

**PENGARUH SUDUT *DIES* DAN TEMPERATUR PEMANASAN  
TERHADAP KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR  
HASIL V-BENDING PLAT STAINLESS STEEL 316L**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**YEPY KOMARIL SOFI' I**

**NIM. 135060200111019**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2017**

**LEMBAR PENGESAHAN****PENGARUH SUDUT *DIES* DAN TEMPERATUR PEMANASAN  
TERHADAP KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR  
HASIL *V-BENDING* PLAT *STAINLESS STEEL 316L*****SKRIPSI****TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YEPY KOMARIL SOFI' I  
NIM. 135060200111019**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 20 Juni 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D.  
NIP. 201411 841123 1 001

Rudianto Raharjo, ST., MT.  
NIP. 19820225 201212 1 002

Mengetahui  
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.  
NIP. 19750802 199903 2 002



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang senantiasa melimpahkan rahmat hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan laporan akhir yang harus dipenuhi dalam mata kuliah Tugas Akhir pada Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Untuk memenuhi syarat tersebut maka penyusun melakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Sudut *Dies* dan Temperatur Pemanasan Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Hasil *V-Bending* Plat *Stainless Steel 316L*”**. Skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku dosen pembimbing 1 yang telah banyak memberikan pengarahan dan motivasi selama pelaksanaan skripsi.
4. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT., selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak memberikan pengarahan dan motivasi selama pelaksanaan skripsi.
5. Ayah (Imam Sofi'i), Ibu (Mulyaningati), adik Nabilah Nada Sofi'i dan Qodri Qomaril Sofi'i yang selalu memberikan pemahaman, nasehat dan bimbingan dalam kebebasan untuk berfikir dan bertindak.
6. Annisa Aprilia yang selalu memberikan motivasi, kritik, dan saran kepada penulis.
7. Seluruh dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Keluarga Besar Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.(Muchlis, Aldi, Febri, Reddy, Hisyam, Sudiro, Fajar, dan Rofi'udin).
9. Teman seperjuangan dalam penelitian ini Hisyam Rafsanjani dan Fredi Hari Sanjaya terimakasih untuk kerjasama dan kebersamaanya selama ini.
10. Keluarga Besar Mesin 2013 yang sudah menjadi keluarga dan menjadi penyemangat dalam perjuangan di Teknik Mesin.



11. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin (KBMM) yang banyak memberikan pengalaman dalam pembentukan pola pikir dan pola sikap.

12. Dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dan memberikan arahan selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan rekan-rekan yang lain.

Malang, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>x</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 <i>Metal Forming</i> .....	5
2.3 <i>Bending</i> .....	7
2.4 Macam –Macam <i>Bending</i> .....	8
2.5 Kekerasan .....	10
2.6 Titanium .....	15
2.7 <i>Stainless Steel</i> .....	15
2.8 Temperatur Pada <i>Metal Forming</i> .....	17
2.9 Mikrostruktur Baja .....	19
2.10 Diagram Tegangan Regangan .....	22
2.11 Hipotesis .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Metode Penelitian .....	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	25
3.3 Variabel Penelitian .....	25
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	26
3.4.1 Alat-alat Penelitian .....	26
3.4.2 Bahan Penelitian .....	27
3.5 Instalasi Penelitian .....	28
3.5.1 Instalasi Mesin <i>Hydraulic Bending</i> .....	28
3.5.2 Instalasi Busur Api .....	29
3.6 Dimensi Spesimen, <i>Punch</i> , dan <i>Dies</i> .....	30



3.6.1 Dimensi Spesimen .....	30
3.6.2 Dimensi <i>Punch</i> dan <i>Dies</i> .....	30
3.7 Prosedur Penelitian .....	31
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	32
3.9 Rancangan Tabel Penelitian dan Grafik Penelitian .....	33
3.9.1 Rancangan Tabel Penelitian .....	33
3.9.2 Rancangan Grafik Penelitian .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pengolahan Data .....	37
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan .....	37
4.2 Pembahasan .....	38
4.2.1 Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan dan Sudut <i>Dies</i> Terhadap Kekerasan .....	38
4.2.2 Hubungan Antara Variasi Sudut <i>Dies</i> dan Temperatur Pemanasan Terhadap Kekerasan .....	48
4.2.3 Analisis Mikrostruktur .....	55
<b>BAB V PENUTUPAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	57

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Skala pada Metode Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	14
Tabel 3.1	Data Pengujian Kekerasan .....	33
Tabel 4.1	Data Pengujian Kekerasan .....	37

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Gaya yang Bekerja Pada Benda Kerja Setelah Proses <i>Bending</i>	7
Gambar 2.2	<i>V-Bending</i>	8
Gambar 2.3	<i>U- Die Bending</i>	8
Gambar 2.4	<i>Wiping Die Bending</i>	9
Gambar 2.5	<i>Rotary Bending</i>	9
Gambar 2.6	Skala Kekerasan <i>Mohs</i>	10
Gambar 2.7	Metode <i>Brinell</i>	12
Gambar 2.8	Hasil indentasi <i>Brinell</i>	12
Gambar 2.9	Metode <i>Vickers</i>	13
Gambar 2.10	Mikrostruktur dari Dasa-Fasa Besi Dalam Temperatur Ruang	21
Gambar 2.11	Diagram Tegangan Regangan	22
Gambar 3.1	Instalasi Mesin <i>Hydraulic Bending</i>	28
Gambar 3.2	Instalasi Busur Api	29
Gambar 3.3	Dimensi Spesimen	30
Gambar 3.4	Dimensi <i>Punch</i>	30
Gambar 3.5	Dimensi <i>Dies</i>	30
Gambar 3.6	Diagram Alir penelitian	33
Gambar 3.7	Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut <i>Dies</i> 30° Terhadap Kekerasan Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L	35
Gambar 3.8	Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut <i>Dies</i> Pada Temperatur Kamar Terhadap Kekerasan Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L	35
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut <i>Dies</i> 30° Terhadap Kekerasan Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L	38
Gambar 4.2	Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L Sudut <i>Dies</i> 30° Temperatur Kamar a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3	40
Gambar 4.3	Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L Sudut <i>Dies</i> 30° Temperatur 350°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3	40
Gambar 4.4	Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L Sudut <i>Dies</i> 30° Temperatur 600°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3	41
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut <i>Dies</i> 60° Terhadap Kekerasan Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L	41
Gambar 4.6	Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil <i>V-Bending</i> Plat <i>Stainless Steel</i> 316L Sudut <i>Dies</i> 60° Temperatur Kamar a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3	43



Gambar 4.7 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut *Dies* 60° Temperatur 350°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3 ..... 44

Gambar 4.8 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut *Dies* 60° Temperatur 600°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3 ..... 44

Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut *Dies* 90° Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L ..... 45

Gambar 4.10 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut *Dies* 90° Temperatur Kamar a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3 ..... 47

Gambar 4.11 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut *Dies* 90° Temperatur 350°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3 ..... 47

Gambar 4.12 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut *Dies* 90° Temperatur 600°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3 ..... 47

Gambar 4.13 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut *Dies* Pada Temperatur Kamar Teradap Kekerasan Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L ..... 48

Gambar 4.14 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Kamar Titik ke 1 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 49

Gambar 4.15 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Kamar Titik ke 2 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 50

Gambar 4.16 Foto Mkrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Kamar Titik ke 3 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 50

Gambar 4.17 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut *Dies* Pada Temperatur Pemanasan 350°C Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L ..... 51

Gambar 4.18 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 350°C Titik ke 1 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 52

Gambar 4.19 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 350°C Titik ke 2 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 52

Gambar 4.20 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 350°C Titik ke 3 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 52

Gambar 4.21 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut *Dies* Pada Temperatur Pemanasan 600°C Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L ..... 53



Gambar 4.22 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil *V-Bending* Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 600°C Titik ke 1 dengan a) Sudut *Dies* 30°  
 b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 54

Gambar 4.23 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil *V-Bending* Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 600°C Titik ke 2 dengan a) Sudut *Dies* 30°  
 b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 54

Gambar 4.24 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil *V-Bending* Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 600°C Titik ke 3 dengan a) Sudut *Dies* 30°  
 b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90° ..... 54

Gambar 4.25 Foto Mikrostruktur Pada Titik Ke 2 Sudut *Dies* 90° a) Temperatur Kamar  
 b) Temperatur Pemanasan 350°C c) Temperatur Pemanasan 600°C ..... 55



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Surat Keterangan Penelitian
Lampiran 2	Data Nilai Kekerasan Spesimen
Lampiran 3	Komposisi Plat <i>Stainless Steel</i> 316L
Lampiran 4	Mikrostruktur Spesimen
Lampiran 5	Dokumentasi Peralatan yang Digunakan Pada Penelitian
Lampiran 6	Dokumentasi Spesimen Sebelum dan Sesudah <i>dibending</i>



## RINGKASAN

**Yepy Komaril Sofi'i**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2017, Pengaruh Sudut *Dies* dan Temperatur Pemanasan Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Hasil *V-Bending* Plat *Stainless Steel* 316L, Dosen Pembimbing: Teguh Dwi Widodo dan Rudianto Raharjo.

Pada penelitian ini mengangkat permasalahan mengenai pengaruh sudut *dies* dan temperatur pemanasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur yang didapatkan dari hasil *V-Bending* plat *stainless steel* 316L. Adapun tujuannya yaitu untuk mengetahui kekerasan dan mikrostruktur dengan temperatur kamar, temperatur pemanasan 350°C, dan temperatur pemanasan 600°C menggunakan sudut *dies* 30°, 60°, dan 90°.

Metode penelitian yang dilakukan pertama yaitu membuat diagram alir penelitian untuk memudahkan proses melakukan penelitian, menentukan tempat penelitian, variabel yang digunakan, menyiapkan alat dan bahan. Untuk tahapan yang kedua yaitu prosedur penelitian yang meliputi melakukan *V-Bending* menggunakan mesin *hydraulic bending*, melakukan pengujian kekerasan dan mikrostruktur serta melakukan analisis data dan pembahasan.

Dari hasil penelitian didapatkan spesimen pada sudut *dies* 30° mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi dibanding spesimen dengan sudut *dies* 60° dan sudut *dies* 90° pada semua variasi temperatur pemanasan. Semakin besar sudut *dies* kekerasannya semakin rendah. Hal ini disebabkan bidang kontak menjadi semakin besar sehingga deformasi plastis yang terjadi semakin banyak. Sedangkan spesimen dengan temperatur pemanasan 600°C memiliki kekerasan lebih rendah dibandingkan spesimen dengan temperatur pemanasan 350°C dan temperatur kamar pada semua variasi sudut *dies*. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka kekerasan spesimen semakin rendah. Hal ini disebabkan titik elastis spesimen akan mengalami pergeseran semakin panjang yang membuat deformasi plastis semakin banyak sehingga kekerasannya semakin rendah. Butiran yang dihasilkan semakin bertambah besar seiring dengan temperatur pemanasan yang semakin bertambah.

Kata kunci: Plat *Stainless Steel* 316L, Sudut *Dies*, Temperatur Pemanasan, *V-Bending*, Kekerasan *Microvickers*, Mikrostruktur.



## SUMMARY

**Yepy Komaril Sofi'i**, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Mei 2017, Influence of Dies Angle and Heating Temperature on Hardness and Microstructure of V-Bending in Stainless Steel 316L Plate, Supervisor: Teguh Dwi Widodo and Rudianto Raharjo.*

*The research proves about Influence of Dies Angle and Heating Temperature on Hardness and Microstructure of V-Bending in Stainless Steel 316L Plate. It purposes to know the hardness and microstructure in the room temperature, 350°C heating temperature, and 600°C heating temperature with 30°, 60°, and 90° dies angle.*

*The first step of research method is draw a flowchart to make the process of it easier, to placed the research and variable used, and prepare the tools and equipment. The second step of research method is V-Bending procedure with hydraulic bending machine, do the hardness and microstructure test, analyze the data, and write the studies.*

*The 30° dies angle specimen is gotten from the research which has a hardness value higher than 60° and 90° dies angle specimen in all of heating temperature. If the dies angle value is higher, the hardness value will be lower. It causes the contact area is wider and the plastic deformation becomes bigger. And the 600°C heating temperature specimen has a hardness value lower than 350°C heating temperature and room temperature in all of dies angle varieties. If the heating temperature value is higher, the hardness of specimen will be lower. It causes the elasticity point of specimen will receive a longer transfer which makes the deformation plasticity becomes bigger as the hardness. Particles are yielded is much as higher heating temperature.*

**Keyword:** *Stainless Steel 316L Plate, Dies Angle, Heating Temperature, V-Bending, Microvickers Hardness, Microstructure.*



## 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 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, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 20 Juni 2017

Mahasiswa,

Yepy Komaril Sofi'i

NIM. 135060200111019



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era serba modern ini, teknologi mengalami perkembangan pesat di segala aspek kehidupan. Pada dunia kesehatanpun teknologi ikut berkembang, salah satunya pengembangan teknologi implan. Implan adalah peralatan medis sebagai pengganti bagian struktur dan kegunaan dari bagian tubuh tertentu. Contoh implan salah satunya yaitu implan dari plat tulang. Implan plat tulang merupakan penyusunan bagian-bagian yang dipakai untuk mengganti struktur tulang sebagai penyangga fraktur. Fraktur adalah terputusnya kontinuitas jaringan suatu tulang dengan menentukan jenis serta luasannya.

Pemasangan implan plat tulang bertujuan untuk menjaga posisi tulang di posisi yang seharusnya karena struktur tulang pasien paska operasi tentu masih sangat rawan kekuatannya. Plat tulang ini membantu menyangga struktur tulang rawan baru tersebut sampai proses pembentukan tulang kokoh yang baru. Sehingga mobilitas pasien paska operasi dapat berfungsi sebagaimana mestinya tanpa menunggu jaringan tulang baru diistirahatkan. Tentunya dibutuhkan *safety method* untuk pasien, seperti penggunaan titanium sebagai material implan. Kelebihan dari titanium antara lain daya tolak bagian biologis ke titanium nyaris tidak ada, kekuatan bagus, sangat ringan dan daya lengket karena kuman sedikit. Namun titanium relatif mahal dibanding *stainless steel* sehingga sulit dijangkau kalangan pasien tertentu dari segi ekonomi.

Maka dari itu penderita menggunakan *stainless steel* sebagai pengganti titanium pada implan plat tulang. *Stainless steel* memiliki sifat yang mendekati dengan titanium. *Stainless steel* bersifat kuat, keras, memiliki sifat tahan korosi yang baik yakni dapat tahan dengan larutan klorida 1000 mg/L pada temperatur kamar, dan harga lebih terjangkau dibandingkan titanium. Plat *stainless steel* yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah plat *stainless steel* 316 L.

Plat tulang biasanya dibutuhkan bentuk-bentuk tertentu. Untuk membuat bentuk-bentuk tertentu tersebut dibutuhkan suatu proses manufaktur yaitu dengan *metal forming*. *Metal forming* adalah proses pembentukan logam dengan menggunakan gaya tekan untuk mengubah bentuk dan ukuran dari logam tersebut. Dalam *metal forming* terdapat *pressing*

*drawing*, *bending*, dan *shearing*. Dalam implan plat tulang ada berbagai macam bentuk yang dibutuhkan, seperti *V-shape*, *T-shape*, *Y-shape*, dan sebagainya. Untuk membuat plat tulang dengan bentuk seperti tersebut maka perlu adanya pengerjaan *bending*. *Bending* adalah pengerjaan dengan cara memberi tekanan pada bagian tertentu yang menyebabkan terjadinya deformasi plastis pada bagian yang diberi tekanan. *Bending* dilakukan dengan menggunakan *dies* dan *punch bending*.

Pengerjaan *bending* pada penelitian ini spesimen diberikan perlakuan dengan pengerjaan pada temperatur kamar, *cold working* yakni pengerjaan pada temperatur kurang dari  $0,35 T_m$  ( $T < 0,35 T_m$ ), dan *warm forming* yakni pengerjaan pada temperatur  $0,35 T_m < T < 0,55 T_m$ . Pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh sudut *dies* dan temperatur pemanasan terhadap mikrostruktur dan kekerasan hasil *V-bending* plat *stainless steel 316L*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh sudut *dies* dan temperatur pemanasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur hasil *V-Bending* plat *stainless steel 316L*?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah analisis diperlukan batasan-batasan antara lain:

1. Mesin *bending* yang digunakan adalah mesin *hydraulic bending*.
2. Mesin *bending* diasumsikan bekerja ideal (tanpa *losses*).
3. Material yang digunakan adalah plat *stainless steel 316L* dengan tebal 3 mm.
4. *Bending* dilakukan setelah mencapai  $\pm 5^\circ\text{C}$  variasi temperatur pemanasan.
5. *Springback* pada hasil *V-bending* yang terjadi diasumsikan sangat kecil sehingga diabaikan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti pada penelitian ini yaitu:

Mengetahui pengaruh sudut *dies* dan temperatur pemanasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur hasil *V-Bending* plat *stainless steel 316L*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Mampu menerapkan teori yang didapat selama proses perkuliahan yang berkenaan dengan proses *bending*.
2. Mengoptimalkan pembuatan implan plat tulang dengan plat *stainless steel* 316L dengan metode *bending*.
3. Memberikan referensi tambahan untuk peneliti dalam penelitian selanjutnya tentang *bending*.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Asep (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh *heat treatment* terhadap kekerasan, mikrostruktur dengan metode *bending* pada plat baja komersil. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada pelat baja komersil yang mengalami perlakuan *heat treatment* dengan variasi temperatur 710°C, 820°C, 930°C dan *holding time* 60 menit mengakibatkan terjadinya perubahan kekerasan dan struktur mikro dari hasil *V-bending*. Proses *heat treatment* menyebabkan terjadinya perubahan kekerasan, semakin tinggi temperatur *heat treatment* maka semakin rendah kekerasannya karena butir tumbuh dan membesar sehingga batas butir berkurang. Untuk nilai kekerasan *V-bending*, kekerasannya meningkat secara signifikan. Proses *heat treatment* juga menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro dari bentuk pipih dan memanjang ke bentuk pertumbuhan butir-butir baru yang memberikan implikasi terhadap perubahan sifat mekanis dan mampu bentuk benda kerja.

Stachowicz (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh *warm forming* pada plat *stainless steel* AMS 5604 dengan metode *bending*. Dari hasil penelitian yang dilakukan temperatur optimal pada *warm deformation* plat *stainless steel* adalah sekitar 500°C. Hal ini ditunjukkan dengan nilai elongasi seragam yang paling tinggi pada temperatur sekitar 500°C.

Bakhshivash (2016) melakukan penelitian yang berjudul “*Effect Of Bending Angle And Punch Tip Radius On Spring-Forward In An Al-Mg-Si Alloy*”. Dalam penelitian ini FEA digunakan untuk menganalisis efek dari parameter pada distribusi regangan dan homogenitas pada plat *Al-Mg-Si alloy*. Uji kekerasan mikro digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada pengerjaan *V-bending*. Semakin bertambahnya sudut *bending* dengan menggunakan *radius punch* yang lebar menyebabkan distribusi regangan yang homogen yang terjadi pada plat *Al-Mg-Si alloy*. Regangan yang efektif pada plat semakin menurun seiring bertambahnya sudut *bending* dengan *radius punch* yang lebar.

#### 2.2 Metal Forming

*Metal forming* atau pembentukan logam merupakan proses perubahan fisik benda kerja dengan memberikan gaya luar yang menyebabkan terjadinya deformasi plastis. Contoh :

ekstrusi, tempa, pengerolan, dll. *Hot working* biasanya digunakan untuk mempermudah terjadinya proses deformasi plastis dalam pengerjaannya bukan berarti untuk melelehkan logam benda kerja.

Tujuan pembentukan logam :

- Merubah fisik benda kerja sesuai dengan bentuk yang diinginkan.
- Memperbaiki mikrostruktur, misalnya dengan menutup rongga cacat pada coran, menghomogenkan dan menghaluskan butir, dan memperkuat logam menggunakan mekanisme pengerasan regangan.

Jenis – jenis pembentukan logam

- *Sheet Metal Forming*

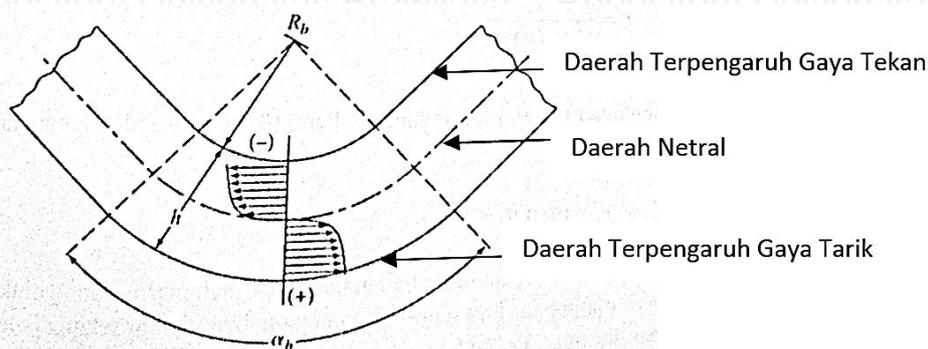
Proses *metal forming* pada logam dibentuk dengan cara ditekan hingga terbentuk sesuai dengan bentuk rencana. Proses ini juga digunakan untuk memperbaiki sifat fisik suatu logam. *Sheet metal forming* dapat dilaksanakan dengan menggunakan pengerjaan panas (*hot working*) maupun pengerjaan dingin (*cold working*).

Material pada *hot working* dipanaskan dahulu sampai di atas tempeteratur rekristalisasi, sehingga sifat-sifat material diharapkan akan berubah, dengan pengerjaan panas secara umum material yang dihasilkan lebih mudah dibentuk, lebih ulet dan bentuk-bentuk rumit menjadi lebih mudah dikerjakan. Sedangkan pada *cold working*, prosesnya dikerjakan di bawah temperatur rekristalisasi. *Cold working* digunakan untuk mendapat ketelitian bentuk yang lebih baik dan penampang permukaan yang dihasilkan lebih halus.

- Proses *wire drawing* : proses penarikan kawat yang diameter penampang atau batang logamnya akan berukuran sesuai keinginan.
- Proses *forging* : proses pembentukkan logam dengan cara memberikan pembebanan secara berulang-ulang dan terputus-putus.
- Proses *extruding* : proses yang dilaksanakan dengan cara mengkompresikan logam yang dipanaskan sampai diatas titik *yield* kemudian menekannya sesuai bentuk yang diinginkan.
- Proses *bending* : Pemberian beban/tekanan secara permanen yang menyebabkan terjadinya deformasi plastis sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

### 2.3 Bending

*Bending* merupakan proses terjadinya deformasi plastis suatu logam terhadap sumbu linier yang sedikit atau hampir tidak mengalami perubahan luas permukaan dengan tekanan *punch* dan cetakan (*die*). Sebuah logam menjadi bengkok akibat adanya tekanan mesin *bending*. Pada pengerjaan ini biasanya menggunakan logam panjang, piringan, ataupun lembaran logam. Biasanya *bending* menggunakan cetakan (*die*) berbentuk V, U, W, dll. *Bending* menyebabkan logam di sisi luar sumbu netral mengalami gaya tarik, sedangkan di sisi dalam mengalami gaya tekan.



Gambar 2.1 Gaya yang Bekerja Pada Benda Kerja Setelah Proses Bending  
Sumber: Schey (2012,p.301)

Pada benda kerja yang diberi perlakuan bending terdapat tiga daerah yang dihasilkan yaitu daerah yang terpengaruh gaya tekan, daerah netral dan daerah yang terpengaruh gaya tarik. Pada daerah yang terpengaruh gaya tekan terjadi pengurangan panjang pada benda kerja setelah proses *bending*. Sedangkan pada daerah yang terpengaruh gaya tarik terjadi penambahan panjang benda kerja setelah proses *bending*. Sumbu netral merupakan daerah yang tidak mengalami pengurangan ataupun penambahan panjang. Jika dituliskan pada rumus regangan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots (2-1)$$

$$\varepsilon = \frac{0}{l_0}$$

$$\varepsilon = 0$$

Dengan :  $\varepsilon$  = Regangan

$\Delta l$  = Selisih panjang akhir dan panjang awal

$l_0$  = Panjang awal

Sehingga tegangan yang dihasilkan :

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \dots\dots\dots(2-2)$$

$$\sigma = 0 \cdot E$$

$$\sigma = 0$$

Dengan :  $\sigma$  = Tegangan

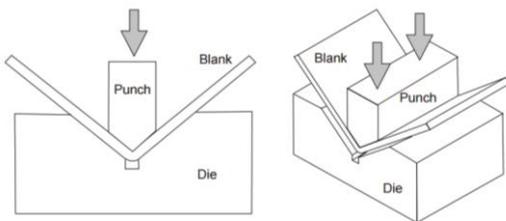
$\varepsilon$  = Regangan

$E$  = Modulus *Young*

## 2.4 Macam-Macam *Bending*

### 1. *V-Bending*

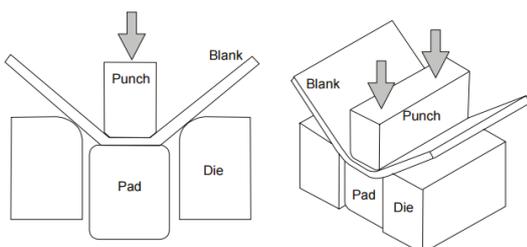
Pada *V-Bending*, jarak antara *punch* dan *dies* adalah konstan (sama dengan ketebalan *sheet blank*). *V-bending* digunakan secara luas dalam industri manufaktur. Ketebalan plat yang digunakan berkisar antara 0.5 mm sampai 25 mm.



*Gambar 2.2 V – Bending*  
Sumber: Olaf (2002,p.8)

### 2. *U- Die Bending*

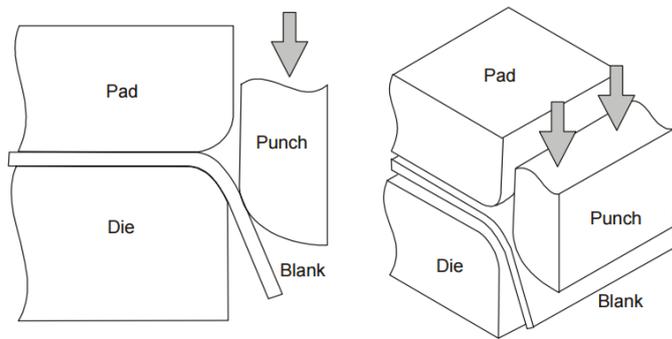
*U-die bending* adalah *bending* yang dilakukan ketika dua sumbu sejajar pada pembengkokan dalam operasi yang sama. *Backing pad* digunakan untuk menekan pelat oleh *punch*. Dalam hal ini dibutuhkan sekitar 30% dari kekuatan tekanan *bending* oleh *punch* sampai plat dapat menyentuh *pad*.



*Gambar 2.3 U – Die Bending*  
Sumber: Olaf (2002,p.8)

### 3. Wiping Die Bending

*Wiping die bending* atau *flanging* adalah *bending* yang salah satu ujung plat ditekuk sampai  $90^\circ$ , sementara ujung yang lain dibatasi oleh material itu sendiri, kekuatan *blank-holder* dan *pad*. Sudut *bending* dapat dikendalikan oleh posisi *stroke punch* dan panjang yang mengarah dapat dengan mudah berubah.



Gambar 2.4 Wiping Die Bending

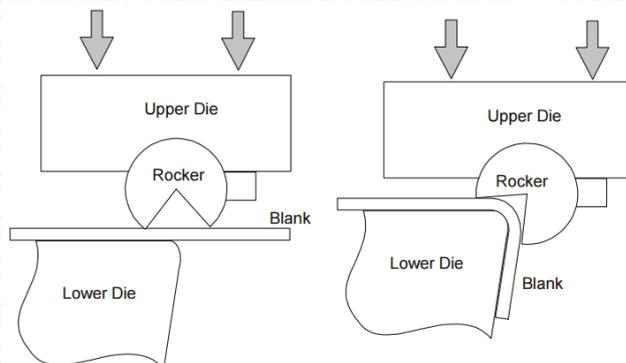
Sumber: Olaf (2002,p.8)

### 4. Rotary Bending

*Rotary bending* adalah proses *bending* dengan menggunakan *rocker punch*.

Kelebihan dari *rotary bending* adalah:

- Bending* dapat lebih dari  $90^\circ$
- Blank-holder* tidak diperlukan
- Mengurangi gaya tekan
- Kompensasi untuk *springback* oleh *over-bending*



Gambar 2.5 Rotary Bending

Sumber: Olaf (2002,p.8)

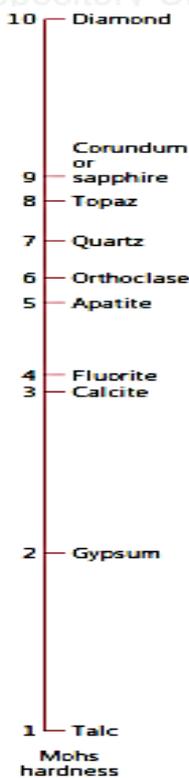
## 2.5 Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan material terhadap deformasi plastis akibat gaya tekan dari material lain yang lebih keras. Deformasi berupa kombinasi perilaku plastis dan elastis. Permukaan yang saling bersinggungan antar dua komponen bergerak satu sama lain akan menyebabkan deformasi elastis maupun plastis. Pada permukaan yang keras deformasi yang terjadi kemungkinan adalah deformasi elastis, sedangkan pada permukaan yang lebih lunak deformasi yang terjadi adalah deformasi plastis. Efek terjadinya deformasi tergantung pada kekerasan permukaan material. Penekanan berupa mekanisme gores/*scratching*, pantulan dan indentasi dari material lain yang lebih keras.

Berdasarkan mekanisme penekanan pada material tersebut, dikenal 3 metode uji kekerasan:

### 1. Metode gores

Meskipun sudah jarang digunakan dalam dunia metalurgi dan material lanjut, metode ini masih sering digunakan dalam dunia mineralogi. Friedrich Mohs mengenalkan metode ini dengan membagi kekerasan material yang ada di dunia berdasar skala Mohs. Variasi skala Mohs dimulai dari skala 1 untuk nilai kekerasan terendah, sampai skala 10 untuk nilai kekerasan tertinggi.



Gambar 2.6 Skala Kekerasan Mohs  
Sumber: Callister (2001,p.181)

## 2. Metode pantulan (*rebound*)

Nilai kekerasan suatu material ditentukan oleh *scleroscope* dengan mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (*hammer*) menggunakan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap permukaan material uji. Tinggi pantulan yang didapat mewakili nilai kekerasan material uji. Semakin tinggi pantulan yang dihasilkan maka nilai kekerasan material yang diuji semakin tinggi.

## 3. Metode Indentasi

Metode ini dilakukan dengan memberikan penekanan pada material yang diuji menggunakan indentor sebagai gaya tekan dengan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan material ditentukan oleh kedalaman atau luas indentasi yang dihasilkan. Berdasarkan prinsip kerjanya metode uji kekerasan dengan mekanisme indentasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

### a. Metode *Brinell*

J.A. *Brinell* memperkenalkan metode ini pada tahun 1900. Pengujian kekerasan ini dilakukan menggunakan *hardened steel ball* dengan pemberian beban dan waktu indentasi tertentu, seperti yang ditunjukkan oleh *Gambar 2.7*.

Hasil indentasi yang dihasilkan berbentuk bulat, kemudian dihitung diameternya menggunakan mikroskop khusus pengukur indentasi. Contoh pengukuran hasil penjejakan diberikan oleh *Gambar 2.7* Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan dengan rumus:

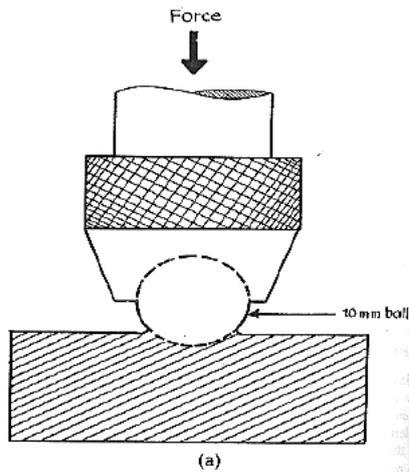
$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(2-3)$$

dengan:

$P$  = Beban (kg)

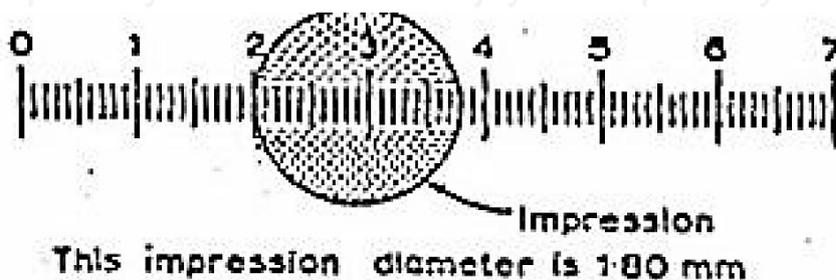
$D$  = Diameter indentor (mm)

$d$  = Diameter indentasi (mm)



Gambar 2.7 Metode Brinell  
Sumber: Yuwono (2009,p.16)

Bola baja pada syarat standar pengujian berdiameter 10 mm dan beban 3000 kg untuk pengujian logam *ferrous*. Beban 500 kg untuk logam *non-ferrous*. Waktu indentasi logam *ferrous* 10 detik sedangkan waktu indentasi logam *non-ferrous* 30 detik. Meskipun demikian pemberian beban dan waktu indentasi pada setiap material ditentukan juga oleh karakteristik alat penguji. Nilai kekerasan pada suatu material yang dinotasikan dengan 'HB' tanpa ada tambahan angka di belakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indenter bola baja 10 mm, beban 3000 kg selama waktu 1—15 detik. Pada notasi HB diikuti dengan angka yang menyatakan kondisi-kondisi saat pengujian. Contoh: 90 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan *Brinell* sebesar 90 yang dihasilkan oleh suatu pengujian dengan diameter indenter bola baja sebesar 10 mm, pembebanan 500 kg dan waktu indentasi 30 detik.



Gambar 2.8 Hasil indentasi Brinell  
Sumber: Yuwono (2009,p.16)

### b. Metode *Vickers*

Metode ini menggunakan indenter intan berbentuk piramida. Sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Ada dua rentang kekuatan yang berbeda pada metode *Vickers*, yaitu mikro (10g – 1000g) dan makro (1kg – 100kg). Seperti pada *Gambar 2.9*. Prinsip pengujian metode *Vickers* sama dengan metode *Brinell*, meskipun indentasi yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar yang berdiagonal. Panjang diagonal diukur menggunakan skala pada mikroskop. Rumus nilai kekerasan metode *Vickers*:

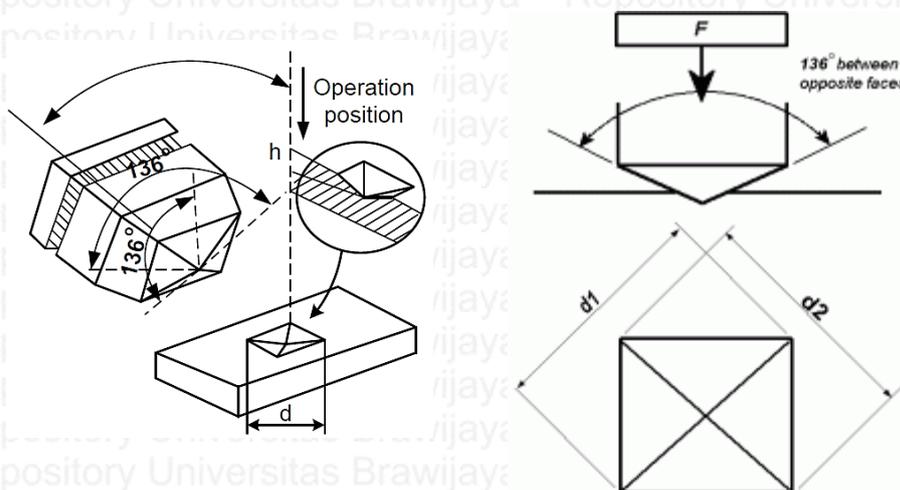
$$HV = \{2P \sin(\alpha/2)\} / d^2 = 1,854 P / d^2 \dots\dots\dots(2-4)$$

dengan :

$P$  = gaya tekan (kg)

$d$  = diagonal rata rata (mm)

$\alpha$  = sudut puncak indenter =  $136^\circ$



*Gambar 2.9* Metode *Vickers*  
Sumber: Yuwono (2009,p.17)

Kelebihan pengujian *Vickers*:

- Skala kekerasan yang kontinu dengan rentang yang luas, mulai dari yang sangat lunak dengan nilai 5 sampai yang sangat keras dengan nilai 1500. Indenter intan yang sangat keras dianjurkan untuk pengujian material yang sudah di proses dengan *case hardening*, dan proses pelapisan dengan logam lain yang lebih keras
- Dapat dilakukan pengujian pada benda dengan ketebalan 0,006 inchi.

Kelemahan pengujian *Vickers*:

- Membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menentukan nilai kekerasan sehingga jarang dipakai untuk kebutuhan rutin.

c. Metode *Rockwell*

Merupakan pengujian kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode ini sering dipakai dalam industri karena kepraktisannya. Variasi beban dan indenter metode ini bermacam-macam. *Rockwell B* merupakan metode yang paling umum digunakan (menggunakan indenter bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg) dan *Rockwell C* (menggunakan indenter intan dengan beban 150 kg). Maka dari itu skala kekerasan *Rockwell* suatu material harus dispesifikasikan secara jelas. Contohnya 82 HRB, yang menyatakan material diukur dengan skala B: indenter 1/6 inci dan beban 100 kg. Berikut ini Tabel 2.1 yang menunjukkan perbedaan skala dan *range* uji dalam skala *Rockwell*:

Tabel 2.1  
Skala pada Metode Uji Kekerasan *Rockwell*

TABLE 1-5 The Rockwell Hardness Scales\*

SCALE	MAJOR LOAD, KG	TYPE OF INDENTER	TYPICAL MATERIALS TESTED
A	60	Diamond cone	Extremely hard materials, tungsten carbides, etc.
B	100	1/16" ball	Medium hard materials, low- and medium-carbon steels, brass, bronze, etc.
C	150	Diamond cone	Hardened steels, hardened and tempered alloys
D	100	Diamond cone	Case-hardened steel
E	100	1/8" ball	Cast iron, aluminum and magnesium alloys
F	60	1/16" ball	Annealed brass and copper
G	150	1/16" ball	Beryllium copper, phosphor bronze, etc.
H	60	1/8" ball	Aluminum sheet
K	150	1/8" ball	Cast iron, aluminum alloys
L	60	1/4" ball	Plastics and soft metals such as lead
M	100	1/4" ball	Same as L scale
P	150	1/4" ball	Same as L scale
R	60	1/2" ball	Same as L scale
S	100	1/2" ball	Same as L scale
V	150	1/2" ball	Same as L scale

\* Ametec Testing Equipment Systems, East Moline, Ill

Sumber: Yuwono (2009,p.18)

## 2.6 Titanium

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Unsur ini merupakan logam transisi yang ringan, kuat, tahan korosi (termasuk tahan terhadap air laut, dan klorin) dengan warna putih metalik keperakan. Sifat titanium adalah sebagai berikut:

Fase	: <i>solid</i>
Titik lebur	: 1941 K (1668 °C, 3034 °F)
Massa jenis	: 4.506 g/cm <sup>3</sup>
Modulus Young	: 116 GPa
Skala Mohs	: 6.0
Skala Vickers	: 970 MPa
Skala Brinell	: 716 MPa

## 2.7 *Stainless Steel*

*Stainless steel* adalah kelompok baja paduan tinggi yang dirancang untuk memberikan ketahanan korosi yang tinggi. Unsur paduan utama yang terdapat pada *stainless steel* adalah kromium, biasanya di atas 15%. Kromium di dalam paduan membentuk lapisan tipis oksida, tahan terhadap pengoksidasi yang melindungi permukaan.

*Nickel* merupakan bahan paduan lain yang digunakan dalam baja *stainless* tertentu untuk meningkatkan perlindungan terhadap korosi. Karbon digunakan untuk memperkuat dan mengeraskan logam. Namun peningkatan jumlah kadar karbon akan mengurangi perlindungan terhadap korosi karena kromium karbida dibentuk untuk mengurangi jumlah kromium bebas yang terdapat dalam paduan.

Selain ketahanan korosi, *stainless steel* dikenal dapat digunakan untuk kombinasi kekuatan dan keuletan. Meskipun sifat ini diperlukan dalam banyak aplikasi, secara umum paduan ini sulit untuk dikerjakan dengan proses manufaktur. *Stainless steel* secara signifikan lebih mahal daripada *plain carbon steel* ataupun baja paduan rendah.

*Stainless steel* secara sederhana dapat dibagi menjadi menjadi 3 yaitu *austenitic stainless*, *ferritic stainless*, *martensitic stainless* serta ada 2 tambahan lagi yaitu : *Precipitation hardening stainless*, dan *Duplex stainless*.

### 1. *Austenitic stainless*

*Austenitic stainless* memiliki komposisi khas sekitar 18% *Chromium* and 8% Ni dan memiliki ketahanan korosi yang paling baik dari jenis *ferritic stainless* dan *martensitic stainless*. *Stainless* ini bersifat nonmagnetik dan sangat lunak; tetapi mereka menunjukkan pengerasan kerja yang signifikan. *Nickel* memiliki efek dapat memperbesar daerah austenit dalam diagram fase Fe-Fe<sub>3</sub>C sehingga stabil pada temperatur kamar. *Austenitic stainless* digunakan dalam fabrikasi bahan kimia dan peralatan dalam proses pengolahan makanan, serta bagian-bagian mesin yang membutuhkan ketahanan korosi yang tinggi.

*Stainless steel* yang dipakai pada penelitian ini adalah *stainless steel 316 L*. Pada tipe ini ada penambahan unsur *molibdenum 2% – 3%* sehingga memberikan perlindungan terhadap korosi, baik di gunakan pada peralatan yang berhubungan dengan air laut. *Stainless steel 316L* merupakan seri 300 yang merupakan jenis dari *austenitic stainless steel*. Angka 16 menunjukkan kandungan unsur kromium sebesar 16%. Penambahan *nickel* sebesar 12% tetap mempertahankan struktur *austenitic*. Huruf L menunjukkan L grade yang berarti *low carbon steel* dimana memiliki kandungan karbon 0,03%-0,035 %. Titik *yield* plat *stainless steel 316L* = 25 ksi.

### 2. *Ferritic stainless*

*Ferritic stainless* memiliki komposisi sekitar 15% sampai 20% kromium, karbon rendah, dan tidak mengandung *nickel*. Hal ini memberikan fase *ferrite* pada temperatur kamar. *Ferritic stainless* memiliki sifat magnetik, kurang ulet dan kurang tahan korosi daripada *austenitic stainless*. Bagian-bagian yang terbuat dari *ferritic stainless* adalah peralatan dapur untuk komponen mesin jet.

### 3. *Martensitic stainless*

*Martensitic stainless* memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dari *ferritic stainless*, sehingga memungkinkan *martensitic stainless* untuk diperkuat dengan perlakuan panas. *martensitic stainless* memiliki komposisi sebanyak 18% Cr tetapi tidak mengandung Ni. *Stainless* jenis ini memiliki sifat kuat, keras, dan tahan terhadap *fatigue*, tapi umumnya tidak tahan korosi dibandingkan dengan *austenitic stainless* dan *ferritic stainless*. Produk yang dihasilkan meliputi sendok dan garpu.

### 4. *Precipitation hardening stainless*

*Precipitation hardening stainless* memiliki komposisi khas 17% Cr dan 7% Ni, dengan tambahan unsur paduan dalam jumlah kecil seperti aluminium, tembaga, titanium, dan

molibdenum. Kekuatan dan ketahanan korosi dipertahankan pada temperatur tinggi, paduan ini sesuai untuk aplikasi *aerospace*.

##### 5. Duplex stainless

*Duplex stainless* memiliki struktur yang merupakan campuran austenit dan *ferrite* kira-kira memiliki komposisi yang hampir sama. Ketahanan korosi *duplex stainless* mirip dengan nilai *austenitic stainless*, dan menunjukkan peningkatan daya tahan terhadap *stress corrosion cracking*. Aplikasi *stainless* jenis ini terdapat pada *heat exchanger*, pompa, dan instalasi pengolahan air limbah.

## 2.8 Temperatur Pada Metal Forming

Kekuatan dan pengerasan regangan akan berkurang pada temperatur yang lebih tinggi. Perubahan sifat ini penting karena mereka dihasilkan pada gaya dan kekuatan yang lebih rendah selama proses pembentukan. Selain itu, keuletan meningkat pada temperatur lebih tinggi, yang memungkinkan deformasi plastis yang lebih besar dari spesimen logam. Kita dapat membedakan tiga rentang temperatur yang digunakan dalam pembentukan logam: pengerjaan dingin, pengerjaan hangat, dan pengerjaan panas .

Pengerjaan dingin (*cold working*): Pengerjaan dingin (biasa dikenal dengan pembentukan dingin) adalah pembentukan logam yang dilakukan pada temperatur kamar atau sedikit di atasnya. Keuntungan yang signifikan dari pembentukan dingin dibandingkan dengan pengerjaan panas:

1. Akurasi yang lebih besar, yang berarti nilai toleransi yang lebih teliti dapat dicapai.
2. Permukaan akhir saat pengerjaan lebih baik.
3. Kekuatan yang lebih tinggi dan kekerasan pada bagian yang mengalami pengerasan regangan.
4. Aliran butiran selama deformasi membentuk arah sesuai dengan yang diinginkan sehingga dapat menghasilkan produk sesuai dengan keinginan.
5. Tidak dibutuhkan pemanasan yang tinggi pada pengerjaan ini, sehingga dapat menghemat penggunaan dapur dan biaya bahan bakar yang memungkinkan dalam meningkatkan laju produksi yang lebih tinggi.

Karena memiliki bermacam-macam keuntungan, proses pembentukan dingin banyak digunakan dalam operasi produksi massal.

Kelemahan pada proses pembentukan dingin:

1. Kekuatan dan daya yang diperlukan untuk melakukan operasi lebih tinggi dari proses pembentukan hangat dan proses pembentukan panas.

2. Perawatan harus dilakukan untuk memastikan bahwa permukaan benda kerja bebas dari kotoran.
3. Keuletan dan pengerasan regangan pada logam kerja terbatas.

Dalam beberapa operasi, logam harus di *annealing* untuk memungkinkan deformasi lebih lanjut sehingga mendapatkan logam yang lebih ulet. Untuk mengatasi masalah pengerasan – regangan, mengurangi kekuatan dan daya yang dibutuhkan, banyak operasi pembentukan yang dilakukan pada temperatur yang tinggi. Ada dua macam pengerjaan pada rentang temperatur tinggi yaitu pengerjaan hangat dan pengerjaan panas.

**Pengerjaan Hangat:** Karena sifat deformasi plastis biasanya ditingkatkan dengan meningkatnya temperatur benda kerja, operasi pembentukan kadang-kadang dilakukan pada temperatur sedikit di atas temperatur kamar tetapi di bawah temperatur rekristalisasi. Istilah pengerjaan hangat diterapkan untuk rentang temperatur kedua ini. Garis pemisah antara pengerjaan dingin dan pengerjaan hangat sering dinyatakan dalam titik lebur pada logam. Garis pemisah ini biasanya diambil  $0,3 T_m$ , di mana  $T_m$  adalah titik lebur (temperatur mutlak) pada logam tertentu. Keuntungan pengerjaan hangat :

1. Konsumsi energi lebih rendah.
2. Geometri kerja yang lebih rumit mungkin dikerjakan dengan pengerjaan hangat.
3. Proses *annealing* dapat dikurangi atau dihilangkan.

Kelemahan pengerjaan hangat adalah perilaku material belum terkarakteristik dengan baik pada temperatur pengerjaan hangat.

Pengerjaan panas (*hot working*) melibatkan deformasi pada temperatur di atas temperatur rekristalisasi. Temperatur rekristalisasi untuk logam adalah sekitar satu setengah dari titik leburnya pada skala mutlak. Dalam prakteknya, pengerjaan panas biasanya dilakukan pada temperatur sedikit di atas  $0,5 T_m$ . Butiran pada logam kerja semakin lembut seiring temperatur meningkat melampaui  $0,5 T_m$ . Temperatur pengerjaan panas biasanya dipertahankan dalam kisaran  $0,5 T_m$  sampai  $0,75 T_m$ .

Keuntungan pengerjaan panas:

1. Bentuk bagian dari benda kerja dapat secara signifikan diubah.
2. Kekuatan dan daya yang diperlukan lebih rendah saat logam terdeformasi.
3. Logam yang biasanya patah dengan pengerjaan dingin dapat terbentuk dengan pengerjaan panas.
4. Sifat kekuatan secara umum adalah isotropik karena tidak adanya struktur butiran yang berorientasi secara khas dalam pengerjaan dingin.

Kekurangan dalam pengerjaan panas meliputi:

1. Akurasi dimensi yang lebih rendah.
2. Energi total yang dibutuhkan lebih tinggi (karena energi panas digunakan untuk memanaskan benda kerja).
3. Permukaan pada akhir pengerjaan panas buruk.
4. Umur pemakaian alat lebih pendek.

Rekristalisasi logam pada pengerjaan panas melibatkan difusi atom, yang merupakan *time - dependent process*. Proses *metal forming* sering dilakukan pada kecepatan tinggi sehingga tidak mempunyai waktu yang cukup untuk terjadi rekristalisasi secara sempurna pada struktur butir selama siklus deformasi itu sendiri. Tetapi karena temperatur yang tinggi, rekristalisasi akhirnya terjadi. Hal ini mungkin terjadi setelah proses pembentukan kemudian diikuti rekristalisasi dengan segera ataupun lambat, seperti benda kerja saat dingin. Meskipun rekristalisasi mungkin terjadi setelah deformasi aktual yang pada akhirnya terjadi pelunakan logam pada temperatur tinggi. Hal inilah yang membedakan pengerjaan panas dengan pengerjaan hangat dan pengerjaan dingin.

## 2.9 Mikrostruktur Baja

Pada proses perlakuan panas diperlukan pengetahuan tentang transformasi fasa, sehingga memungkinkan memperoleh sifat-sifat mekanik bahan dengan mengubah struktur mikro baja. Struktur yang terdapat pada baja antara lain adalah :

### a. Ferrite

*Ferrite* yaitu kristal besi murni (*ferum = Fe*) terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. *Ferrite* murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban karena kekuatannya kecil. *Ferrite* mempunyai sel satuan *Body Centered Cubic (BCC)* yang hanya dapat menampung unsur karbon maksimum 0.025% pada temperatur 723°C. *Ferrite* menjadi getas pada temperatur rendah, dan merupakan struktur yang paling lunak pada baja.

### b. Cementite

Karbid besi ( $Fe_3C$ ), suatu senyawa kimia antara (Fe) dengan karbon (C). Sebagai unsur struktur tersendiri, dia dinamakan *cementite* dan mengandung 6.7% karbon. Rumus kimia  $Fe_3C$  menyatakan bahwa senantiasa ada 3 atom besi yang menyelenggarakan ikatan dengan sebuah atom karbon (C) menjadi sebuah molekul karbid besi. Dengan meningkatnya kandungan C, maka semakin besar pula kandungan *cementite*. *Cementite* dalam baja, merupakan unsur yang paling keras (270 kali lebih keras dari besi murni), tetapi bila bercampur dengan *ferrite* yang lunak maka kekerasan keduanya menurun.

c. *Pearlite*

Struktur *pearlite* adalah struktur yang terbentuk karena persenyawaan antara struktur *ferrite* dan struktur *cementite* yang seimbang dalam struktur *pearlite*. Struktur *pearlite* jika dipanaskan sampai temperatur 723°C akan berubah menjadi struktur *austenite*. *Pearlite*, merupakan campuran erat antara *ferrite* dan *cementite*. Kristal *ferrite* terdiri dari serpihan *cementite* halus memperoleh penempatan saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel garis gelap adalah *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan luasan terang adalah *ferrite*. Laju pendinginan lambat menghasilkan *pearlite* kasar dan laju pendinginan cepat menghasilkan *pearlite* halus, bersifat keras dan lebih tangguh.

d. *Martensite*

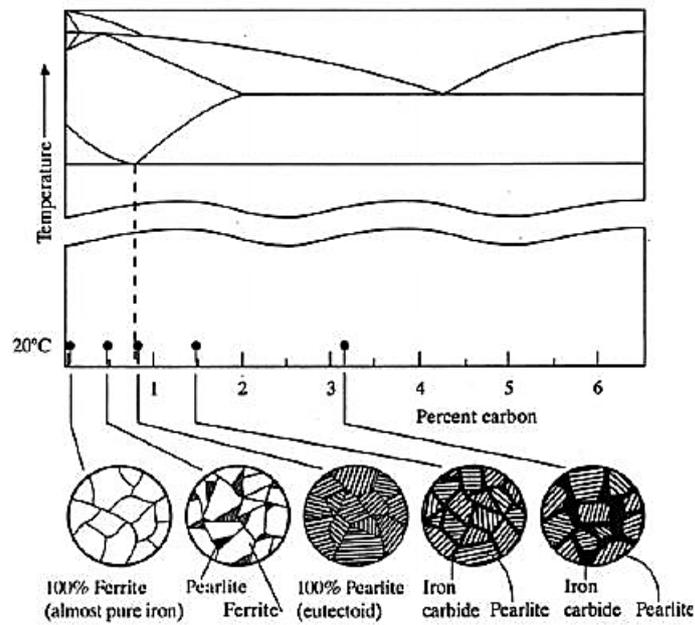
*Martensite* merupakan fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau *Body Centered Tetragonal* (BCT). Makin tinggi kejenuhan karbon maka semakin keras dan getas. Jika baja didinginkan secara cepat dari fasa *austenite*, maka sel satuan FCC akan bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Pendinginan yang cepat ini menyebabkan unsur karbon yang larut dalam BCC tidak sempat keluar (terperangkap) dan tetap berada dalam sel satuan tersebut. Hal ini menyebabkan distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT.

e. *Austenite*

Struktur *austenite* adalah struktur yang berasal dari struktur *ferrite* yang dipanaskan pada temperatur 910°C-1391°C atau struktur *pearlite* yang dipanaskan pada temperatur 723°C – 1392°C. Struktur *austenite* juga disebut besi *gamma* ( $\gamma$ ), sifatnya tidak magnetis. Susunan kristalnya berbentuk kubus pusat ruang (FCC). *Austenite* mempunyai sel satuan kubus pusat badan atau *Face Centered Cubic* (FCC). Fasa ini hanya mungkin ada pada temperatur tinggi.

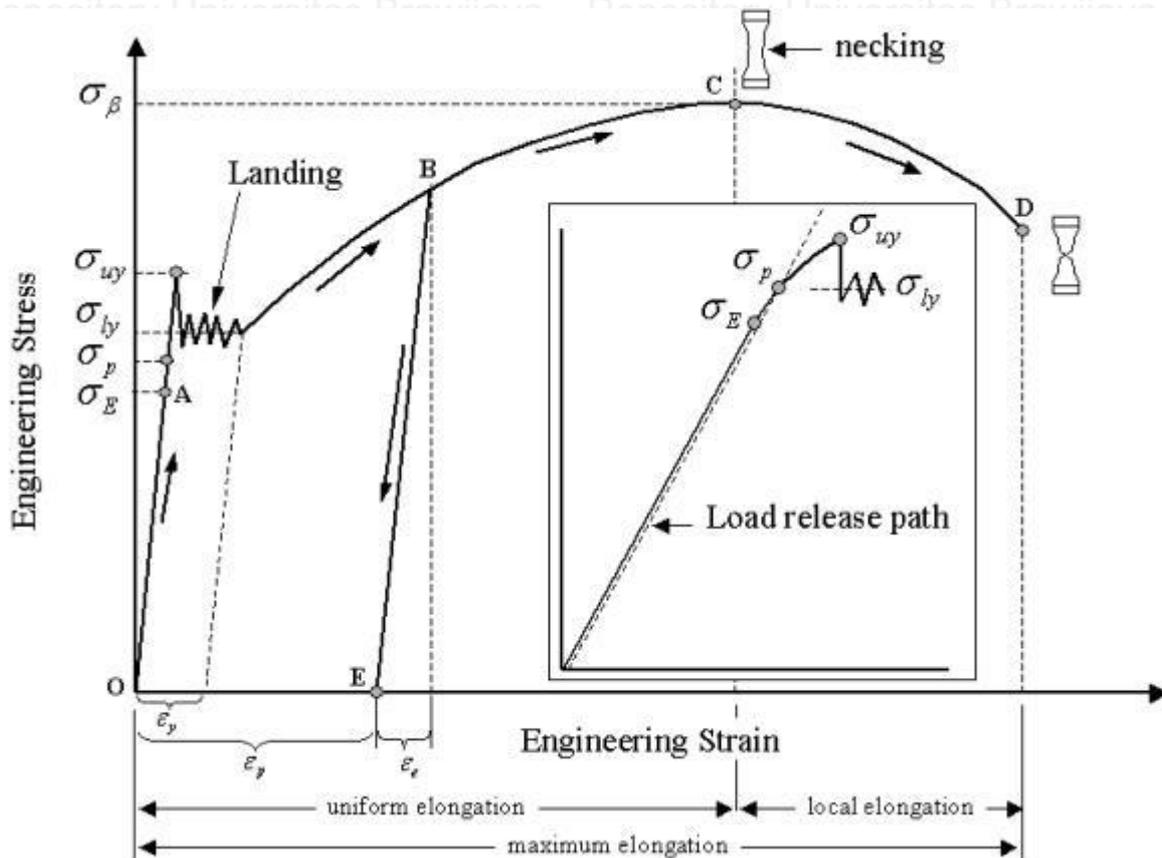
f. *Ledeburite*

*Ledeburite* merupakan campuran eutektik antara *austenite* dan *cementite*, terbentuk pada temperatur 1130°C.



Gambar 2.10 Mikrostruktur dari Fasa-Fasa Besi dalam Suhu Ruang  
Sumber: Budinski (1996,p.386)

## 2.10 Diagram Tegangan Regangan



Gambar 2.11 Diagram Tegangan Regangan  
Sumber: Callister (2001,p.162)

### 1. Batas elastis $\sigma_E$ (elastic limit)

Dalam Gambar 2.11 dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat inset dalam Gambar 11). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permanen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005%. Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.

### 2. Batas proporsional $\sigma_p$ (proportional limit)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

3. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada *Gambar 11* yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

4. Tegangan luluh atas  $\sigma_{uy}$  (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah *landing* peralihan deformasi elastis ke plastis.

5. Tegangan luluh bawah  $\sigma_{ly}$  (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

6. Regangan luluh  $\epsilon_y$  (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

7. Regangan elastis  $\epsilon_e$  (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

8. Regangan plastis  $\epsilon_p$  (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

9. Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis,  $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$ . Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

10. Tegangan tarik maksimum TTM (*UTS, ultimate tensile strength*)

Pada *Gambar 11* ditunjukkan dengan titik C ( $\sigma_\beta$ ), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

11. Kekuatan patah (*breaking strength*)

Pada *Gambar 11* ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

## 2.11 Hipotesis

Pengaruh sudut *dies* terhadap kekerasan spesimen adalah semakin besar sudut *dies* kekerasannya semakin rendah. Hal ini disebabkan bidang kontak menjadi semakin besar sehingga deformasi plastis yang terjadi semakin banyak.

Pengaruh temperatur pemanasan terhadap kekerasan spesimen adalah semakin tinggi temperatur pemanasan maka kekerasan spesimen semakin rendah. Hal ini disebabkan titik elastis spesimen akan mengalami pergeseran semakin panjang yang membuat deformasi plastis semakin banyak sehingga kekerasannya semakin rendah. Ukuran butiran yang dihasilkan akan semakin bertambah besar seiring dengan bertambahnya temperatur pemanasan.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini metode penelitian eksperimental yaitu metode penelitian dengan pengamatan secara langsung untuk mendapatkan data sebab dan akibat dalam suatu proses dengan eksperimen. Tujuan menggunakan metode penelitian eksperimental dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut *dies* dan temperatur pemanasan terhadap kekerasan dan mikrostruktur hasil *V-Bending* plat *stainless steel* 316L.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat: - Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Brawijaya untuk pengujian *bending*.  
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Universitas Malang untuk pengujian kekerasan dan mikrostruktur.

Waktu Pelaksanaan penelitian: November 2016 – selesai.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian:

##### 1. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan sebelum penelitian dilaksanakan sendiri tanpa ada pengaruh dari variabel lain.

Diantaranya:

1. Temperatur yang digunakan: Temperatur kamar, 350°C, dan 600°C.

2. Sudut *dies*: 30°, 60°, dan 90°.

##### 2. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya tergantung pada variabel bebas.

Variabel terikat: nilai kekerasan dan mikrostruktur spesimen hasil *V-Bending*.

### 3. Variabel terkontrol

Variabel yang nilainya konstan yang ditentukan sebelum penelitian. Diantaranya:

1. Tekanan yang digunakan dalam *bending* 214 ksi.
2. *Bending* yang digunakan adalah *direct bending*.

## 6.4 Alat dan Bahan Penelitian

### 6.4.1 Alat- Alat penelitian:

#### 1. Mesin *bending hydraulic*

Digunakan untuk membuat spesimen *V-Bending*.

Spesifikasi :

<i>Pressure</i>	: 214 ksi
<i>Depth of throat</i>	: 400 mm
<i>Table Width</i>	: 250 mm
<i>Working speed</i>	: 10 mm/s
<i>Return speed</i>	: 100 mm/s
<i>Motor power</i>	: 5,625 kW
<i>Motor speed</i>	: 1430 rpm
<i>Volume oil of tank</i>	: 50 L
<i>Length of machine</i>	: 2000 mm
<i>Width of machine</i>	: 500 mm
<i>Height of machine</i>	: 1500 mm

#### 2. *Micro Vickers hardness tester*

Digunakan untuk menguji kekerasan spesimen.

<i>Mass of Indentor</i>	: 500g
<i>Weight</i>	: 40 kg
<i>Serial no</i>	: 015014
<i>Model no</i>	: EW-412AAT

#### 3. Mikroskop logam

Digunakan untuk menguji mikrostruktur spesimen.

#### 4. Gunting Logam

Digunakan untuk memotong plat *stainless steel* 316L.

#### 5. Penggaris

Digunakan untuk mengukur plat sebelum dipotong.

6. Busur api

Digunakan untuk memanaskan spesimen sebelum diperlakukan *bending*.

7. *Thermogun*

Digunakan untuk mengukur temperatur ketika dipanaskan.

8. Sarung Tangan

Digunakan untuk melindungi tangan saat memanaskan spesimen dan saat mengambil spesimen setelah *dibending*.

9. Tang

Digunakan untuk mengambil spesimen setelah *dibending*.

10. Resin dan katalis

Digunakan sebagai dudukan spesimen untuk pengujian *microvickers hardness tester*.

11. Kamera

Digunakan untuk dokumentasi selama penelitian berlangsung.

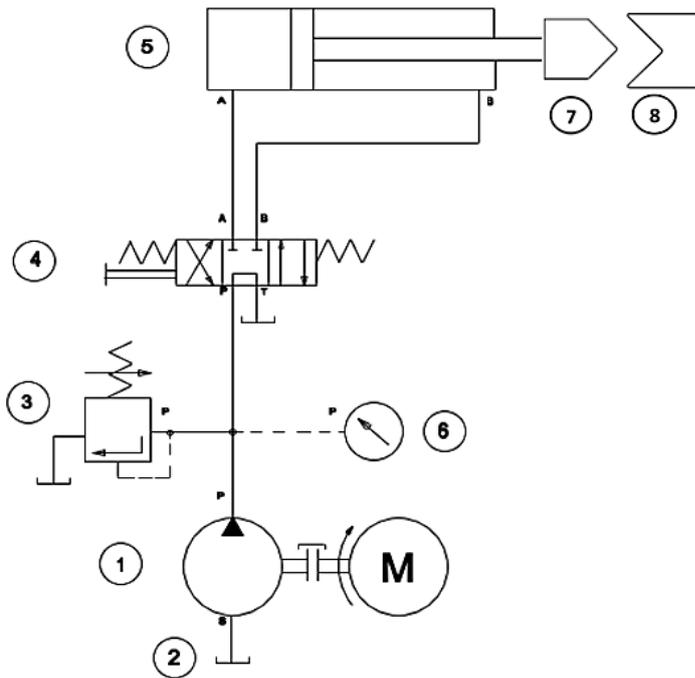
#### 6.4.2 Bahan Penelitian

Bahan spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah plat *stainless steel 316L*.

Bahan *punch* dan *dies* yang digunakan adalah baja ST 37.

## 6.5 Instalasi Penelitian

### 6.5.1 Instalasi Mesin *Hydraulic Bending*



Gambar 3.1 Instalasi Mesin *Hydraulic Bending*

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Keterangan :

M : Motor

1 : *Hydraulic pump*

2 : *Hydraulic tank*

3 : *Pressure relief valve*

4 : *Manually directional control valve*

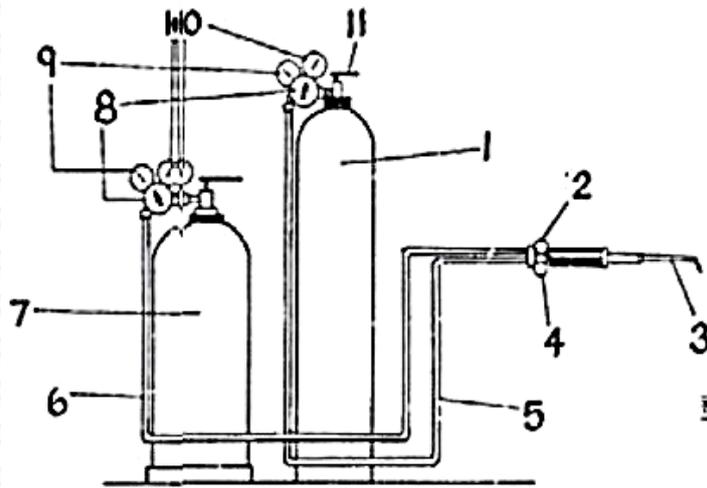
5 : *Silinder hydraulic*

6 : *Pressure gauge*

7 : *Punch*

8 : *Dies*

### 3.5.2 Instalasi Busur Api



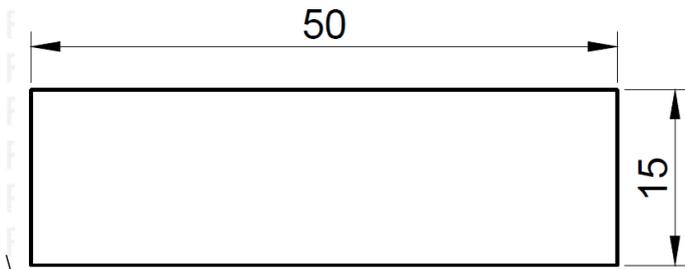
Gambar 3.2 Instalasi Busur Api  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Keterangan :

- 1 : Tabung oksigen
- 2 : Kran setelan LPG
- 3 : Torch
- 4 : Kran setelan oksigen
- 5 : Saluran oksigen
- 6 : Saluran LPG
- 7 : Tabung LPG
- 8 : Regulator LPG
- 9 : Regulator oksigen
- 10 : Silinder pressure
- 11 : Adjusting screw

**6.6 Dimensi Spesimen, Punch, dan Dies**

**6.6.1 Dimensi Spesimen**

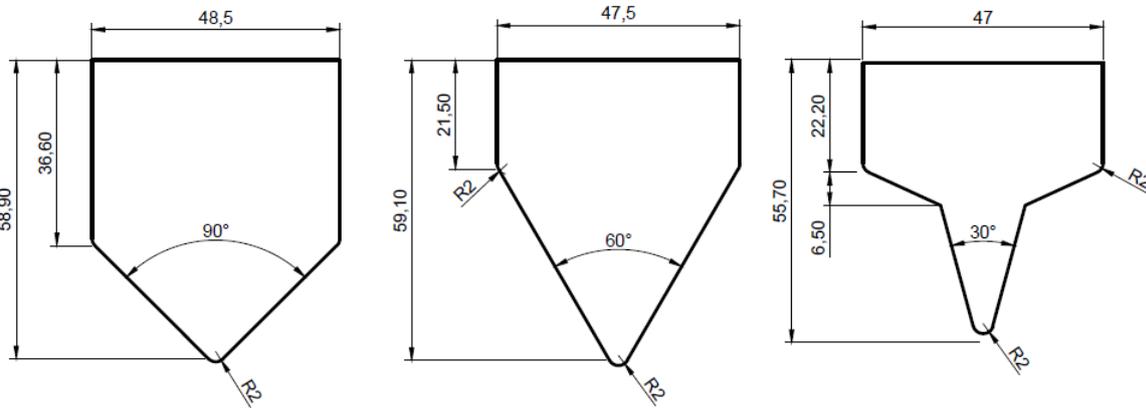


Satuan : mm

Gambar 3.3 Dimensi spesimen

Sumber : Dokumentasi Pribadi

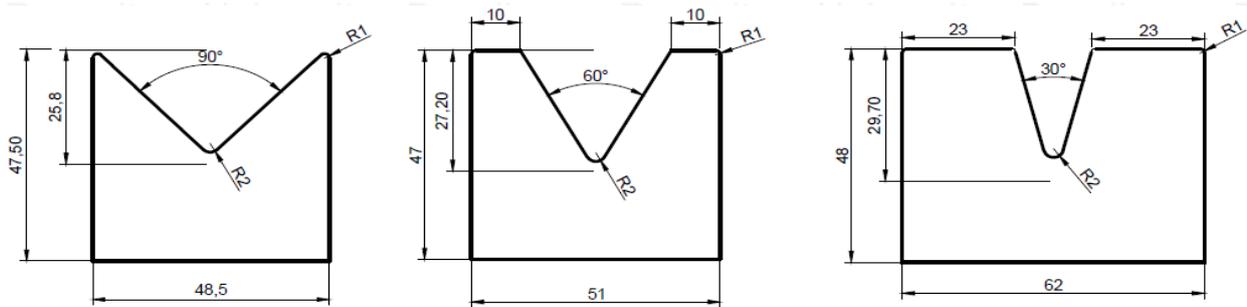
**6.6.2 Dimensi Punch dan Dies**



Satuan : mm

Gambar 3.4 Dimensi Punch

Sumber : Dokumentasi Pribadi



Satuan : mm

Gambar 3.5 Dimensi Dies

Sumber : Dokumentasi Pribadi

## 6.7 Prosedur Penelitian

### a. Persiapan Pengujian

1. Persiapan peralatan eksperimen: Menyiapkan mesin *hydraulic bending*, dan busur api.
2. Persiapan spesimen: Membuat spesimen plat *stainless steel 316L* sesuai dimensi spesimen.

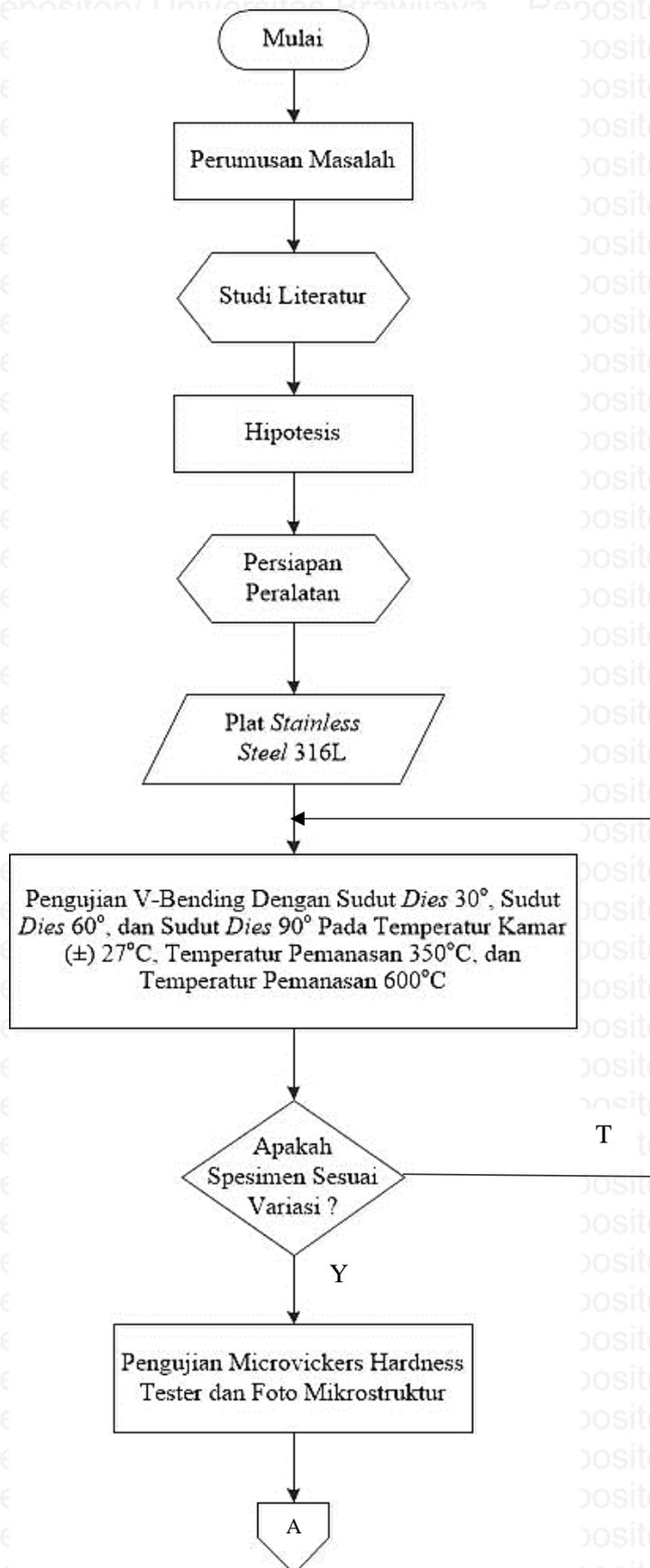
### b. Pengujian *bending*

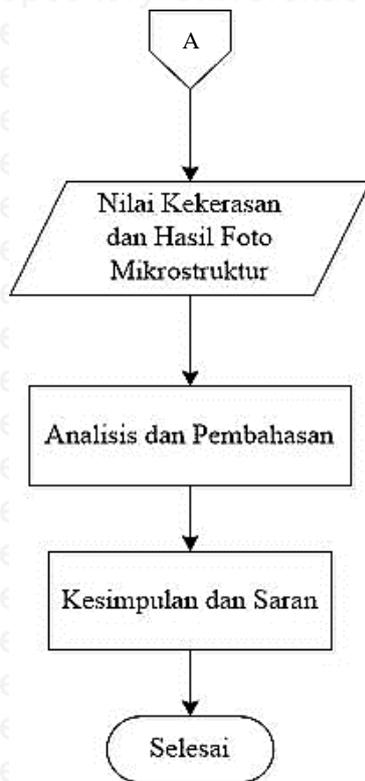
1. Spesimen yang telah dibuat sesuai dimensi spesimen dipanaskan dengan busur api sesuai dengan variasi temperatur yang ditentukan.
2. Ketika temperatur telah sesuai variasi temperatur yang ditentukan dilakukan proses *bending* dilakukan secara *direct bending* menggunakan mesin *hydraulic bending*.
3. Setelah *dibending* spesimen diletakkan dibiarkan dingin pada temperatur kamar ( $\pm 27^{\circ}\text{C}$ ).
4. Ulangi langkah 1-3 sebanyak 3 kali pada setiap variasi.

### c. Pengujian Mikrostruktur dan Kekerasan

1. Spesimen yang akan diuji kekerasan dibuatkan dudukan menggunakan resin dan katalis. Bagian yang diuji adalah bagian V pada hasil *bending* spesimen.
2. Permukaan spesimen diampelas dengan amplas no 100, 200, 320, 500, 750, 1000, 1500, dan 2000, lalu diberi autosol dan digosok menggunakan kain bludru sampai mengkilat.
3. Pengetsaan permukaan spesimen yang diuji dengan menggunakan larutan  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan perbandingan 1:1.
4. Pengujian foto mikrostruktur dengan mikroskop logam menggunakan perbesaran 400x.
5. Pengujian kekerasan dengan *microvickers hardness tester*.
6. Lakukan langkah 1-6 sampai semua spesimen yakni 10 spesimen.

## 6.8 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

## 6.9 Rancangan Tabel Penelitian dan Grafik Penelitian

### 6.9.1 Rancangan Tabel Penelitian

Tabel 3.1  
Data Pengujian Kekerasan

No	Sudut Dies	Temperatur	Titik ke	Nilai kekerasan
1	<i>Raw Material</i>		1	
			2	
			3	
2	30°	Temperatur Kamar (±27 °C)	1	
			2	
			3	
		350 °C	1	
			2	
			3	



34

600 °C

1

2

3

3 60° Temperatur Kamar (±27 °C)

1

2

3

350 °C

1

2

3

600 °C

1

2

3

4 90° Temperatur Kamar (±27 °C)

1

2

3

350 °C

1

2

3

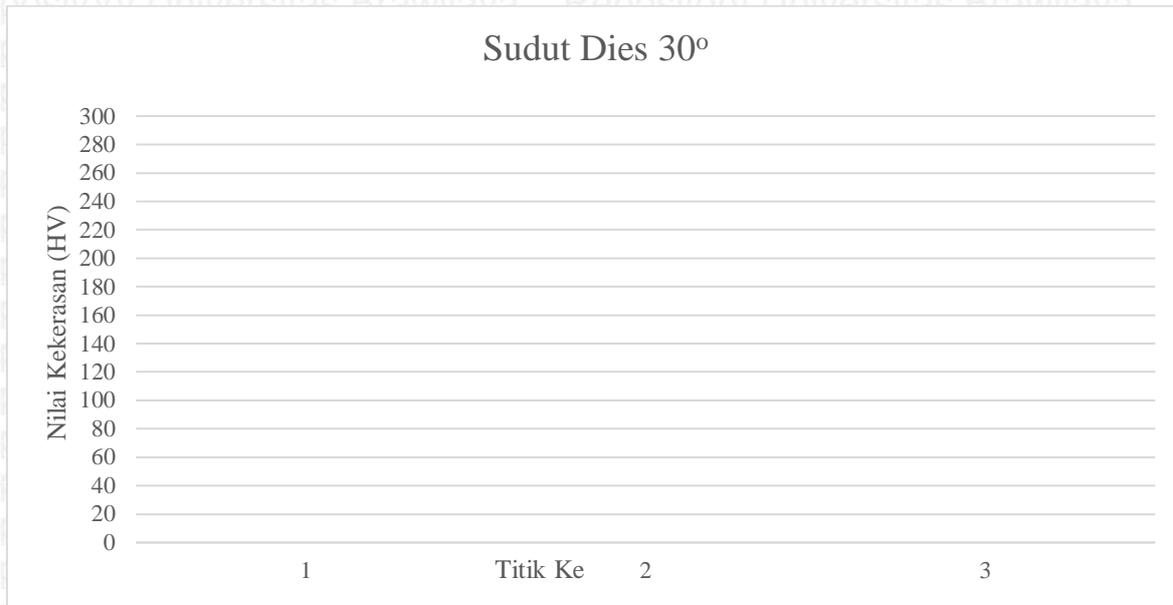
600 °C

1

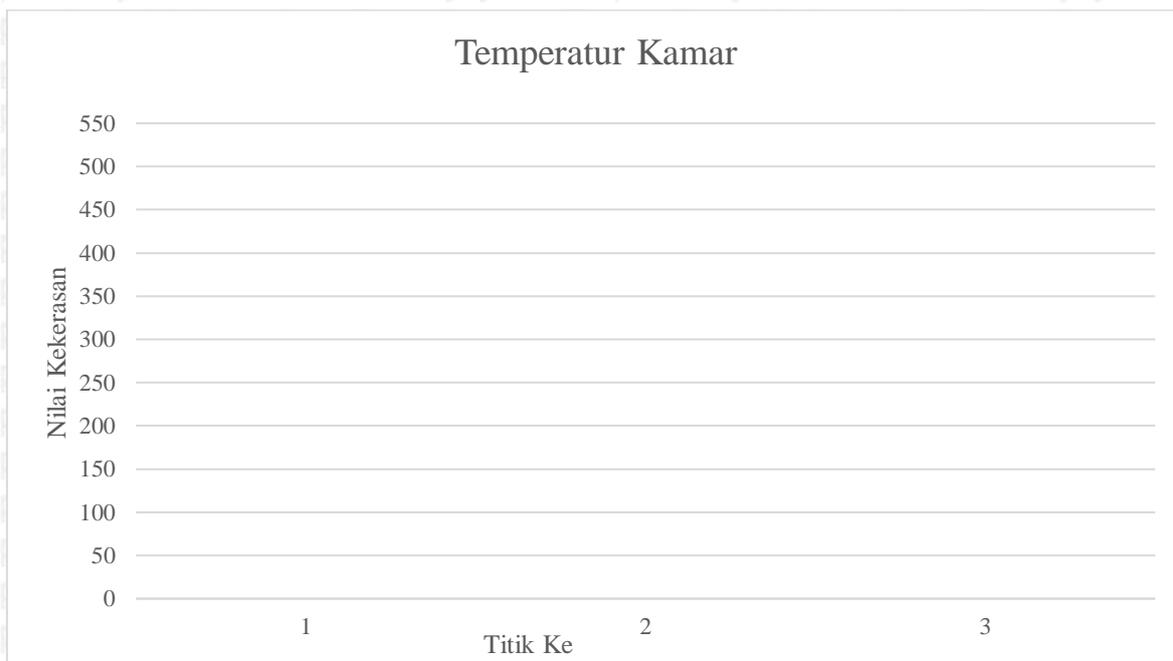
2

3

### 3.9. 2 Rancangan Grafik Penelitian



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut Dies 30° Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L



Gambar 3.8 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut Dies Pada Temperatur Kamar Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengolahan Data

##### 4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan pada spesimen hasil *V-Bending* adalah sebagai berikut:

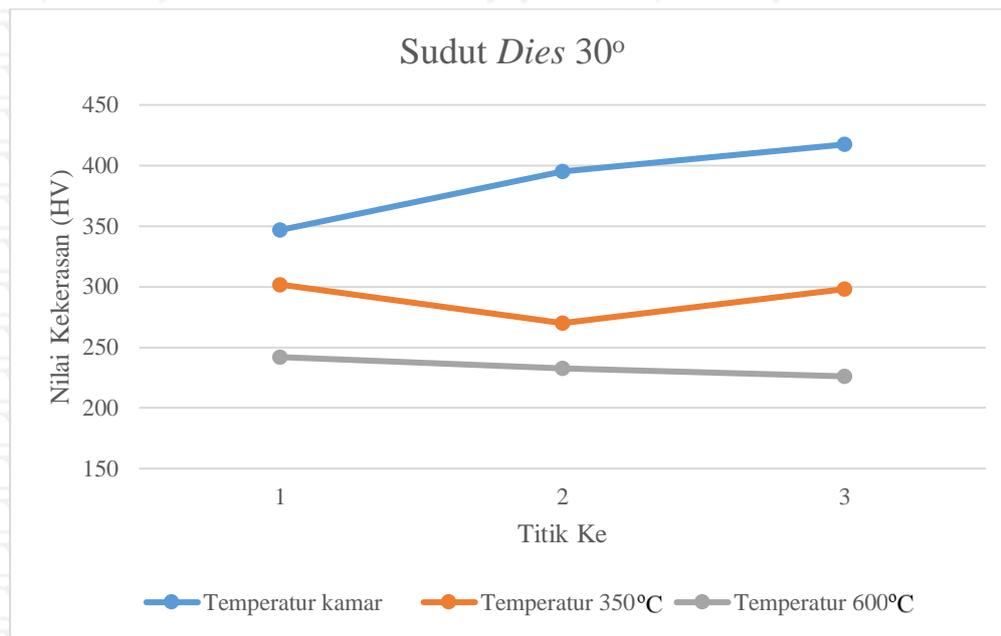
Tabel 4.1  
Data Pengujian Kekerasan

Sudut <i>Dies</i>	Temperatur	Titik ke	Nilai Kekerasan (HV)
<i>Raw Material</i>	Kamar	1	272,7
		2	271,2
		3	272,1
30°	Kamar	1	346,8
		2	395,1
		3	417,4
	350°C	1	301,8
		2	270,0
		3	298,0
	600°C	1	242,0
		2	232,7
		3	226,1
60°	Kamar	1	344,1
		2	353,4
		3	391,7
	350°C	1	284,8
		2	260,2
		3	279,5
	600°C	1	211,5
		2	230,2
		3	201,0
90°	Kamar	1	291,0
		2	343,5
		3	366,6
	350°C	1	231,4
		2	245,5
		3	238,6
	600°C	1	209,9
		2	198,4
		3	178,6

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan dan Sudut *Dies* Terhadap Kekerasan

Dari tabel data pengujian kekerasan yang diperoleh dijadikan grafik agar bisa dianalisis. *Gambar 4.1*, *Gambar 4.2*, dan *Gambar 4.3* adalah grafik yang menjelaskan hubungan antara variasi temperatur pemanasan pada sudut *dies* 30°, sudut *dies* 60°, dan sudut *dies* 90° terhadap kekerasan hasil V-Bending plat *stainless steel* 316L.



*Gambar 4.1* Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut *Dies* 30° Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L

Sesuai *Gambar 4.1* dapat diketahui bahwa variasi temperatur pemanasan pada proses V-bending dengan sudut *dies* 30° mempengaruhi kekerasan plat *stainless steel* 316L yang dihasilkan. Dapat dilihat pada grafik di atas, nilai kekerasan pada setiap titik memiliki kecenderungan bahwa kekerasan maksimum terjadi pada spesimen yang dibending pada temperatur kamar. Sedangkan spesimen pada temperatur 600°C memiliki kekerasan paling rendah pada setiap titik. Titik ke 1 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tekan, titik ke 2 merupakan titik tengah antara daerah yang terpengaruh gaya tekan dan gaya tarik, titik ke 3 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tarik.

Pada pengujian V-Bending sudut *dies* 30° dengan temperatur kamar nilai kekerasannya cenderung naik terus. Pada titik ke 2 nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan titik ke 1.

Hal ini disebabkan titik tengah yang diambil pada saat pengujian kekerasan terpengaruh gaya tarik yang mengakibatkan deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit dari titik 1 sehingga nilai kekerasannya semakin besar. Sedangkan pada titik ke 3 nilai kekerasannya lebih besar dari titik ke 2 karena terpengaruh gaya tarik yang disebabkan adanya kontak langsung dengan *dies*. Adanya gaya tarik yang semakin besar ini membuat deformasi plastis yang terjadi semakin sedikit sehingga meningkatkan nilai kekerasannya.

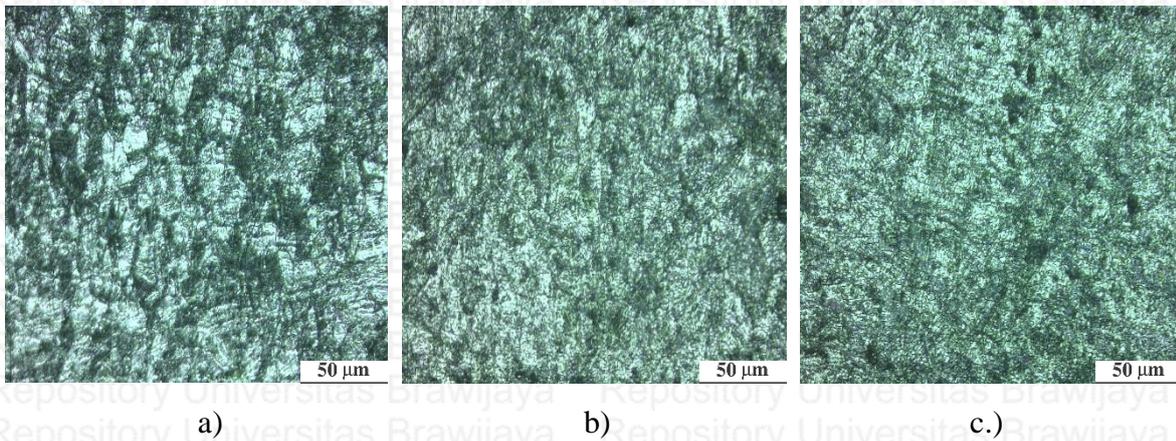
Pada temperatur pemanasan 350°C kecenderungannya turun pada titik ke 2. Hal ini disebabkan titik tengah yang diuji kekerasan tidak terpengaruh gaya tekan dan gaya tarik. Sedangkan pada titik ke 3 nilai kekerasannya meningkat disebabkan pada titik ke 3 terpengaruh gaya tarik. Adanya pengaruh gaya tarik membuat deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit menyebabkan terjadinya slip yang membuat penghalusan butir sehingga kekerasannya juga semakin meningkat.

Pada temperatur pemanasan 600°C kecenderungannya turun terus mulai titik ke 1 sampai titik ke 3. Pada titik ke 2 titik tengah yang diuji kekerasan tidak terpengaruh gaya tekan dan gaya tarik sehingga nilai kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan titik ke 1. Sedangkan pada titik ke 3 kekerasannya lebih rendah dibandingkan titik ke 2 disebabkan meskipun pada titik ke 3 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tarik. Adanya temperatur pemanasan 600°C mempengaruhi ukuran butiran yang dihasilkan semakin besar yang dibuktikan dengan foto mikrostruktur pada *Gambar 4.4*. Hal ini menyebabkan spesimen semakin ulet. Keuletan spesimen mengindikasikan deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasan yang dihasilkan lebih rendah dari titik ke 2.

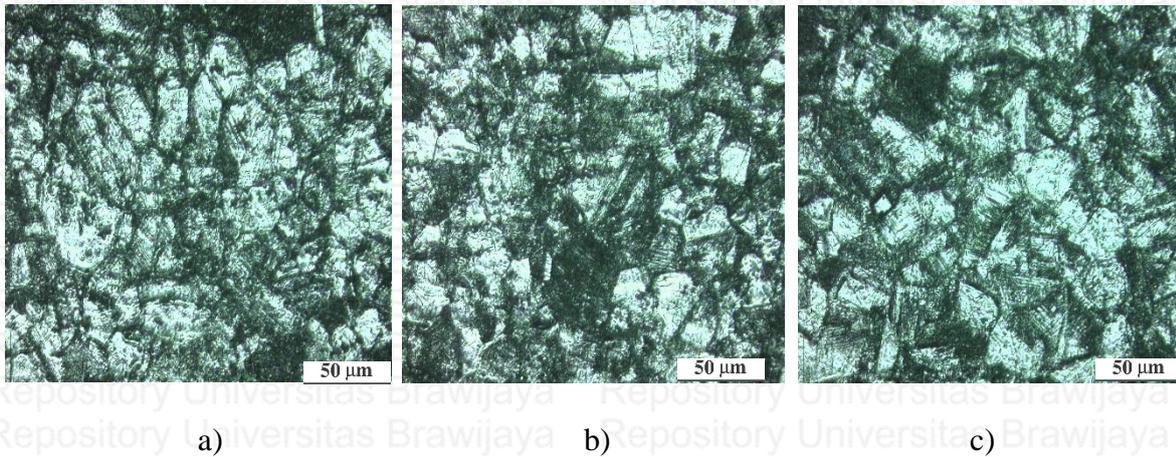
Semakin tinggi temperatur pemanasan maka ukuran butir akan semakin bertambah besar. Ukuran butir semakin besar disebabkan adanya pertumbuhan butir yang terjadi dengan adanya migrasi batas butir. Ukuran butir yang besar akan menyebabkan kekerasan menurun. Hal ini disebabkan butir yang besar mengakibatkan area batas butir antara satu butir dengan butir lainnya menjadi lebih sedikit. Batas butir merupakan tempat dimana dislokasi sulit bahkan berhenti bergerak karena batas butir memiliki energi yang tinggi untuk terjadinya pergerakan dislokasi. Dengan demikian jika batas butirnya sedikit maka dislokasi akan lebih mudah bergerak (energi untuk menggerakkan dislokasi sedikit) sehingga material akan lebih mudah mengalami deformasi. Namun apabila batas butirnya semakin banyak yaitu material dengan butir yang semakin halus, maka dislokasi semakin sulit untuk bergerak (energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan dislokasi besar).

Pergerakan dislokasi yang terhambat ini akan menyebabkan material sulit untuk dideformasi sehingga kekerasan semakin tinggi.

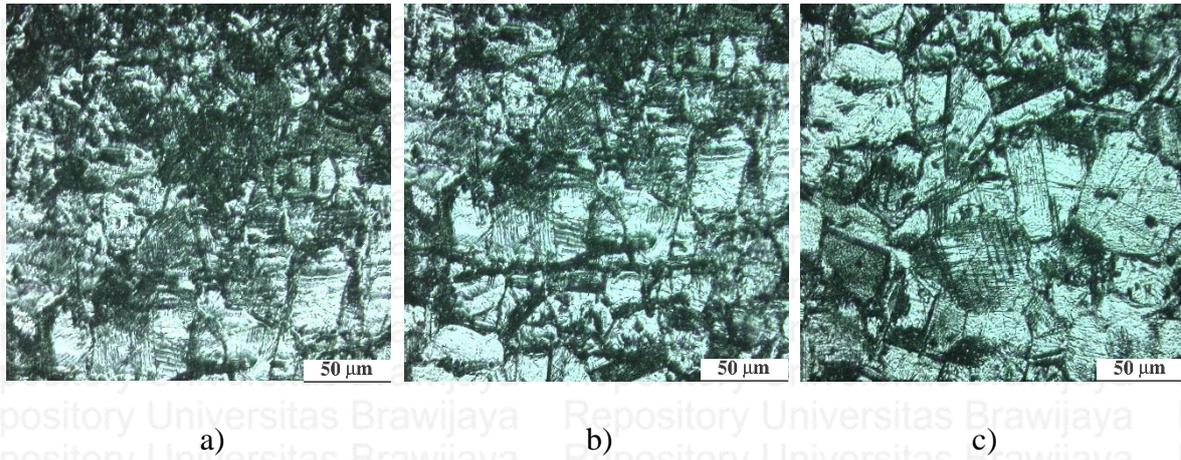
Semakin bertambah temperatur pemanasan, titik elastis spesimen akan mengalami pergeseran yang semakin panjang. Hal ini membuat deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasannya semakin rendah. Dari *Gambar 4.1* diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada sudut *dies* 30° maka kekerasan yang dihasilkan semakin rendah.



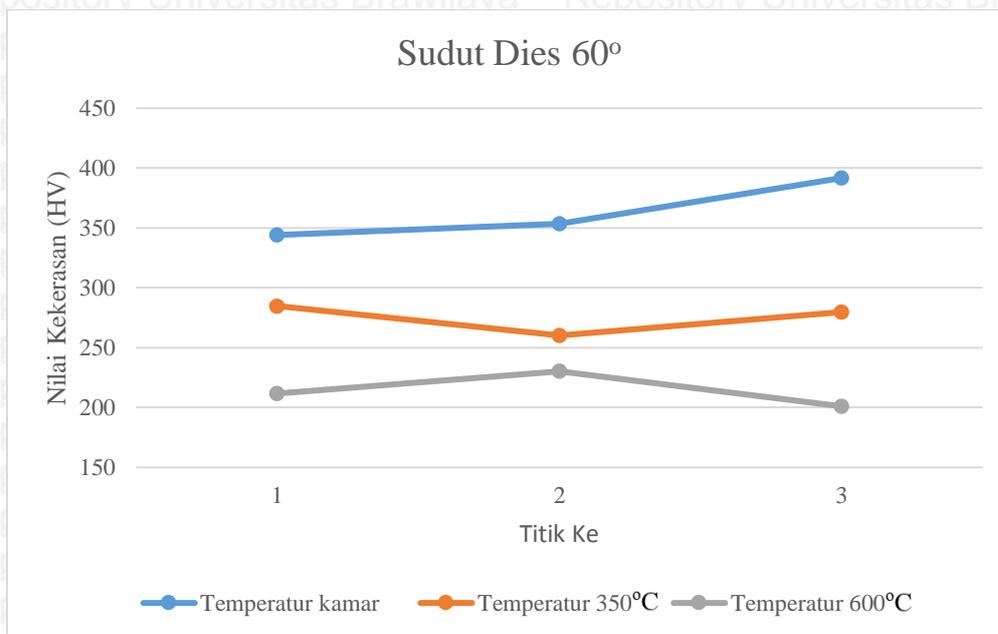
*Gambar 4.2* Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut *Dies* 30° Temperatur Kamar a) Titik Ke 1 b) Titik Ke 2 c)Titik Ke 3



*Gambar 4.3* Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut *Dies* 30° Temperatur 350°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3



Gambar 4.4 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L Sudut Dies 30° Temperatur 600°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut Dies 60° Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L

Sesuai Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa variasi temperatur pemanasan pada proses V-Bending dengan sudut dies 60° mempengaruhi kekerasan plat stainless steel 316L yang dihasilkan. Dapat dilihat pada grafik di atas, nilai kekerasan pada setiap titik memiliki kecenderungan nilai kekerasan spesimen paling tinggi adalah pada spesimen dengan temperatur kamar. Sedangkan spesimen pada temperatur 600°C memiliki kekerasan paling rendah.

Pada pengujian *V-Bending* sudut *dies*  $60^\circ$  dengan temperatur kamar nilai kekerasannya cenderung naik terus. Pada titik ke 2 nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan titik ke 1. Hal ini disebabkan titik tengah yang diambil pada saat pengujian kekerasan terpengaruh gaya tarik yang mengakibatkan deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit dari titik 1 sehingga nilai kekerasannya semakin besar. Sedangkan pada titik ke 3 nilai kekerasannya lebih besar dari titik ke 2 karena terpengaruh gaya tarik yang disebabkan adanya kontak langsung dengan *dies*. Adanya gaya tarik yang semakin besar ini membuat deformasi plastis yang terjadi semakin sedikit sehingga meningkatkan nilai kekerasannya.

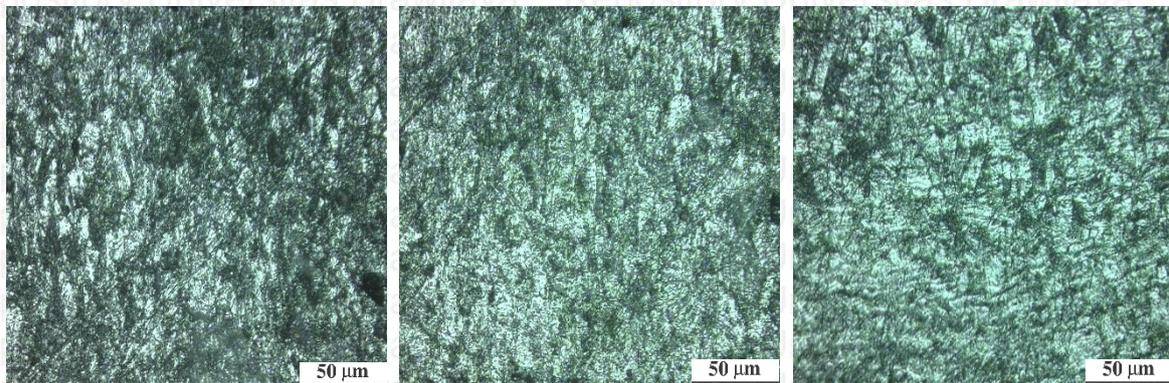
Pada temperatur pemanasan  $350^\circ\text{C}$  kecenderungannya turun pada titik ke 2. Hal ini disebabkan titik tengah yang diuji kekerasan tidak terpengaruh gaya tekan dan gaya tarik. Sedangkan pada titik ke 3 nilai kekerasannya meningkat disebabkan pada titik ke 3 terpengaruh gaya tarik. Adanya pengaruh gaya tarik membuat deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit yang menyebabkan terjadinya slip sehingga kekerasannya juga semakin meningkat.

Pada temperatur pemanasan  $600^\circ\text{C}$  kecenderungannya naik pada titik ke 2 kemudian turun pada titik ke 3. Pada titik ke 2, titik tengah yang diuji terlihat ada pengaruh gaya tarik sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan titik ke 1. Adanya pengaruh gaya tarik membuat deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit dibandingkan titik ke 1 sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi dari titik ke 1. Titik ke 2 pada temperatur pemanasan  $350^\circ\text{C}$  dan  $600^\circ\text{C}$  terlihat saling mendekati. Adanya temperatur pemanasan mempengaruhi nilai kekerasan pada titik ke 2 tersebut. Sedangkan pada titik ke 3 kekerasannya lebih rendah dibandingkan titik ke 2 disebabkan meskipun pada titik ke 3 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tarik. Adanya temperatur pemanasan  $600^\circ\text{C}$  mempengaruhi ukuran butiran yang dihasilkan semakin besar yang dibuktikan dengan foto mikrostruktur pada *Gambar 4.8*. Hal ini menyebabkan spesimen semakin ulet. Keuletan spesimen mengindikasikan deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasan yang dihasilkan lebih rendah dari titik ke 2.

Semakin tinggi temperatur pemanasan maka ukuran butir akan semakin bertambah besar. Ukuran butir semakin besar disebabkan adanya pertumbuhan butir yang terjadi dengan adanya migrasi batas butir. Ukuran butir yang besar akan menyebabkan kekerasan menurun. Hal ini disebabkan butir yang besar mengakibatkan area batas butir antara satu butir dengan butir lainnya menjadi lebih sedikit. Batas butir merupakan tempat dimana dislokasi sulit bahkan berhenti bergerak karena batas butir memiliki energi yang tinggi untuk terjadinya pergerakan dislokasi. Dengan demikian jika batas butirnya sedikit maka

dislokasi akan lebih mudah bergerak (energi untuk menggerakkan dislokasi sedikit) sehingga material akan lebih mudah mengalami deformasi. Namun apabila batas butirnya semakin banyak yaitu material dengan butir yang semakin halus, maka dislokasi semakin sulit untuk bergerak (energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan dislokasi besar). Pergerakan dislokasi yang terhambat ini akan menyebabkan material sulit untuk dideformasi sehingga kekerasan semakin tinggi.

Semakin bertambah temperatur pemanasan, titik elastis spesimen akan mengalami pergeseran yang semakin panjang. Hal ini membuat deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasannya semakin rendah. Dari gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada sudut *dies* 60° maka kekerasan yang dihasilkan semakin rendah.

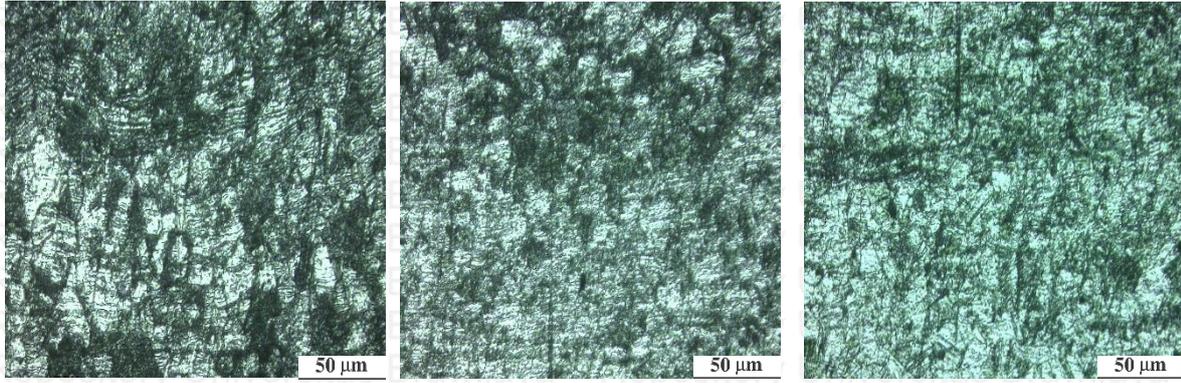


a)

b)

c)

Gambar 4.6 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L Sudut *Dies* 60° Temperatur Kamar a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3

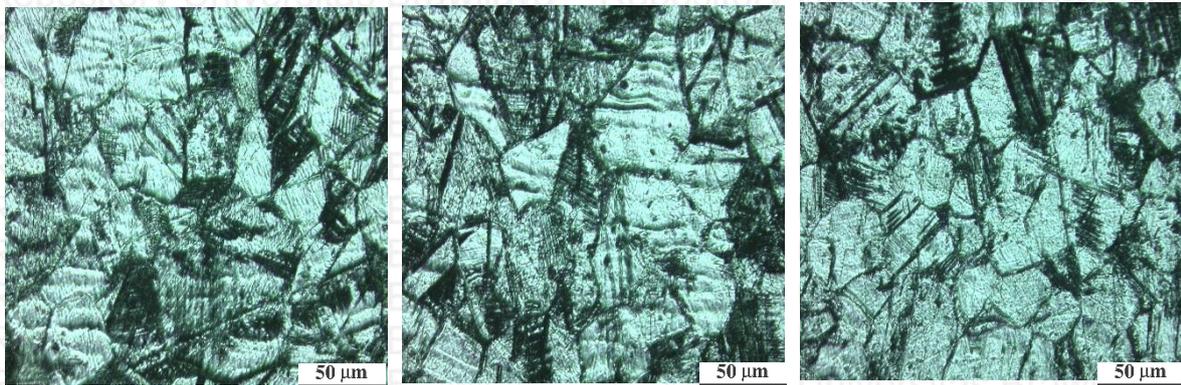


a)

b)

c)

**Gambar 4.7** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut Dies 60° Temperatur 350°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3

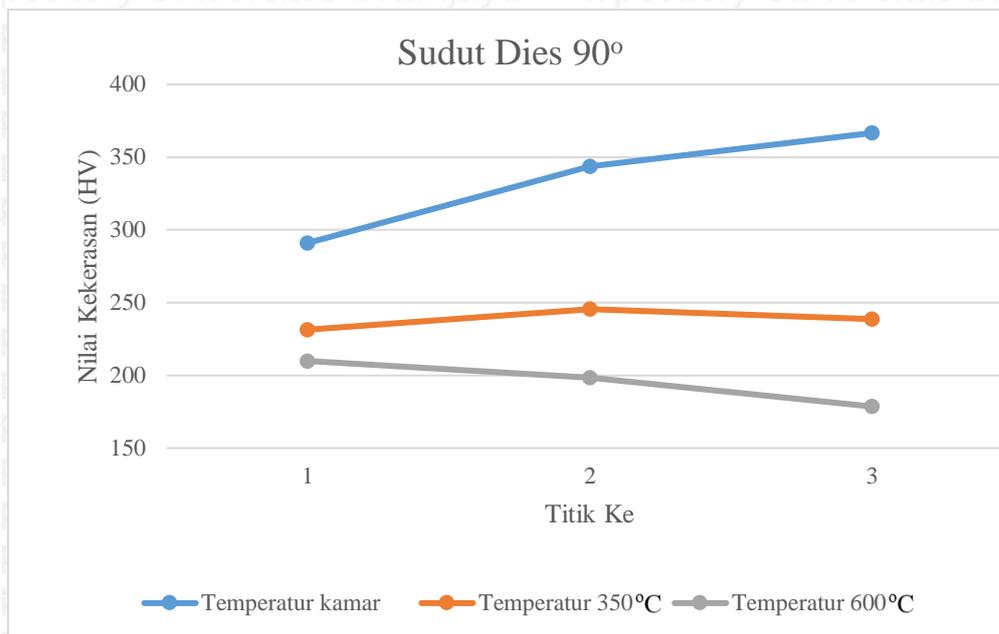


a)

b)

c)

**Gambar 4.8** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut Dies 60° Temperatur 600°C a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Variasi Temperatur Pemanasan Pada Sudut *Dies* 90° Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L

Sesuai Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa variasi temperatur pemanasan pada proses V-bending dengan sudut *dies* 90° mempengaruhi kekerasan plat *stainless steel* 316L yang dihasilkan. Dapat dilihat pada grafik di atas, nilai kekerasan pada setiap titik memiliki kecenderungan nilai kekerasan spesimen paling tinggi adalah pada spesimen dengan temperatur kamar. Sedangkan spesimen pada temperatur 600°C memiliki kekerasan paling rendah.

Pada pengujian V-Bending sudut *dies* 30° dengan temperatur kamar nilai kekerasannya cenderung naik terus. Pada titik ke 2 nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan titik ke 1. Hal ini disebabkan titik tengah yang diambil pada saat pengujian kekerasan terpengaruh gaya tarik yang mengakibatkan deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit dari titik 1 sehingga nilai kekerasannya semakin besar. Sedangkan pada titik ke 3 nilai kekerasannya lebih besar dari titik ke 2 karena terpengaruh gaya tarik yang disebabkan adanya kontak langsung dengan *dies*. Adanya gaya tarik yang semakin besar ini membuat deformasi plastis yang terjadi semakin sedikit sehingga meningkatkan nilai kekerasannya.

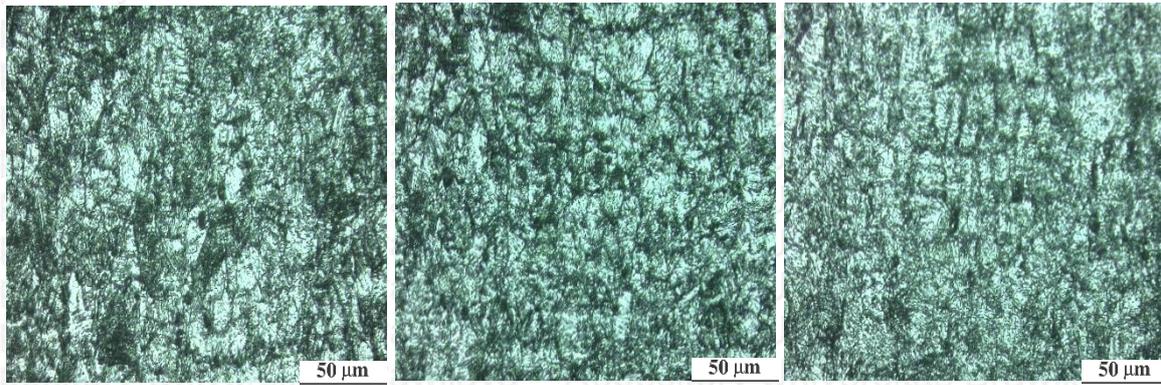
Pada temperatur pemanasan 350°C kecenderungannya naik pada titik ke 2 kemudian turun pada titik ke 3. Pada titik ke 2, titik tengah yang diuji terlihat ada pengaruh gaya tarik sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan titik ke 1. Adanya pengaruh gaya tarik membuat deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit dibandingkan titik ke 1 sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi dari titik ke 1. Sedangkan pada titik ke 3

kekerasannya lebih rendah dibandingkan titik ke 2 disebabkan meskipun pada titik ke 3 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tarik. Adanya temperatur pemanasan 350°C mempengaruhi ukuran butiran yang dihasilkan semakin besar yang dibuktikan dengan analisis foto mikrostruktur pada subbab berikutnya. Hal ini menyebabkan spesimen semakin ulet. Keuletan spesimen mengindikasikan deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasan yang dihasilkan lebih rendah dari titik ke 2.

Pada temperatur pemanasan 600°C kecenderungannya turun terus mulai titik ke 1 sampai titik ke 3. Pada titik ke 2 titik tengah yang diuji kekerasan tidak pengaruh gaya tekan gaya tekan dan gaya tarik sehingga nilai kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan titik ke 1. Sedangkan pada titik ke 3 kekerasannya lebih rendah dibandingkan titik ke 2 disebabkan meskipun pada titik ke 3 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tarik. Adanya temperatur pemanasan 600°C mempengaruhi ukuran butiran yang dihasilkan semakin besar yang dibuktikan dengan analisis foto mikrostruktur pada *Gambar 4.12*. Hal ini menyebabkan spesimen semakin ulet. Keuletan spesimen mengindikasikan deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasan yang dihasilkan lebih rendah dari titik ke 2.

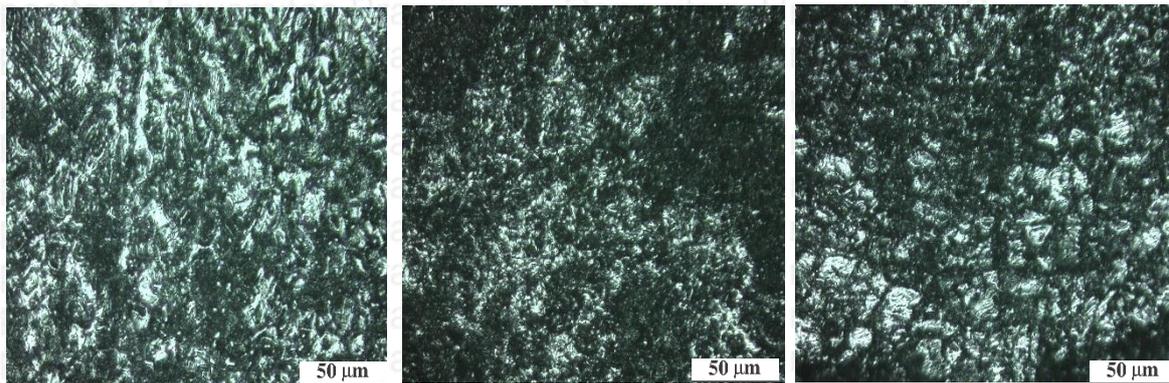
Semakin tinggi temperatur pemanasan maka ukuran butir akan semakin bertambah besar. Ukuran butir semakin besar disebabkan adanya pertumbuhan butir yang terjadi dengan adanya migrasi batas butir. Ukuran butir yang besar akan menyebabkan kekerasan menurun. Hal ini disebabkan butir yang besar mengakibatkan area batas butir antara satu butir dengan butir lainnya menjadi lebih sedikit. Batas butir merupakan tempat dimana dislokasi sulit bahkan berhenti bergerak karena batas butir memiliki energi yang tinggi untuk terjadinya pergerakan dislokasi. Dengan demikian jika batas butirnya sedikit maka dislokasi akan lebih mudah bergerak (energi untuk menggerakkan dislokasi sedikit) sehingga material akan lebih mudah mengalami deformasi. Namun apabila batas butirnya semakin banyak yaitu material dengan butir yang semakin halus, maka dislokasi semakin sulit untuk bergerak (energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan dislokasi besar). Pergerakan dislokasi yang terhambat ini akan menyebabkan material sulit untuk dideformasi sehingga kekerasan semakin tinggi.

Semakin bertambah temperatur pemanasan, titik elastis spesimen akan mengalami pergeseran yang semakin panjang. Hal ini membuat deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasannya semakin rendah. Dari gambar 4.9 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada sudut *dies* 90° maka kekerasan yang dihasilkan semakin rendah.



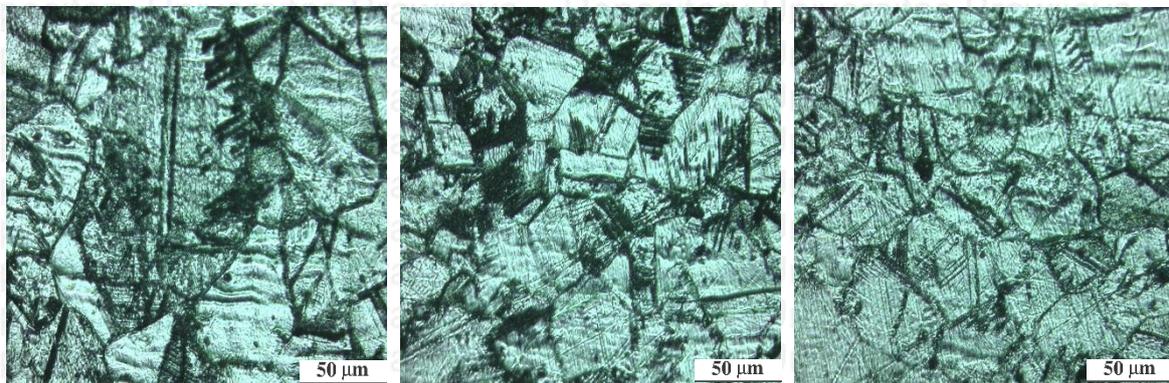
a) b) c)

**Gambar 4.10** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut Dies 90° Temperatur Kamar a) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3



a) b) c)

**Gambar 4.11** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut Dies 90° Temperatur 350°C) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3

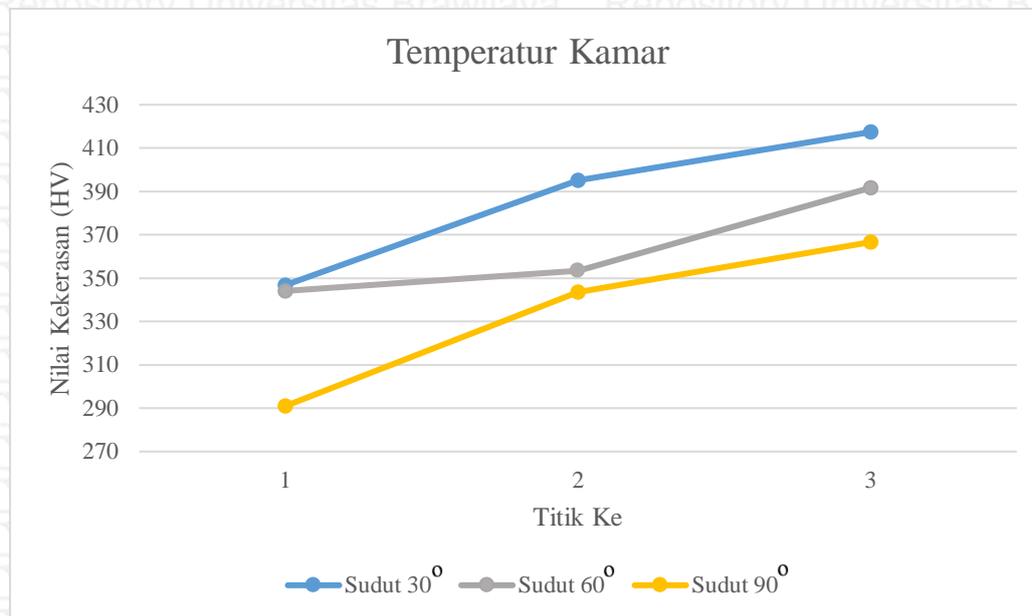


a) b) c)

**Gambar 4.12** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L Sudut Dies 90° Temperatur 600°C) Titik ke 1 b) Titik ke 2 c)Titik ke 3

#### 4.2.2 Hubungan Antara Variasi Sudut *Dies* dan Temperatur Pemanasan Terhadap Kekerasan

Dari tabel data pengujian kekerasan yang diperoleh dijadikan grafik agar bisa dianalisis. *Gambar 4.13*, *Gambar 4.14*, dan *Gambar 4.15* adalah grafik yang menjelaskan hubungan antara variasi sudut *dies* pada temperatur kamar, temperatur pemanasan 350°C, dan temperatur pemanasan 600°C terhadap kekerasan hasil V-Bending plat *stainless steel* 316L.



*Gambar 4.13* Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut *Dies* Pada Temperatur Kamar Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L

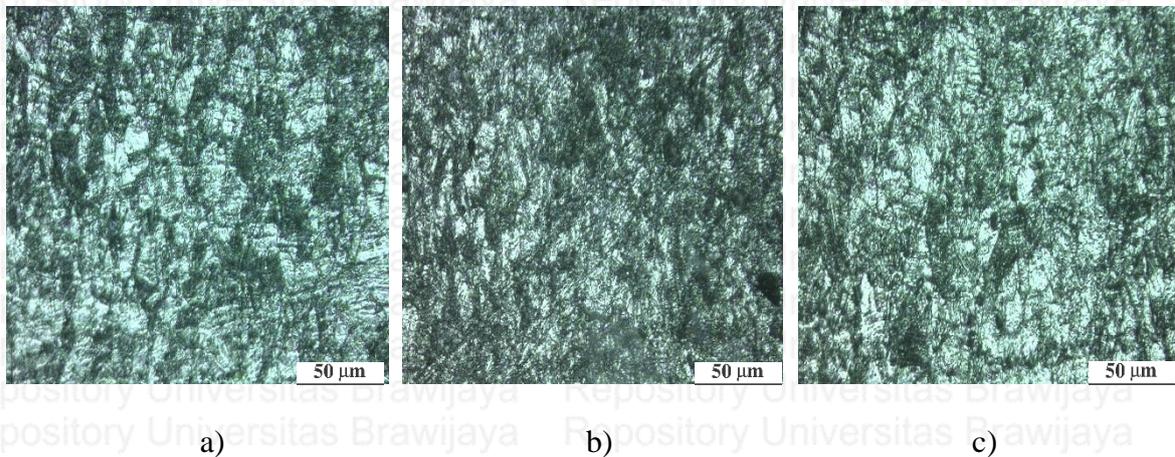
Pada *Gambar 4.13* dapat diketahui bahwa variasi sudut *dies* pada proses V-bending dengan temperatur kamar mempengaruhi kekerasan plat *stainless steel* 316L yang dihasilkan. Dapat dilihat pada grafik di atas, nilai kekerasan paling tinggi dicapai spesimen dengan sudut *dies* 30° untuk setiap titik pengujian. Sebaliknya kekerasan paling rendah untuk setiap titik pengujian dicapai spesimen dengan sudut *dies* 90°.

Pada pengujian V-Bending dengan temperatur kamar kecenderungan grafik yang dihasilkan adalah naik terus mulai titik ke 1 sampai titik ke 3 untuk semua sudut. Titik 1 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tekan. Titik ke 2 merupakan titik tengah antara daerah yang terpengaruh gaya tekan dan gaya tarik. Titik ke 3 merupakan daerah yang terpengaruh gaya tarik.

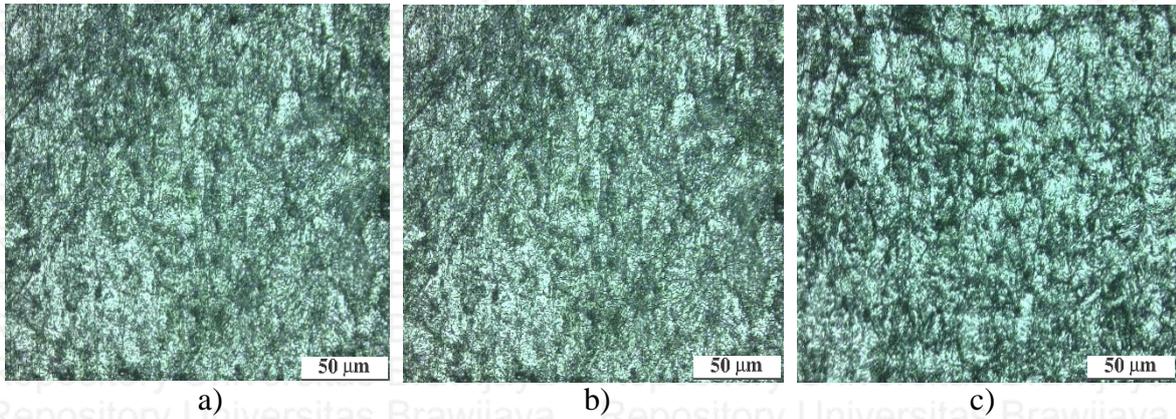
Pada pengujian V-bending pada temperatur kamar dengan sudut *dies* 30°, 60°, dan 90° nilai kekerasannya cenderung naik terus. Pada titik ke 2 nilai kekerasannya lebih tinggi

dibandingkan titik ke 1. Hal ini disebabkan titik tengah yang diambil pada saat pengujian kekerasan terpengaruh gaya tarik yang mengakibatkan deformasi plastis yang terjadi lebih sedikit dari titik 1 sehingga nilai kekerasannya semakin besar. Sedangkan pada titik ke 3 nilai kekerasannya lebih besar dari titik ke 2 karena terpengaruh gaya tarik yang disebabkan adanya kontak langsung dengan *dies*. Adanya gaya tarik yang semakin besar ini membuat butiran terpecah menjadi semakin kecil. Hal ini menyebabkan deformasi plastis yang terjadi semakin sedikit sehingga meningkatkan nilai kekerasannya.

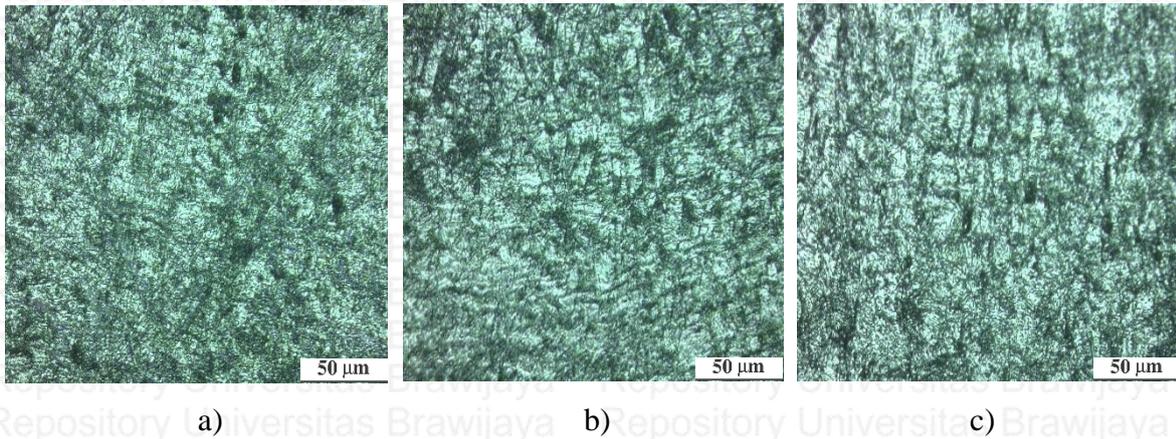
Pada pengerjaan *V-bending* menggunakan temperatur kamar dengan variasi sudut *dies* sudah sesuai dengan dasar teori bahwa semakin besar sudut *dies* maka bidang kontak menjadi semakin besar. Hal ini menyebabkan deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasannya semakin menurun.



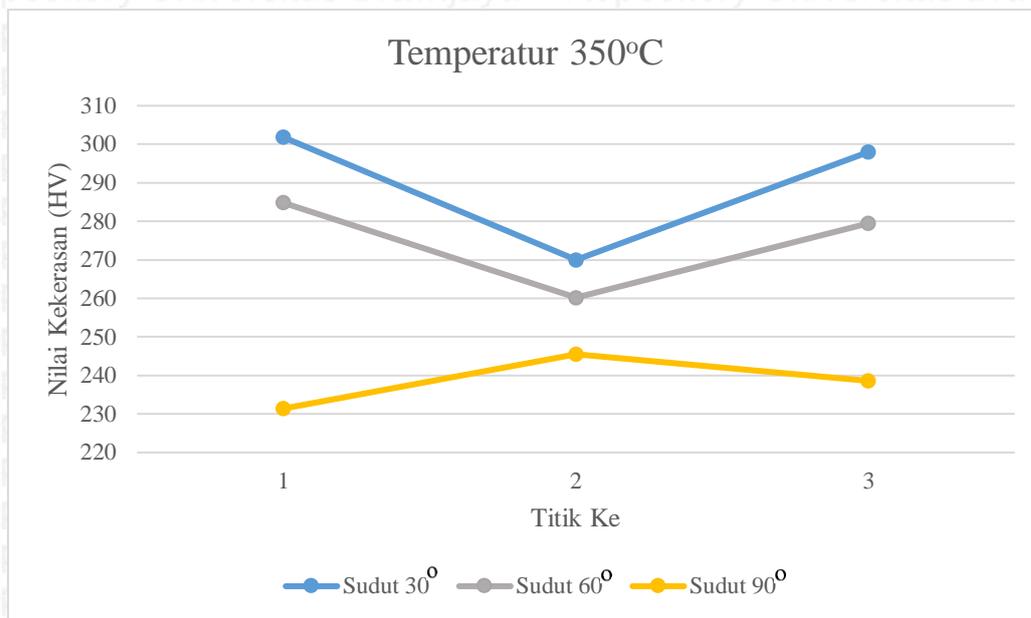
Gambar 4.14 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil *V-Bending* Plat *Stainless Steel 316L* pada Temperatur Kamar Titik ke 1 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90°



Gambar 4.15 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L pada Temperatur Kamar Titik ke 2 dengan a) Sudut Dies 30° b) Sudut Dies 60° c) Sudut Dies 90°



Gambar 4.16 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L pada Temperatur Kamar Titik ke 3 dengan a) Sudut Dies 30° b) Sudut Dies 60° c) Sudut Dies 90°

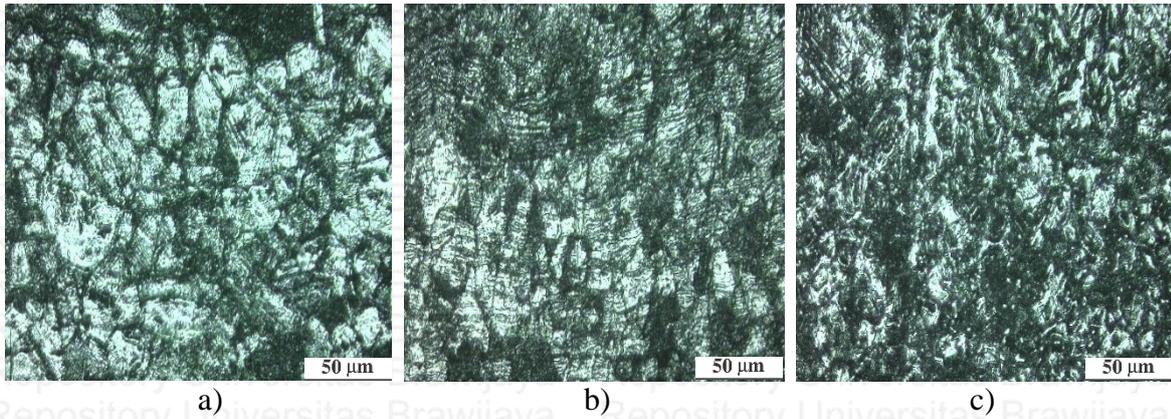


Gambar 4.17 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut Dies Pada Temperatur Pemanasan 350°C Terhadap Kekerasan Hasil V-Bending Plat Stainless Steel 316L

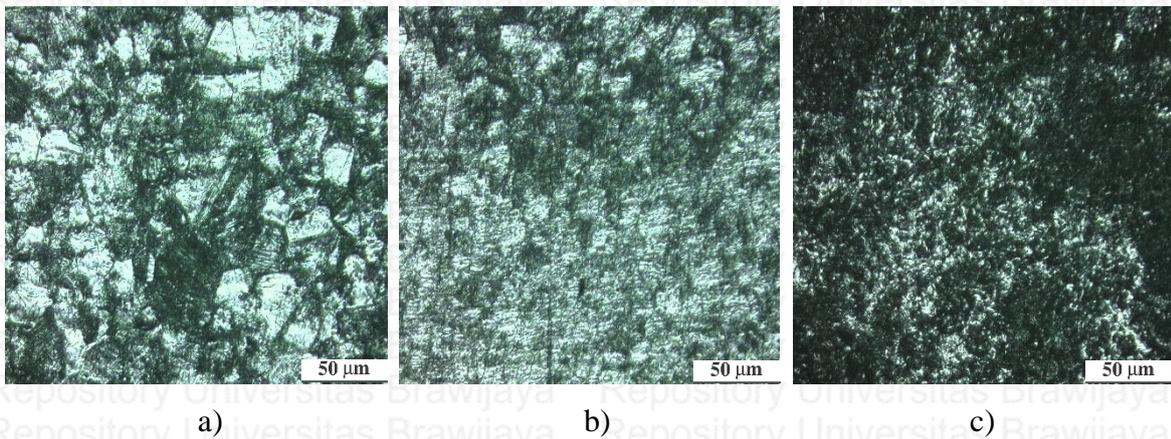
Pada Gambar 4.17 dapat diketahui bahwa variasi sudut dies pada proses V-bending dengan temperatur pemanasan 350°C mempengaruhi kekerasan plat stainless steel 316L yang dihasilkan. Dapat dilihat pada grafik di atas, nilai kekerasan paling tinggi dicapai spesimen dengan sudut dies 30° untuk setiap titik pengujian. Sebaliknya kekerasan paling rendah untuk setiap titik pengujian dicapai spesimen dengan sudut dies 90°.

Pada pengujian V-Bending dengan temperatur pemanasan 350°C kecenderungan pada sudut 30° dan sudut 60° adalah turun pada titik ke 2 kemudian naik pada titik ke 3. Sedangkan pada sudut 90° kecenderungannya naik pada titik ke 2 kemudian mengalami penurunan pada titik ke 3. Pada pengujian V-bending dengan temperatur pemanasan 350°C ini kekerasannya cenderung menuju satu titik. Seperti yang ditunjukkan Gambar 4.17 di atas titik ke 2 pada sudut dies 30°, 60° dan 90°.

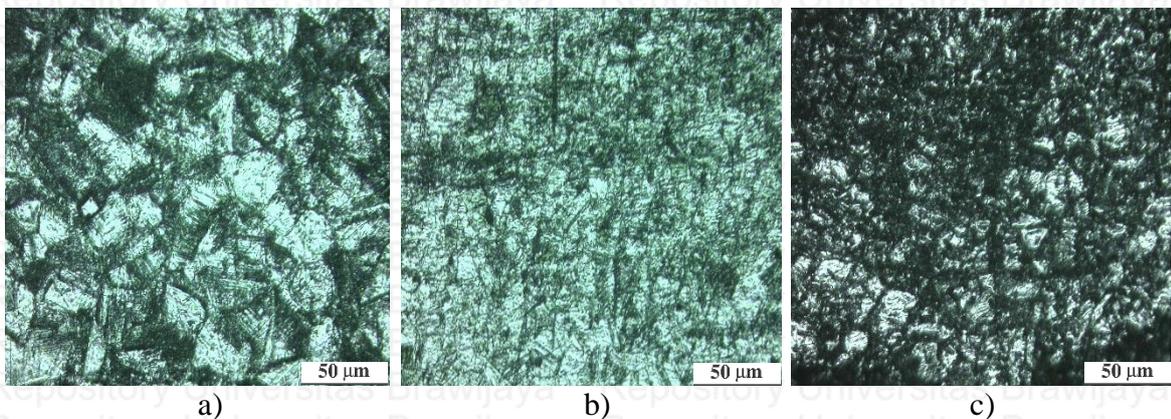
Pada pengerjaan V-Bending menggunakan temperatur pemanasan 350°C dengan variasi sudut dies sudah sesuai dengan dasar teori bahwa semakin besar sudut dies maka bidang kontak menjadi semakin besar. Hal ini menyebabkan deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasannya semakin menurun.



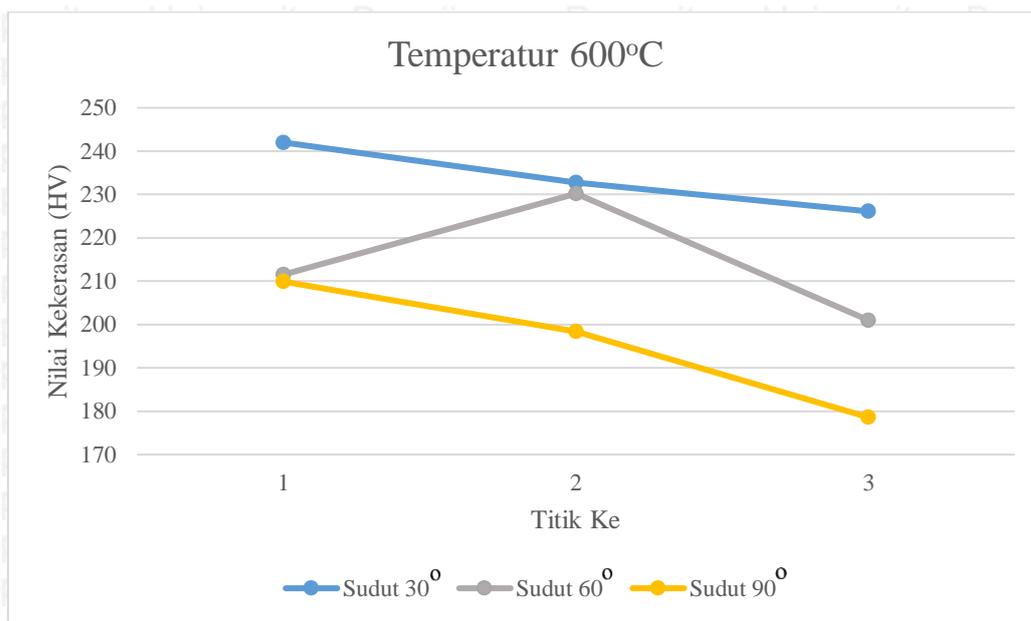
**Gambar 4.18** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 350°C Titik ke 1 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90°



**Gambar 4.19** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 350°C Titik ke 2 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90°



**Gambar 4.20** Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 350°C Titik ke 3 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90°

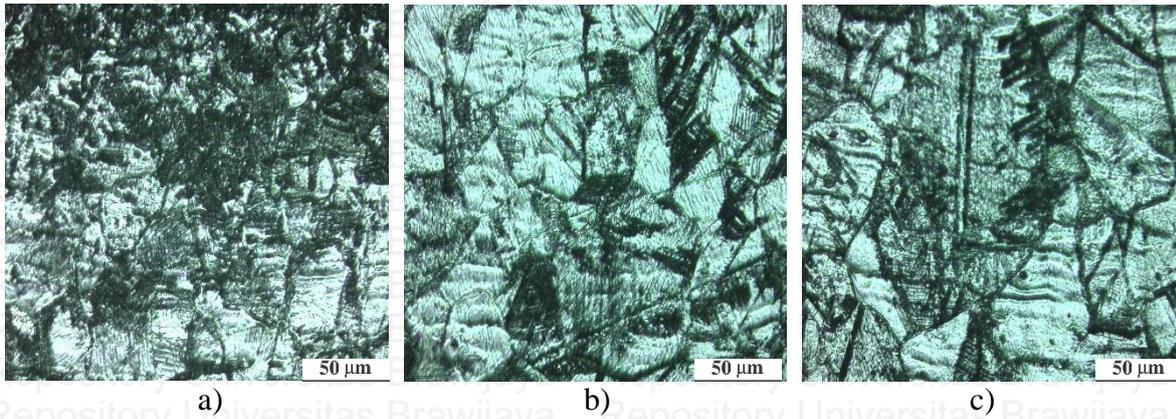


Gambar 4.21 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut *Dies* Pada Temperatur Pemanasan 600°C Terhadap Kekerasan Hasil *V-Bending* Plat *Stainless Steel 316L*

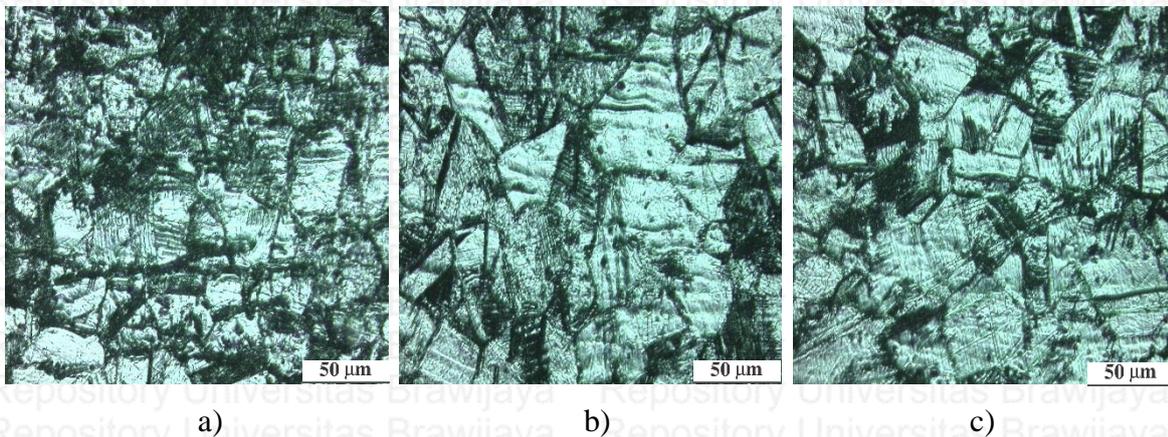
Pada Gambar 4.21 dapat diketahui bahwa variasi sudut *dies* pada proses *V-bending* dengan temperatur pemanasan 600°C mempengaruhi kekerasan plat *stainless steel 316L* yang dihasilkan. Dapat dilihat pada grafik di atas, nilai kekerasan paling tinggi dicapai spesimen dengan sudut *dies* 30° untuk setiap titik pengujian. Sebaliknya kekerasan paling rendah untuk setiap titik pengujian dicapai spesimen dengan sudut *dies* 90°.

Pada pengujian *V-Bending* temperatur pemanasan 600°C kecenderungannya adalah turun mulai titik ke 1 sampai titik ke 3 pada sudut *dies* 30°, 60°, dan 90°. Namun titik ke 2 pada sudut *dies* 60° kekerasannya naik. Hal ini disebabkan titik ke 2 yang diuji merupakan titik yang terpengaruh oleh gaya tarik yang membuat deformasi plastis yang terjadi semakin sedikit sehingga nilai kekerasannya lebih besar dibandingkan titik ke 1.

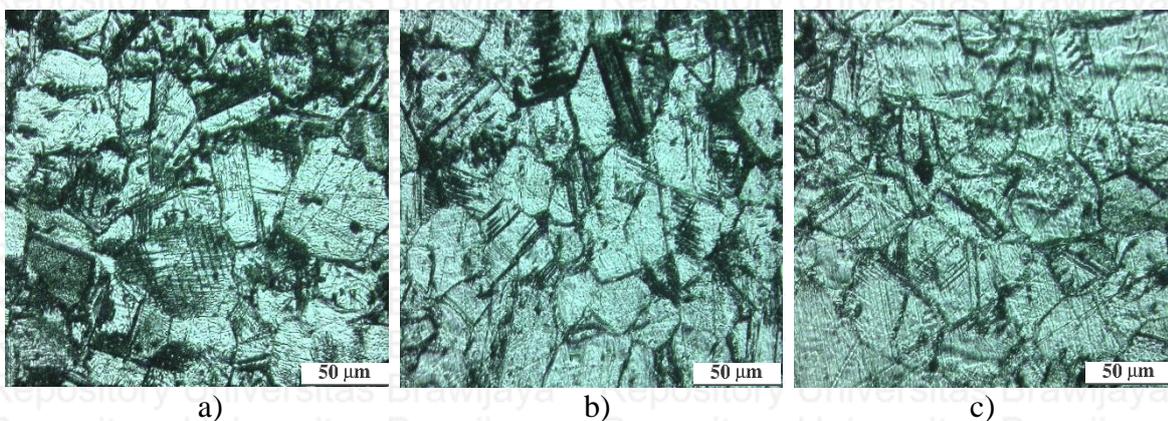
Pada pengerjaan *V-Bending* menggunakan temperatur pemanasan 600°C dengan variasi sudut *dies* sudah sesuai dengan dasar teori bahwa semakin besar sudut *dies* maka bidang kontak menjadi semakin besar. Hal ini menyebabkan deformasi plastis yang terjadi semakin banyak sehingga kekerasannya semakin menurun.



Gambar 4.22 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 600°C Titik ke 1 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90°



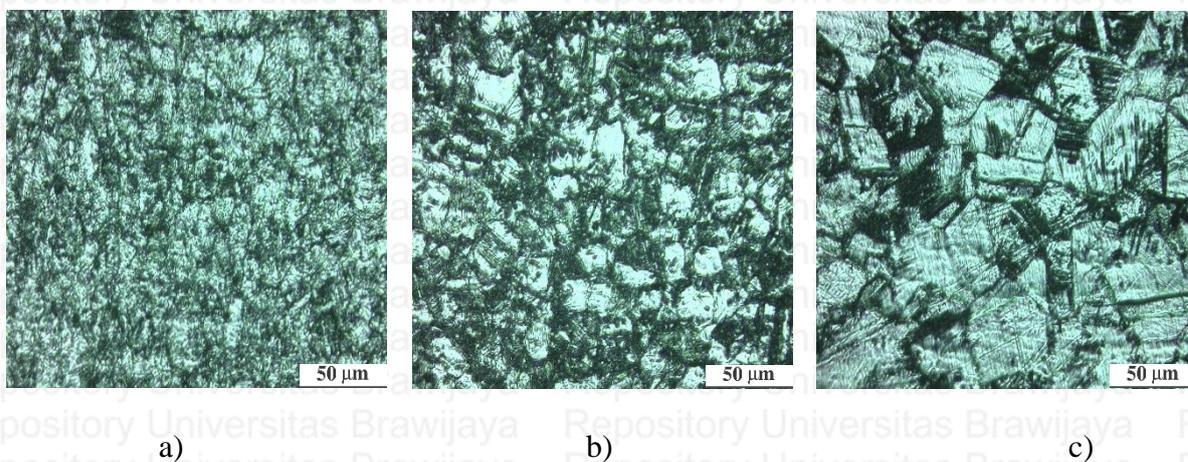
Gambar 4.23 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 600°C Titik ke 2 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90°.



Gambar 4.24 Foto Mikrostruktur Spesimen Hasil V-Bending Plat *Stainless Steel* 316L pada Temperatur Pemanasan 600°C Titik ke 3 dengan a) Sudut *Dies* 30° b) Sudut *Dies* 60° c) Sudut *Dies* 90°

### 4.2.3 Analisis Mikrostruktur

Dari pengujian *V-Bending* spesimen kemudian diuji foto mikrostrukturnya. Berikut diambil contoh foto mikrostruktur hasil *V-bending* plat *stainless steel* 316L titik ke 2 sudut  $90^\circ$  dengan variasi temperatur pemanasan pada *Gambar 4.25*. Ukuran butir hanya dipengaruhi seberapa tinggi temperatur pemanasan, sedangkan besar sudut *dies* hanya mempengaruhi seberapa besar deformasi plastis yang terjadi. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka ukuran butiran yang dihasilkan juga semakin besar. Seperti terlihat pada *Gambar 4.25* a butiran yang dihasilkan cenderung kecil pada saat temperatur kamar. Pada *Gambar 4.25* b butiran yang dihasilkan pada temperatur pemanasan  $350^\circ\text{C}$  lebih besar dari temperatur kamar. Pada *Gambar 4.25* c butiran yang dihasilkan pada temperatur pemanasan  $600^\circ\text{C}$  lebih besar dari temperatur kamar dan temperatur pemanasan  $350^\circ\text{C}$ . Butiran *ferrite* yang dihasilkan semakin besar seiring bertambahnya temperatur pemanasan.



*Gambar 4.25* Foto Mikrostruktur Pada Titik Ke 2 Sudut *Dies*  $90^\circ$  a) Temperatur Kamar b) Temperatur Pemanasan  $350^\circ\text{C}$  c) Temperatur Pemanasan  $600^\circ\text{C}$





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Semakin besar sudut *dies* kekerasan hasil *V-Bending* plat *stainless steel* 316L semakin rendah. Hal ini disebabkan bidang kontak menjadi semakin besar sehingga deformasi plastis yang terjadi semakin banyak.
2. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka kekerasan hasil *V-Bending* plat *stainless steel* 316L semakin rendah. Hal ini disebabkan titik elastis spesimen akan mengalami pergeseran semakin panjang yang membuat deformasi plastis semakin banyak sehingga kekerasannya semakin rendah. Butiran yang dihasilkan semakin bertambah besar seiring dengan temperatur pemanasan yang semakin bertambah.

#### 5.2 Saran

1. Perlu diadakan penelitian lanjut tentang *V-Bending* pada *hot working*.
2. Perlu dilakukan lebih lanjut mengenai metode yang digunakan selain *V-Bending*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Avner, Sydney. H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Bakhshivash, S., Haghshenas, M., & Rahimi, F. (2016). Effect of Bending Angle and Punch Tip Radius on Spring-Forward in an Al-Mg-Si Alloy. *International Mineral Processing Process*, 4-10.
- Budinski, Kenneth G. (1996). *Engineering Materials. Properties and Selection. Fifth Edition*. Ohio: Prentice Hall Upper Saddle Rivers.
- Dahlan, Hadijaya. (2000). *Pengaruh Variasi Beban Indentor Microhardness Tester Terhadap Akurasi Data Uji Kekerasan Material*. Jakarta: Urania.
- Groover, Mikell P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems Fourth Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Callister, William D. (2001). *Fundamentals Of Materials Science And Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Olaf, Diegel. (2002). *Bend Works The Fine-Art of Sheet Metal Bending*. Ohio: Completed Designed Service.
- Ruchiyat, Asep. (2011). *Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro dan Springback Hasil V-Bending Pelat Baja Komersil*. Malang: Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, Malang.
- Schey, John A. (2012). *Proses Manufaktur Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Surdia, Tata, & dan Sinroku, Saito. (2000). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Pramita.
- Yuwono, Akhmad Herman. (2009). *Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Depok: Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.