mengikuti bentuk dies, bentuk akhir ditentukan oleh punch sebagai penekan dan die sebagai penahan benda kerja saat di tekan oleh punch. pengertian dari sheet metal adalah lembaran logam dengan ketebalan maksimal 6 mm, lembaran logam (sheet metal) di pasaran dijual dalam bentuk lembaran dan gulungan. Terdapat berbagai tipe dari lembaran logam yang digunakan, pemilihan dari jenis lembaran tersebut tergantung dari :

- ¾ Strain rate yang diperlukan
- ¾ Benda yang akan dibuat
- ¾ Material yang diinginkan
- ¾ Ketebalan benda yang akan dibuat
- ¾ Kedalaman benda

Pada umumnya berbebagai jenis material logam dalam bentuk lembaran dapat digunakan untuk proses drawing seperti stainless stell, alumunium, tembaga, perak, emas, baja maupun titanium. Gambaran lengkap proses drawing dapat dilihat pada gambar 2.2 :



Sumber : D. Eugene Ostergaard ;1967 : 128

Gambar 2.2. Proses drawing

2.2.1. Kontak Awal

Pada gambar 2.2, punch bergerak dari atas ke bawah, blank dipegang oleh nest agar tidak bergeser ke samping, kontak awal terjadi ketika bagian-bagian dari die set saling menyentuh lembaran logam (blank) saat kontak awal terjadi belum terjadi gaya dan gesekan dalam proses drawing.

2.2.2. Bending

Selanjutnya lembaran logam mengalami proses bending seperti pada gambar 2.2, punch terus menekan kebawah sehingga posisi punch lebih dalam melebihi jari-jari (R) dari die, sedangkan posisi die tetap tidak bergerak ataupun berpindah tempat, kombinasi gaya tekan dari punch dan gaya penahan dari die menyebabkan material mengalami peregangan sepanjang jari-jari die, sedangkan daerah terluar dari blank mengalami kompresi arah radial pada rangkaian pembentukan proses drawing, keberhasilan proses bending ditentukan oleh aliran material saat proses terjadi.

2.2.3. Straightening

Saat punch sudah melewati radius die, gerakan punch ke bawah akan menghasilkan pelurusan sepanjang dinding die (gambar 2. C), lembaran logam akan mengalami peregangan sepanjang dinding die. Dari proses pelurusan sepanjang dinding die diharapkan mampu menghasilkan bentuk silinder sesuai dengan bentuk dies dan punch.

2.2.4. Compression

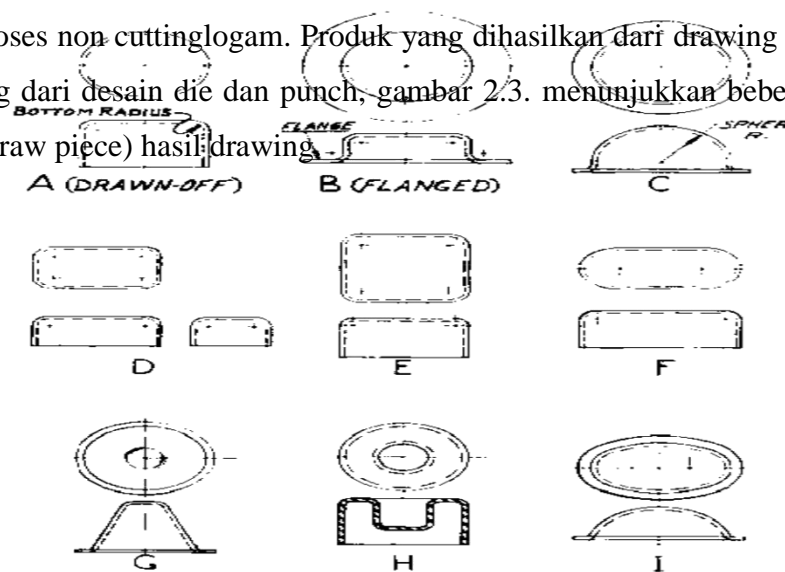
Proses compression terjadi ketika punch bergerak kebawah, akibatnya blank tertarik untuk mengikuti gerakan dari punch, daerah blank yang masih berada pada blank holder akan mengalami compression arah radial mengikuti bentuk dari die.

2.2.5. Tension

Tegangan tarik terbesar terjadi pada bagian bawah cup produk hasil drawing, bagian ini adalah bagian yang paling mudah mengalami cacat sobek (tore), pembentukan bagian bawah cup merupakan proses terakhir pada proses drawing.

2.3. Komponen Utama Die Set

Proses drawing mempunyai karakteristik khusus dibandingkan dengan proses pembentukan logam lain, yaitu pada umumnya produk yang dihasilkan memiliki bentuk tabung yang mempunyai ketinggian tertentu, sehingga die yang digunakan dalam juga mempunyai bentuk khusus, proses pembentukan berarti adalah proses non cutting logam. Produk yang dihasilkan dari drawing bervariasi tergantung dari desain die dan punch, gambar 2.3. menunjukkan beberapa jenis produk (draw piece) hasil drawing.



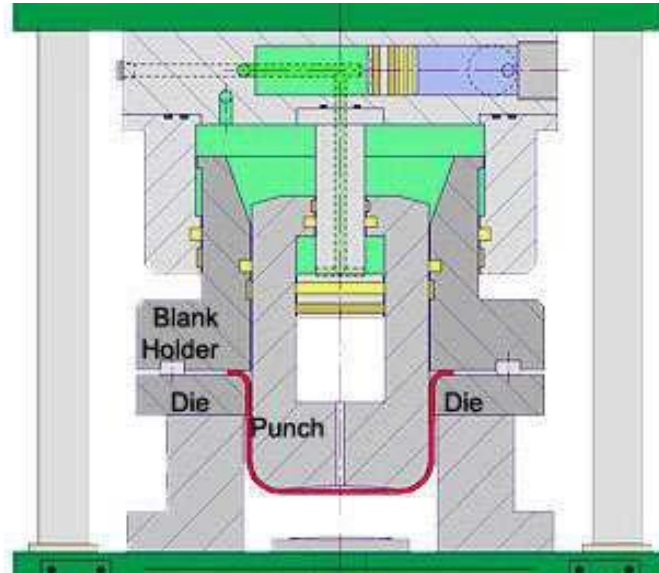
Sumber : D. Eugene Ostergaard ;1967 : 127

Gambar 2.3. Beberapa macam bentuk draw piece

Dalam satu unit die set terdapat komponen utama yaitu :

1. Punch
2. Blank Holder
3. Dies

Sedangkan komponen lainnya merupakan komponen tambahan tergantung dari jenis dies yang dipakai. Bentuk dan posisi dari komponen utama tersebut dapat dilihat pada Gambar 1:



Sumber : <http://www.thefabricator.com/>

Gambar 2.4. Bagian Utama Dies Drawing

2.3.1. Blank Holder

Berfungsi memegang blank atau benda kerja berupa lembaran logam, pada gambar diatas blankholder berada diatas benda kerja, walaupun berfungsi untuk memegang benda kerja, benda kerja harus tetap dapat bergerak saat proses drawing. Dilakukan sebab saat proses drawing berlangsung benda kerja yang dijepit oleh Blank Holder akan bergerak ke arah pusat sesuai dengan bentuk dari dies drawing. Sebagian jenis Blank Holder diganti dengan nest yang mempunyai fungsi hamper sama, bentuk nest berupa lingkaran yang terdapat lubang didalamnya, lubang tersebut sebagai tempat peletakan dari benda kerja agar tidak bergeser ke samping.

2.3.2. Punch

Punch merupakan bagian yang bergerak ke bawah untuk meneruskan gaya dari sumber tenaga sehingga blank tertekan ke bawah,

bentuk punch disesuaikan dengan bentuk akhir yang diinginkan dari proses drawing, letak punch pada gambar 2. berada di atas blank, posisi dari punch sebenarnya tidak selalu diatas tergantung dari jenis die drawing yang digunakan.

2.3.3. Dies

Merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan bentuk akhir dari benda kerja drawing (draw piece), bentuk dan ukuran die bervariasi sesuai dengan bentuk akhir yang diinginkan, konstruksi dies harus mampu menahan gerakan, gaya geser serta gaya punch. Pada dies terdapat radius tertentu yang berfungsi mempermudah reduksi benda saat proses berlangsung, lebih jauh lagi dengan adanya jari-jari diharapkan tidak terjadi sobek pada material yang akan di drawing.

2.4. Variabel Proses Drawing

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan proses drawing, variabel yang mempengaruhi proses drawing antara lain

2.4.1. Gesekan

Saat proses drawing berlangsung gesekan terjadi antara permukaan punch, dies drawing dengan blank, gesekan akan mempengaruhi hasil dari produk yang dihasilkan sekaligus mempengaruhi besarnya gaya yang dibutuhkan untuk proses pembentukan drawing, semakin besar gaya gesek maka gaya untuk proses drawing juga meningkat, beberapa faktor yang mempengaruhi gesekan antara lain :

- Pelumasan

Proses pelumasan adalah salah satu cara mengontrol kondisi lapisan tribologi pada proses drawing, dengan pelumasan diharapkan mampu menurunkan koefisien gesek permukaan material yang bersinggungan.

- Gaya Blank Holder

Gaya blank holder yang tinggi akan meningkatkan gesekan yang terjadi, bila gaya blank holder terlalu tinggi dapat mengakibatkan aliran material tidak sempurna sehingga produk dapat mengalami cacat.

- Kekasaran Permukaan Blank

Kekasaran permukaan blank mempengaruhi besarnya gesekan yang terjadi, semakin kasar permukaan blank maka gesekan yang terjadi juga semakin besar. Hal ini disebabkan koefisien gesek yang terjadi semakin besar seiring dengan peningkatan kekasaran permukaan.

- Kekasaran Permukaan punch, die dan blank holder

Seperti halnya permukaan blank semakin kasar permukaan punch, dies dan blank holder koefisien gesek yang dihasilkan semakin besar sehingga gesekan yang terjadi juga semakin besar.

2.4.2. Bending dan Straightening

Pada proses drawing setelah blank holder dan punch menempel pada permukaan blank saat kondisi blank masih lurus selanjutnya terjadi proses pembengkokan material (bending) dan pelurusan sheet sepanjang sisi samping dalam dies (straightening).

Variabel yang mempengaruhi proses ini adalah :

- Radius Punch

Radius punch disesuaikan dengan besarnya radius die, radius punch yang tajam akan memperbesar gaya bending yang dibutuhkan untuk proses drawing.

- Radius Die

Radius die disesuaikan dengan produk yang pada nantinya akan dihasilkan, radius dies berpengaruh terhadap gaya pembentukan, bila besarnya radius dies mendekati besarnya tebal lembaran logam maka gaya bending yang terjadi semakin kecil sebaliknya apabila besarnya

radius die semakin meningkat maka gaya bending yang terjadi semakin besar.

2.4.3. Penekanan

Proses penekanan terjadi setelah proses straghtening, proses ini merupakan proses terakhir yang menentukan bentuk dari bagian bawah produk drawing, besarnya gaya tekan yang dilakukan dipengaruhi oleh :

- Drawability

Draw ability adalah kemampuan bahan untuk dilakukan proses drawing, sedangkan nilainya ditentukan oleh Limiting drawing ratio (*maks β*), batas maksimum *maks β* adalah batas dimana bila material mengalami proses penarikan dan melebihi nilai limit akan terjadi cacat sobek (craking).

- Keuletan logam

Semakin ulet lembaran logam blank semakin besar kemampuan blank untuk dibentuk ke dalam bentuk yang beranekaragam dan tidak mudah terjadi sobek pada saat proses penekanan, keuletan logam yang kecil mengakibatkan blank mudah sobek.

- Tegangan Maksimum material

Material blank yang mempunyai tegangan maksimum besar mempunyai kekuatan menahan tegangan yang lebih besar sehingga produk tidak mudah mengalami cacat, material dengan tegangan maksimum kecil mudah cacat seperti sobek dan berkerut.

- Ketebalan Blank

Ketebalan blank mempengaruhi besar dari gaya penekanan yang dibutuhkan, semakin tebal blank akan dibutuhkan gaya penekanan yang besar sebaliknya bila blank semakin tipis maka dibutuhkan gaya yang kecil untuk menekan blank.

- Temperatur

Dengan naiknya temperatur akan dibutuhkan gaya penekanan yang kecil hal ini disebabkan kondisi material yang ikatan butirannya semakin meregang sehingga material mudah untuk dilakukan deformasi.

2.4.4. Diameter blank

Diameter blank tergantung dari bentuk produk yang akan dibuat, apabila material kurang dari kebutuhan dapat menyebabkan bentuk produk tidak sesuai dengan yang diinginkan, namun bila material blank terlalu berlebih dari kebutuhan dapat menyebabkan terjadinya cacat pada produk seperti kerutan pada pinggiran serta sobek pada daerah yang mengalami bending.

2.4.5. Kelonggaran

Kelonggaran atau clearance adalah celah antara punch dan dies untuk memudahkan gerakan lembaran logam saat proses drawing berlangsung. Untuk memudahkan gerakan lembaran logam pada waktu proses drawing, maka besar clearance tersebut 7 % - 20 % lebih besar dari tebal lembaran logam, bila celah die terlalu kecil atau kurang dari tebal lembaran logam, lembaran logam dapat mengalami penipisan (ironing) dan bila besar clearance melebihi toleransi 20 % dapat mengakibatkan terjadinya kerutan. (Donaldson,1986:73)

2.4.6. Strain Ratio

Strain ratio adalah ketahanan lembaran logam untuk mengalami peregangan, bila lembaran memiliki perbandingan regangan yang tinggi maka kemungkinan terjadinya sobekan akan lebih kecil.

2.4.7. Kecepatan Drawing

Die drawing jenis punch berada diatas dengan nest dapat diberi kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan jenis die yang menggunakan

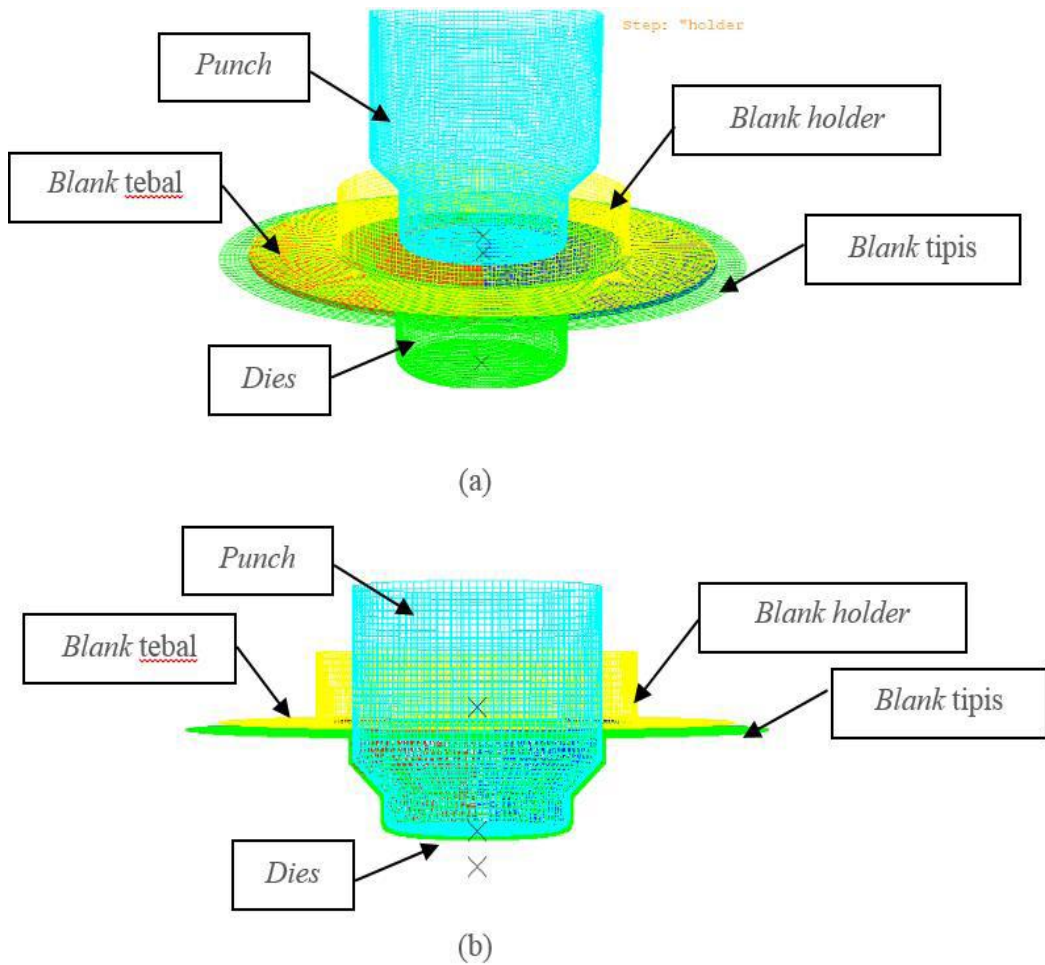
blank holder, kecepatan yang tidak sesuai dapat menyebabkan retak bahkan sobek pada material, masing – masing jenis material mempunyai karakteristik berbeda sehingga kecepatan maksimal masing – masing material juga berbeda. Tabel berikut adalah kecepatan maksimal beberapa jenis material yang biasa digunakan untuk sheet metal drawing. Tabel 2.1.: Jenis material dan kecepatan maksimal draw dies.

Material	Kecepatan
Aluminium	0,762 m/s
Brass	1,02 m/s
Copper	0,762 m/s
Steel	0,279 m/s
Stainless steel	0,203 m/s

Sumber : D. Eugene Ostergaard ;1967 : 131

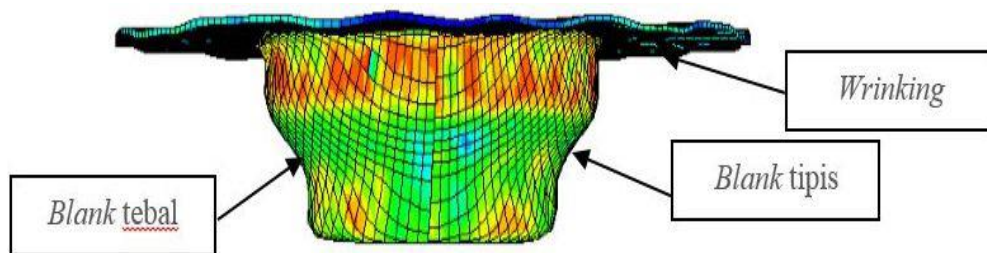
2.4.8. Elastisitas Pada deep drawing

Simulasi penelitian yang dilakukan adalah proses deep drawing dengan pelat jenis tailored blank yang terdiri dari dua pelat dengan ketebalan berbeda yaitu 0,8 mm dan 1,0 mm, tapi dari material yang sama yaitu mild steel yang merupakan material elastis plastis. Pelat berbentuk lingkaran yang terbagi menjadi dua bagian yang sama dan disambung dengan las pada bagian tengahnya, yang biasanya dilakukan dengan laser. Visualisasi proses deep drawing menggunakan plat jenis tailored blank dengan ABAQUS terlihat seperti pada Gambar 2.5

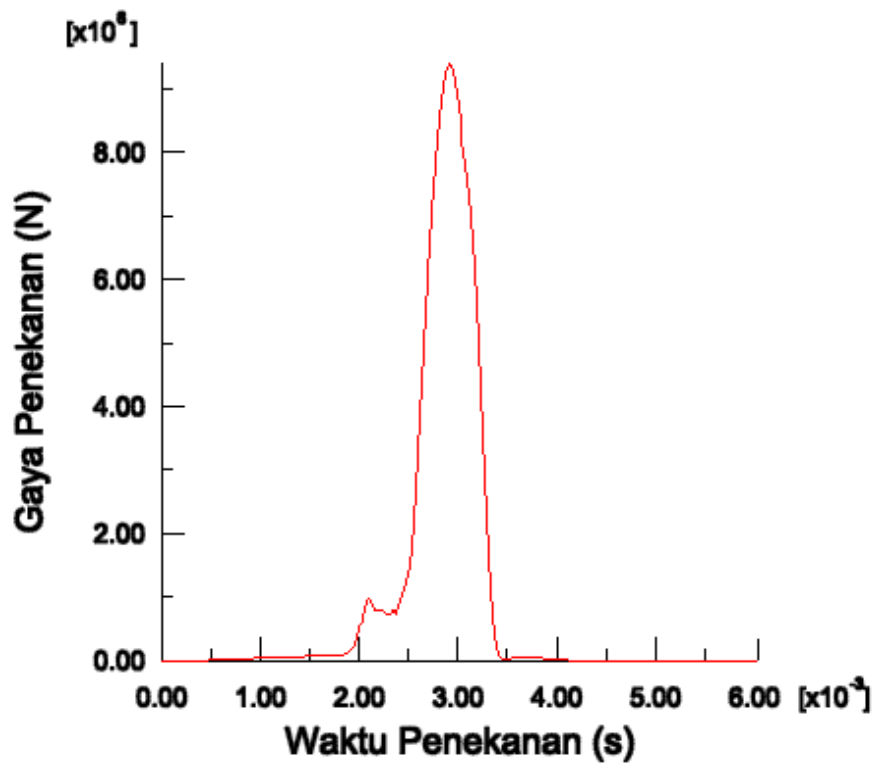


Sumber : D. Eugene Ostergaard ;1967 : 127

Gambar 2.5. Beberapa macam bentuk draw piece Gambar 2. (a) Kondisi awal proses *deep drawing*, (b) Proses *deep drawing* saat punch telah bergerak ke bawah (*forming*).



Gambar 2.6. Hasil proses deep drawing.
Grafik Gaya Punch terhadap waktu penekanan.

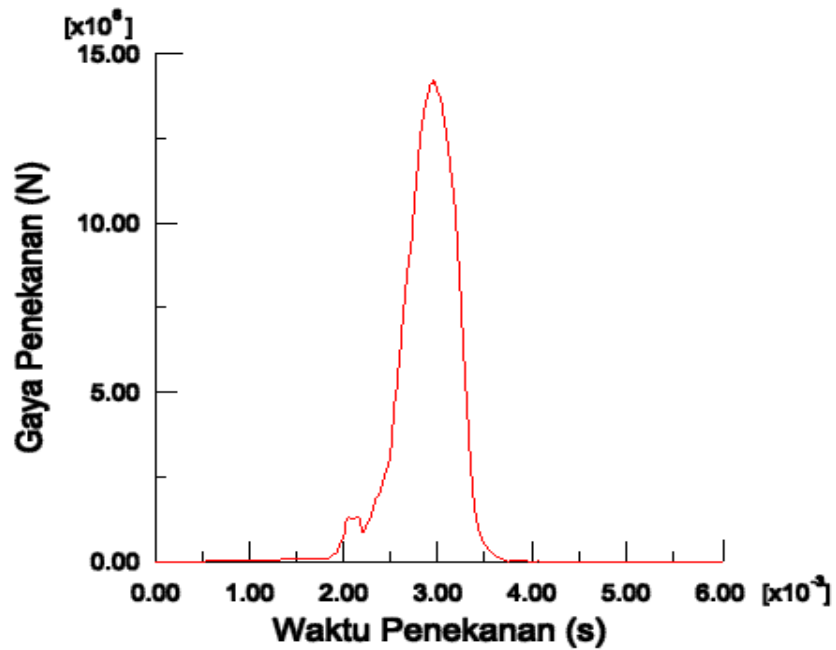


Gambar 2.7. Gaya Penekanan vs Waktu Penekan Tailored Blank.

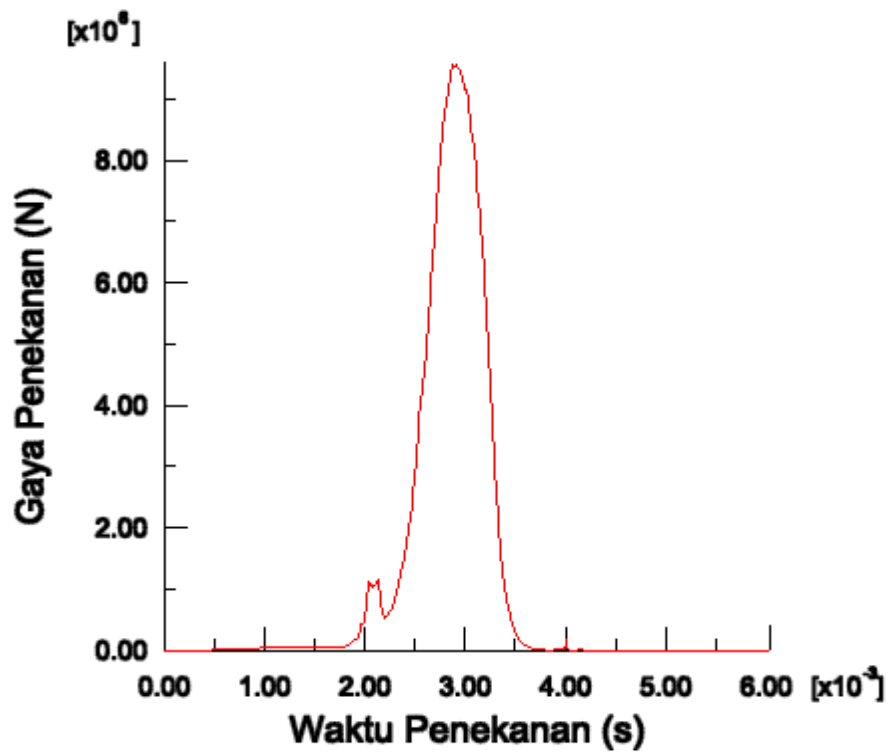
Gambar 2.7 menunjukkan grafik hasil gaya penekanan yang diberikan oleh *punch* terhadap waktu penekanan ketika terjadi proses *deep drawing*. Hasil simulasi *tailored blanks deep drawing* memberikan keterangan bahwa gaya *punch* mengalami dua kali nilai maksimal yaitu ketika mencapai jarak 2,2 mm, gaya *punch* mencapai 12 KN, kemudian gaya akan turun sampai sekitar 8 KN dan kemudian naik lagi sampai nilai maksimum yang kedua yaitu 94 KN. Fenomena dua kali mencapai puncak dalam proses *deep drawing* disini kemungkinan dapat diakibatkan oleh proses penekanan pelat yang mengalami dua tahap, yang menghasilkan dua proses tekuk (*bending*). Untuk mengetahui perbandingan antara pelat gabungan terhadap pelat homogen,

Gambar 5 berikut menyajikan perbandingan gaya penekanan versus waktu penekanan *uniformed blank* (*blank* tebal saja dan *blank* tipis saja). Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa besar gaya penekanan material *tailored blank* terletak diantara gaya penekanan pelat homogen yang tipis saja dan yang tebal saja. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh las telah diabaikan sehingga tidak

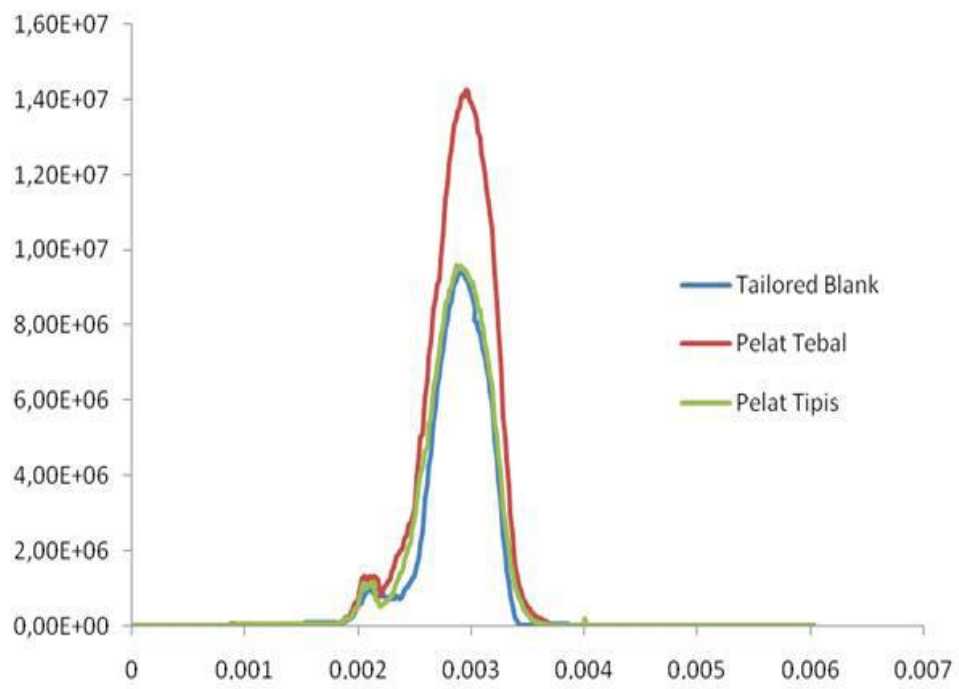
mempengaruhi besar gaya penekanan. Penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh kekuatan las terhadap gaya penekanan.



Gambar 2.8 (a) Gaya penekan vs Waktu Penekanan Plat tebal



Gambar 2.9 (b) Gaya penekanan vs Waktu Penekanan Plat tipis



(Gambar 2.10 (c) Grafik Gabungan Tiga Pelat

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat dilakukannya studi “ *Simulasi Regangan Pada Plat Stainless Steel Menggunakan Software Solidworks 2016* ” menganalisa menggunakan *software solidworks 2016* di lakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Tabel 3.1 Jadwal waktu pembuatan dan pengelola data.

3.1.2 Waktu

No	Kegiatan	05	06	07	08	09	10
1	Study literatur	■					
2	Pembuatan spesimen	■		■			
4	Pengujian Spesimen				■		
5	Evaluasi data penelitian					■	

3.2 Alat dan Bahan

3.2 Alat Penelitian

3.2.1 Laptop

Spesifikasi laptop yang di gunakan dalam studi numeric ini adalah sebagai berikut :

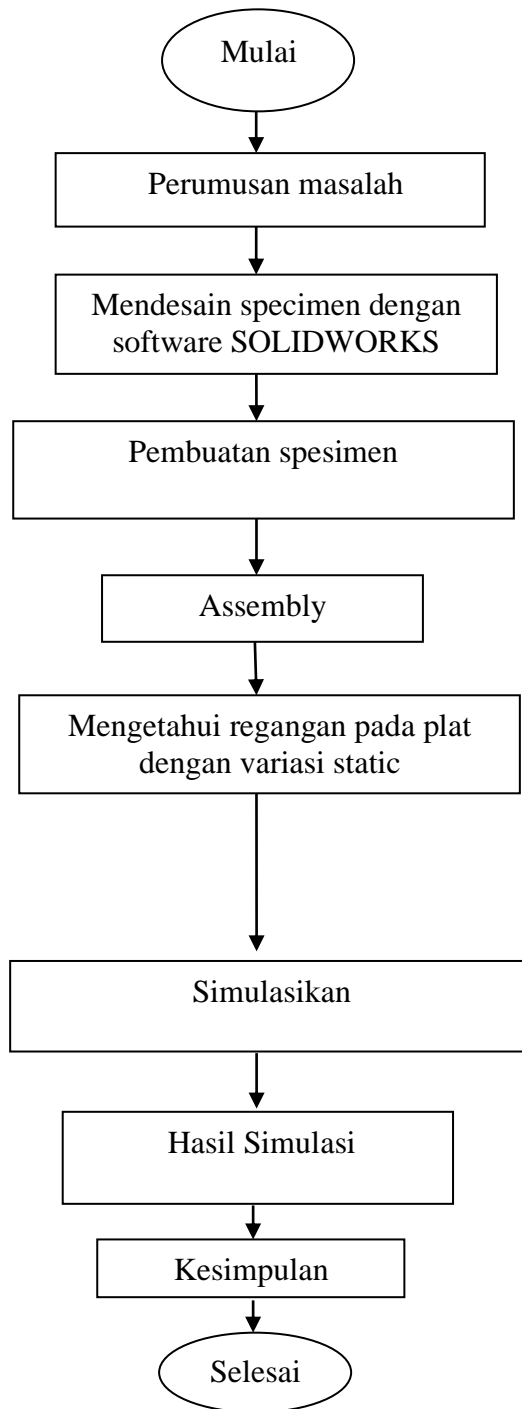
1. Processor : INTEL CORE i5
2. RAM : 4 GB (1.47 GB USTABLE).
3. Operation system : Windows 10 64 bit operation system

3.2.2 Software solidworks

Software solidworks yang sudah terinstal pada laptop adalah solidworks 2016 64 bit yang di dalamnya terdapat skech gambar 3D dengan persyaratan system pada computer adalah sebagai berikut :

1. Processor : INTEL COREi5
2. RAM : 4 GB or More.
3. Disk Space: 5 GB or More.

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir

3.4 Tahap Mendesain

3.4.1 Menyalakan Komputer Dan Memilih *Software Solidworks*

Sebelum memulai proses menggambar bahwasanya software solidworks telah terinstal di computer atau laptop siap di gunakan.

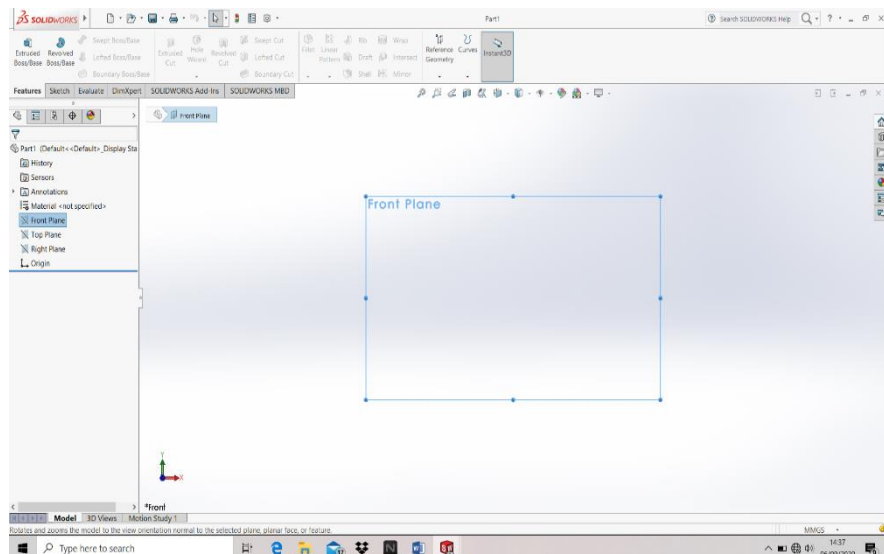


Gambar 3.2 Tampilan layar laptop

3.5 Pembuatan Spesimen

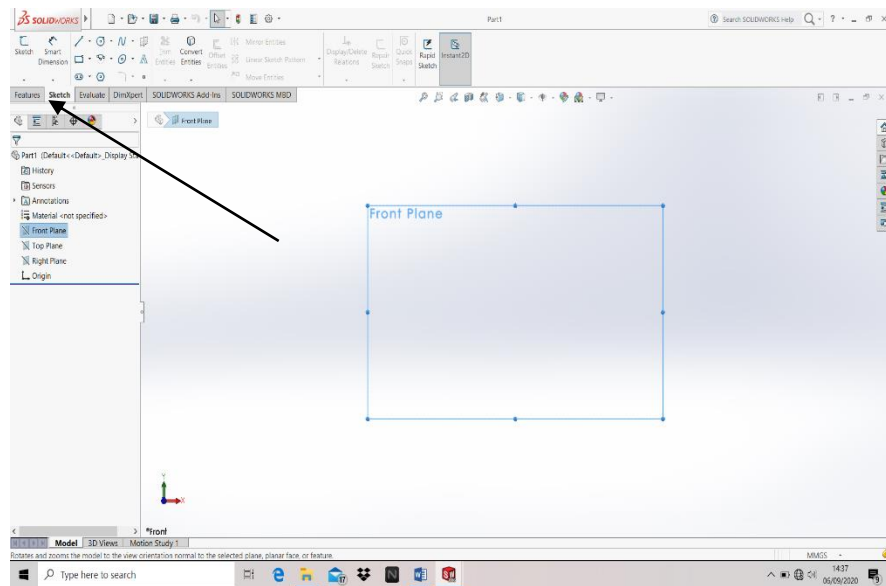
3.5.1 Tahapan Pembuatan Plat Lingkaran

1. *Klik Front Plane*



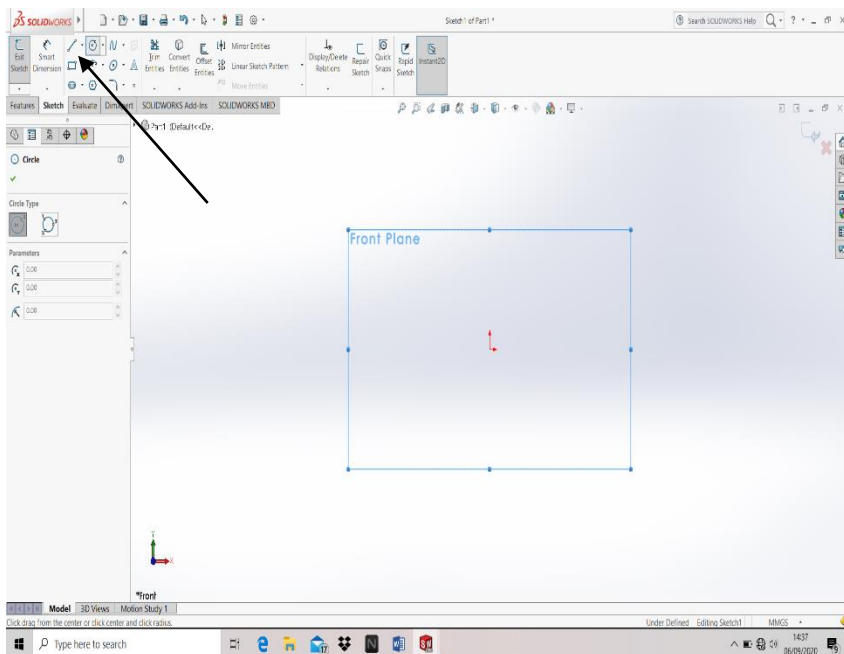
Gambar. 3.3 *Klik Front Plant*

2. Klik Sketch



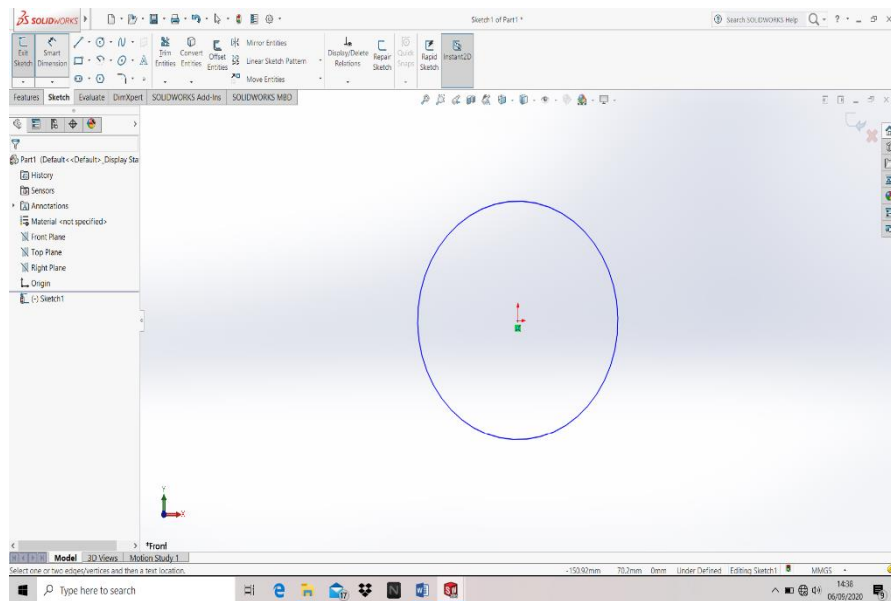
Gambar. 3.4 *Klik Sketch*

3. Klik Circle



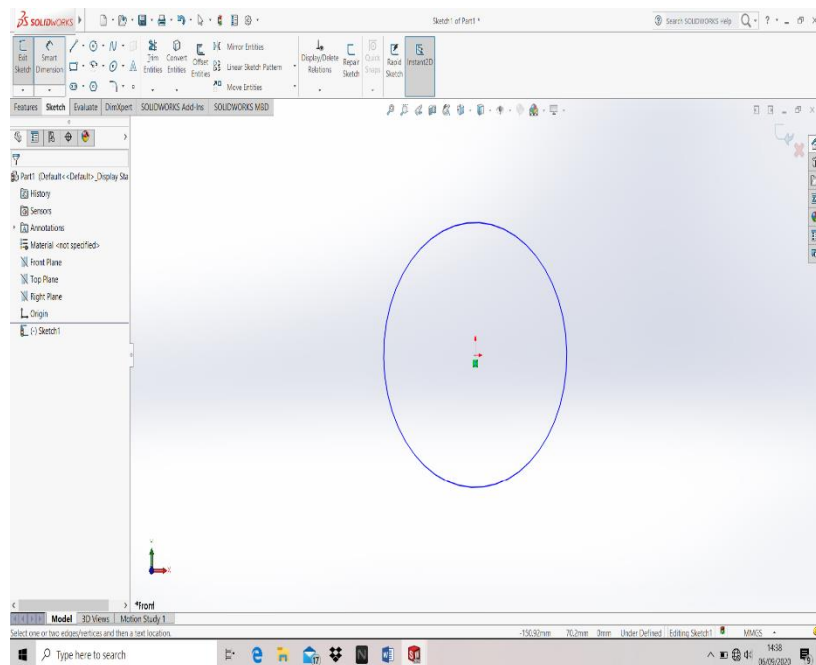
Gambar. 3.5 *Klik Circle*

4. Hasil Dari *Klik Circle*



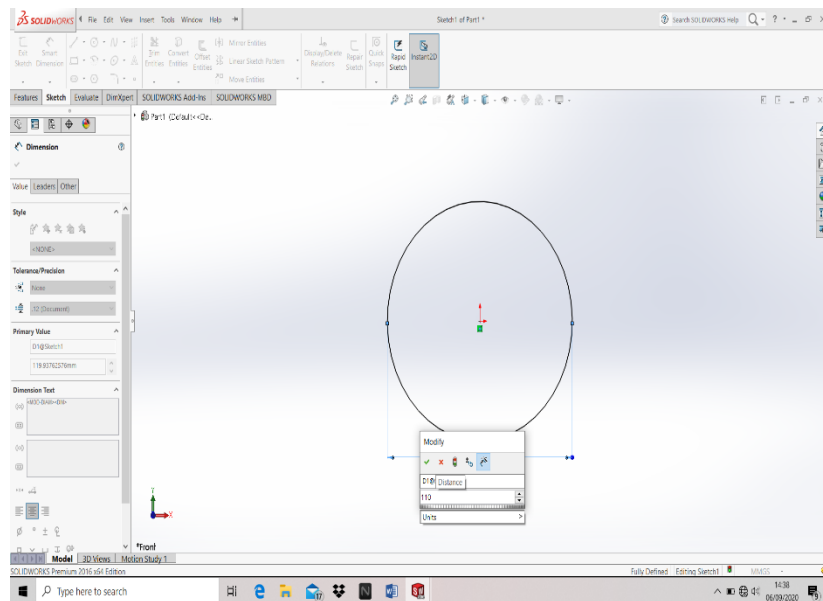
Gambar. 3.6 Hasil Dari *Klik Circle*

5. *Klik Smart Dimension* Untuk Membuat Ukuran



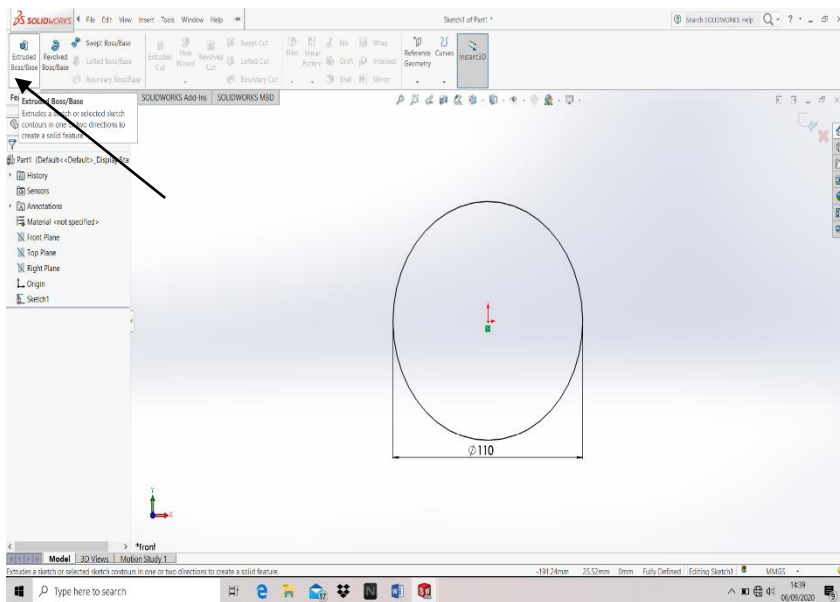
Gambar. 3.7 *Klik Smart Dimension* Untuk Membuat Ukuran

6. Menentukan Ukuran Diameter



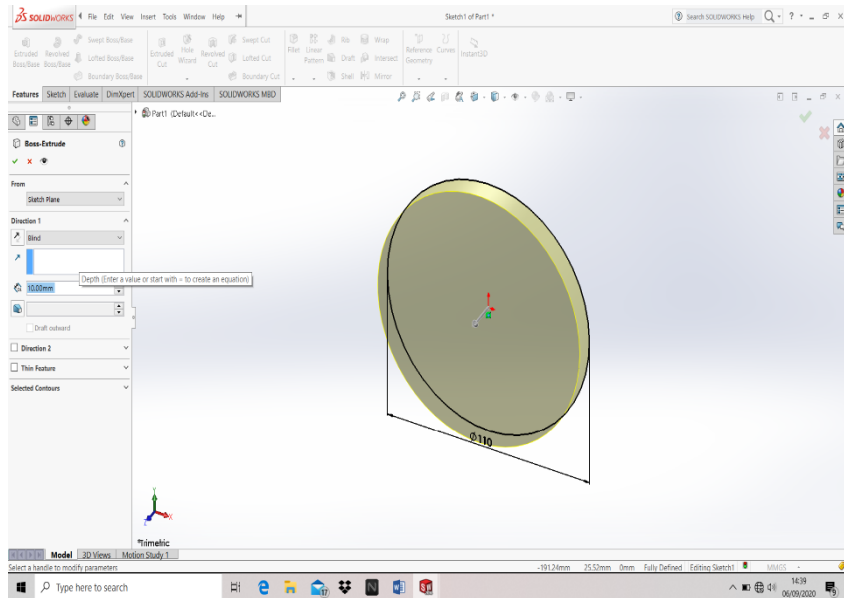
Gambar. 3.8 Menentukan Ukuran Diameter

7. Klik *Extrude Base Boss* Untuk Menentukan Ukuran Ketebalannya



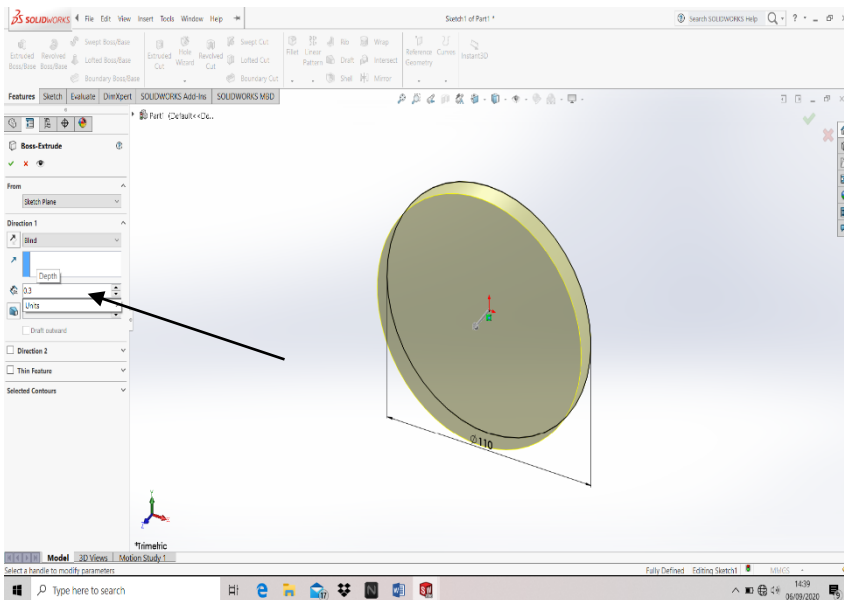
Gambar. 3.9 Klik *Extrude Base Boss* Untuk Menentukan Ukuran Ketebalannya

8. Hasil Dari Extrude Base Boss



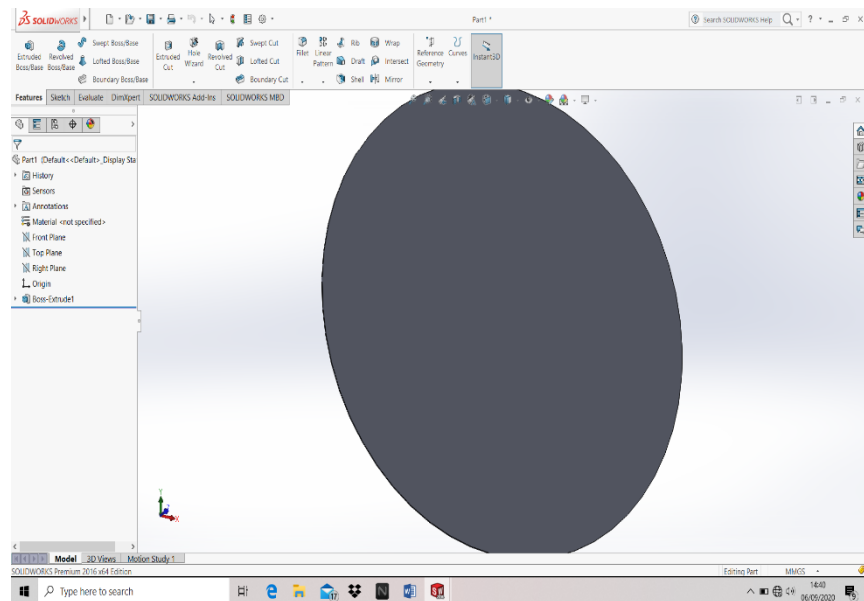
Gambar. 3.10 Hasil Dari *Extrude Base Boss*

9. Menentukan Ketebalannya



Gambar. 3.11 Menentukan Ketebalannya

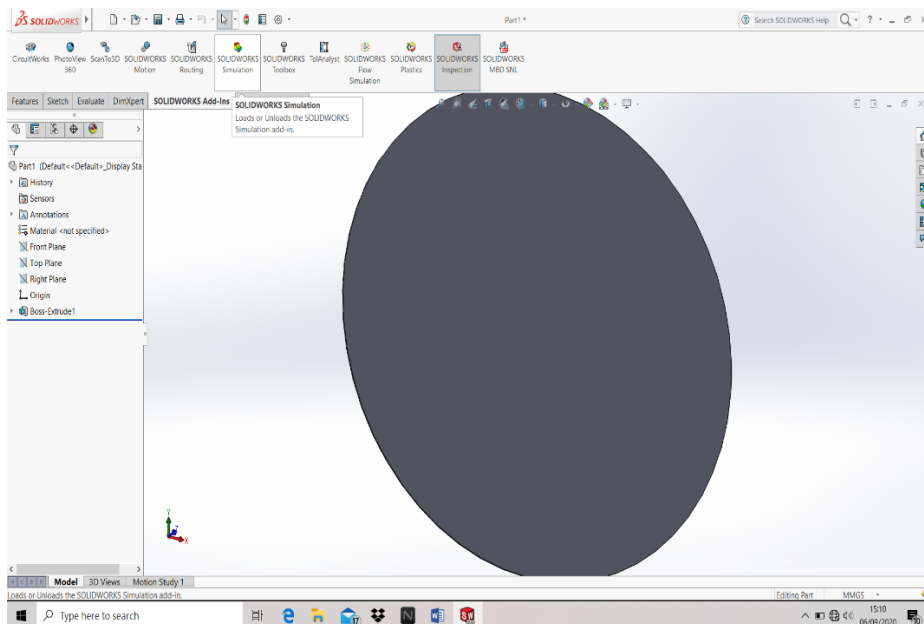
10. Hasil Dari Setelah Menentukan Ukuran Ketebalan



Gambar. 3.12 Hasil Dari Menentukan Ukuran Ketebalan

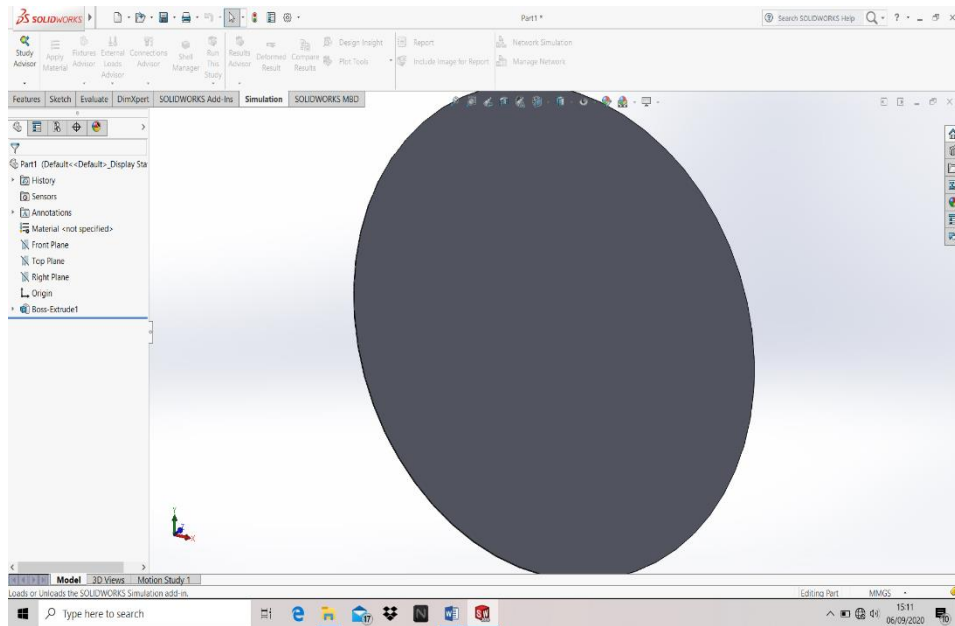
3.5.2 Tahapan Pembuatan Simulasi Regangan Pada Plat

1. Klik Solidwork Add Ins



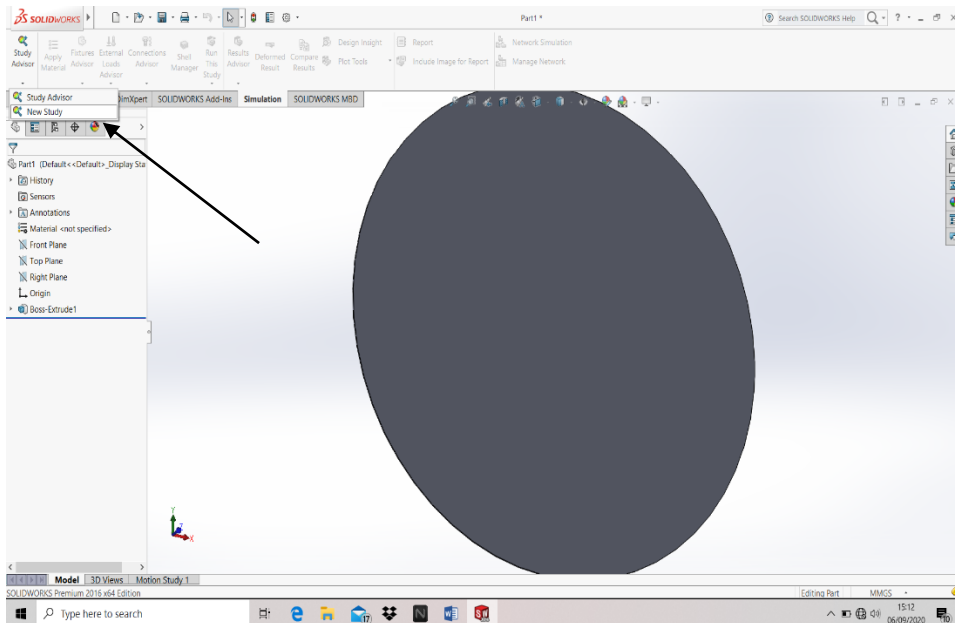
Gambar. 3.13 Klik Solidwork Add Ins

2. Klik Simulation



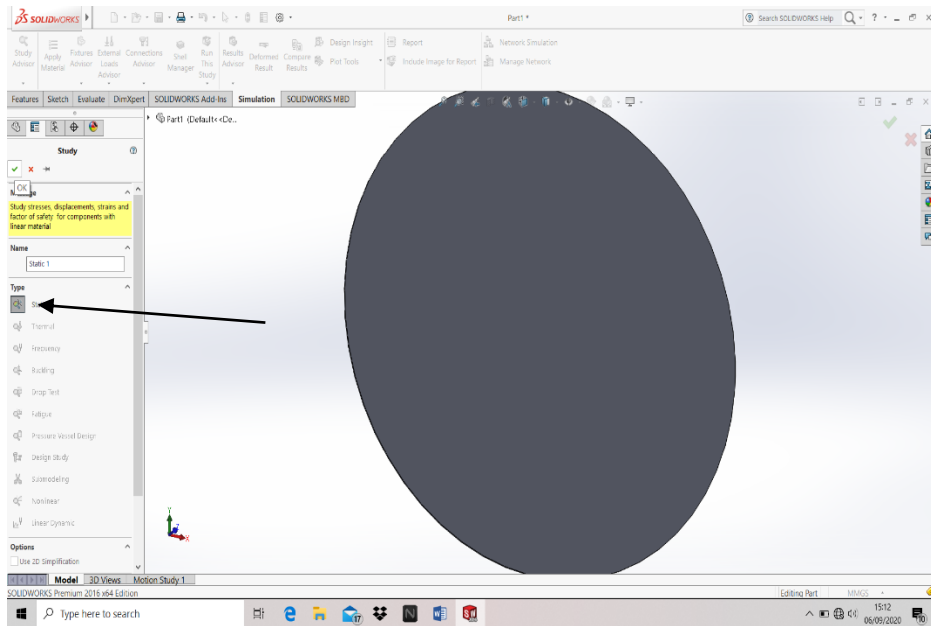
Gambar. 3.14 *Klik Simulation*

3. Klik New Study



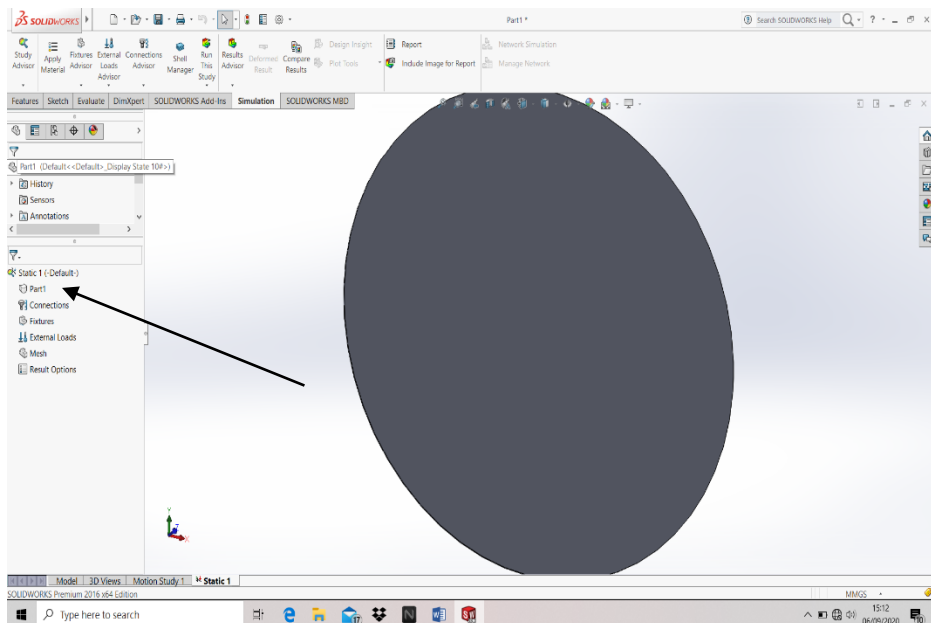
Gambar. 3.15 *Klik New Study*

4. Klik Static



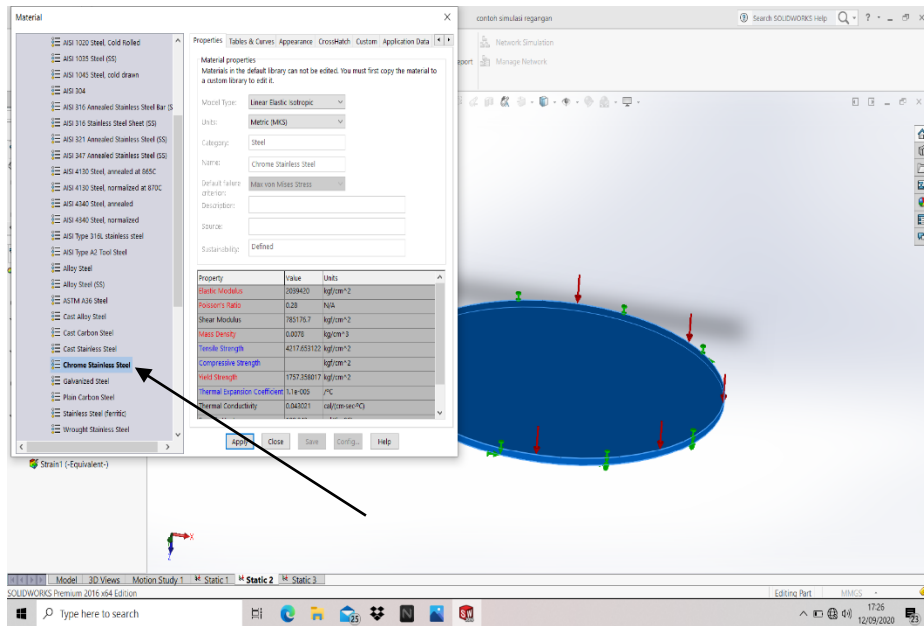
Gambar. 3.16 *Klik Static*

5. Klik Parts Menentukan Material



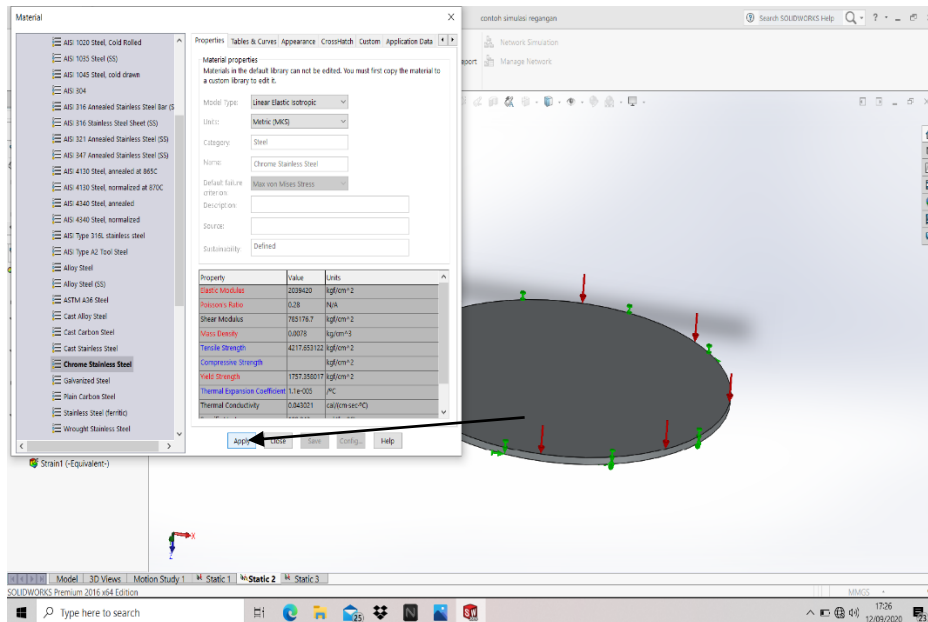
Gambar. 3.17 *Klik parts Menentukan Material*

6. Pilih Material Yang Akan Digunakan



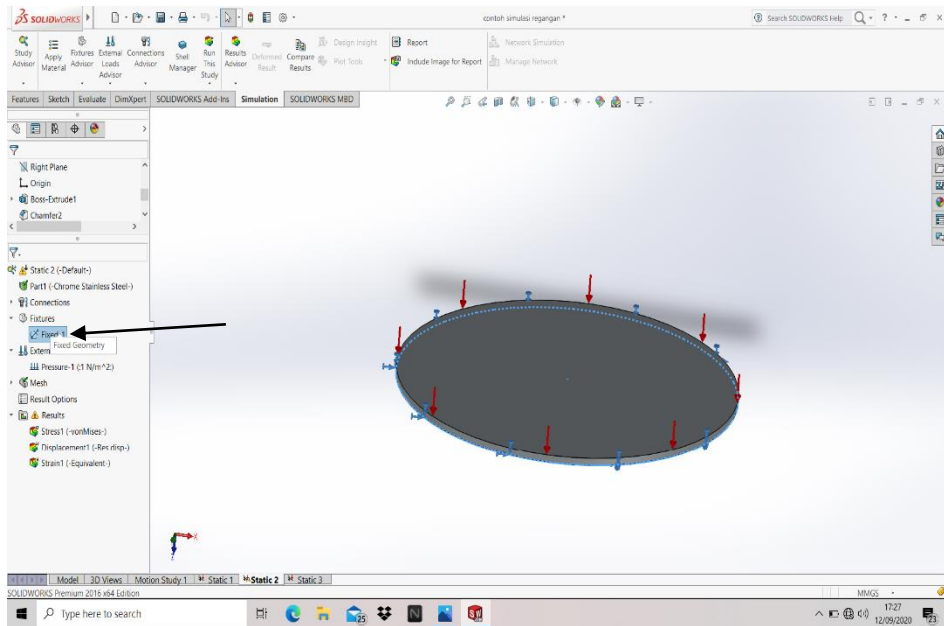
Gambar. 3.18 Pilih Material Yang Akan Digunakan

7. Klik Apply



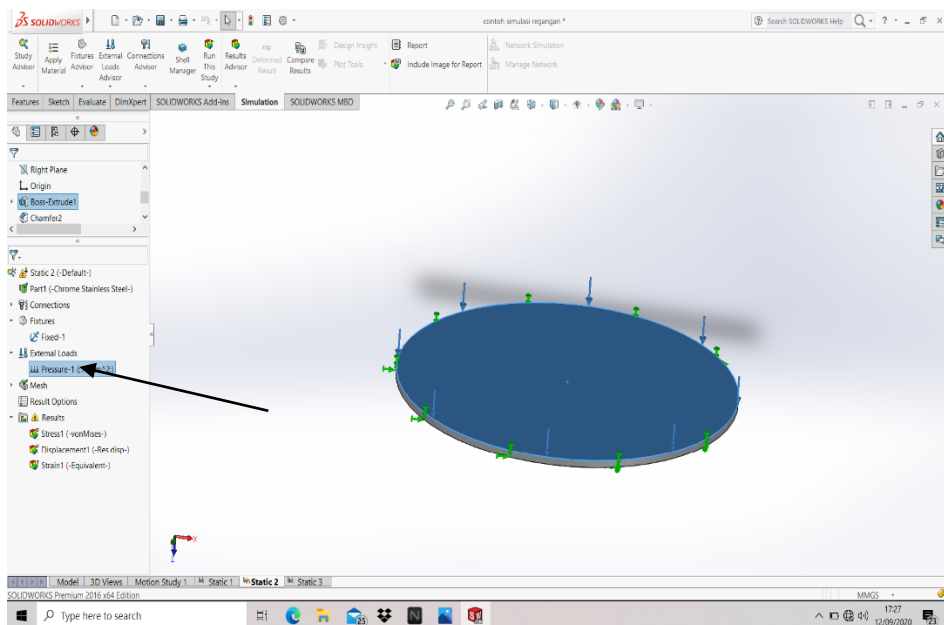
Gambar. 3.19 Klik Apply

8. Klik Fixed Geometry



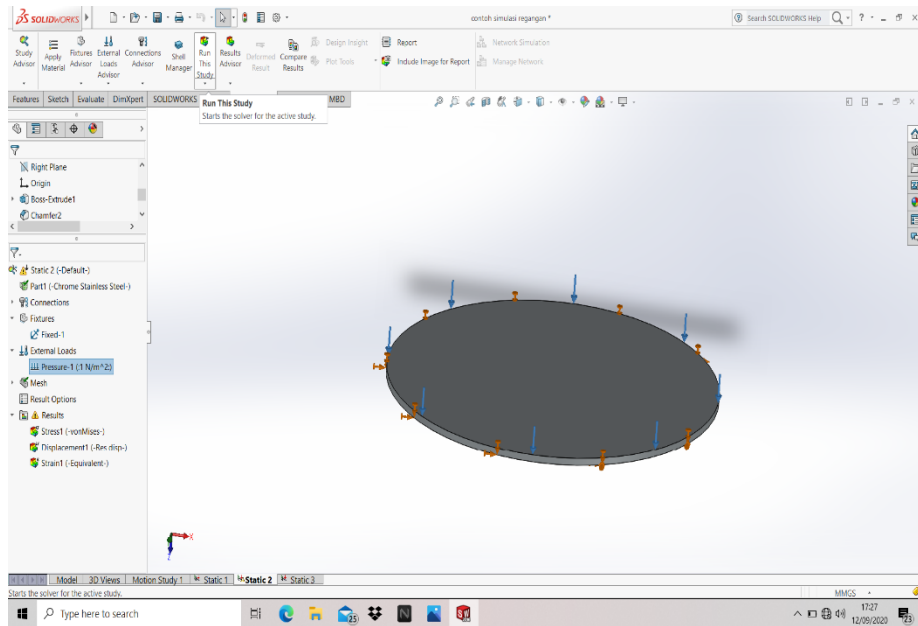
Gambar. 3.20 Klik Fixed Geometry

9. Klik Pressure



Gambar. 3.21 Klik Pressure

10. Klik Run Study



Gambar. 3.22 *Klik Run Study*

BAB 4

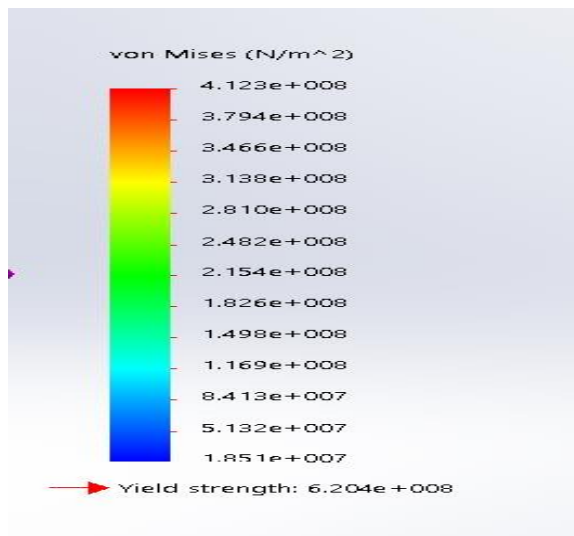
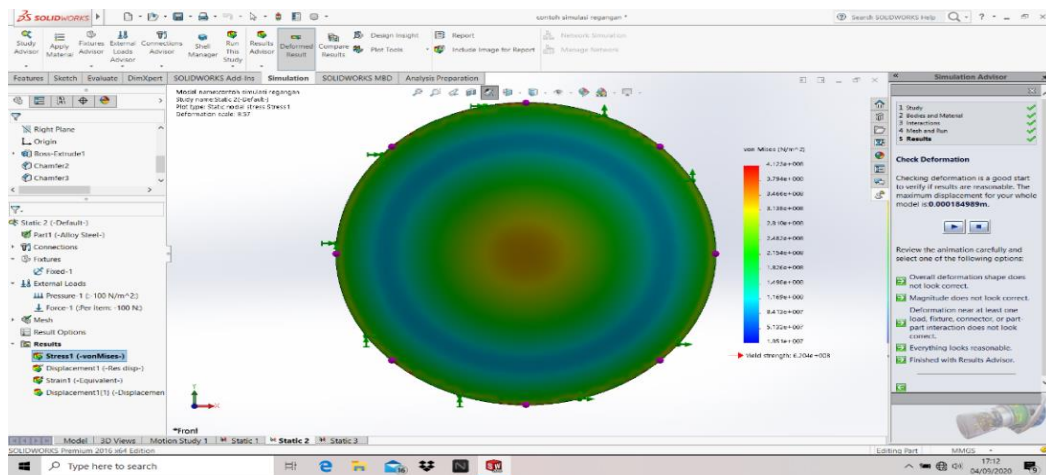
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Konsep Simulasi Regangan Pada Mesin Penekan Pembentuk Logam

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3 regangan pada plat baja nirkarat di buat dengan 3 static, dengan pemberian masing-masing gaya static yaitu 100 N, 300 N, 500 N. Dalam momen yang di cari adalah getaran pada piringan ganda . Adapun hasil yang di dapat dari simulasi ini adalah sebagai berikut :

4.2 Hasil Dari Run Study

Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 100 N



Gambar. 4.1 Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 100 N

Hasil Bentuk simulasi Static

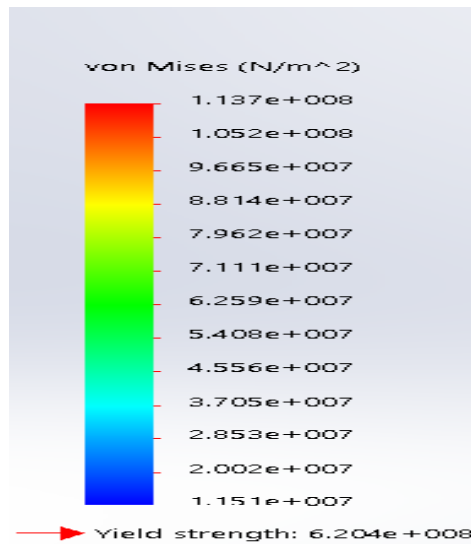
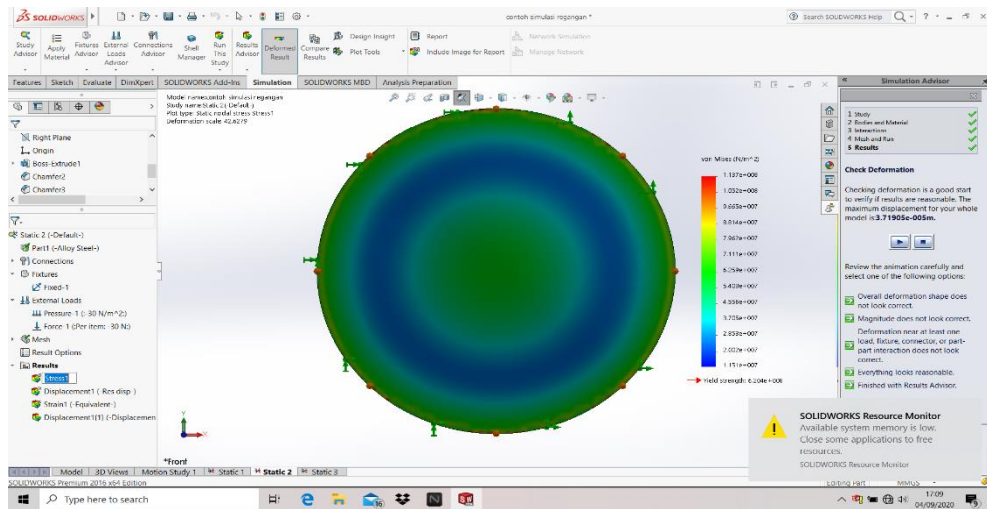
1. Pada warna biru bentuk plat di angka (8,413) adalah dimana Kekuatan tekan mulai bereaksi dan keadaan masih terlihat normal.
2. Pada warna hijau bentuk plat di angka (2,482) adalah dimana kekuatan tekan sudah bereaksi dan mengalami perubahan.
3. Pada warna merah bentuk plat di angka (4,123) adalah dimana bentuk total sehingga plat tersebut tertekan sangat maksimal.

Tabel, 4.1. Hasil Tekanan Static

(N/m ²)
4,123e+008
3,794e+008
3,466e+008
3,138e+008
2,810e+008
2,482e+008
2,154e+008
1,826e+008
1,498e+008
1,169e+008
8,413e+007
5,132e+007
1,851e+007

berdasarkan hasil pengujian memberikan keterangan bahwa pada pelat dengan ketebalan 0,3 mm (pelat tipis) terjadi perubahan bentuk. Hal ini terjadi karena pada ketebalan 0,3 mm terdapat celah (*clearance*) antara *punch*, *blank*, dan *dies* sehingga terjadi regangan positif (tarik) dan regangan negatif (tekan) yang mengakibatkan cacat kerut pada dinding *cup*. (4,123e+008) adalah nilai dimana simulasi menunjukkan nilai stress maksimal yang mengakibatkan plat akan pecah,

Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 300 N



Gambar. 4.2 Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 300 N

Hasil Bentuk simulasi Static

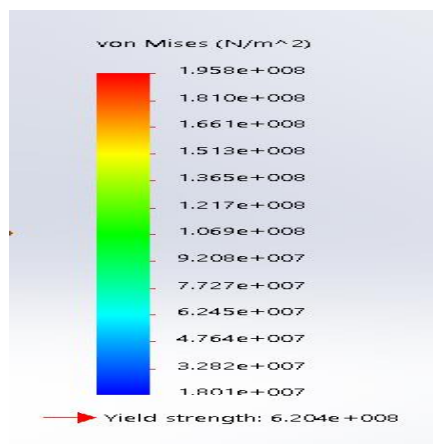
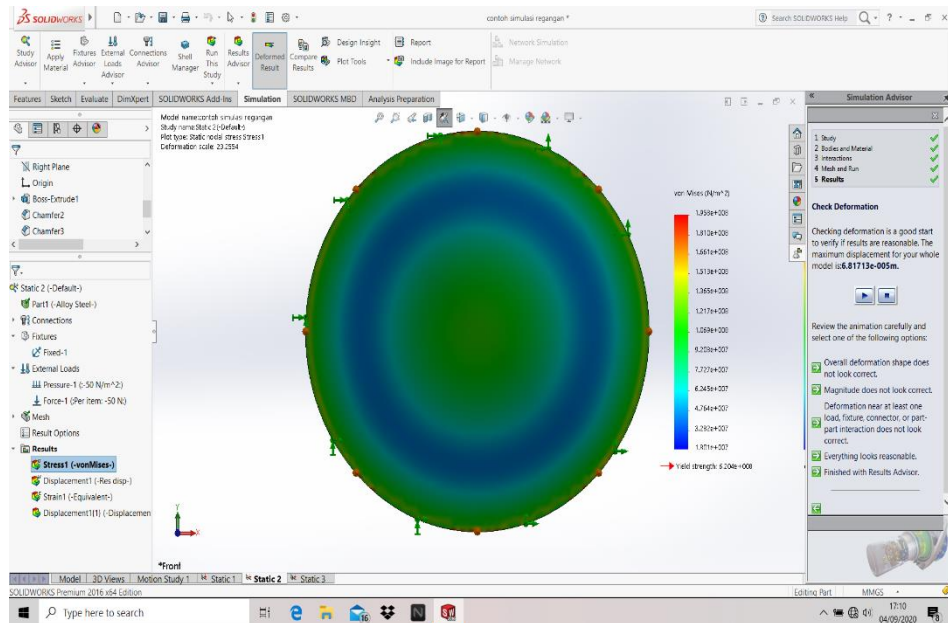
1. Pada warna biru bentuk plat di angka (3,705) adalah dimana Kekuatan tekan mulai bereaksi dan keadaan masih terlihat normal.
2. Pada warna hijau bentuk plat di angka (7,962) adalah dimana kekuatan tekan sudah bereaksi dan mengalami perubahan.
3. Pada warna merah bentuk plat di angka (1,137) adalah dimana bentuk total sehingga plat tersebut tertekan sangat maksimal.

Tabel, 4.2 Hasil Static

(N/m ²)
Static
1,137e+008
1,052e+008
9,665e+007
8,814e+007
7,962e+007
7,111e+007
6,259e+007
5,408e+007
4,556e+007
3,705e+007
2,853e+007
2,002e+007
1,151e+007

berdasarkan hasil pengujian memberikan keterangan bahwa pada pelat dengan ketebalan 0,3 mm (pelat tipis) terjadi perubahan bentuk. Hal ini terjadi karena pada ketebalan 0,3 mm terdapat celah (*clearance*) antara *punch*, *blank*, dan *dies* sehingga terjadi regangan positif (tarik) dan regangan negatif (tekan) yang mengakibatkan cacat kerut pada dinding *cup*. (1,137e+008) adalah nilai dimana simulasi menunjukkan nilai stress maksimal yang mengakibatkan plat akan pecah,

Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 500 N



Gambar. 4.3 Percobaan Simulasi Dengan Gaya Tekan 500 N/m²

Hasil Bentuk simulasi Static

1. Pada warna biru bentuk plat di angka (4,764) adalah dimana Kekuatan tekan mulai bereaksi dan keadaan masih terlihat normal.
2. Pada warna hijau bentuk plat di angka (1,365) adalah dimana kekuatan tekan sudah bereaksi dan mengalami perubahan.
3. Pada warna merah bentuk plat di angka (1,958) adalah dimana bentuk total sehingga plat tersebut tertekan sangat maksimal.

Tabel, 4.3 Hasil Static

(N/m²)

Static

1,958e+008
1,810e+008
1,661e+008
1,513e+008
1,365e+008
1,217e+008
1,069e+008
9,208e+007
7,727e+007
6,245e+007
4,764e+007
3,282e+007
1,810e+007

berdasarkan hasil pengujian memberikan keterangan bahwa pada pelat dengan ketebalan 0,3 mm (pelat tipis) terjadi perubahan bentuk. Hal ini terjadi karena pada ketebalan 0,3 mm terdapat celah (*clearance*) antara *punch*, *blank*, dan *dies* sehingga terjadi regangan positif (tarik) dan regangan negatif (tekan) yang mengakibatkan cacat kerut pada dinding *cup*. (1,958e+008) adalah nilai dimana simulasi menunjukkan nilai stress maksimal yang mengakibatkan plat akan pecah,

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil *Simulasi Regangan Pada Mesin Penekan Pembentuk Logam Dengan Bahan Baja Nirkarat Menggunakan Software Solidworks 2016* yang dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik UMSU (Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara) didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil simulasi, tekanan pada plat aluminium sehingga terjadinya regangan pada plat. Apabila tekanan semakin besar maka semakin besar regangan, sebaliknya apabila tekanan semakin kecil maka semakin kecil terjadinya regangan.
2. Berdasarkan hasil simulasi penyebab terjadinya penurunan pada tekanan yang kurang optimal yang menyebabkan penurunannya regangan kemudian secara perlahan meningkat hingga ke titik akhir simulasi.
3. Warna merah pada plat menunjukkan bahwa statik yang terjadi di plat disebabkan adanya titik fokus pada tekanan (plat) yang membuat plat menekuk.

5.2 Saran

1. Penulis menyarankan untuk lebih mempelajari lagi dalam menggunakan software *solidworks* dalam menggambar dan menganalisa *software solidworks* dalam simulasinya.
2. Perlu dikaji ulang dalam meshing piringan ganda didalam *software solidworks*

DAFTAR PUSTAKA.

- Adriyan, S, (2013), Analisa Kerusakan Pada Cylinder Hydraulic Bucket Excavator Hitachi Ex 2500, *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.14 (3) hal 31-39.
- Basri, H, (2009). Optimasi Disain Dimensi Silinder Sistem Hidrolik Pada Hydraulic Excavator (PC) 1250-7. *Jurnal Ilmiah Teknobiz*. Vol.4 (3) hal 130-136.
- Hasnan, A. (2006) Mengenal Proses Deep Drawing. <http://staffnew.uny.ac.id>, diakses 6 November 2018.
- Imadudin, U.A. dan Effendy, M. (2005). Analisis Square Cup deep Drawing. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 18 (4) hal 87-100.
- Kurniawan, H. (2016). Analisa Defleksi Pada Rod Bucket di Sistem Hidrolik Excavator Hitachi Zaxis 201 MF SN 70165 5G. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.5 (2) hal. 54-63.
- Mulyadi, (2008), Analisa Terjadinya Penurunan Tekanan Pada System Hydraulic Wheel Loader LK 300 A KOBELCO. *Jurnal Teknik Mesin* . Vol.6 (2) hal 52-59.
- Rokhman, T. (2011) Menghitung Gaya Hidrolik. <https://taufiqurrokhman.wordpress.com>, diakses 6 November 2018.
- Shofiyanto, M.Y. (2009). Simulasi Proses Deep Drawing Dengan Pelat Jenis Tailored Blank. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2) hal 101-112.
- Situmbul, C. (2006), Analisis Kerja mesin Hidrolik pencetak Paving dengan Sistem Hand Control Hidrolik pada Waktu yang Dibutuhkan Langkah Naik dan Turun Silinder Hidrolik. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.18 (3) hal 56-63.
- Triono, E. (2006), Analisa Penyebab Bengkok Rod Cylinder Bucket Work Equipment Excavator Seri 311 Caterpillar. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.9 (3) hal 32-43.