

**PENGARUH DIAMETER BOLA PADA PROSES SHOT PEENING
TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN SISA A5052 DENGAN
SIMULASI KOMPUTER PEMODELAN DUA DIMENSI DAN TIGA
DIMENSI**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONSTRUKSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**ENDANG TRI AMBIANINGRUM
NIM. 125060201111034**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH DIAMETER BOLA PADA PROSES *SHOT PEENING* TERHADAP
DISTRIBUSI TEGANGAN SISA A5052 DENGAN SIMULASI KOMPUTER
PEMODELAN DUA DIMENSI DAN TIGA DIMENSI

Nama Mahasiswa : Endang Tri Ambianingrum

NIM : 125060201111034

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Konstruksi

KOMISI PEMBIMBING :

Dosen Pembimbing I : Slamet Wahyudi, ST., MT., Dr.

Dosen Pembimbing II : Khairul Anam, ST., M. Sc.

TIM DOSEN PENGUJI :

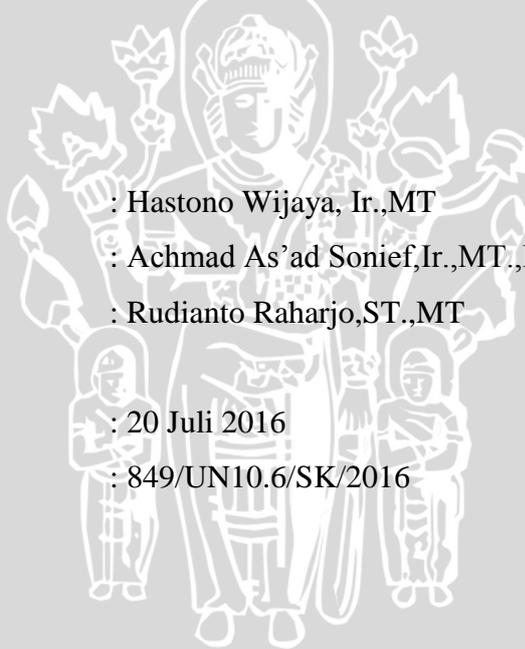
Dosen Penguji I : Hastono Wijaya, Ir., MT

Dosen Penguji II : Achmad As'ad Sonief, Ir., MT., Dr.

Dosen Penguji III : Rudianto Raharjo, ST., MT

Tanggal Ujian : 20 Juli 2016

SK Penguji : 849/UN10.6/SK/2016



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2013, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 Agustus 2016

Mahasiswa,

Endang Tri Ambianingrum

NIM. 125060201111034



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, “**Pengaruh diameter bola pada proses *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa A5052 dengan simulasi komputer dua dimensi dan tiga dimensi**” dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah SAW.

Dalam penyusunan skripsi penulis telah mendapatkan bantuan, petunjuk, semangat, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, antara lain :

1. Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan dan Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
2. Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Ir.Djarot B. Darmadi, MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Konstruksi
4. Dr. Slamet Wahyudi, ST., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi banyak pengetahuan, bimbingan, dan motivasi selama penyusunan skripsi.
5. Khairul Anam, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan arahan demi kesempurnaan penulisan skripsi.
6. Dr.Eng Lilis Yulianti, ST..MT. selaku dosen wali yang tiada henti memberikan bimbingan selama penulis menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Mesin.
8. Rizki Ernawati dan Dio Akbar selaku partner seperjuangan di tugas akhir.
9. Seluruh Keluarga Besar Lab. Fenomena Dasar Mesin, (Angga, Gede, Janski, Ragang, Indra, Ayu, Arab, Ufal, Sebay, Putri, Jeki, TA, Satrio, Bara, Unggar) terima kasih atas bantuannya selama penulis melakukan penelitian.
10. Seluruh Keluarga Divisi Aerokreasi terima kasih atas bantuannya selama penulis melakukan penelitian.

11. Saudari seperjuangan “Princess 18” Mgirls12, terima kasih atas doa, kebersamaan, dan solidaritas selama masa kuliah.
12. Saudara seperjuangan “ADMIRAL” M’12, terima kasih atas doa, kebersamaan, dan solidaritas selama masa kuliah.
13. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang baik karena penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, Juni 2016

Penulis



Kupersembahkan SKRIPSI ini teruntuk :
Orang Tuaku Tercinta

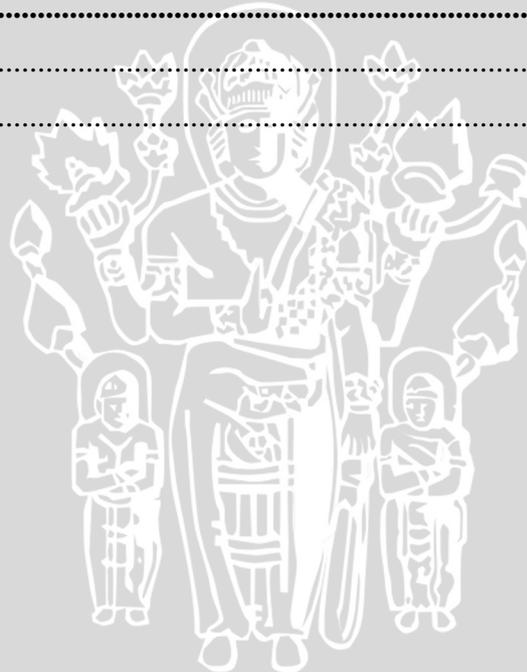


DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 <i>Shot Peening</i>	5
2.2.1 Proses <i>shot peening</i>	5
2.2.2 Mesin Shot Peening.....	6
2.2.3 Klasifikasi proses <i>shot peening</i>	7
2.2.4 Media <i>shot peening</i>	10
2.3 Impuls dan Momentum	12
2.4 Tegangan dan Regangan	13
2.4.1 Tegangan (<i>Stress</i>)	13
2.4.2 Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>)	15
2.4.3 Regangan (<i>Strain</i>).....	16
2.5 Deformasi	16
2.6 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Elemen Method</i>)	17
2.7 Software Berbasis Elemen Hingga.....	18
2.8 Pemodelan 2D dan 3D.....	19

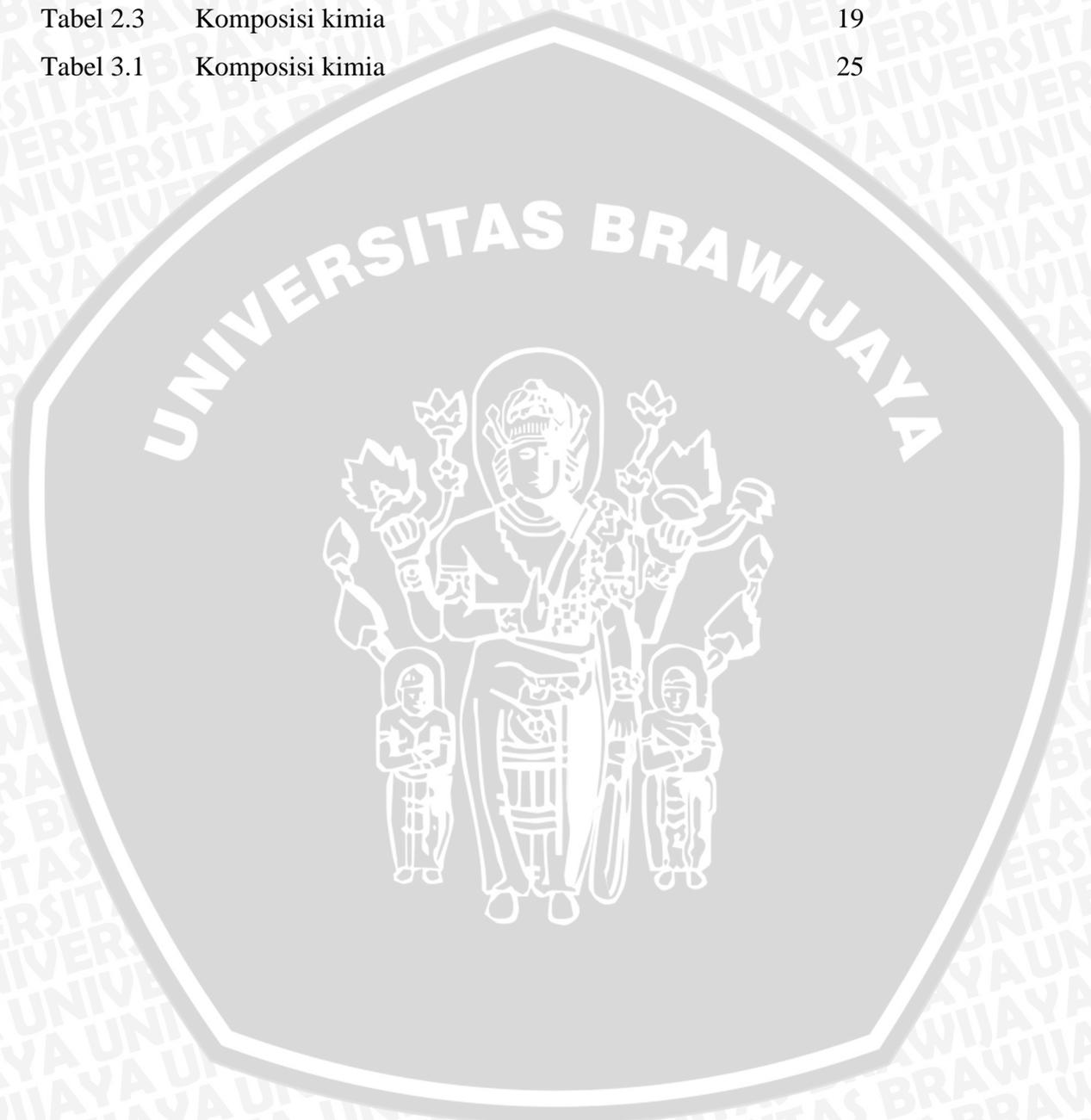
2.9 A5052 Aluminium Alloy	20
2.10 Hipotesis	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.3.1 Variabel Bebas	23
3.3.2 Variabel Terikat	24
3.3.3 Variabel Terkontrol	24
3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian	24
3.5 Pemodelan Geometri	25
3.6 Pemodelan Material	25
3.6.1 Material Spesimen	25
3.6.2 Material Bola	26
3.7 Simulasi	26
3.7.1 Boundary Condition Pemodelan 3D	26
3.7.1.1 Tumpuan	26
3.7.1.2 Kecepatan	27
3.7.1.3 <i>Meshing</i>	27
3.7.1.4 Pengambilan Data	28
3.7.2 Boundary Condition Pemodelan 2D	28
3.7.2.1 Tumpuan	28
3.7.2.2 Kecepatan	29
3.7.2.3 <i>Meshing</i>	29
3.7.2.4 Pengambilan Data	30
3.8 Diagram Alir	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Data Hasil Pengujian	32
4.1.1 Pengambilan Data Pemodelan Tiga Dimensi	32
4.1.2 Pengambilan Data Pemodelan Dua Dimensi	32
4.2 Data Perhitungan Hasil Pengujian	33

4.3 Pembahasan	33
4.3.1 Hubungan Diameter Bola Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 2D Dan 3D	33
4.3.2 Hubungan Kedalaman Shot Peening Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 3D	34
4.3.3 Hubungan Kedalaman Shot Peening Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 2D.....	36
4.3.4 Hubungan Kedalaman Shot Peening Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 2D dan 3D	38
4.3.5 Hubungan Sudut Kedalaman Shot Peening Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 3D.....	40
BAB V PENUTUP	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Spesifikasi <i>Shot Number</i>	9
Tabel 2.2	Kelompok paduan aluminium	19
Tabel 2.3	Komposisi kimia	19
Tabel 3.1	Komposisi kimia	25



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Mekanisme <i>Shot Peening</i>	5
Gambar 2.2	Terjadinya retakan melalui tegangan tarik	6
Gambar 2.3	<i>Gravity nozzle machine</i>	6
Gambar 2.4	<i>Air wash separator</i>	7
Gambar 2.5	Skema proses <i>Water Jet Peening</i>	8
Gambar 2.6	Skema Proses <i>Oil Jet Peening</i>	8
Gambar 2.7	Skema proses <i>Ultrasonic Shot Peening</i>	8
Gambar 2.8	Skema proses <i>Micro Shot Peening</i>	9
Gambar 2.9	Skema proses <i>Cavitation Shotless Peening</i>	9
Gambar 2.10	Media yang bisa digunakan dan tidak	10
Gambar 2.11	a)Menggunakan media yang rusak dan b)menggunakan media yang bagus	10
Gambar 2.12	Media <i>Ball Shot Peening</i> a) seragam dan b) tidak beraturan	11
Gambar 2.13	Tegangan pada bidang kubus	14
Gambar 2.14	Profil tegangan sisa pada pelat	15
Gambar 2.15	Diagram Tegangan Regangan	17
Gambar 2.16	Diagram Aliran Proses <i>Running</i>	18
Gambar 2.17	Bentuk pemodelan 2D dan 3D	19
Gambar 3.1	Spesimen <i>aluminum alloy A5052</i>	25
Gambar 3.2	Bola tembak <i>shot peening</i>	25
Gambar 3.3	Tumpuan 3D	27
Gambar 3.4	Kecepatan 3D	27
Gambar 3.5	<i>Meshing</i> (a) Spesimen (b) bola tembak	28
Gambar 3.6	(A) <i>principal stress</i> , (B) penentuan titik kiri, tengah dan kanan	28
Gambar 3.7	Tumpuan 2D	29
Gambar 3.8	Kecepatan 2D	29
Gambar 3.9	<i>Meshing</i> (a) Spesimen (b) <i>shot ball</i>	30

Gambar 3.10	(A) <i>principal stress</i> , (B) penentuan titik kiri, tengah dan kanan	30
Gambar 4.1	(A) <i>principal stress</i> , (B) penentuan titik kiri, tengah dan kanan	32
Gambar 4.2	Grafik hubungan diameter bola terhadap tegangan sisa pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi	33
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Kedalaman <i>Shot Peening</i> Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan Tiga Dimensi	35
Gambar 4.4	(A) 3D dan (B) gaya pada bidang x, y dan z	35
Gambar 4.5	(a) hasil simulasi diameter bola 1,1 mm dan (b) hasil simulasi diameter bola 2,1 mm	36
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Kedalaman <i>Shot Peening</i> Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 2D	37
Gambar 4.7	Profil tegangan sisa pada pelat	38
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Kedalaman Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan Dua Dimensi dan Tiga Dimensi	39
Gambar 4.9	Hasil simulasi pemodelan 3D dan 2D pada diameter 1,1mm dan 2,1mm	40
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Sudut Kedalaman <i>Shoot Peening</i> dengan Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 3D	41

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1	Tabel Data Pemodelan Tiga Dimensi Semua Diameter
Lampiran 2	Tabel Data Pemodelan Dua Dimensi Semua Diameter
Lampiran 3	Tabel Data Sudut Pemodelan Tiga Dimensi Diameter 0,3mm
Lampiran 4	Contoh perhitungan lingkaran Mohr
Lampiran 5	Tabel Vektor Tegangan pada masing-masing diameter
Lampiran 6	Tabel Distribusi Tegangan Sisa pada Semua Diameter Pemodelan 3D
Lampiran 7	Tabel Distribusi Tegangan Sisa pada Semua Diameter Pemodelan 2D



RINGKASAN

Endang Tri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2016, Pengaruh Diameter Bola pada Proses *Shot Peening* terhadap Distribusi Tegangan Sisa A5052 dengan Simulasi Komputer Pemodelan 2D dan 3D, Dosen Pembimbing : Slamet Wahyudi dan Khairul Anam.

Salah satu pengerjaan dingin yang digunakan untuk memperkeras dan meningkatkan sifat mekanik A5052 *Aluminium Alloy* adalah *shot peening*. Mekanisme *Shot peening* adalah menembakkan permukaan material dengan menggunakan bola baja (*stainless steel ball*). Bola-bola tersebut ditembakkan menggunakan *gun blaster* dengan kecepatan tertentu sehingga permukaan material berbenturan dengan bola baja tersebut mengakibatkan gaya yang cukup kuat pada permukaan material. Dikarenakan permukaan material terkena gaya yang kuat, struktur butiran A5052 *Aluminium Alloy* akan membentuk tegangan sisa tarik sehingga material memiliki sifat mekanik yang lebih baik.

Penelitian ini mengamati bagaimana pengaruh diameter bola pada proses *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa dari aluminium alloy A5052. Metode penelitian yang digunakan ini adalah simulasi dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah diameter bola sebesar 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 1,1 dan 2,1 mm selain itu pemodelan dilakukan dengan pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi. Pemodelan material yang digunakan adalah bilinear isotropic hardening. Proses simulasi dengan kecepatan tumbukan sebesar 50 m/s. Jarak bola dengan material adalah 300 mm.

Dari hasil penelitian diperoleh semakin besar diameter bola maka distribusi tegangan sisa semakin rendah. Dan dengan proses *shot peening* seiring dengan peningkatan diameter bola maka distribusi tegangan sisa meningkat baik pada pemodelan dua dimensi maupun pemodelan tiga dimensi.

Kata Kunci : *shot peening*, diameter bola, distribusi tegangan sisa, A5052 *Aluminium Alloy*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan industri saat ini baik dalam teknologinya maupun dalam hasil produksi teknologi tersebut, memiliki persaingan cukup ketat khususnya dalam dunia industri pengolahan logam karena selama ini logam banyak dibutuhkan oleh masyarakat yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari terutama dalam hal konstruksi. Suatu perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur akan sangat memperhatikan setiap prosesnya, salah satunya pemilihan material harus disesuaikan dengan perancangan yang telah dibuat guna memperhatikan sifat-sifat yang dimiliki yaitu sifat fisik, kimia, termal, fisik-kimia, elektrik dan magnetik. Salah satu sifat terpenting dalam pemilihan bahan adalah sifat mekanik (kemampuan bahan untuk menahan beban / gaya / energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material tersebut).

Akibat berbagai macam proses dan operasi pemakaian yang sering terjadi, terdapat tegangan sisa pada suatu struktur terutama yang mengalami pembebanan *fatigue*. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan logam sebelum patah ketika menerima pembebanan yang berulang-ulang. Di awal tahun 1960-an, pengaruh interaksi beban melalui pembebanan amplitudo bervariasi pertama kali diperkenalkan dan diketahui bahwa pemberian satu *overload* dapat menurunkan laju pertumbuhan retak, fenomena ini dikenal sebagai *crack retardation* (penghambat retak) [Julie A. Bannantine, 1990]. Penghambatan ini berhubungan erat dengan adanya distribusi tegangan sisa tekan yang berkembang disekitar ujung retak ketika beban dihilangkan [David Broek, 1978].

Salah satu cara memperkuat produk tersebut adalah dengan proses *shot peening* yang bertujuan untuk menambahkan tegangan sisa pada permukaan untuk mengurangi *fatigue* material yang terjadi. *Shot peening* adalah penembakan permukaan material dengan menggunakan bola logam (keras dan kecil). Bola-bola tersebut ditembakkan menggunakan *gun bluster* dengan tekanan dan kecepatan tertentu sehingga material akan membentuk cekungan akibat adanya tekanan yang cukup kuat.

Penelitian ini akan mengamati bagaimana pengaruh ukuran bola pada proses *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa dari aluminium *alloy* A5052. Aluminium *alloy* A5052 merupakan paduan aluminium dengan magnesium. Dengan fungsinya sebagai material konstruksi, sifat paduan aluminium harus bisa menahan beban besar. Penggunaan *shot peening* dengan paduan ini sangat sesuai dikarenakan material ini mengalami peningkatan kekuatan

pada proses pendinginan (*cold working* / modifikasi sifat material berdasarkan proses deformasi).

Terdapat banyak metode untuk menyelesaikan masalah engineering, salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method* / FEM). Simulasi komputer sebagai sarana mempermudah untuk mengetahui hasil dari *shot peening*. Kelebihan simulasi komputer adalah murah, hemat waktu, dan hasil yang diperoleh mendekati hasil pengujian (langkah simulasi dan nilai simulasi dilakukan dengan benar).

Berdasarkan penjelasan penulis di atas, maka diperlukan penelitian mengenai pengaruh ukuran bola pada proses *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa menggunakan pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi serta menggunakan spesimen *aluminium alloy A5052* dengan bola tembak berbahan baja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah penelitian yaitu bagaimana pengaruh diameter bola pada proses *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa tekan dengan simulasi berbasis elemen hingga pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas, maka dalam tulisan ini perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Software yang di gunakan adalah software berbasis elemen hingga.
2. Material diasumsikan sebagai *bilinear isotropic hardening*.
3. Simulasi di kondisikan tidak di pengaruhi oleh temperatur.
4. Distribusi tegangan sisa di tinjau dalam dua dimensi dan tiga dimensi.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter bola pada proses *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa yang terbentuk pada spesimen Aluminium Alloy A5052 dengan melakukan simulasi berbasis elemen hingga pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran tentang proses *shot peening* beserta fungsinya.
2. Memberikan pengetahuan atau masukan yang dapat di terapkan pada industri
3. Dapat digunakan sebagai literatur pada penelitian selanjutnya mengenai *shot peening*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Katsuji Tosha, dkk (2001) dalam penelitian berjudul “*Characteristic of shot peened surfaces and surface layers*” meneliti pada baja karbon sedang. Metode yang digunakan adalah pengujian, dimensi spesimen 25 x 25 x 11.5 mm variasi diameter bola 0,55, 1,1, 1,6, dan 2,2 mm serta variasi kecepatan penembakan 15, 20, 25, 30, dan 35 m/s. Didapatkan hasil bahwa semakin besar diameter bola dan semakin tinggi kecepatan maka kedalaman indentasi akan semakin jauh. Semakin dalam indentasi maka kekasaran permukaan yang terjadi semakin tinggi.

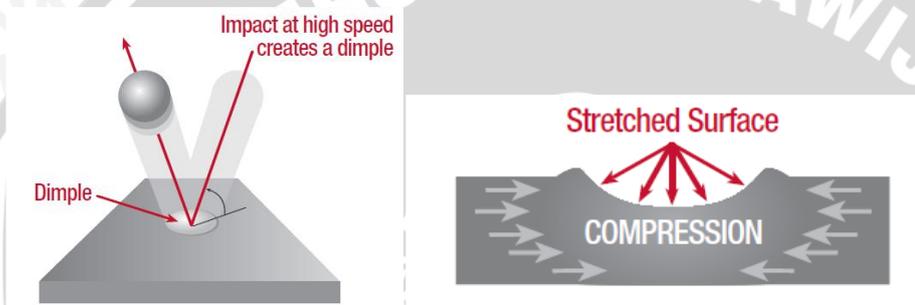
S.A. Meguid, dkk (1998) dalam penelitian berjudul “*Three-dimensional dynamic finite element analysis of shot-peening induced residual stress*” meneliti pada bahan AISI 316L stainless steel yang dilakukan single shot peening. Metode yang digunakan adalah simulasi pada ANSYS 5.3, dimensi spesimen bergantung dengan radius bola / R (lebar spesimen= 7 x R, tinggi= 4 x R, dan tebal= 5 x R) dengan variasi kecepatan 50, 75, dan 100 m/s serta variasi diameter bola 0,5, 1, dan 2 mm. Didapatkan hasil bahwa semakin tinggi kecepatan maka deformasi plastis akan semakin dalam dan diameter bola semakin besar maka volume deformasi plastis akan semakin besar.

Sun dkk (2014) dalam penelitiannya “*Evolution of microstructure and properties of 2196 Al-Li alloy induced by shot peening*”, menjelaskan tentang perubahan pada struktur mikro dan *mechanical properties* pada 2196 Al-Li alloy setelah dilakukan *shot peening* dengan mengukur permukaan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil yang disampaikan adalah setelah *shot peening* dilakukan kompresi tegangan sisa dibawah permukaan terbentuk dan topografi permukaan berubah. Kompresi tegangan sisa merupakan efek yang bermanfaat untuk meningkatkan sifat mekanik komponen yang di *shot peening*.

2.2 Shot Peening

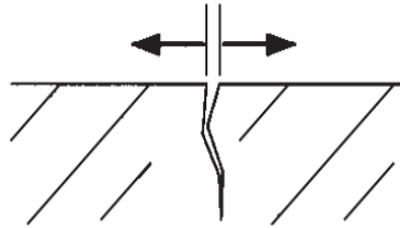
2.2.1 Proses shot peening

Shot peening adalah salah satu proses pengerjaan dingin dengan suhu dibawah rekristalisasi (723°C) dimana permukaan material ditembakkan dengan bola kecil dan berkecepatan tinggi. Setiap dari tembakan seperti palu yang ditumbuk tipis menghantam permukaan logam yang mengakibatkan indensasi kecil atau cekungan pada permukaannya. Cekungan dapat terbentuk apabila lapisan permukaan logam berada pada tegangan *yield*. Pada bagian bawah permukaan, serat-serat yang terkompresi mencoba untuk membentuk permukaan semula menjadi setengah bulatan (*hemisphere*) akibat proses pendinginan logam pada kompresi tinggi. Cekungan yang saling menimpa menghasilkan tegangan sisa. Mekanisme *shot peening* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mekanisme *Shot Peening*
Sumber : Wahyutama (2015)

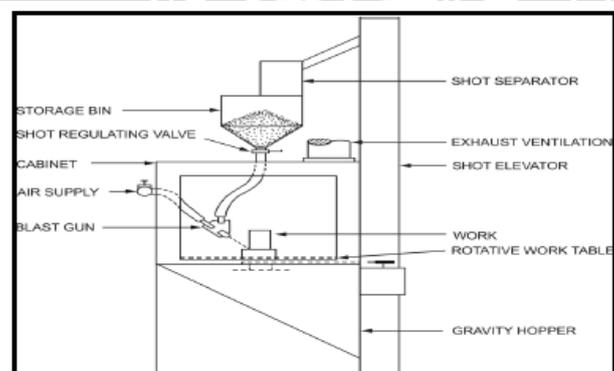
Kerusakan jangka panjang umumnya disebabkan oleh tegangan tarik. Tegangan tersebut dapat terjadi dari pembebanan berlebih ataupun sisa tegangan saat proses produksi seperti pengelasan, penggilingan, pemesinan. Tegangan tarik meregang atau merusak permukaan yang dapat menyebabkan terjadinya retakan (*crack*) seperti terlihat pada gambar 2.2. Kompresi tegangan menekan batas-batas butir permukaan secara bersamaan dan secara signifikan menunda terjadinya retakan lelah (*fatigue crack*). Dikarenakan penambahan retakan (*crack*) melambat pada lapisan yang terkena tekanan, maka penambahan kedalaman lapisan tersebut dapat meningkatkan ketahanan retakan (*crack resistance*). *Shot peening* adalah metode yang paling ekonomis dan mudah untuk menjaga sisa kompresi tegangan pada permukaan.



Gambar 2.2 Terjadinya retakan melalui tegangan tarik
Sumber : Lauchner (1974)

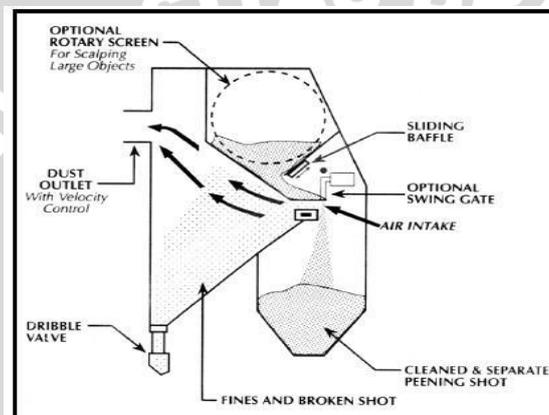
2.2.2 Mesin *Shot Peening*

Meskipun *peening* dan *abrasive blast cleaning* dapat dilakukan di ruangan khusus yang disebut *blast room*, namun *shot peening* sering dilakukan pada bifet khusus (*special cabinet*) yang didesain untuk keselamatan dari pantulan media dan menyediakan pengarah aliran *shot blast* terlihat seperti gambar 2.3. Tembakan (*shot*) dapat dilakukan menggunakan roda sentrifugal yang berputar atau menggunakan *air blast nozzle*. *Wheel peening* sering digunakan untuk produksi skala besar, khususnya di industri otomotif. *Airblast* digunakan untuk tingkat produksi skala kecil dan toleransi yang minim sangat dibutuhkan, khususnya pada industri pesawat terbang.



Gambar 2.3 *Gravity nozzle machine*
Sumber : Campaigne (2001)

Peralatan lain sangat diperlukan untuk melengkapi mesin yang berfungsi untuk mendaur ulang media, sebagai pembersih debu dan membuang media yang rusak. Media harus dikumpulkan dari bawah mesin dan dipindahkan, dengan menggunakan *pneumatic conveyor* ataupun elevator ember (*bucket elevator*) menuju tempat pengelompokan media. Sistem pneumatik memiliki tabung pemisah (*cyclone separator*) yang mengaduk campuran udara dan media dalam aliran dimana media yang lebih berat dapat dikeluarkan dan digunakan kembali. media yang rusak akan dikeluarkan menuju tempat pembuangan. Sistem elevator ember akan mengeluarkan media menuju aliran udara yang akan menghempaskan media yang rusak, debu dan mengirim mereka ke tempat pembuangan. Lalu media yang masih bagus akan kembali ke penyimpanan untuk penggunaan kembali seperti pada gambar 2.4.



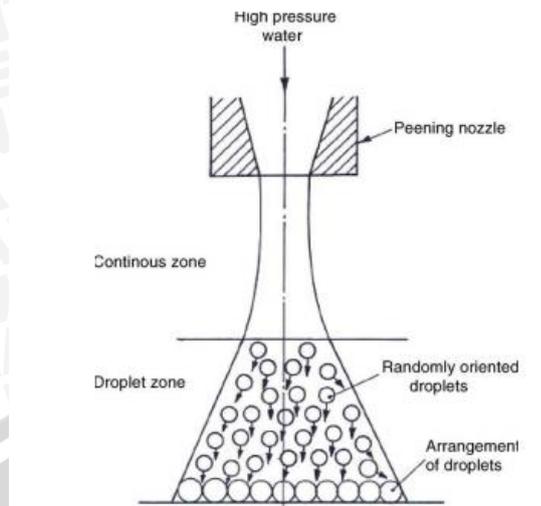
Gambar 2.4 Air wash separator
Sumber : Jack Campaigne (2001)

2.2.3 Klasifikasi proses *shot peening*

Secara umum proses *shot peening* dapat diklarifikasi menjadi lima proses, yaitu:

1. *Water Jet Peening*

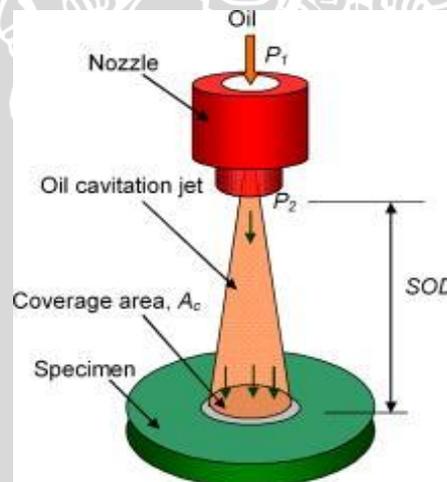
Water Jet Peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin. Metode *Water Jet Peening* adalah menembakkan permukaan spesimen dengan media *shot* pada air yang bercepatan tinggi. Tumbukan yang terjadi mengakibatkan deformasi di permukaan spesimen seperti yang terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema proses *Water Jet Peening*
Sumber : Haris (2013)

2. *Oil Jet Peening*

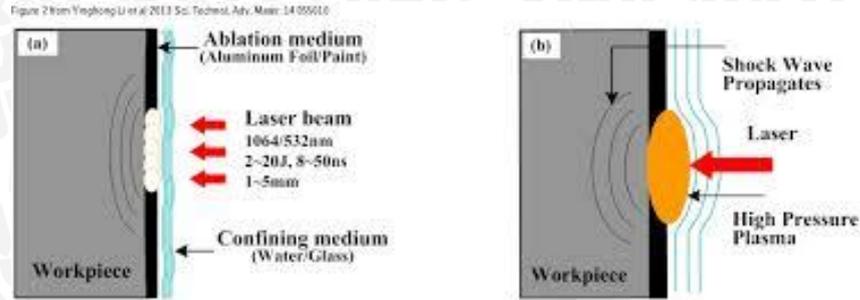
Oil jet Peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin. Prinsip kerja *Oil jet Peening* sama dengan *Water Jet Peening*, namun *Oil Jet Peening* menggunakan minyak seperti pada gambar 2.6. Kelebihan dari penggunaan minyak dapat memberikan tegangan tekan pada permukaan spesimen tanpa mengubah bentuk permukaan spesimen.



Gambar 2.6 Skema proses *Oil Jet Peening*
Sumber : Grinspan (2009)

3. *Ultrasonic Shot Peening*

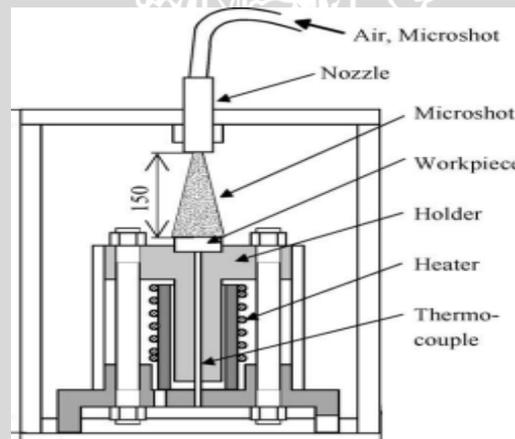
Ultrasonic shot peening (USP) merupakan metode pengerjaan dingin yang memanfaatkan frekuensi getaran gelombang *ultra sonic* untuk menembakkan permukaan spesimen terlihat seperti pada gambar 2.7. Frekuensi getaran *ultra sonic* tersebut dapat mengakibatkan jumlah tumbukan yang tinggi dalam waktu singkat pada permukaan spesimen.



Gambar 2.7 Skema proses *Ultrasonic Shot Peening*
Sumber : Grispan (2009)

4. *Micro Shot Peening*

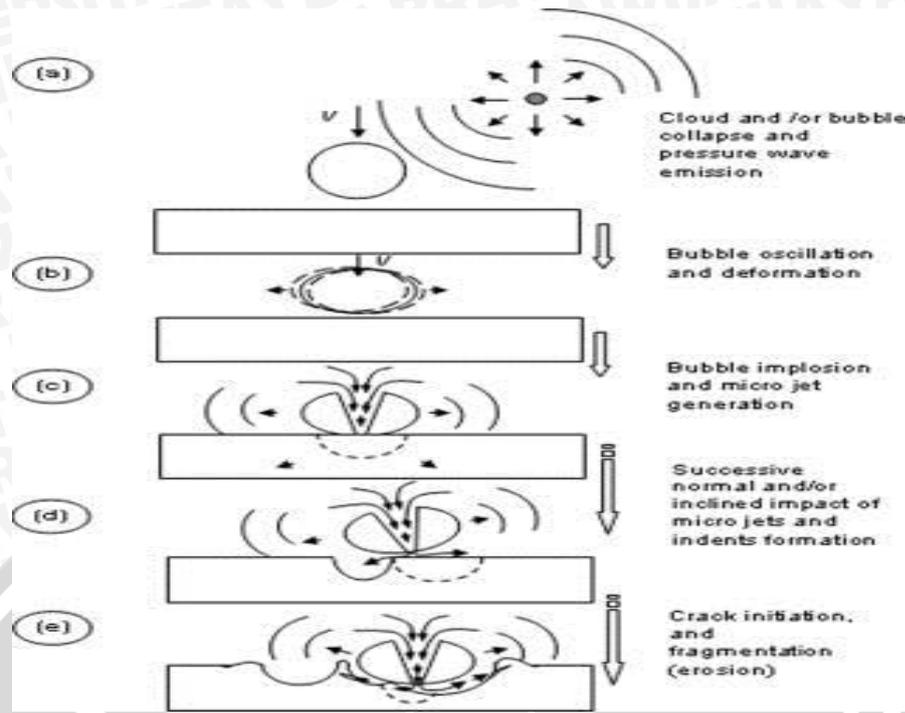
Micro Shot Peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin dimana bola-bola baja dengan diameter antara 0.03 sampai 0.5 mm ditembakkan ke permukaan spesimen menggunakan tekanan udara terlihat seperti pada gambar 2.8. Bola-bola tersebut (*shot media*) yang sering digunakan terbuat dari baja, keramik, titanium, besi, dan *Stainless Steel*.



Gambar 2.8 Skema proses *Micro Shot Peening*
Sumber : Haris (2013)

5. *Cavitation Shotless Peening*

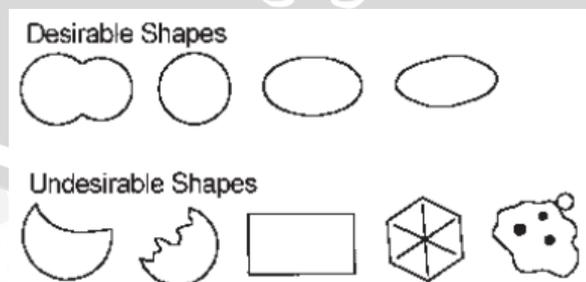
Cavitation shotless peening merupakan metode pengerjaan dingin pada permukaan spesimen dengan memanfaatkan proses kavitasi. Terbentuknya gelembung-gelembung air akibat proses kavitasi tersebut bertumbukan dengan permukaan spesimen. Metode *Cavitation Shotless Peening* merupakan proses *shot peening* tanpa menggunakan media *shot* terlihat seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema proses *Cavitation Shotless Peening*
 Sumber : Grinspan (2009)

2.2.3 Media shot peening

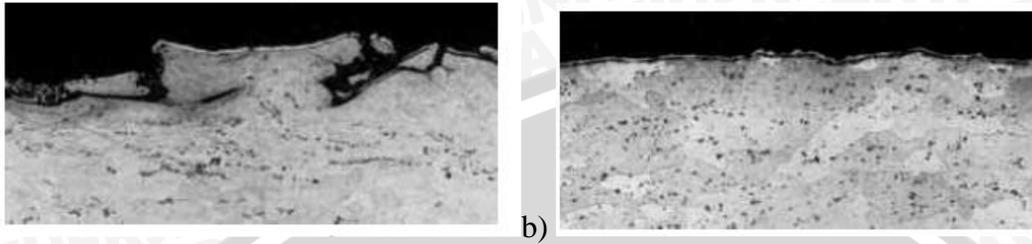
Media yang digunakan pada *shot peening* yaitu *air blast system (ABS)*, dan *centrifugal blast wheels (CBW)*. *Shot peening* terdiri dari bola baja cor kecil (*small spheres of cast steel*), kabel baja karbon yang dipotong (*carbon steel cut wire*), keramik atau kaca. Material yang sering digunakan adalah baja karbon. *Stainless Steel* media digunakan ketika lapisan pada permukaan komponen mengandung besi. *Carbon steel cut wire*, digunakan untuk komponen yang hampir berbentuk bulat. Bola kaca juga digunakan jika terdapat campuran besi. Bola kaca umumnya lebih kecil dan lebih ringan dibandingkan dengan media lainnya dan dapat digunakan pada material yang memiliki intensitas sangat rendah.



Gambar 2.10 Media yang bisa digunakan dan tidak
 Sumber : Lauchner (1974)

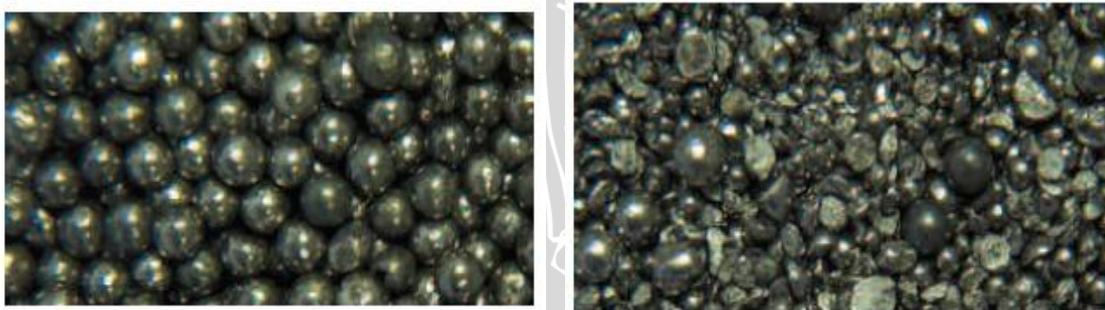
Bentuk bentuk media yang dapat digunakan dalam *shot peening* ditunjukkan pada Gambar 2.10. Media *shot peening* harus mendekati bentuk bulat. Ketika media rusak setelah

digunakan, media tersebut harus dibuang guna menghindari kerusakan permukaan saat terjadi *impact*. Gambar 2.11 (perbesaran 100x) a) menunjukkan kerusakan permukaan dan keretakan dari penggunaan media yang telah rusak dan b) menunjukkan permukaan dengan penggunaan media yang benar.



Gambar 2.11 a) Menggunakan media yang rusak dan b) Menggunakan media yang bagus
Sumber : Jack Campaign (2001)

Media *shot peening* harus memiliki diameter sama. Tumbukan (*impact*) yang dihasilkan oleh media dipengaruhi oleh massanya dan kecepatannya. Media yang lebih besar memiliki massa yang besar dan menghasilkan *impact* yang besar pula. Jika media dengan berbagai ukuran dicampur untuk *shot peening*, media yang lebih besar akan membuat kompresi lapisan sisa (*residual compressive layer*) yang lebih dalam. Pencampuran tersebut akan menghasilkan kompresi lapisan sisa yang tidak seragam dan akan menghasilkan kelelahan (*fatigue*) yang tidak sesuai. Gambar 2.12 a) menunjukkan kelompok media dengan ukuran dan bentuk yang seragam dan b) kelompok media yang tidak beraturan.



(a)

(b)

Gambar 2.12 Media *Ball Shot Peening* a) seragam dan b) tidak beraturan
Sumber : Campaign (2001)

Shot number adalah ukuran tembak yang dinyatakan dalam inchi 1/10000 inchi diameter untuk cast steel.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Shot Number*

Shot No.	Screen No. (RR-S-366)	Clearance	
		mm	Inch
S-930	16	1,191	0,0469
S-780	18	1	0,0394
S-660	20	0,84	0,0331
S-550	25	0,711	0,028
S-460	30	0,589	0,0232
S-390	35	0,5	0,0197
S-330	40	0,416	0,0165
S-280	45	0,35	0,0138
S-230	50	0,297	0,0117
S-190	60	0,249	0,0098
S-170	70	0,21	0,0083
S-130	80	0,178	0,007
S-110	120	0,124	0,0049
S-70	170	0,089	0,0035

2.3 Impuls dan Momentum

Sebuah partikel bermassa m yang bergerak dalam bidang $-xy$ dan mengalami gaya resultan F yang besar dan arahnya dapat berubah. Kalau kecepatannya masih dalam batas kecepatan *nonrelativistik*, dimana massa benda m adalah konstan, maka berdasarkan hukum kedua Newton pada setiap saat

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad (2-1)$$

Atau

$$F dt = m dv \quad (2-2)$$

Kalau v_1 adalah kecepatan ketika $t=t_1$, dan v_2 kecepatan $t=t_2$, maka akibatnya

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt = \int_{v_1}^{v_2} m dv \quad (2-3)$$

Bentuk integral di ruas kiri dinamakan impuls gaya F dalam selang waktu t_1-t_2 dan merupakan besaran vektor :

$$\text{Impuls} = \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad (2-4)$$

Integral ini tentulah dapat dihitung hanya apabila gaya diketahui sebagai fungsi dari waktu. Akan tetapi bentuk integral di ruas kanan selalu memberikan hasil

$$\int_{v_1}^{v_2} m dv = mv_2 - mv_1 \quad (2-5)$$

Hasil kali massa sebuah partikel dengan kecepatannya dinamakan momentum linier partikel itu, dan juga merupakan besaran vektor. Besar dan arah impuls vektor gaya resultan terhadap sebuah partikel, dalam sembarang selang waktu sama dengan besar dan arah perubahan vektor momentum partikel yang bersangkutan. Fakta ini dikenal sebagai asas impuls-momentum. Penerapan asas impuls-momentum terutama berguna pada gaya yang bekerja sejenak saja, misalnya gaya yang timbul akibat tumbukan atau ledakan. Atau istilah lain disebut gaya impuls.

Artinya, impuls suatu gaya konstan sama dengan hasil kali gaya dan selang waktu kerja gaya itu. Perubahan vektor momentum akibat kerja gaya semacam ini, $(mv_2 - mv_1)$ sama arahnya dengan arah gaya bersangkutan.

$$Ft = mv_2 - mv_1 \quad (2-6)$$

Impuls komponen suatu gaya atau impuls gaya yang arahnya konstan dapat dilukiskan secara grafik dengan memplot gaya dalam arah vertikal dan waktu dalam arah horisontal. Luas daerah dibawah garis lengkung yang dibatasi oleh garis-garis vertikal melalui t_1 dan t_2 sama dengan impuls gaya dalam selang waktu ini.

Jika impuls gaya adalah positif, momentum benda terhadap mana gaya itu bekerja akan bertambah secara aljabar. Jika impuls negatif, momentum itu akan berkurang. Jika impuls nol, maka momentum tidak berubah.

2.4 Tegangan dan Regangan

2.4.1 Tegangan (*Stress*)

Setiap material memiliki sifat elastis alaminya. Karena itu apabila material tersebut terkena gaya luar, maka benda tersebut akan mengalami deformasi. Ketika material tersebut mengalami deformasi, terbentuk suatu tahanan terhadap deformasi. Tahanan per satuan luas disebut juga tegangan. Tegangan adalah suatu ukuran intensitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dan dibagi oleh luas di tempat gaya tersebut bekerja (Iremonger, 1990). Dapat dirumuskan sebagai berikut :

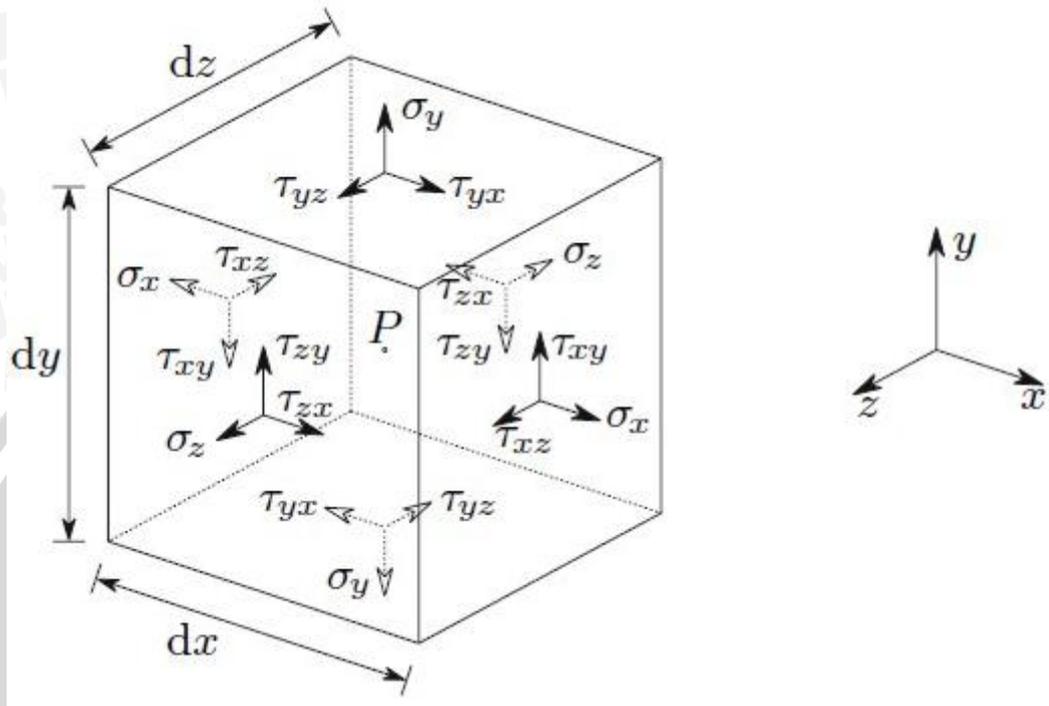
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-7)$$

Keterangan : σ = besarnya tegangan (Pascal)

P = besarnya gaya yang bekerja (N)

A = luas penampang (m^2)

Tegangan juga dapat terjadi di bidang. Secara umum tegangan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu tegangan normal (*normal stress*), tegangan tekan (*compression stress*) dan tegangan geser (*shear stress*). Hal ini dapat ditunjukkan dapat ditunjukkan pada gambar 2.13:



Gambar 2.13 Tegangan pada bidang kubus
Sumber : Knight (2000)

Penulisan tegangan pada setiap titik dapat dilakukan dengan penulisan tensorial dengan matriks sebagai berikut :

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_{yy} & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

Arti dari penulisan tensorial matriks tersebut adalah indeks pertama menyatakan bidang tempat tegangan tersebut bekerja dan indeks kedua menyatakan arah tegangan tersebut. Tegangan dengan indeks pertama dan kedua sama merupakan tegangan normal, sedangkan indeks lainnya merupakan tegangan geser. Tegangan normal bernilai positif bila merupakan tegangan tarik dan tegangan normal bernilai negatif bila merupakan tegangan kompresi. Untuk tegangan geser bernilai positif bila mempunyai kecenderungan memutar elemen kubus searah jarum jam dan tegangan geser bernilai negatif bila cenderung memutar elemen kubus berlawanan arah jarum jam.

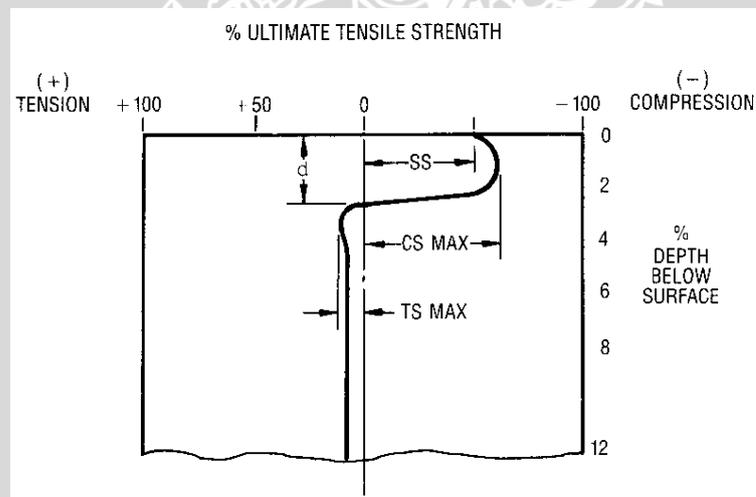
2.4.2 Tegangan Sisa

Tegangan sisa (*residual stress*) adalah tegangan yang masih bekerja pada suatu benda meskipun beban luar yang diberikan telah dihilangkan. Berdasarkan arahnya, tegangan sisa dapat dibagi menjadi dua, yaitu tegangan sisa tarik dan tegangan sisa tekan.

Kedua tegangan itu selalu berada pada kondisi seimbang statik, artinya penjumlahan gaya akibat kedua tegangan tersebut selalu sama dengan nol. Tegangan sisa dapat berpengaruh terhadap sifat material, terutama ketahanan korosi dan umur lelah (*fatigue less*). Tegangan sisa tekan pada permukaan akan meningkatkan ketahanan korosi tegangan (*stress corrosion*) dan umur lelah sedangkan tegangan sisa tarik berakibat sebaliknya.

Ada berbagai teknik yang digunakan dalam pembentukan tegangan sisa pada suatu struktur. Secara umum dibagi menjadi empat cara, yaitu cara mekanik, pelapisan, *thermal method*, dan proses pemesinan. Cara tersebut hampir dipakai pada semua logam tinggal memilih cara apa yang paling sesuai untuk suatu kondisi logam tertentu.

Contoh pembentukan tegangan sisa tekan dengan cara mekanik yaitu dengan memberikan beban pada material sampai terbentuk deformasi plastis pada daerah lokal.



Gambar 2.14 Profil tegangan sisa pada pelat
Sumber : Champagne (2001)

Keterangan :

- SS (*Surface Stress*) adalah tegangan yang diukur dari permukaan material setelah dikenai *shot peening*
- CS MAX (*Maximum Compressive Stress*) adalah tegangan sisa tekan yang paling tinggi dari keseluruhan tegangan yang terjadi (tegangan tekan sampai tegangan tarik tertinggi)

- c) D (*Depth*) adalah kedalaman tegangan tekan sampai ke tegangan netral (tegangan tekan melewati sumbu netral dan menjadi tegangan tarik pertama kali).
- d) TS MAX (*Maximum Tensile Stress*) adalah tegangan tarik tertinggi yang terbentuk karena adanya keseimbangan.

2.4.3 Regangan (*Strain*)

Regangan merupakan pertambahan panjang atau pemuaiian apabila suatu batang diberi gaya dari luar (Joseph E. Shigley, 1986). Regangan terjadi karena adanya gaya dari luar baik berupa gaya tarik ataupun gaya tekan. Regangan yang ditimbulkan dari gaya tarik disebut tensile strain sedangkan regangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan disebut compressive strain. Karena regangan adalah perbandingan antara dua ukuran panjang, maka regangan tidak memiliki dimensi (*dimension less quantity*). Regangan karena gaya tarik dapat ditulis dalam persamaan berikut :

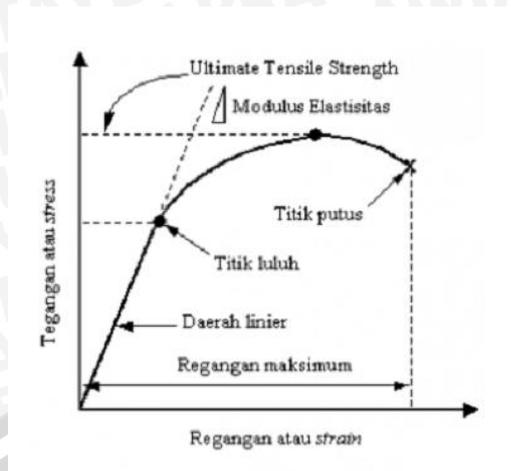
$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad (2-9)$$

Keterangan :
 ε = besarnya regangan
 δ = pertambahan panjang (m)
 l = panjang awal (m)

2.5 Deformasi

Deformasi adalah proses Bergeraknya atom dari posisi awal. Cekungan pada proses *shot peening* diakibatkan oleh material yang terdeformasi. Deformasi dibagi menjadi 2, yaitu: deformasi elastis dan deformasi plastis. Kedua deformasi terjadi pada permukaan yang terkena tembakan partikel.

Deformasi elastis adalah perubahan posisi atom pada pembebanan dibawah elastik, dimana atom sekelilingnya masih memiliki formasi yang sama dengan sebelum diberi beban dan atom akan kembali ke posisi semula jika beban dihilangkan serta tidak terjadi pemutusan ikatan kimia (saat tegangan luar diberi, jarak antar atom berubah dalam jumlah kecil sesuai dengan material dan struktur serta ikatannya). Sedangkan deformasi plastis adalah perubahan posisi atom karena terjadi slip yaitu atom bergeser, pergerakan atom sangat jauh dari posisi semula untuk melepaskan tegangan yang terjadi (berada pada susunan atom baru lainnya) dan atom tidak akan kembali keposisi semula apabila beban dihilangkan. Deformasi dipengaruhi oleh tegangan geser dan menyebabkan ukuran butir menjadi semakin kecil serta meningkatkan batas butir.



Gambar 2.15 Diagram Tegangan Regangan
Sumber : Nash (1998)

2.6 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Teknik perhitungan yang sangat besar dampaknya untuk menganalisis permasalahan yang rumit adalah metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan sarana yang ampuh untuk menentukan distribusi tegangan dan regangan pada keadaan tegangan bidang, regangan bidang dan kondisi simetri sumbu baik untuk keadaan keseimbangan maupun masalah deformasi tak seimbang. Konsep dasar elemen hingga adalah membagi struktur menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dengan dimensi berhingga (elemen hingga). Sedangkan struktur asli dianggap sebagai *assembly* dari elemen-elemen hingga tersebut, dihubungkan oleh *joint* dengan jumlah berhingga yang disebut *node* / titik. Rumus keseimbangan dari semua struktur didapat dari menggabungkan rumus keseimbangan dari tiap elemen pada tiap *node* / titik. Kondisi batas dibebankan pada struktur agar didapat variable yang diinginkan (tegangan, regangan, distribusi temperatur, kecepatan aliran, dll). Macam software berbasis FEM sangat banyak yaitu : MSC. NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, LSDYNA, dan lainnya.

Fungsi elemen hingga adalah mempermudah perhitungan suatu struktur. Akan tetapi jika suatu struktur memiliki dimensi yang besar dan bentuk yang rumit, tentu jelas akan merepotkan ketika harus dihitung satu persatu. Oleh karena itu dibuatlah program simulasi komputer (software) berbasis FEM. Software FEM banyak dipakai pada sipil, mesin, penerbangan, mikroelektrik, bioengineering maupun material. Tujuan utama dari analisa ini adalah untuk memperoleh nilai pendekatan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada struktur tersebut.

Ada dua pendekatan langsung yang digunakan di dalam MEH untuk menyelesaikan persoalan-persoalan pada mekanika struktur. Pendekatan pertama adalah yang disebut dengan

metode gaya atau fleksibilitas. Pada metode ini menggunakan gaya internal sebagai harga yang tidak diketahui dan selanjutnya dipecahkan. Metode yang kedua disebut sebagai metode perpindahan atau kekakuan yang mengasumsikan perpindahan pada node sebagai harga yang tidak diketahui dan selanjutnya dipecahkan. Dari kedua metode ini, metode kekakuan atau perpindahan banyak digunakan, karena formulasinya lebih sederhana untuk analisa struktur.

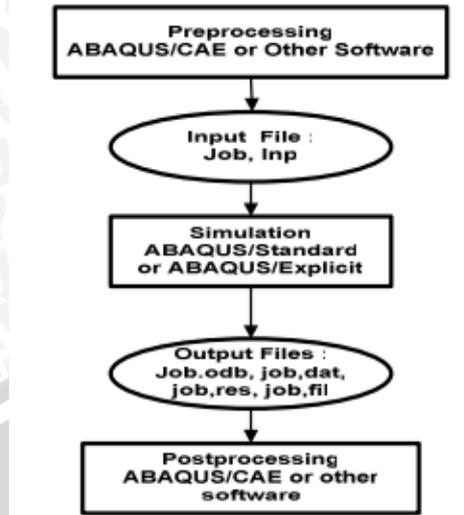
Prosedur perhitungan dengan Metode Elemen Hingga (MEH):

1. Diskretisasi dan pemilihan elemen
2. Memilih fungsi pendekatan
3. Menurunkan persamaan matrik kekakuan [k]
4. Menghitung matrik beban total
5. Merakit elemen menjadi struktur
6. Mendapatkan perpindahan global
7. Mendapatkan besaran sekunder dan interpretasi hasil

2.7 Software Berbasis Elemen Hingga

Software berbasis elemen hingga salah satunya yaitu ABAQUS. Software ABAQUS menyediakan program yang digunakan untuk pemodelan benda yang akan dianalisa dikenal dengan istilah ABAQUS CAE. Program ini berfungsi sebagai desain model yang akan dianalisa kekuatannya. ABAQUS mempunyai fasilitas CAD/CAM/CAE yang dapat difungsikan sebagai program analisa plastis dan elastis. Kelebihan ABAQUS dibanding dengan program lain sejenis adalah lengkapnya menu yang tersedia pada *part module*. Pengembangan bahasa program dalam ABAQUS memungkinkan para desainer lebih mudah dalam memilih metode yang digunakan dalam melakukan proses simulasi dan analisis (ABAQUS CAE User Manual, 2003).

Analisis ABAQUS secara lengkap biasanya terdiri dari tiga tingkat tertentu : *pre-processing* , simulasi, dan *post-processing* seperti yang ditunjukkan pada diagram berikut :



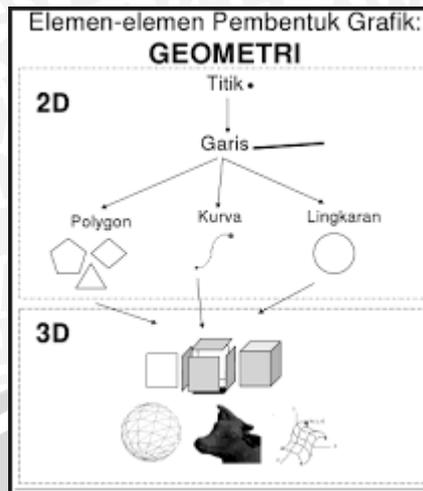
Gambar 2.16 Diagram Aliran Proses *Running*

Dengan mengikuti alur berfikir dari diagram diatas kita bisa mengatasi persoalan dengan cepat dan tepat. Sebagai program untuk desain dan analisis numerik ABAQUS mampu bekerja pada daerah plastis dan elastis dengan tampilan grafik yang berupa diagram linier-non linier yang lengkap.

2.8 Pemodelan 2D dan 3D

Pemodelan grafis adalah transformasi dari suatu konsep ke suatu model geometris yang bisa ditampilkan pada suatu geometris yang bisa ditampilkan pada suatu komputer bisa dalam bentuk , posisi, properties, dll. Umumnya menciptakan pemodelan matematika dari objek 2D dan 3D. Pemodelan benda (grafis) yang akan diuji bisa dibuat dengan berbagai macam cara tergantung dari pemakai sendiri. Model bisa digambar langsung di ABAQUS CAE. Sebelum memulai menggambarkan model yang akan dibuat, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mempersiapkan ukuran dari benda yang akan digambar. Dimensi dari model yang diukur diambil dari model yang sebenarnya sehingga diperoleh bentuk yang mendekati model sesungguhnya .

Penggambaran 2D merupakan bentuk dari benda yang memiliki panjang dan lebar. Grafik 2 dimensi menggunakan teknik penggambaran dimana memiliki patokan titik koordinat sumbu x dan sumbu y. Sedangkan penggambaran 3D merupakan bentuk dari benda yang memiliki panjang, lebar, dan tinggi. Perbedaan dari penggambaran 2D, penggambaran 3D memiliki 3 titik kordinat yaitu titik x, y, dan z.



Gambar 2.17 Bentuk pemodelan 2D dan 3D
Sumber : Bottomly (2013)

2.9 A5052 Alumunium Alloy

Alumunium sangat banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi struktural dan mekanis. Memiliki sifat utama diantaranya adalah berbobot ringan, ketahanan korosi yang baik, pembetukan dan pemesinan relatif mudah. Tabel 2.2 memuat kelompok-kelompok paduan yang umumnya digunakan.

Tabel.2.2 Kelompok paduan aluminium

Penandaan paduan (menurut unsur paduan utama)	
1xx	90,0% atau lebih kadar alumunium
2xxx	Tembaga
3xxx	Mangan
4xxx	Silikon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium dan silikon
7xxx	Seng

Sumber : Mott (2004:49)

Tabel.2.3 Komposisi kimia

No	Kandungan	Prosentase (%)
1	Magnesium	2.2 - 2.8
2	Chromium	0.15 – 0.35
3	Besi	0.4
4	Silikon	0.25
5	Timah	0.1
6	Tembaga	0.1
7	Mangan	0.1

Sumber : Wikipedia (2015)

Penandaan standar untuk paduan-paduan aluminium dibuat oleh Aluminium Association dengan menggunakan sistem empat digit . Digit pertama menunjukkan jenis paduan menurut unsur paduan utama . Digit kedua jika bukan nol maka menunjukkan modifikasi dari paduan lain atau pembatasan yang diberikan untuk kotoran dalam paduan. Adanya kotoran khususnya penting untuk konduktor listrik. Dalam tiap kelompok ada beberapa paduan khusus yang dinyatakan oleh dua digit terakhir dalam penandaan.

Sifat-sifat mekanis dari paduan aluminium sangat bergantung pada kondisinya. Karena itu, spesifikasi dari paduan tidak lengkap tanpa rujukan penemperannya. Daftar berikut ini menjelaskan penemperan yang biasa diberikan untuk paduan aluminium. Perhatikan bahwa beberapa paduan merespons perlakuan panas, dan lainnya diproses dengan pengerasan regangan (*strain hardening*). Pengerasan logam adalah pengerjaan dingin paduan yang terkendali dimana peningkatan pengerjaan akan menambah kekerasan dan kekuatan tetapi mengurangi keuletan. Penemperan umumnya seperti berikut.

F(fabrikan) : Tidak ada kontrol khusus terhadap sifat-sifat. Pembatasan sesungguhnya tidak diketahui. Penemperan akan diterima hanya jika komponen dapat teruji sepenuhnya dalam penggunaannya.

O(teranil) : Perlakuan panas yang menghasilkan kondisi kekuatan yang paling lunak dan paling rendah. Kadang ditetapkan untuk memperoleh bentuk paduan yang paling mudah dikerjakan. Komponen yang dihasilkan dapat diberikan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat-sifatnya jika terbuat dari paduan dalam seri 2xxx,4xxx,6xxx atau 7xxx. Pengerjaannya sendiri dapat memperbaiki sifat-sifat sama seperti yang dihasilkan oleh regangan pengerasan untuk paduan dalam seri 1xxx,3xxx, dan 5xxx.

H(dengan pengerasan-regangan) : Proses pengerjaan dingin dibawah kondisi terkendali yang menghasilkan sifat-sifat yang baik dan dapat diperkirakan untuk paduan dalam kelompok 1xxx, 3xxx, dan 5xxx. Semakin besar jumlah pengerjaan dingin semakin tinggi kekuatan dan kekerasan, meskipun keuletannya berkurang. Penandaan H diikuti oleh dua digit atau lebih (biasanya 12,14,16 atau 18)menunjukkan kekuatan yang semakin tinggi. Tetapi beberapa penandaan yang lain juga digunakan.

T(dengan perlakuan-panas) : Serangkaian proses pemanasan dan pendingina terkendali yang diterapkan pada panduan dala kelompok 2xxx,4xxx,6xxx dan 7xxx. Huruf T diikuti oleh satu nomor atau lebih untuk menunjukkan proses yang spesifik. Penandaan yang lebih umum untuk produk-produk mekanis dan struktural adalah T4 danT6.

A5052 *Aluminum Alloy* adalah paduan aluminum dengan nomor seri 5052. Paduan seri ini berbahan dasar alumunium dengan tambahan magnesium. Material ini biasa digunakan untuk aksesoris, material konstruksi, kapal laut, gerbong, kereta roda, roda gigi, bahan arsitektur dan yang lain (bergantung dengan penambahan unsur paduan). Paduan jenis ini tidak dapat diperlakukan panas (*non-heat treatable*) yang berarti tidak bisa dikenai proses pemanasan untuk merubah sifat fisik dan sifat mekanisnya. Material ini hanya bisa menerima proses *cold working* untuk merubah sifatnya. Maka dari itu A5052 *Alumunium Alloy* cocok sebagai material yang akan di *shot peening* pada penelitian ini.

2.10 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka dapat diambil hipotesis bahwa peningkatan diameter bola (*media shot*) pada proses *shot peening* mempengaruhi nilai tegangan sisa tekan. Sehingga semakin besar diameter bola menyebabkan peningkatan gaya kontak dan distribusi tegangan sisa. Selain itu, *impact* yang terjadi akan semakin meningkat.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer, yaitu melakukan studi untuk mencari hubungan sebab akibat dalam suatu proses melalui pengumpulan data dari berbagai sumber, kemudian data tersebut diolah dalam simulasi yaitu menggunakan software berbasis elemen hingga.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada waktu dan tempat sebagai berikut :

Tempat : Laboratorium Fenomena Dasar Mesin

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Waktu : Januari - Selesai

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol. Ketiga variabel penelitian dijelaskan dan dijabarkan :

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai dari variabel terikat, dan nilainya divariasikan oleh peneliti untuk mendapat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Pada penelitian ini variabel bebasnya adalah :

- a. Diameter bola (d) : 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 1,1 dan 2,1mm
- b. Simulasi 2D dan 3D

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas. Variabel ini akan diketahui besarnya setelah penelitian dilakukan. Pada penelitian ini, variabel terikatnya adalah distribusi tegangan sisa (*residual stress distribution*).

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dibuat konstan, dalam penelitian ini yang menjadi variabel terkontrol adalah:

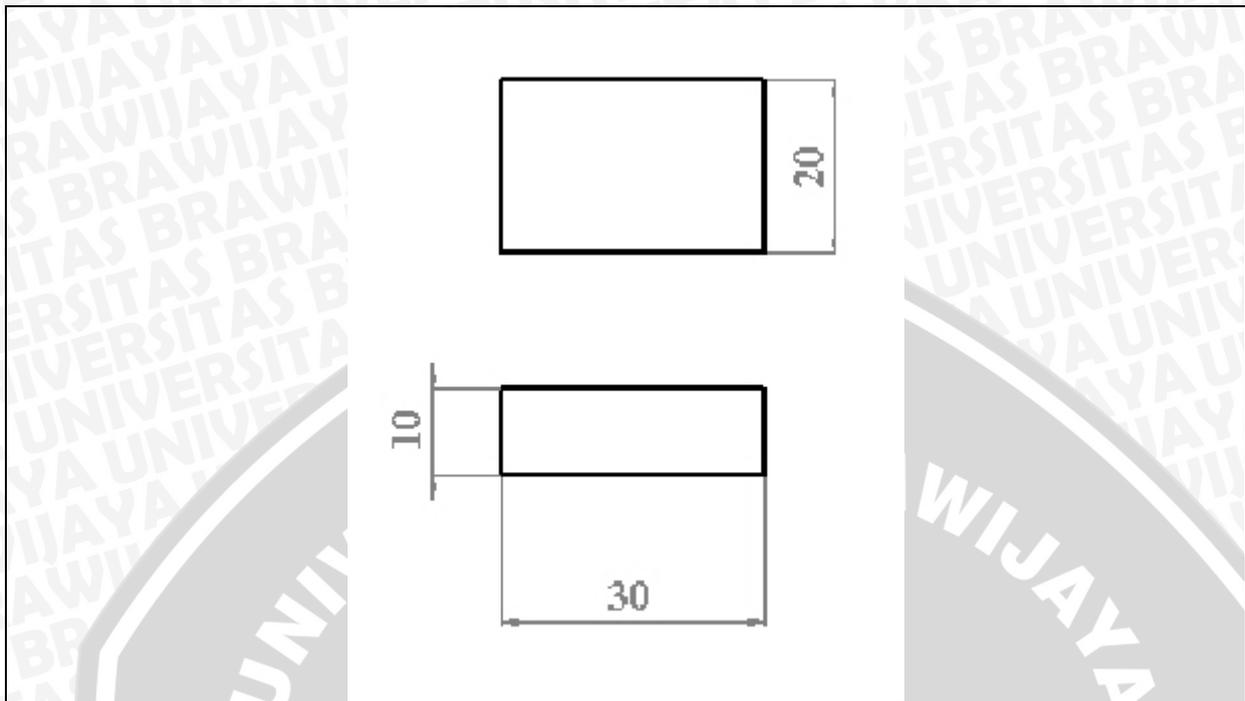
1. Material yang digunakan adalah *aluminum alloy* A5052
2. Dimensi spesimen 30 x 20 x 10 mm
3. Kecepatan adalah 50 m/s.
4. Tidak ada gaya sebelum dan sesudah *shot peening*.
5. Menggunakan proses *single shot peening*.
6. Suhu diabaikan.

3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

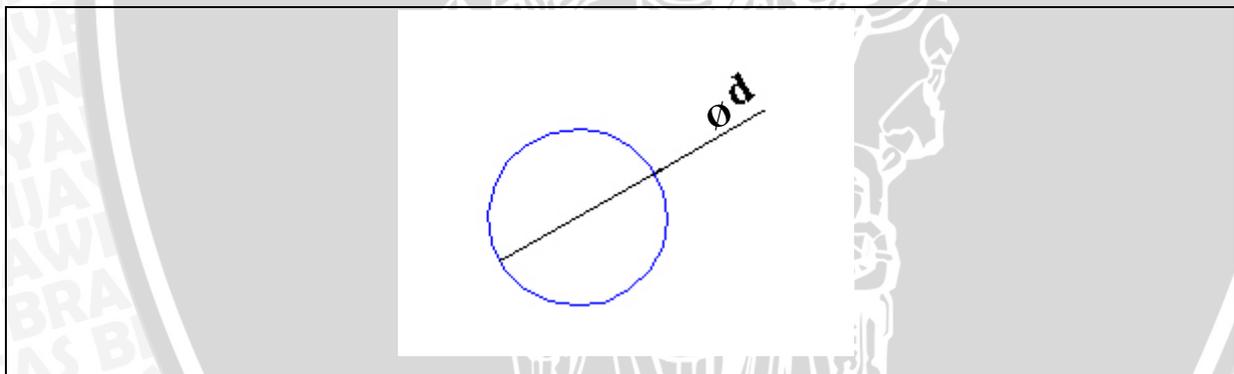
Peralatan dan bahan yang digunakan untuk penelitian adalah:

- a) Komputer dengan spesifikasi : OS = Microsoft Windows 7, System type = X64 – Based PC (64 bite), RAM = 4 GB
- b) Software analisis berbasis elemen hingga

3.5 Pemodelan Geometri



Gambar 3.1 Spesimen *aluminum alloy* A5052



Gambar 3.2 Bola tembak shot peening

3.6 Pemodelan Material

Pada pemodelan material, ditentukan material yang akan digunakan untuk memasukkan properties material. Untuk penelitian ini digunakan material paduan *aluminum alloy* A5052 dan material bola yaitu baja karbon. Spesifikasi material yang digunakan adalah sebagai berikut :

3.6.1 Material Spesimen

- Bahan : *Aluminium alloy* A5052
- Densitas : 2.68 g/cm³

- Yield Strength : 89.6 MPa
- Ultimate Tensile Strength : 195 MPa
- Young's Modulus : 70 GPa
- Poisson's Ratio : 0.33
- Komposisi kimia

Tabel 3.1 Komposisi kimia

No	Kandungan	Prosentase (%)
1	Magnesium	2.2 - 2.8
2	Chromium	0.15 - 0.35
3	Besi	0.4
4	Silikon	0.25
5	Timah	0.1
6	Tembaga	0.1
7	Mangan	0.1

Sumber : Wikipedia (2015)

3.6.2 Material Bola

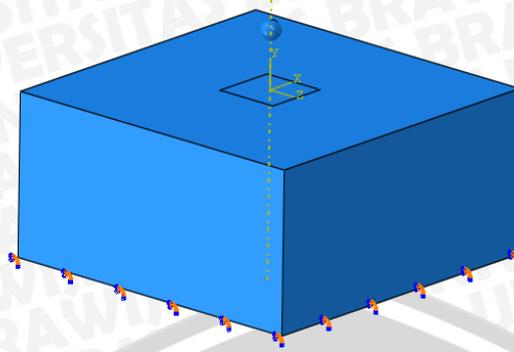
- Bahan : Baja karbon
- *Density* : 7,85 g/cm³
- *Yield Strength* : 130 MPa
- *Young's Modulus* : 207 GPa
- *Poisson's Ratio* : 0.27

3.7 Simulasi

3.7.1 Boundary Condition Pemodelan 3D

3.7.1.1 Tumpuan

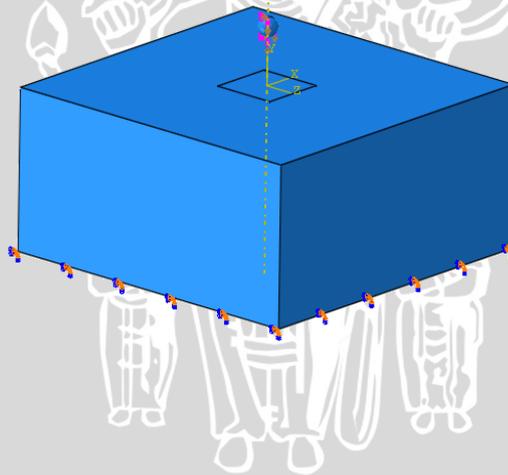
Setelah dilakukan pemodelan geometri dan memilih material, langkah selanjutnya yaitu menetapkan simulasi yang akan dilakukan. Sebelum simulasi dilakukan langkah berikutnya adalah menentukan jenis tumpuan (engsel, rol, atau jepit) dan letak tumpuan pada spesimen.



Gambar 3.3 Tumpuan

3.7.1.2 Kecepatan

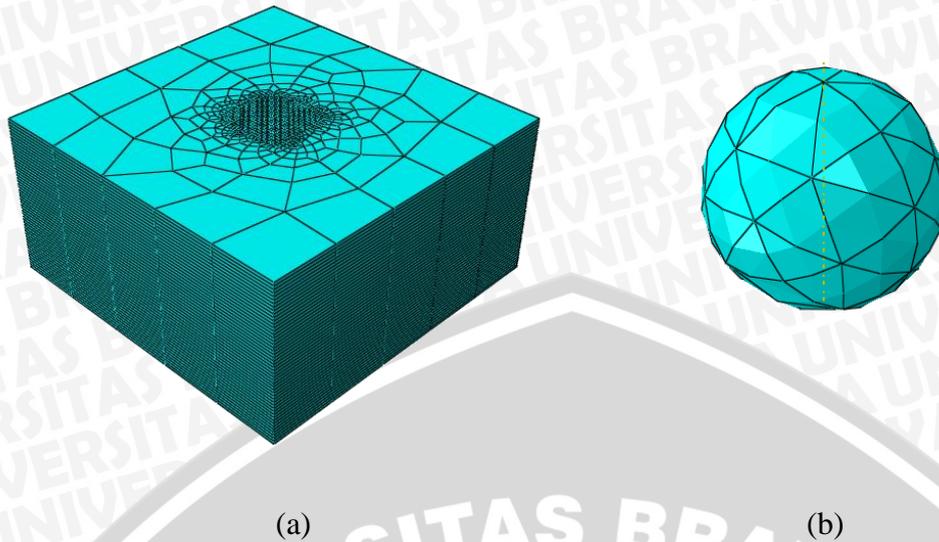
Setelah dilakukan pemodelan tumpuan, langkah selanjutnya yaitu menetapkan kecepatan yang bekerja pada simulasi yang akan dilakukan. Penentuan gaya bukan ditentukan oleh besaran gaya dan tekanan, tetapi menggunakan kecepatan sebagai panduan.



Gambar 3.4 Kecepatan

3.7.1.3 Meshing

Meshing berfungsi untuk mendapatkan hasil simulasi benda yang sesuai dengan eksperimen secara nyata. Semakin kecil *meshing* yang dilakukan maka semakin halus hasil simulasi benda dan memiliki ketelitian yang lebih baik.

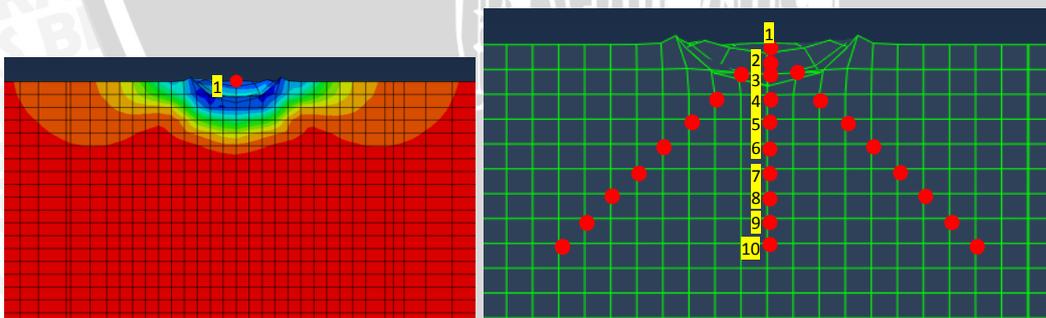


Gambar 3.5 *Meshing* (a) Spesimen (b) bola tembak

3.7.1.4 Pengambilan Data

Dilakukan dengan cara :

- Merubah arah tampilan dari sumbu x atau sumbu z (sumbu y adalah tinggi benda).
- Memotong benda menjadi tampilan setengah. Atur kesesuaian potongan agar semua titik bisa dipilih.
- Mengubah bentuk tampilan hasil menjadi *minimal principal stress*.
- Memastikan deformasi yang dipakai adalah 1.
- Memperhalus sebaran warna.
- Memilih titik-titik yang membentuk garis lurus kebawah (tengah) maupun dengan sudut 45° (kiri dan kanan). Besar nilai titik yang dipilih, kedalamannya harus sama agar bisa dibandingkan.



Gambar 3.6 (A) *principal stress*, (B) penentuan titik kiri, tengah dan kanan

3.7.2 Boundary Condition pemodelan 2D

3.7.2.1 Tumpuan

Setelah dilakukan pemodelan geometri dan memilih material, langkah selanjutnya yaitu menetapkan simulasi yang akan dilakukan. Sebelum simulasi dilakukan langkah berikutnya adalah menentukan jenis tumpuan (engsel, rol, atau jepit) dan letak tumpuan pada spesimen.



Gambar 3.7 Tumpuan

3.7.2.2 Kecepatan

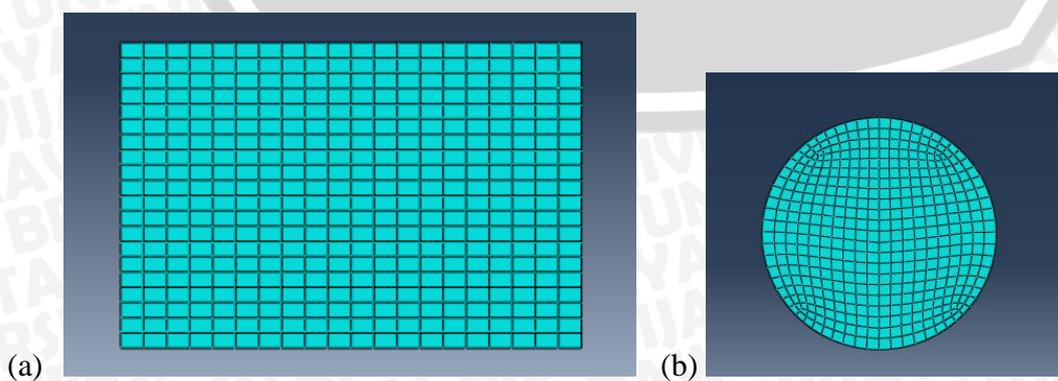
Setelah dilakukan pemodelan tumpuan, langkah selanjutnya yaitu menetapkan kecepatan yang bekerja pada simulasi yang akan dilakukan. Penentuan gaya bukan ditentukan oleh besaran gaya dan tekanan, tetapi menggunakan kecepatan sebagai panduan.



Gambar 3.8 Kecepatan

3.7.2.3 Meshing

Meshing berfungsi untuk mendapatkan hasil simulasi benda yang sesuai dengan eksperimen secara nyata. Semakin kecil *meshing* yang dilakukan maka semakin halus hasil simulasi benda dan memiliki ketelitian yang lebih baik



(a)

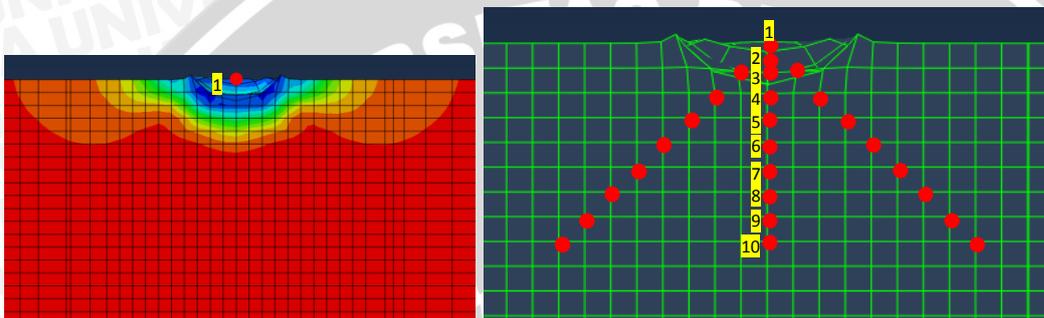
(b)

Gambar 3.9 Meshing (a) Spesimen (b) *shot ball*

3.7.2.4 Pengambilan Data

Dilakukan dengan cara :

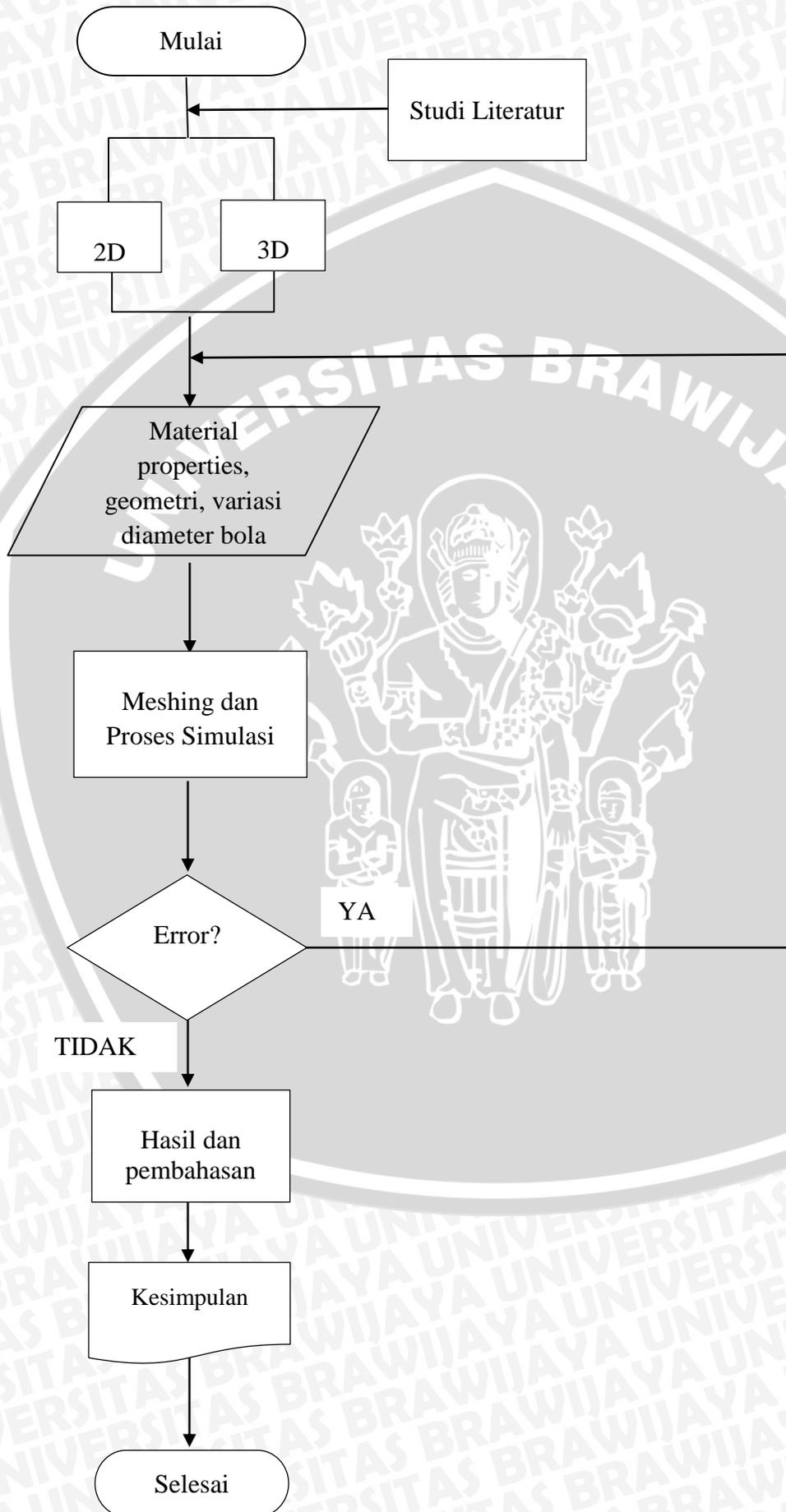
- Mengubah bentuk tampilan hasil menjadi *minimal principal stress* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.9 A
- Memastikan deformasi yang dipakai adalah 1.
- Memperhalus sebaran warna terhadap material yang terdeformasi.
- Memilih titik-titik yang membentuk garis lurus kebawah (tengah) ke arah sumbu y. Besar nilai titik yang dipilih, kedalamannya harus sama agar bisa dibandingkan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.9 B
-

Gambar 3.9 (A) *principal stress*, (B) penentuan titik kiri, tengah dan kanan

3.7.3 Langkah *Shot peening*

- Bola dengan diameter yang ditentukan (0,3mm, 0,4mm, 0,5mm, 0,6mm, 0,7mm, 1,1mm dan 2,1mm) berada pada kondisi awal (tidak memiliki kecepatan)
- Bola ditembakkan menuju ke permukaan spesimen dengan kecepatan yang ditentukan (50 m/s)
- Bola diarahkan keluar dari permukaan spesimen (bola kembali pada posisi awal)
- Lakukan langkah 1 sampai 3 secara berulang sesuai dengan diameter yang telah ditentukan.

3.8 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Pengambilan Data Pemodelan Tiga Dimensi

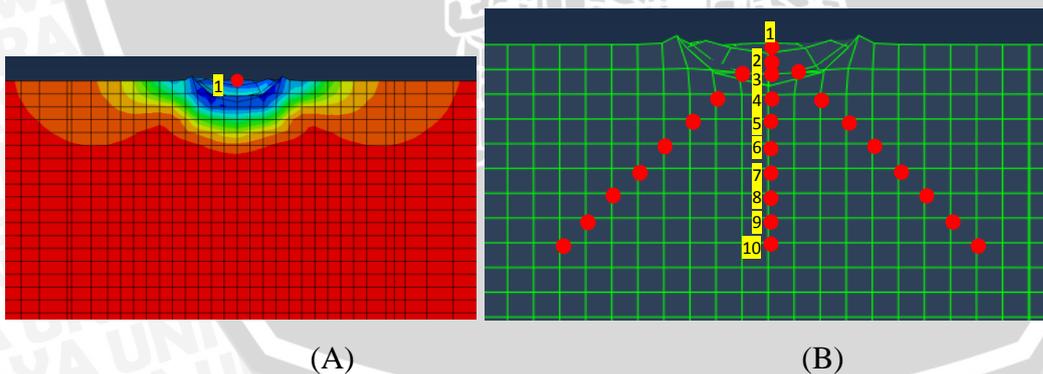
Dilakukan dengan cara :

- Merubah arah tampilan dari sumbu x atau sumbu z (sumbu y adalah tinggi benda).
- Memotong benda menjadi tampilan setengah. Atur kesesuaian potongan agar semua titik bisa dipilih.
- Mengubah bentuk tampilan hasil menjadi *minimal principal stress*.
- Memastikan deformasi yang dipakai adalah 1.
- Memperhalus sebaran warna.
- Memilih titik-titik yang membentuk garis lurus kebawah (tengah) maupun dengan sudut 45° (kiri dan kanan). Besar nilai titik yang dipilih, kedalamannya harus sama agar bisa dibandingkan.

4.1.2 Pengambilan Data Pemodelan Dua Dimensi

Dilakukan dengan cara :

- Mengubah bentuk tampilan hasil menjadi *minimal principal stress* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 A
- Memastikan deformasi yang dipakai adalah 1.
- Memperhalus sebaran warna terhadap material yang terdeformasi.
- Memilih titik-titik yang membentuk garis lurus kebawah (tengah) ke arah sumbu y. Besar nilai titik yang dipilih, kedalamannya harus sama agar bisa dibandingkan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 B



Gambar 4.1 (A) *principal stress*, (B) penentuan titik kiri, tengah dan kanan

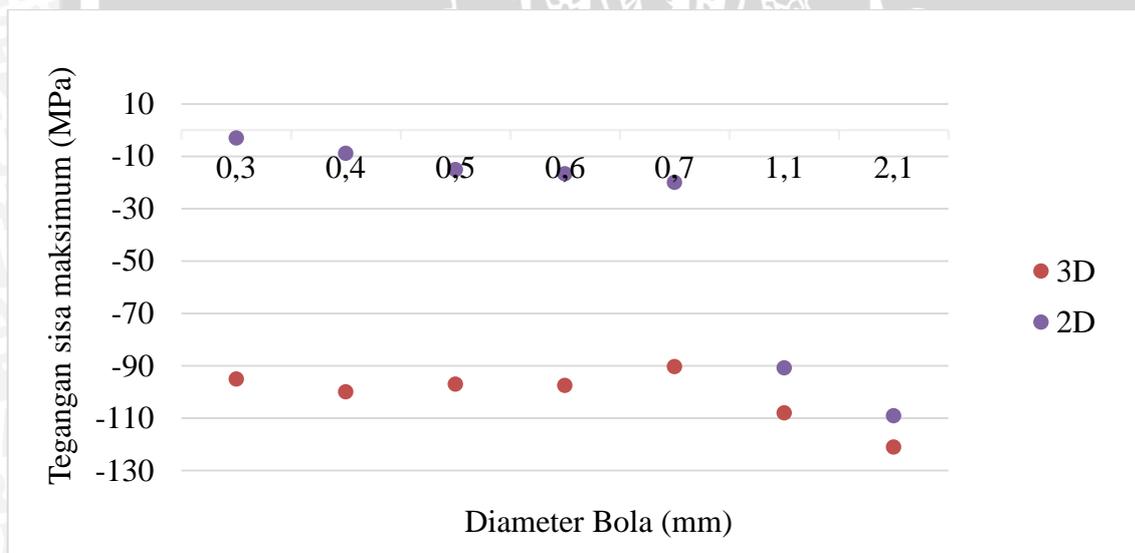
4.2 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

Simulasi *shot peening* ini dilakukan dengan menggunakan *software* komputer berbasis elemen hingga pemodelan tiga dimensi dan pemodelan dua dimensi, hal ini dilakukan karena spesimen mengalami distribusi tegangan sisa pada permukaan setelah dilakukan *shot peening*. Simulasi dilakukan di daerah tengah setiap spesimen, dengan mengambil titik secara acak. Berikut hasil simulasi Aluminium Alloy A5052 yang ditunjukkan pada lampiran 1 dan lampiran 2 (LAMPIRAN)

4.3 Pembahasan

4.3.1 Hubungan Diameter Bola Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 2D dan 3D

Setelah mendapatkan hasil simulasi pada spesimen Aluminium Alloy A5052 dengan menggunakan *software* komputer berbasis elemen hingga seperti pada lampiran 1 dan 2 dan diketahui nilai tegangan sisa maksimum (kedalaman 0,1mm) pada setiap diameter bola.



Gambar 4.2 Grafik hubungan diameter bola terhadap tegangan sisa pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi

Gambar 4.2 merupakan grafik pengaruh diameter bola terhadap tegangan sisa yang terjadi pada spesimen. Pada grafik dapat dilihat bahwa diameter bola mempengaruhi distribusi tegangan sisa pada spesimen dengan variasi yaitu 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 1,1 dan 2,1 mm. Sudut yang digunakan yaitu 0° dan kecepatannya sebesar 50 m/s. Didapatkan bahwa semakin besar diameter bola maka nilai tegangan sisa tekan semakin meningkat baik pemodelan tiga dimensi maupun pemodelan dua dimensi.

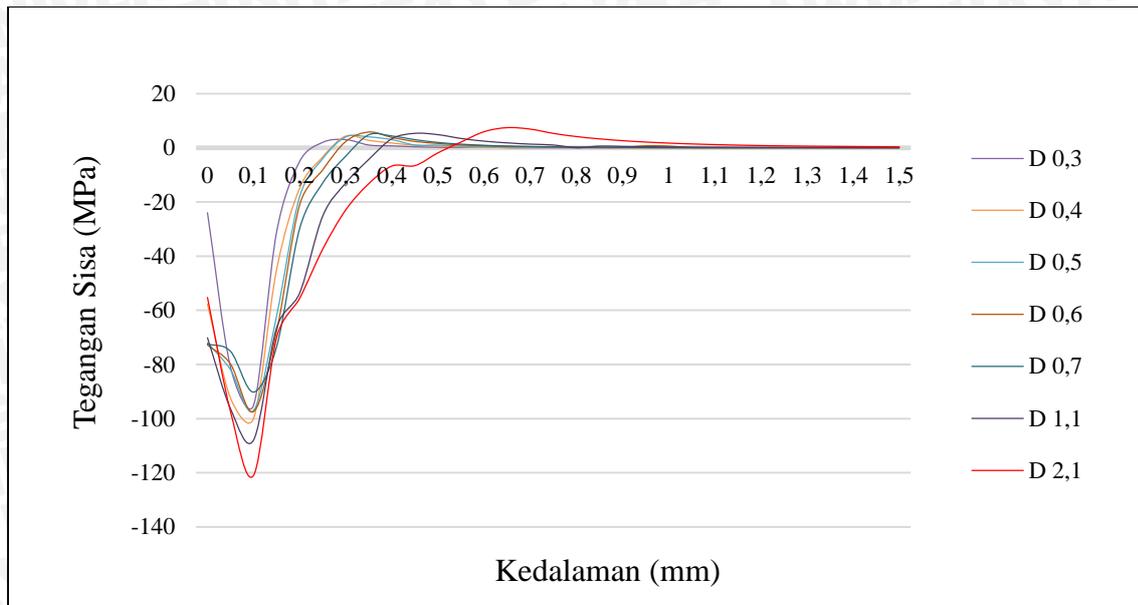
Shot peening adalah proses penembakan material dengan menggunakan bola logam dan berkecepatan tinggi. Bola atau *media shot* memiliki massa dan ini sangat mempengaruhi besar gaya tumbuk yang terjadi di spesimen. Gaya tumbuk merupakan adanya impuls dari gaya bola itu sendiri setiap selang waktunya dan momentum dari masa dikali kecepatan. Pada simulasi bahan bola dan kecepatan dianggap sama dan bahan spesimen yang digunakan adalah Aluminium Alloy A5052.

Ketika material dikenai pembebanan dinamis dari arah aksial maka material cenderung akan mempertahankan dirinya. Sifat material inilah yang terjadi pada spesimen ketika dikenai gaya tumbuk. Material akan bereaksi dengan arah yang berlawanan ketika diberikan gaya tumbuk (aksi). Gaya tumbuk merupakan tegangan yang diberikan bola tiap luasannya. Dimana setiap luasan bola tersebut akan membentuk zona bola tembak (cekungan) pada spesimen dan mengalami deformasi plastis atau deformasi elastis. Ketika spesimen terkena gaya tumbuk dari bola dan tidak kembali seperti semula maka terdapat perubahan deformasi plastis karena tegangan bola melebihi tegangan yield spesimen.

Tegangan sisa adalah tegangan yang masih ada ketika pembebanan dihilangkan. Tegangan sisa hanya terjadi pada material yang mengalami deformasi plastis. Ketika material mengalami deformasi maka akan membentuk suatu tahanan yaitu tegangan sisa tekan maupun tegangan sisa tarik. Semakin besar diameter bola maka gaya tumbuk bola semakin besar pula. Gaya tumbuk besar menyebabkan adanya gaya reaksi atau adanya perubahan deformasi elastis-plastis. Dengan deformasi plastis terbentuk, dapat dilihat adanya tegangan yang besar pada spesimen. Jika ada tegangan besar maka tegangan sisa tekan yang ditimbulkan juga besar karena kontak bola yang semakin besar di permukaan dan nilai tegangan bola lebih dari tegangan yield spesimen.

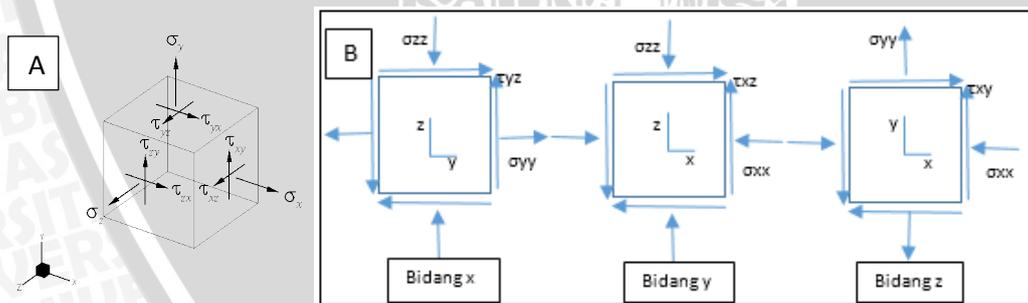
4.3.2 Hubungan Kedalaman *Shot Peening* Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 3D

Setelah mendapat nilai tegangan sisa pada spesimen Aluminium Alloy A5052 menggunakan *software* komputer berbasis elemen hingga seperti yang tertera pada lampiran 1 dan diketahui nilai tegangan sisa dari setiap diameter bola maka efek diameter bola *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa dapat dilihat pada grafik seperti gambar 4.3:



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Kedalaman *Shot Peening* Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan Tiga Dimensi

Pengambilan data dilakukan pada saat tegangan yang terjadi adalah *minimal principal stress*. *Minimal principal stress* adalah tegangan utama setelah dikalkulasi antara tegangan normal dan tegangan geser pada tiap bidangnya. Spesimen yang digunakan pada proses *shot peening* adalah kubus 3D berdimensi 30 x 20 x 10 mm. Karena spesimen berbentuk 3D, maka lingkaran mohr yang digunakan adalah lingkaran mohr 3D. Contoh penyelesaian lingkaran mohr 3D pada kedalaman 0 mm dengan kecepatan 50 m/s (LAMPIRAN 2).

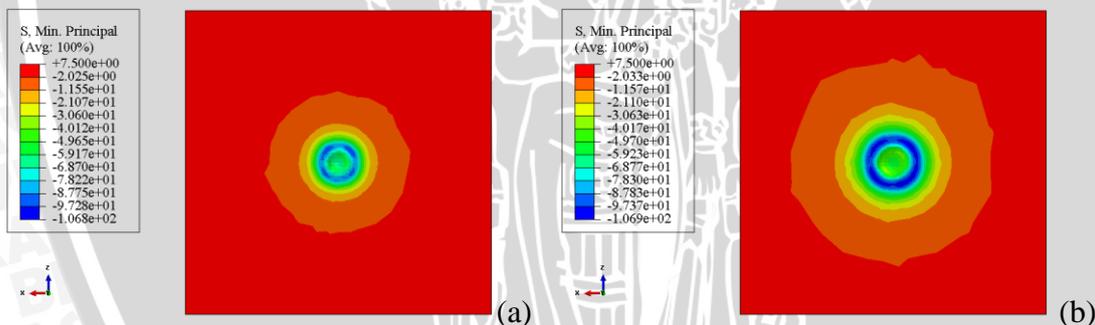


Gambar 4.4 (A) 3D dan (B) gaya pada bidang x, y dan z

Dari gambar 4.3 terdapat grafik dengan sumbu x yaitu kedalaman dan sumbu y yaitu distribusi tegangan sisa, diketahui variasi ukuran bola yaitu diameter 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 1,1, dan 2,1 mm. Sudut yang digunakan pada pengambilan data *shot peening* adalah 0° . Dengan kecepatan *shot peening* adalah 50 m/s. Didapatkan hasil tegangan sisa tekan dan tegangan sisa tarik pada semua diameter bola *shot peening*. Pada awal kedalaman terjadi tegangan sisa tekan

kemudian terbentuk tegangan sisa tarik dimana nilainya tidak begitu besar yang artinya nilai tegangan sisa tekan terus berkurang seiring dengan bertambahnya jarak kedalaman bola dengan permukaan material. Pertambahan tegangan sisa tekan mulai konstan pada kedalaman 0,8 mm. Hal ini sesuai dengan teori *ultimate tensile strength* pada material.

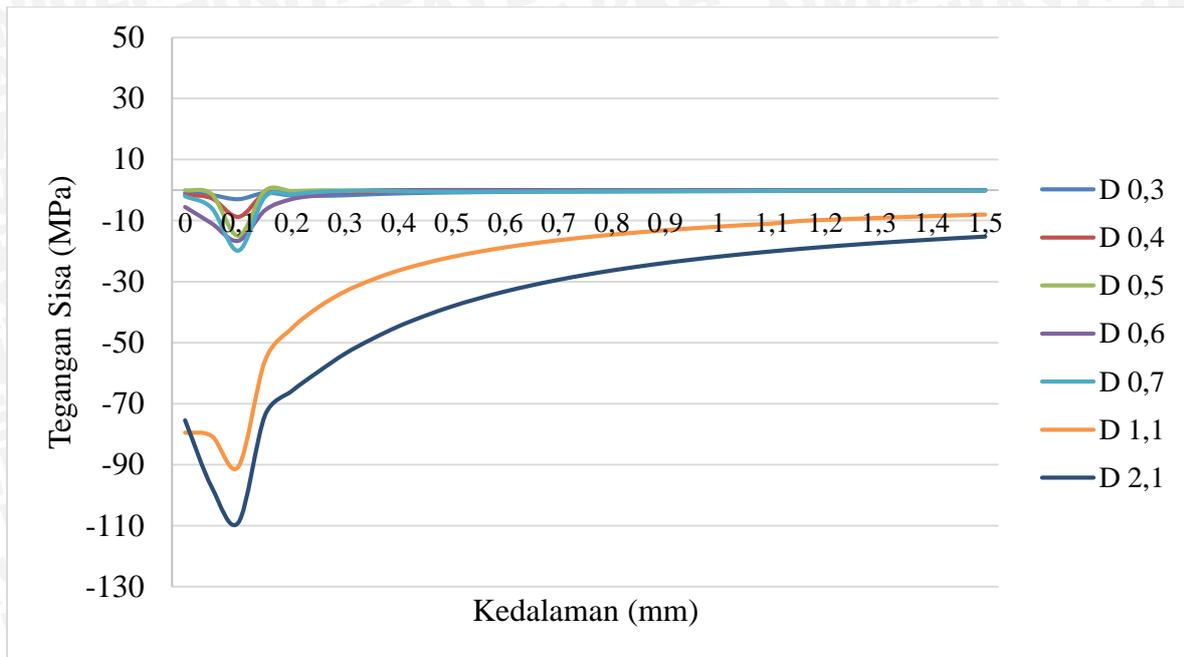
Pada grafik didapatkan bahwa semakin besar diameter bola maka tegangan sisa tekan akan semakin meningkat yaitu sebesar -95, -99,86, -97,45, -90,23, -107,92, dan -120,93 MPa. Tanda *minus* diakibatkan karena material yang mengalami proses *shot peening* menghasilkan tegangan sisa tekan. Hal ini terjadi akibat masa dan kecepatan dari bola yang menumbuk mengerahkan seluruh gaya ke arah radial yang menyebabkan terjadinya tegangan sisa tekan yang lebih luas dikarenakan tegangan bola lebih besar daripada tegangan *yield* spesimen. Peningkatan ini menyebabkan terjadinya perubahan bentuk permukaan spesimen (cekungan), dimana semakin besar deformasi plastis yang diberikan maka akan menyebabkan spesimen yang terkena tumbukan susah untuk kembali ke bentuk semula. Ketika bola dihilangkan terbentuk reaksi deformasi elastis ke deformasi plastis (terjadinya pelepasan tegangan). Interaksi ini menyebabkan tegangan sisa yang semakin meningkat seiring dengan diameter bola, dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 (a) hasil simulasi diameter bola 1,1 mm dan (b) hasil simulasi diameter bola 2,1 mm

4.3.3 Hubungan Kedalaman *Shot Peening* Terhadap Distribusi Tegangan Sisa pada Pemodelan 2D

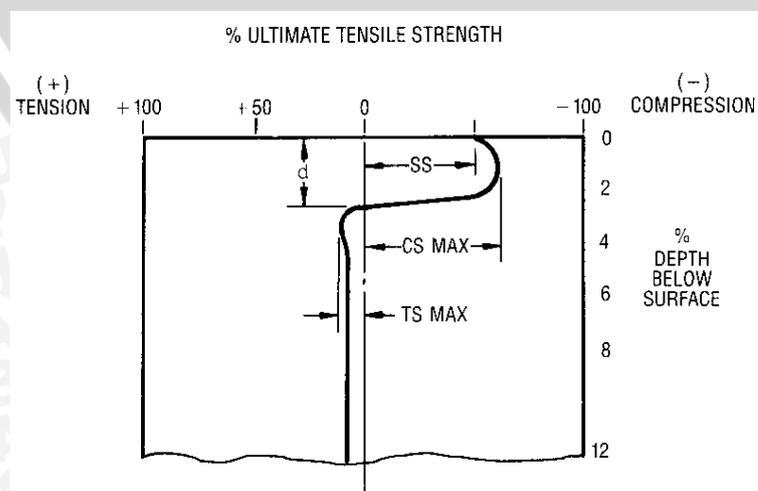
Setelah mendapat nilai tegangan sisa pada spesimen Aluminium Alloy A5052 menggunakan *software* komputer berbasis elemen hingga seperti yang tertera pada lampiran 2 dan diketahui nilai tegangan sisa dari diameter bola maka efek kedalaman *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa dapat dilihat pada grafik seperti gambar 4.5 berikut ini:



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kedalaman *Shot Peening* Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 2D

Pada gambar 4.6 dengan sumbu x yaitu kedalaman dan sumbu y yaitu distribusi tegangan sisa, diketahui variasi diameter bola yaitu 0,3 , 0,4 , 0,5 , 0,6 , 0,7 , 1,1, dan 2,1 mm. Sudut yang digunakan adalah 0° . Dengan kecepatan *shot peening* adalah 50 m/s. Didapatkan hanya hasil tegangan sisa tekan.

Nilai tegangan sisa tekan terus berkurang seiring dengan bertambahnya jarak kedalaman bola dengan permukaan material. Pertambahan tegangan sisa tekan mulai konstan pada kedalaman 0,3mm untuk variasi 0,3 , 0,4 , 0,5, 0,6, 0,7mm dan mulai konstan pada kedalaman 1,5mm untuk variasi 1,1 dan 2,1mm. Hal ini sesuai dengan teori *ultimate tensile strength* pada material.



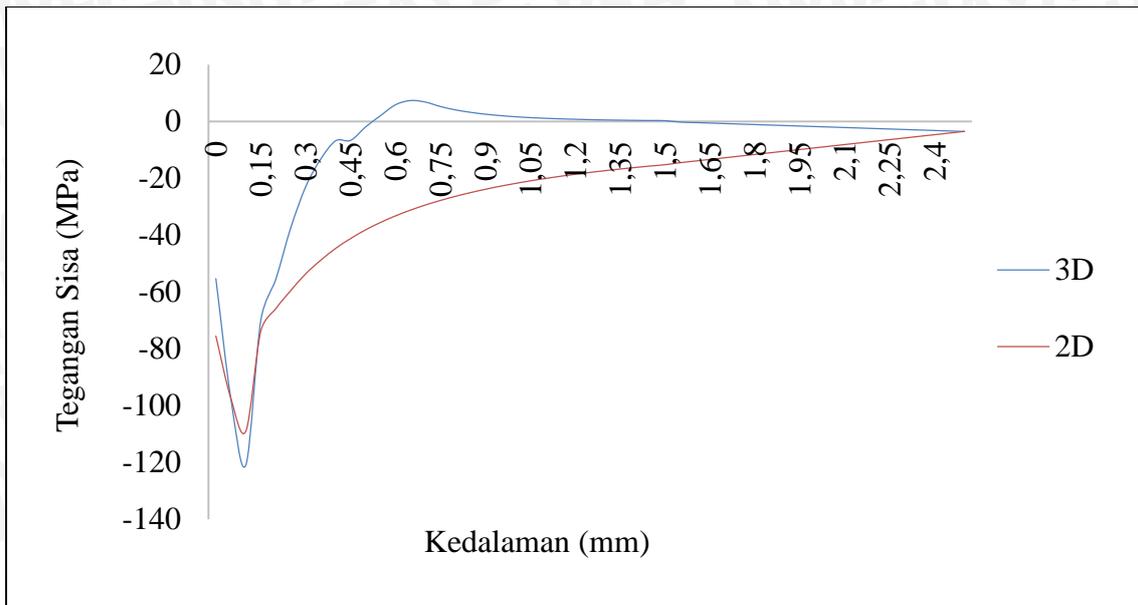
Gambar 4.7 Profil tegangan sisa pada pelat

Dari grafik hubungan pengaruh diameter bola *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa didapat bahwa semakin besar diameter bola maka nilai tegangan sisa tekan semakin meningkat. Nilai tegangan sisa tekan dari variasi terendah hingga tertinggi sebesar -3,0168 , -8,7880 , -15,0463, -16,6619 , -19,8932 , -90,6844 , dan -108,9650 MPa. Gambar 4.9 merupakan gambar yang dilihat dari tampak depan material dengan diameter 1,1mm dan 2,1 mm. Ketika material dikenai pembebanan dinamis dari arah aksial maka material cenderung akan mempertahankan dirinya. Sifat material inilah yang terjadi pada spesimen ketika dikenai gaya tumbuk. Efek dari adanya tumbukan yaitu adanya perubahan deformasi elastis ke deformasi plastis pada spesimen. Dimana tegangan yield spesimen lebih rendah daripada tegangan bola sehingga permukaan yang terkena tumbukan tidak dapat kembali ke bentuk semula.

Tegangan sisa adalah tegangan yang masih ada ketika pembebanan dihilangkan. Tegangan sisa hanya terjadi pada material yang mengalami deformasi plastis. Semakin besar diameter bola maka gaya tumbuk bola semakin besar pula. Gaya tumbuk besar menyebabkan gaya reaksi atau konsentrasi tegangan juga besar. Jika konsentrasi tegangan besar maka tegangan sisa tekan yang ditimbulkan juga besar karena kontak bola yang semakin besar di permukaan dan nilai tegangan bola jauh dari tegangan yield spesimen.

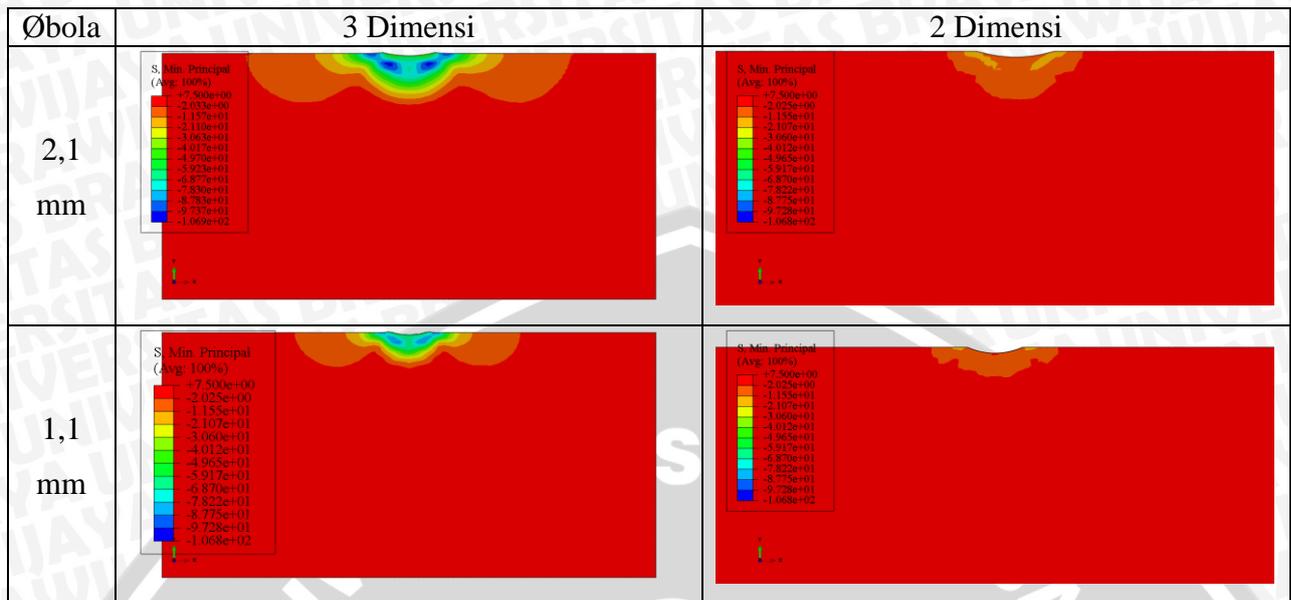
4.3.4 Hubungan Kedalaman *Shot Peening* terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 2D dan 3D

Setelah mendapat nilai tegangan sisa pada spesimen Aluminium Alloy A5052 menggunakan *software* komputer berbasis elemen hingga seperti yang tertera pada lampiran 1 , lampiran 2 dan diketahui nilai tegangan sisa dari satu ukuran bola sebesar 2,1 mm maka efek kedalaman *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa dapat dilihat pada grafik seperti gambar 4.8 berikut ini:



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kedalaman Terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan Dua Dimensi dan Tiga Dimensi

Gambar 4.8 merupakan grafik pengaruh kedalaman terhadap distribusi tegangan sisa yang terjadi pada spesimen. Dari grafik dapat dilihat bahwa tiga dimensi memiliki nilai *residual stress* lebih tinggi daripada dua dimensi. Diameter bola yang digunakan sama yaitu 2,1 mm. Kecepatan yang digunakan sama yaitu kecepatan 50 m/s. Didapatkan hasil tegangan sisa tekan dan tarik pada pemodelan tiga dimensi. Tegangan sisa tekan berada dipermukaan sampai pada kedalaman tertentu dengan memiliki titik maksimal. Sedangkan tegangan sisa tarik terbentuk setelah tegangan sisa tekan habis, nilainya tidak begitu besar karena akan kembali pada keadaan konstan dimana tidak ada tegangan sama sekali (0).



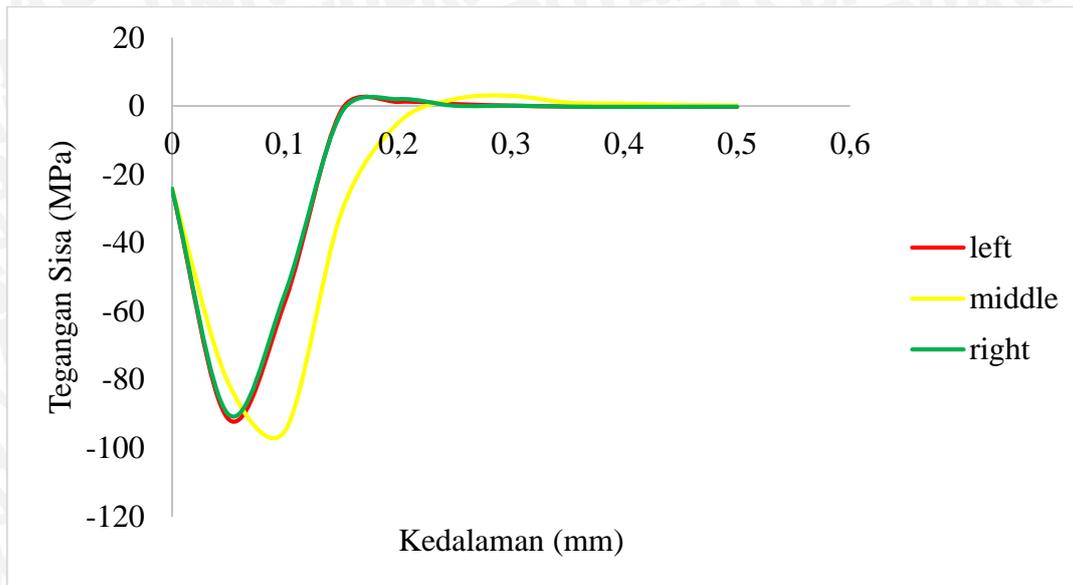
Gambar 4.9 Hasil simulasi pemodelan 3D dan 2D pada diameter 1,1mm dan 2,1mm

Dari gambar 4.9 didapatkan tingkat distribusi tegangan sisa yang berbeda antara pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi. Distribusi tegangan sisa pemodelan dua dimensi lebih rendah daripada distribusi pemodelan tiga dimensi yaitu sebesar -120,94 MPa. Nilai maksimum pada kedua pemodelan ditinjau dari kedalaman sama yaitu kedalaman 0,1 mm. Dan dapat dilihat bahwa pemodelan dua dimensi cocok untuk digunakan pada diameter 1,1 mm dan 2,1 mm sedangkan pemodelan tiga dimensi signifikan digunakan pada semua variasi diameter. Hal itu dapat terjadi dikarenakan gaya tumbuk bola *shot peening* memiliki masa dan kecepatan. Akibat adanya tumbukan yang mengenai permukaan material terbentuklah cekungan, dimana tegangan yield permukaan lebih kecil daripada tegangan bola sehingga permukaan tidak dapat kembali ke bentuk semula. Pada saat itu terjadi perubahan deformasi elastis ke deformasi plastis. Semakin besar diameter bola maka luasan gaya tumbuk semakin besar pula. Semakin besar gaya tumbuk ke permukaan maka kontak persinggungan bola dengan permukaan semakin besar.

4.3.5 Hubungan Sudut Kedalaman *Shoot Peening* terhadap Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 3D

Setelah mendapat nilai tegangan sisa pada spesimen Aluminium Alloy A5052 menggunakan *software* komputer berbasis elemen hingga seperti yang tertera pada tabel 4.3 dan diketahui nilai tegangan sisa dari satu ukuran bola sebesar 0,3 mm ditinjau dengan sudut

maka efek kedalaman *shot peening* terhadap distribusi tegangan sisa dapat dilihat pada grafik seperti gambar 4.10:



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Sudut Kedalaman *Shoot Peening* dengan Distribusi Tegangan Sisa Pemodelan 3D

Gambar 4.10 merupakan grafik pengaruh pengambilan titik terhadap distribusi tegangan sisa yang terjadi pada spesimen. Dari grafik dapat dilihat bahwa pengambilan titik mempengaruhi distribusi tegangan sisa pada spesimen dengan pengambilan titik dari kiri, tengah dan kanan (ilustrasi dijelaskan diawal) diameter 0,3mm dengan kecepatan 50 m/s. Didapatkan hasil tegangan sisa tekan dan tarik pada semua variasi. Tegangan sisa tekan berada dipermukaan sampai pada kedalaman tertentu dengan memiliki titik maksimal. Sedangkan tegangan sisa tarik terbentuk setelah tegangan sisa tekan habis, nilainya tidak begitu besar karena akan kembali pada keadaan konstan dimana tidak ada tegangan sama sekali (0). Pada gambar 4.10 didapatkan bahwa semakin besar jarak dari permukaan material (kedalaman) maka nilai tegangan sisa terus berkurang seiring dengan kedalaman ke arah inti dan mulai konstan pada kedalaman 0,25mm. Tegangan sisa tekan dari tertinggi hingga terendah terlihat pada *middle* (sudut 0°) sebesar -95 MPa, *left* (sudut -45°) sebesar -91,51 MPa, dan *right* (sudut 45°) sebesar -90,16 MPa.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Peningkatan nilai distribusi tegangan sisa pada Aluminium alloy A5052 menghasilkan deformasi plastis pada permukaannya. Semakin besar diameter bola *shot peening*, maka distribusi tegangan sisa yang dihasilkan semakin meningkat. Pada proses *shot peening*, seiring dengan peningkatan diameter bola maka distribusi tegangan sisa meningkat baik secara signifikan pada pemodelan dua dimensi maupun pemodelan tiga dimensi dengan diameter 1,1mm dan 2,1 mm. Sedangkan diameter kurang dari 1,1 mm tidak baik digunakan pada pemodelan dua dimensi dan pemodelan tiga dimensi dapat digunakan dengan baik untuk semua diameter bola.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penggunaan variabel yang tak terkontrol pada penelitian ini sehingga bisa digunakan sebagai data pendukung, seperti intensitas, waktu *shot peening* dan jumlah bola yang digunakan.
2. Untuk penelitian selanjutnya bisa menambahkan data uji mikrostruktur agar dapat digunakan sebagai data pendukung penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Champaign J. 2001. *Shot Peening Overview*. Amerika : Mishawaka Electronic Inc
- Dubberly, Everett, Matthews, Prabhakaran, Newman. 2000. *The Effects of Shot and Laser Peening on Crack Growth and Fatigue Life in 2024 Aluminium Alloy and 4340 Steel*. Amerika
- E. Shigley, Joseph, 1986. *Perencanaan Teknik Mesin*. Erlangga, Jakarta.
- Gregory E., Desch C. H. 1936. *Metallurgy*. London : Blackie & Son Limited Glasgow
- Grinspan, A. S., and Gnanamoorthy, R., 2007. *Surface Modification and Fatigue Behaviour of High Pressure Oil Jet-Peened Medium Carbon Steel, AISI 1040*. India
- Grinspan, A. S., and Gnanamoorthy, R., 2009. *Development of a Novel Oil Cavitation Jet Peening System and Cavitation Jet Erosion in Aluminum Alloy, AA 6063-T6*. India
- Harish Kumar Sehijpal Singh, Pardeep Kumar. 2013. *Modified Shot Peening Processes-Review*. India
- Knight.2000. *3-D Stress In Mechanical Design*
- L.Mott. 2004. *Elemen-elemen mesin* .
- Lauchner. 1974. *WESTEC Presentation*. Callifornia : Northrup Corporation
- Nash, William, 1998. *Strength of Materials*. Schaum's Outlines,
- Robert L.Mott, 2009. *Machine Elements And Mechanical Design*, Edisi Pertama, Unisersity Of Dayton
- Van Vlack.1973.A Textbook of Materials Technology.PrenticeHall,Inc.
- Wahyutama Septian.2015.Efek Sudut Shot Peening Terhadap Kekerasan Permukaan dan Kekerasan AISI 316L Stainless Steel. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya

LAMPIRAN 1

Tabel Data Pemodelan Tiga Dimensi Semua Diameter

No	Titik	Kedalaman (mm)	Tegangan Sisa (MPa)						
			D 0,3	D 0,4	D 0,5	D 0,6	D 0,7	D 1,1	D 2,1
1	773	0	-24,0000	-57,6076	-72,0000	-72,8554	-72,4409	-70,1665	-55,2622
2	6541	0,05	-81,0000	-92,3685	-82,0000	-79,8957	-75,1840	-96,3615	-97,4161
3	6902	0,1	-95,0000	-99,8604	-97,0000	-97,4532	-90,2313	-107,9162	-120,9389
4	7263	0,15	-31,0000	-44,8583	-62,0000	-67,7015	-73,4642	-66,4373	-70,0022
5	7624	0,2	-5,0000	-14,8235	-18,0000	-21,0347	-29,7480	-53,6053	-55,5412
6	7985	0,25	2,0000	-3,2975	-4,0000	-8,1610	-12,9551	-25,1942	-37,3885
7	8346	0,3	3,0000	4,3955	4,0000	2,3169	-3,0265	-13,0000	-22,8786
8	8707	0,35	1,0000	2,8134	4,0000	5,7753	4,8573	-4,2712	-13,2010
9	9068	0,4	0,7020	1,8192	3,0000	3,8029	4,3758	3,3299	-6,7121
10	9429	0,45	0,3600	1,0398	1,0000	2,2983	3,0342	5,3194	-6,5589
11	9790	0,5	0,1800	0,6959	0,9960	1,5847	1,9878	4,8199	-1,8253
12	10151	0,55	0,0800	0,3891	0,5850	1,0032	1,3691	3,4277	2,1489
13	10512	0,6	0,3300	0,2806	0,4350	0,7293	0,9463	2,4386	5,9698
14	10873	0,65	0,0030	0,1422	0,2530	0,4757	0,6797	1,8009	7,4551
15	11234	0,7	-0,0070	0,1112	0,2000	0,3619	0,4845	1,3320	6,9131
16	11595	0,75	-0,0150	0,4096	0,1080	0,2393	0,3620	1,0130	5,3416
17	11956	0,8	-0,0150	0,3750	0,0910	0,1898	0,2635	0,0008	4,1710
18	12317	0,85	-0,0160	-0,0014	0,0410	0,1260	0,2041	0,6038	3,3142
19	12678	0,9	-0,0140	0,0050	0,0370	0,1042	0,1512	0,4748	2,6497
20	13039	0,95	-0,0130	-0,0167	0,0100	0,6921	0,1210	0,3779	2,1515
21	13400	1	-0,0100	-0,0074	0,0130	0,6003	0,0912	0,3042	1,7549
22	13761	1,05	-0,0090	-0,0189	-0,0020	0,0400	0,0751	0,2468	1,4510
23	14122	1,1	-0,0070	-0,0102	0,0030	0,0366	0,0577	0,2028	1,2040
24	14483	1,15	-0,0060	-0,0161	-0,0050	0,0245	0,0489	0,1674	1,0115
25	14844	1,2	-0,0030	-0,0088	-0,0050	0,0237	0,0385	0,1402	0,8525
26	15186	1,25	-0,0040	-0,0118	0,0005	0,0165	0,0336	0,1178	0,7220
27	15547	1,3	-0,0030	-0,0060	0,0040	0,0168	0,0273	0,1006	0,6199
28	15908	1,35	-0,0020	-0,0074	0,0008	0,0126	0,0247	0,0864	0,5364
29	16269	1,4	-0,0007	-0,0030	0,002.	0,0134	0,0210	0,0756	0,4684
30	16668	1,45	0,0000	-0,0036	0,0010	0,0112	0,0199	0,0669	0,4130
31	17010	1,5	0,0008	-0,0002	0,0040	0,0121	0,0180	0,0606	0,3683

LAMPIRAN 2

Tabel Data Pemodelan Dua Dimensi Semua Diameter

No	Titik	Kedalaman (mm)	Tegangan Sisa (MPa)						
			D 0,3	D 0,4	D 0,5	D 0,6	D 0,7	D 1,1	D 2,1
1	773	0	-0,8920	-1,5118	0,0000	-5,5723	-1,9982	-79,5195	-75,4765
2	6541	0,05	-1,6562	-2,6615	-1,3576	-10,9727	-5,9071	-80,6622	-97,4019
3	6902	0,1	-3,0168	-8,7880	-15,0463	-16,6619	-19,8932	-90,6844	-108,9650
4	7263	0,15	-0,9216	-1,0029	-0,2171	-6,6136	-2,1856	-55,8467	-73,7747
5	7624	0,2	-1,7702	-1,0973	-0,2841	-3,0026	-1,4240	-45,3553	-65,8751
6	7985	0,25	-1,9037	-0,8415	-0,0746	-1,7263	-0,5803	-38,3713	-59,4966
7	8346	0,3	-1,7188	-0,7254	-0,1026	-0,5865	-0,2774	-33,1898	-53,5788
8	8707	0,35	-1,3663	-0,5374	-0,0269	-0,2305	-0,2212	-29,4226	-48,8309
9	9068	0,4	-1,1030	-0,4296	0,0000	-0,0782	-0,3743	-26,3491	-44,6445
10	9429	0,45	-0,9046	-0,2935	0,0000	0,0000	-0,4747	-23,9443	-41,1687
11	9790	0,5	-0,7642	-0,2225	0,0000	0,0000	-0,5056	-21,9001	-38,1140
12	10151	0,55	-0,6823	-0,1701	0,0000	0,0000	-0,5138	-20,2190	-35,5032
13	10512	0,6	-0,5861	-0,1259	0,0000	-0,0028	-0,4995	-18,7556	-33,1912
14	10873	0,65	-0,5295	-0,0896	0,0000	-0,0028	-0,4773	-17,5105	-31,1720
15	11234	0,7	-0,4907	-0,0599	0,0000	-0,0526	-0,4491	-16,4086	-29,3666
16	11595	0,75	-0,4654	-0,0452	0,0000	-0,0548	-0,4190	-15,4482	-27,7640
17	11956	0,8	-0,4415	-0,0456	0,0000	-0,0548	-0,3888	-14,5875	-26,3177
18	12317	0,85	-0,4143	-0,0523	0,0000	-0,0548	-0,3590	-13,8238	-25,0173
19	12678	0,9	-0,3886	-0,0574	0,0000	-0,0474	-0,3310	-13,1325	-23,8341
20	13039	0,95	-0,3625	-0,0596	0,0000	-0,0474	-0,3043	-12,5106	-22,7593
21	13400	1	-0,3387	-0,0604	0,0000	-0,0377	-0,2797	-11,9430	-21,7742
22	13761	1,05	-0,3156	-0,0597	-0,0003	-0,0377	-0,2567	-11,4269	-20,8720
23	14122	1,1	-0,2947	-0,0583	-0,0008	-0,0283	-0,2357	-10,9524	-20,0397
24	14483	1,15	-0,2750	-0,0562	-0,0012	-0,0283	-0,2162	-10,1147	-19,2721
25	14844	1,2	-0,2571	-0,0538	-0,0014	-0,0201	-0,1985	-9,7428	-18,5600
26	15186	1,25	-0,2404	-0,0512	-0,0015	-0,0132	-0,1822	-9,3971	-17,8994
27	15547	1,3	-0,2252	-0,0484	-0,0014	-0,0132	-0,1673	-9,0757	-17,2836
28	15908	1,35	-0,2112	-0,0456	-0,0013	-0,0008	-0,1536	-8,7756	-16,7094
29	16269	1,4	-0,1984	-0,0428	-0,0011	-0,0008	-0,1412	-8,4952	-16,1718
30	16668	1,45	-0,1866	-0,0400	-0,0009	-0,0003	-0,1297	-8,2323	-15,6684
31	17010	1,5	-0,1757	-0,0374	-0,0007	-0,0003	-0,1097	-7,9855	-15,1952

LAMPIRAN 3

Tabel Data Sudut Pemodelan Tiga Dimensi Diameter 0,3mm

No	Titik	Kedalaman (mm)	Tegangan Sisa (MPa)		
			D 0,3		
			<i>left</i>	<i>middle</i>	<i>right</i>
1	773	0	-24,134	-24,0000	-24,134
2	6541	0,05	-91,508	-95,0000	-90,16
3	6902	0,1	-57,139	-81,0000	-54,826
4	7263	0,15	-1,1357	-31,0000	-1,9315
5	7624	0,2	1,27352	-5,0000	2,01546
6	7985	0,25	0,628	2,0000	0,09048
7	8346	0,3	0,16067	3,0000	-0,1219
8	8707	0,35	-0,097	1,0000	-0,1608
9	9068	0,4	-0,179	0,7020	-0,2232
10	9429	0,45	-0,1841	0,3600	-0,2144
11	9790	0,5	-0,1636	0,1800	-0,1857



LAMPIRAN 4

Contoh perhitungan lingkaran Mohr

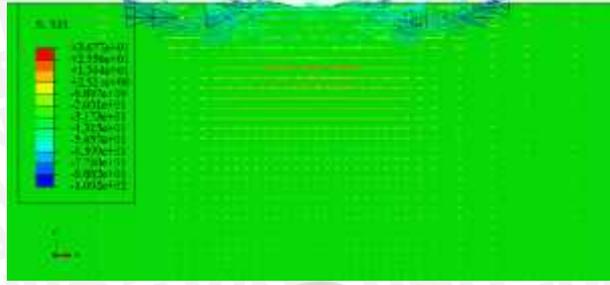
1. Menggambar rancangan tegangan yang terjadi pada komponen 3D
2. Mencari tegangan yang terjadi pada kedalaman 0 mm dengan kecepatan 50 m/s (diketahui nilai $s_{11} (xx) = -64,69$ MPa, $s_{22} (yy) = 44,78$ MPa, $s_{33} (zz) = -67,00$ MPa, $s_{12} (xy) = -1,20$ MPa, $s_{13} (xz) = 0,22$ MPa, dan $s_{23} (yz) = -1,01$ MPa). Nilai positif arahnya keluar, sedangkan negatif arahnya kedalam. Bila positif searah jarum jam, maka negatif berlawanan arah jarum jam.
3. Buat sumbu x untuk tegangan normal dan sumbu y untuk tegangan geser.
4. Pada bidang x, yang dibutuhkan adalah yy, zz, yz yang bernilai 44,78 MPa, -67,00 MPa, dan -1,01 MPa. Buatlah titik dengan koordinat A (44,78 : -1,01) dan koordinat B (-67,00 : 1,01). Tarik garis lurus antara titik A dan B. Buatlah lingkaran dari titik pusat lingkaran yang berhimpit dengan garis sumbu x.
5. Pada bidang y, yang dibutuhkan adalah xx, zz, xz yang bernilai -64,69 MPa, -67,00 MPa, dan 0,22 MPa. Buatlah titik dengan koordinat C (-64,69 : 0,22) dan koordinat D (-67,00 : -0,22). Tarik garis lurus antara titik C dan D. Buatlah lingkaran dari titik pusat lingkaran yang berhimpit dengan garis sumbu x.
6. Pada bidang z, yang dibutuhkan adalah xx, yy, xy yang bernilai -64,69 MPa, 44,78 MPa, dan -1,20 MPa. Buatlah titik dengan koordinat E (-64,69 : 1,20) dan koordinat A (44,78 : -1,20). Tarik garis lurus antara titik E dan A. Buatlah lingkaran dari titik pusat lingkaran yang berhimpit dengan garis sumbu x.
7. Lingkaran yang berhimpit dengan sumbu x adalah 3 garis. *Principal stress* dibagi menjadi 3 yaitu : maksimal (garis paling kanan), *middle* (garis tengah) , dan minimal (garis paling kiri)

LAMPIRAN 5

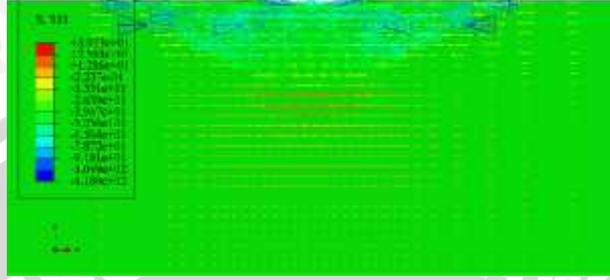
Tabel Hasil Simulasi Vektor Tegangan pada masing-masing diameter

Diameter	Stress Vektor
	3D
0,3 mm	
0,4 mm	
0,5 mm	
0,6 mm	
0,7 mm	

1,1 mm

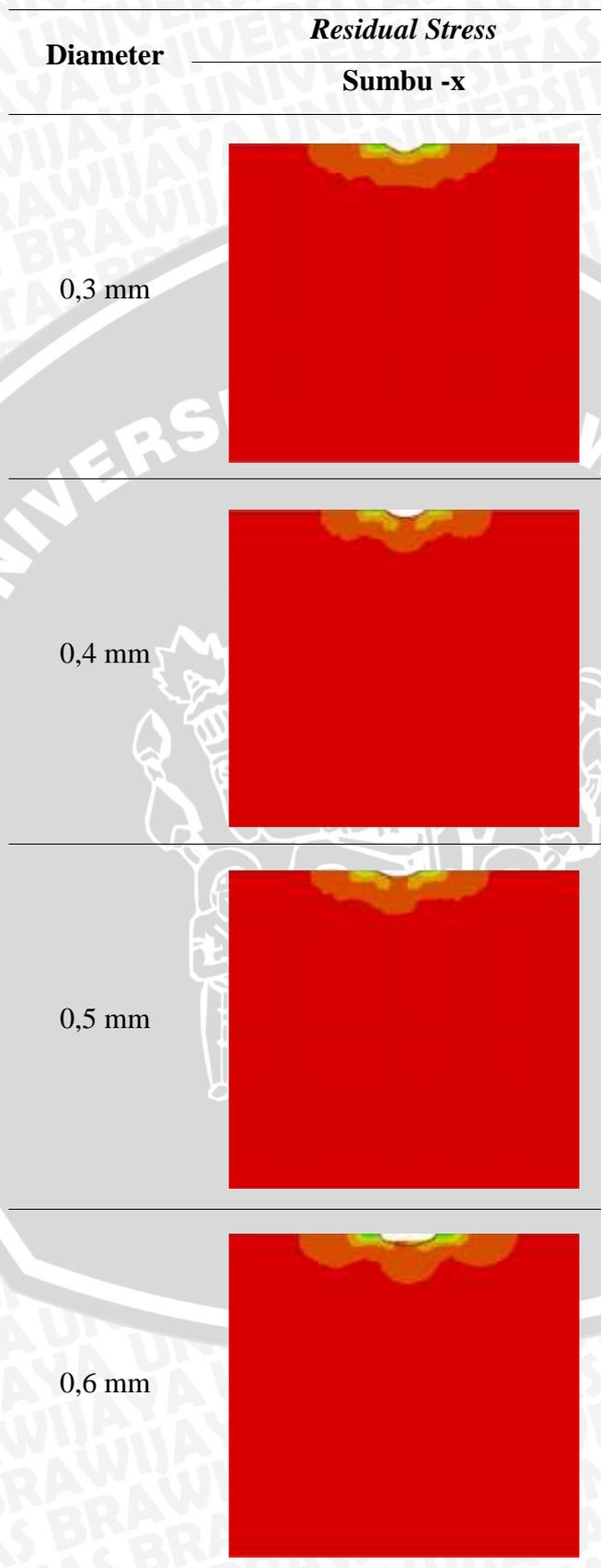


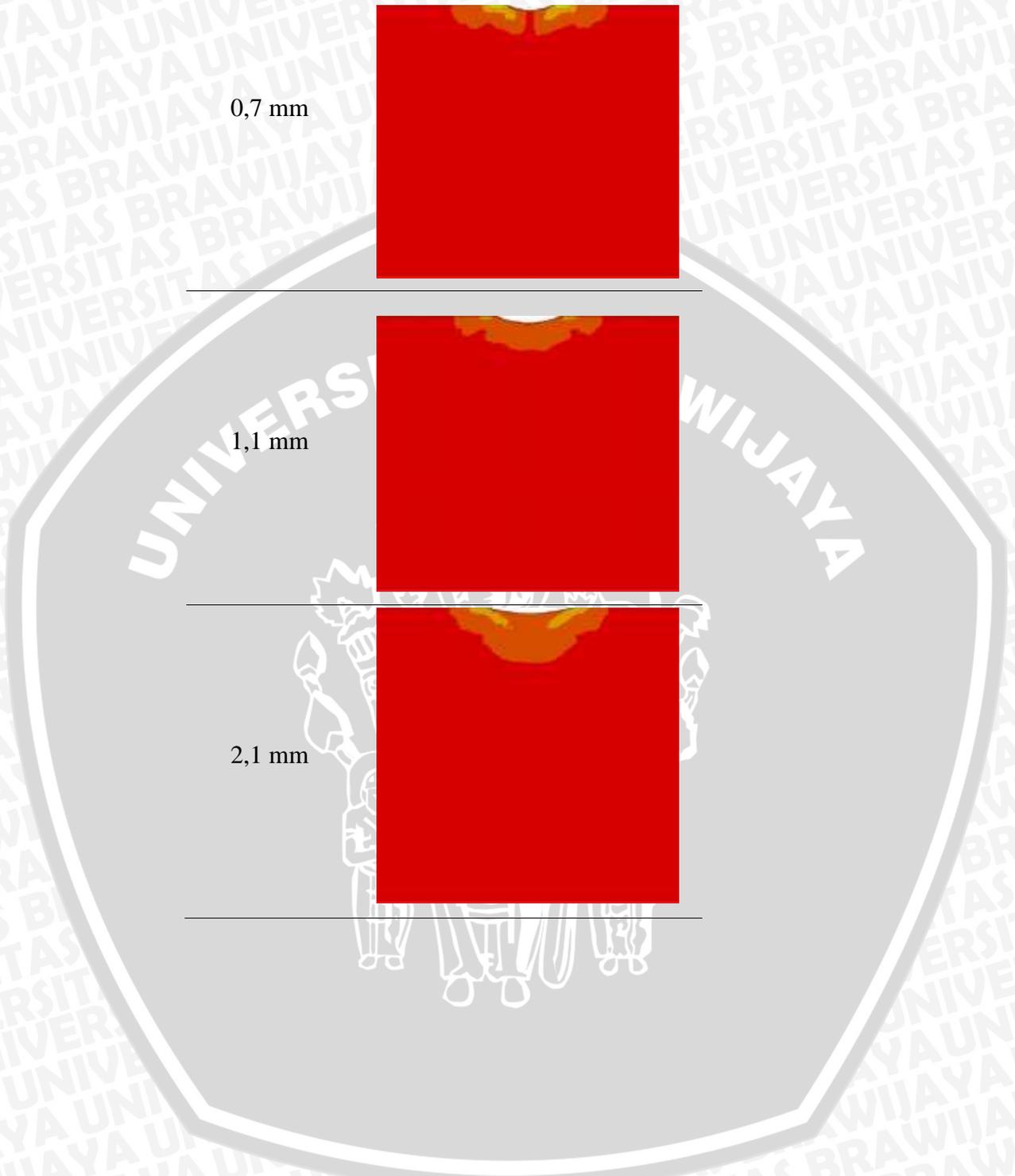
2,1 mm



LAMPIRAN 6

Tabel Distribusi Tegangan Sisa pada Semua Diameter Pemodelan 2D





0,7 mm

1,1 mm

2,1 mm



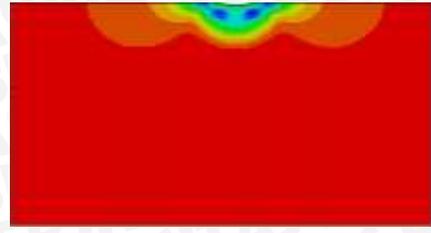
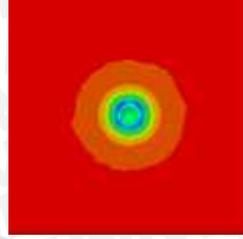
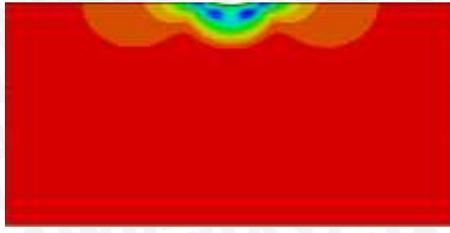
LAMPIRAN 7

Tabel Hasil Simulasi Distribusi Tegangan Sisa pada Semua Diameter Pemodelan 3D

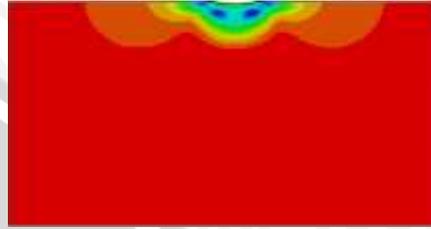
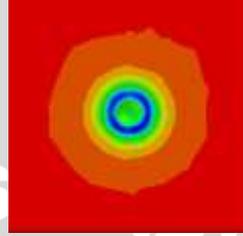
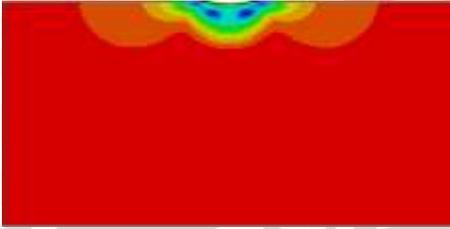
Diameter	Residual Stress		
	Sumbu -x	Sumbu -y	Sumbu -z
0,3 mm			
0,4 mm			
0,5 mm			
0,6 mm			
0,7 mm			



1,1 mm

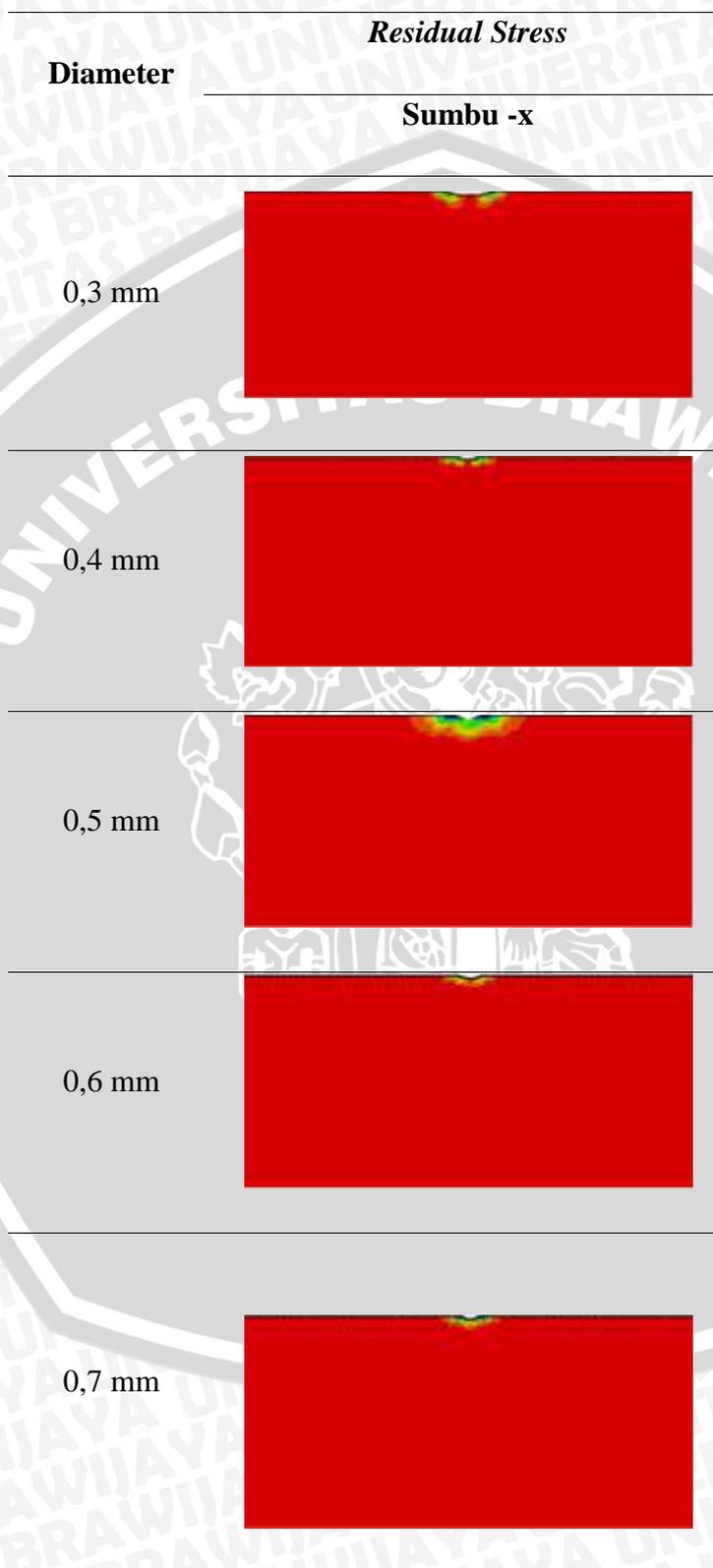


2,1 mm



LAMPIRAN 8

Tabel Distribusi Tegangan Sisa pada Semua Diameter Pemodelan 2D



1,1 mm



2,1 mm

