

**PENGARUH KECEPATAN PUTARAN *ROLL* TERHADAP NILAI
KEKUATAN UJI TARIK DARI PENGGABUNGAN 2 PELAT A1100
DAN A6061 PADA PROSES *HOT ROLL BONDING***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SIBRO MALISY
NIM. 135060201111053**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

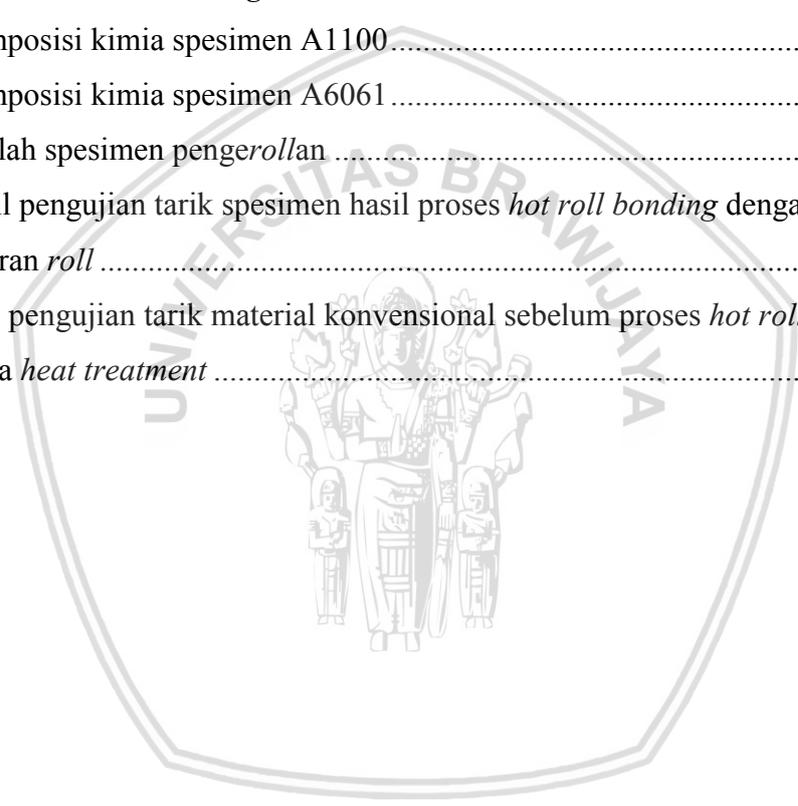
FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi aluminium	5
Tabel 2.2 Contoh aluminium dan paduannya (JIS H4000 ~ H4180)	7
Tabel 2.3 Sifat fisik aluminium <i>alloys</i> 1100.....	7
Tabel 2.4 Komposisi A1100	8
Tabel 2.5 Sifat fisik aluminium <i>alloys</i> 6061.....	8
Tabel 2.6 Sifat mekanik aluminium paduan.....	8
Tabel 2.7 Komposisi A6061	9
Tabel 2.8 Aplikasi <i>Metal Cladding</i>	22
Tabel 3.1 Komposisi kimia spesimen A1100.....	42
Tabel 3.2 Komposisi kimia spesimen A6061	42
Tabel 3.3 Jumlah spesimen pengerollan	43
Tabel 4.1 Hasil pengujian tarik spesimen hasil proses <i>hot roll bonding</i> dengan variasi putaran <i>roll</i>	55
tabel 4.2 Hasil pengujian tarik material konvensional sebelum proses <i>hot roll bonding</i> tanpa <i>heat treatment</i>	55



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan karunia Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini. Penulisan skripsi tersebut dimaksudkan sebagai persyaratan kelulusan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik. Adapun judul yang saya ajukan ialah **"Pengaruh Kecepatan Putaran *roll* terhadap nilai kekuatan uji tarik dari penggabungan dua pelat A1100 dan A6061 pada proses *hot roll bonding*"**. Di dalam pengerjaan Skripsi ini tak luput pula dukungan, bantuan serta bimbingan dari berbagai macam pihak yang dimana pada kesempatan kali ini, saya menyampaikan banyak Terima Kasih kepada:

1. Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST.,M.Eng., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmunya melalui kritik, saran dan arahan yang sangat bermanfaat untuk penulis.
2. Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan .pengalaman, saran dan ilmunya yang sangat bermanfaat untuk penulis.
3. Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberi pengarahan seputar akademik.
5. Segenap staf pengajar khususnya dosen-dosen dan jajaran staf karyawan Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik.
6. Bapak Achmad Abdul Latief dan Ibu Roro Endang Triwahyuningsih selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan baik berupa moral dan doa agar penulis selalu diberikan kelancaran dalam setiap kegiatan.
7. Djarot B. Darmadji, Ir.,MT., selaku Ketua Jurusan dan Teguh Dwi Widodo, ST.,M.Eng. Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses pembelajaran selama berada di Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
8. Mega Nur Sasongko, ST.MT.,Dr.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses pembelajaran selama berada di Teknik Mesin Universitas Brawijaya..
9. Rudianto Raharjo, ST.,MT., Ketua Laboratorium Pengecoran Logam, Bapak Gatot Siswanto selaku Laboran Laboratorium Pengecoran Logam, Fajar, Redy, Sudiro, Rofi', Fathur, Ahlal, dan Tiara selaku Asisten Laboratorium Pengecoran Logam yang

sangat membantu dalam proses pembuatan spesimen di Laboratorium Pengecoran Logam.

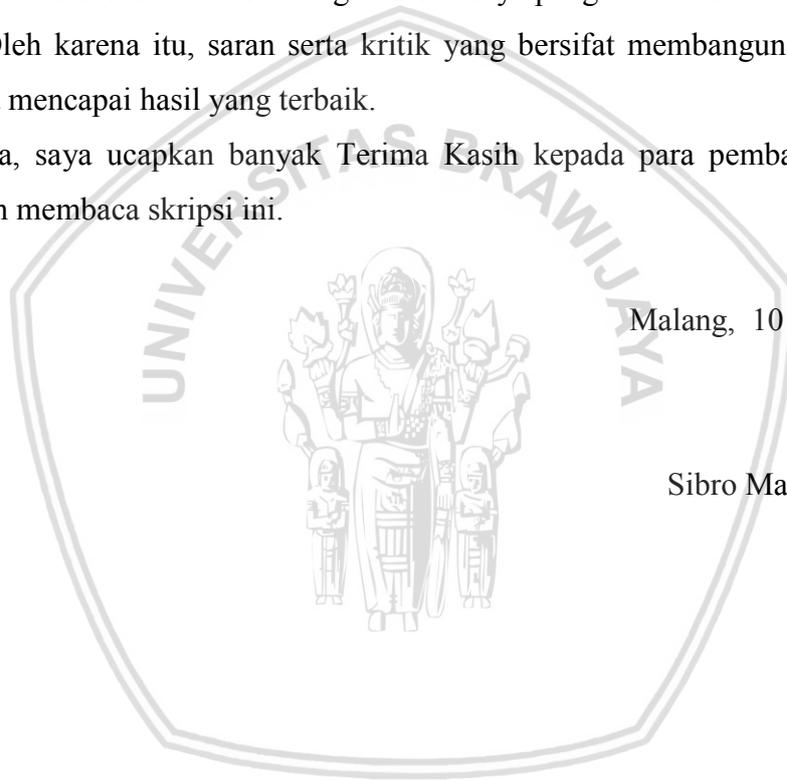
10. Ridha Dharminsyah dan Muhamad Fajar selaku teman kelompok Skripsi saya yang telah banyak membantu dalam proses Penelitian saya,
11. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Besar harapan saya agar dikemudian hari skripsi ini dapat bermanfaat untuk saya dan semua para pembaca, baik di dalam bahan penunjang ataupun referensi dalam penelitian dibidang yang serupa. Saya sangat menyadari bahwa skripsi tersebut sangat jauh dari kata sempurna. Hal ini disebabkan masih sangat terbatasnya pengetahuan dan kemampuan yang saya miliki. Oleh karena itu, saran serta kritik yang bersifat membangun sangatlah saya harapkan guna mencapai hasil yang terbaik.

Akhir kata, saya ucapkan banyak Terima Kasih kepada para pembaca yang sudah menyempatkan membaca skripsi ini.

Malang, 10 Juli 2018

Sibro Malisy



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Foto makro Aluminium A1050	4
Gambar 2.2 Diagram fasa Al-Mg ₂ Si	9
Gambar 2.3 Foto makro Aluminium A6061	10
Gambar 2.4 proses <i>roll bonding</i> , (i) <i>dimensioning</i> , (ii) <i>surface preparation</i> , (iii) <i>riveting or clamping</i> , (iv) <i>preheating in furnace</i> , (v) <i>rolling</i>	11
Gambar 2.5 Susunan <i>roll</i> untuk pengerollan logam (a) searah dua tingkat, (b) dua tingkat bolak balik dan (c) tiga tingkat.....	13
Gambar 2.6 Rangkaian Mesin <i>roll</i> secara seri	13
Gambar 2.7 <i>planetary roll</i>	14
Gambar 2.8 Pengerollan batang	15
Gambar 2.9 Variasi dari <i>flat rolling</i> dan <i>shape rolling</i> proses	16
Gambar 2.10 Langkah dalam <i>shape rolling</i> dari pembentukan <i>I-Beam</i>	17
Gambar 2.11 <i>Roll forging</i>	18
Gambar 2.12 <i>Skew rolling</i>	18
Gambar 2.13 <i>Ring rolling</i>	19
Gambar 2.14 <i>Thread rolling</i>	20
Gambar 2.15 <i>Rotary tube piercing</i>	20
Gambar 2.16 <i>Tube rolling</i> , (a) <i>Tube rolling</i> menggunakan <i>mandrel</i> , (b) <i>Tube rolling</i> tanpa <i>Mandrel</i>	21
Gambar 2.17 Mekanisme <i>bonding</i>	23
Gambar 2.18 Urutan dari tahapan <i>metallurgy</i> pada proses <i>diffusion bonding</i>	23
Gambar 2.19 Gaya-gaya Pengerollan.....	24
Gambar 2.20 Distribusi Tekanan <i>roll</i> Sepanjang Busur Kontak	26
Gambar 2.21 Kurva tegangan-regangan.....	28
Gambar 2.22 Bidang slip.....	29
Gambar 2.23 <i>Alligatoring</i>	31
Gambar 2.24 <i>Wavy Edges</i>	32
Gambar 2.25 <i>Side cracks</i>	32
Gambar 2.26 <i>Middle cracks</i>	33
Gambar 2.27 Jenis jenis patahan pada logam akibat beban tarik sesumbu	34
Gambar 3.1 Mesin <i>roll bonding</i>	36

Gambar 3.2 <i>Water proof Sandpaper P 60</i>	37
Gambar 3.3 Jangka sorong digital	37
Gambar 3.4 Dapur Listrik	37
Gambar 3.5 larutan <i>acetone</i>	38
Gambar 3.6 kawat Bendrat	38
Gambar 3.7 Mesin Bor	39
Gambar 3.8 Gunting Pelat	39
Gambar 3.9 <i>Tacho</i> meter	40
Gambar 3.10 Digital Multimeter	40
Gambar 3.11 <i>Filler Gauge</i>	41
Gambar 3.12 Mesin uji tarik.....	41
Gambar 3.13 Spidol	42
Gambar 3.14 Penggaris	42
Gambar 3.15 Dimensi spesimen proses <i>roll bonding</i> (mm).....	43
Gambar 3.16 Dimensi spesimen uji tarik.....	43
Gambar 3.17 Skema penelitian.....	44
Gambar 3,18 Skema pengujian mikrostruktur.....	45
Gambar 3.19 Diagram alir <i>roll bonding</i>	50
Gambar 3.20 Diagram alir uji tarik	51
Gambar 3.21 Diagram alir uji mikrostruktur.....	53
Gambar 4.1 Grafik hubungan kecepatan putaran <i>roll</i> terhadap kekuatan tarik hasil <i>Hot roll Bonding</i> Alumunium A6061 dengan A1100	56
Gambar 4.2 Grafik hubungan kecepatan putaran <i>roll</i> terhadap nilai rata-rata kekuatan tarik spesimen hasil <i>hot roll bonding</i> alumunium A6061 dengan A 1100.....	57
Gambar 4.3 Grafik hubungan kecepatan putaran <i>roll</i> terhadap nilai beban yang dihasilkan selama proses <i>Hot roll Bonding</i> Alumunium A6061 dengan A1100	57
Gambar 4.4 Diagram perbandingan nilai kekuatan tarik spesimen konvensional sebelum proses <i>Hot roll bonding</i> dengan spesimen hasil <i>Hot roll bonding</i> dengan berbagai variasi rpm.	58
Gambar 4.5 Diagram perbandingan nilai regangan total spesimen hasil <i>Hot roll bonding</i> dengan berbagai variasi rpm.....	58



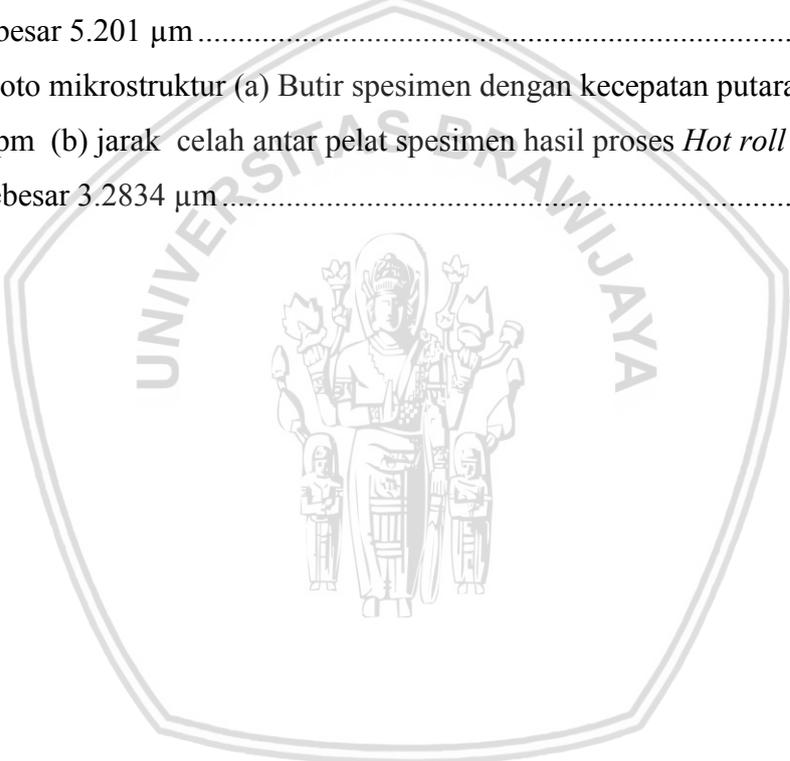
Gambar 4.6 Grafik Tegangan Regangan antara Spesimen hasil pengerollan dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm dan 20 rpm..... 59

Gambar 4.7 Foto patahan (a) spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm, (b) Spesimen dengan dengan kecepatan putaran *roll* 15 rpm, (c) spesimen dengan kecepatan putar 20 rpm..... 60

Gambar 4.8 Foto mikrostruktur (a) Butir spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 20 rpm (b) jarak celah antar pelat spesimen hasil proses *Hot roll bonding* sebesar 5.364 μm 61

Gambar 4.9 Foto mikrostruktur (a) Butir spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 15 rpm (b) jarak celah antar pelat spesimen hasil proses *Hot roll bonding* sebesar 5.201 μm 62

Gambar 4.10 Foto mikrostruktur (a) Butir spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm (b) jarak celah antar pelat spesimen hasil proses *Hot roll bonding* sebesar 3.2834 μm 63



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Tujuan penelitian	2
1.5 Manfaat penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian sebelumnya	3
2.2 Aluminium	4
2.2.1 Aluminium murni	4
2.2.2 Sifat sifat Aluminium	5
2.2.3 Klasifikasi Aluminium	5
2.2.4 Aluminium A1100	7
2.2.5 Aluminium paduan 6061	8
2.3 <i>Metal cladding</i>	10
2.3.1 <i>Roll bonding</i>	10
2.3.1.1 Klasifikasi pengerollan menurut George E Dieter	12
2.3.1.2 Klasifikasi pengerollan menurut Serope Kalpakjian	16
2.3.2 Aplikasi <i>Roll Bonding</i>	21
2.3.3 Mekanisme <i>bonding</i>	22
2.3.4 Gaya gaya pengerollan	24
2.4 Pengujian kekuatan tarik	27
2.4.1 Faktor faktor yang memengaruhi kekuatan tarik	28
2.5 Cacat plat hasil <i>roll bonding</i>	31
2.6 Patahan	33

2.6.1 Jenis jenis Patahan	33
2.7 Hipotesis.....	34
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Metode penelitian.....	35
3.2 Tempat dan Waktu penelitian	35
3.3 Variabel penelitian	35
3.4 Alat dan bahan.....	36
3.4.1 Alat	36
3.4.1.1 Alat untuk proses <i>roll bonding</i>	36
3.4.1.2 Alat untuk pengujian tarik	41
3.4.2 Bahan	42
3.4.2.1 Dimensi spesimen.....	43
3.5 Skema penelitian	44
3.6 Prosedur penelitian.....	45
3.7 Diagram alir penelitian.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Data hasil pengujian.....	55
4.2 Pembahasan.....	56
4.2.1 Kekuatan tarik.....	56
4.2.2 Tegangan regangan.....	59
4.2.3 Hasil foto Uji mikrostruktur	60
BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Contoh Perhitungan Beban Pengerollan
- Lampiran 2 Tabel *Grain Size Number*
- Lampiran 3 Hasil Pengujian Tarik
- Lampiran 4 Surat Keterangan Melakukan Pengujian Tarik
- Lampiran 5 Data Penelitian Laboratorium Struktur Universitas Merdeka Malang
- Lampiran 6 Uji Komposisi Aluminium Al 1100
- Lampiran 7 Uji Komposisi Aluminium Al 6061
- Lampiran 8 Desain Alat



RINGKASAN

Sibro Malisy, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2018, Pengaruh kecepatan putaran *roll* terhadap nilai kekuatan uji tarik dari penggabungan dua pelat A1100 dan A6061 pada proses *Hot roll bonding*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Achmad As'ad Sonief.

Metal cladding adalah proses penggabungan dua lembaran plat atau lebih dimana lembaran tersebut memiliki sifat berbeda sehingga menghasilkan lembaran yang memiliki sifat lebih baik. Salah satu jenis *Metal cladding* adalah *Roll bonding*. *roll bonding* adalah proses menggabungkan 2 pelat atau lebih dengan memanfaatkan gaya tekan pada 2 *roll*.

Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putar *roll* terhadap nilai kekuatan uji tarik spesimen hasil proses *Hot roll bonding* A1100 dan A6061. Penelitian ini menggunakan metode *true experimental research*. Adapun spesimen yang kita gunakan dalam penelitian kali ini memiliki dimensi lebar 35 mm dan panjang 240 mm dengan tebal 1 mm, dan reduksi sebesar 50%. Untuk variasi yang digunakan adalah putaran *roll* yaitu 10, 15 dan 20 rpm. Dengan waktu pemanasan awal 30 menit dengan suhu 475⁰ C. Setelah spesimen melalui proses *Hot roll bonding*, spesimen di bentuk menjadi spesimen uji tarik sesuai dengan standar JIS.

Dari penelitian didapatkan kesimpulan bahwa nilai uji tarik meningkat seiring dengan putaran *roll*, dimana spesimen dengan kecepatan putar *roll* 10 rpm memiliki nilai kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu sebesar 143.524 MPa, dan yang terendah adalah spesimen dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm dengan nilai kekuatan uji tarik sebesar 133.625 MPa. Hal ini dikarenakan semakin rendah putaran *roll* akan menyebabkan gaya pembebanan semakin merata dan gaya tekan yang di terima oleh spesimen akan semakin tinggi, yang mengakibatkan spesimen menjadi semakin keras, semakin tinggi kekerasan suatu spesimen akan menyebabkan nilai kekuatan tarik spesimen tersebut semakin tinggi.

Kata kunci: *Hot roll bonding*, Kecepatan Putar *Roll*, dan Kekuatan tarik

SUMMARY

Sibro Malisy, *Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2018, The Influence of rotation velocity of roll to tensile strength test value from bonding of two sheets A1100 and A6061 in hot roll bonding process ,Academic Supervisor: Yudy Surya Irawan dan Achmad As'ad Sonief.*

Metal cladding is a Bonding process of two sheets or more which is the sheet have different properties then produce new sheets that have better properties. One of a kind metal cladding process is roll bonding. Roll bonding is a process bonding two sheets or more through two roll.

This research purposed to know the influence of rotation velocity of roll to tensile strength test value from Bonding of two sheets A1100 and A6061 in hot roll bonding process. This research use true experimental research method. Specimens that we use in this research have 35 mm of width and 240 mm of length and 1mm of thickness, and 50% of reduction. With 10,15 and 20 rpm of rotation velocities variation. with 350⁰ C of preheating for 30 minute. After specimen through hot roll bonding process, specimen formed into JIS Z2201 standard form specimen for tensile strength test.

The conclusion in this research, tensile strength value increased along the increase of roll rotation velocities. Where's 10 rpm roll rotation velocities specimen have the highest tensile strength value with 143.524 MPa. And the 20 rpm roll rotation velocities specimens have the lowest tensile strength value with 133.625 MPa. This phenomenon happen because, lower rotation velocities of roll caused force that push the specimen higher than higher rotation velocities of roll, then caused specimen became harder. Tensile strength value increased along the increase of hardness material.

Keywords: *Hot roll bonding, rotation velocities of roll, and tensile str*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman yang semakin maju, dan komunikasi antar masyarakat dunia menjadi semakin mudah, begitu juga persaingan dalam berbagai bidang, salah satunya dibidang industri manufaktur, untuk bisa bertahan diketatnya persaingan masyarakat dunia kita perlu melakukan inovasi inovasi proses proses dalam manufaktur, hal ini dimaksudkan agar terjadi proses yang tepat dan efektif untuk mengurangi proses yang tidak perlu agar *cost* produksi dapat ditekan namun tetap menghasilkan produk yang berkualitas dan mampu bersaing dipasar dunia. salah satu proses yang perlu dipertimbangkan dalam proses manufaktur adalah pemilihan bahan dan pembentukan bahan menjadi bahan dengan karakteristik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan.

Ada berbagai macam proses manufaktur yang dapat digunakan untuk merubah karakteristik suatu material, salah satunya caranya adalah menggabungkan 2 logam atau lebih baik yang mempunyai karakteristik yang berbeda maupun sama, dengan tujuan untuk memperoleh karakteristik logam yang baru.

Salah satu proses penggabungan logam ini adalah *roll bonding*. *roll bonding* adalah Proses perubahan bentuk logam secara plastik dengan melewatkannya di antara *roll* dinamakan pengerollan. Pengerjaan ini banyak digunakan pada proses pengerjaan logam karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah di kontrol (Dieter, 1987).

Roll bonding dapat dilakukan dalam suhu ruang atau biasa disebut *cold roll bonding* (CRB). *Cold roll bonding* dapat digunakan untuk menyatukan banyak material yang tidak bisa di lekatkan dengan teknik penyatuan tradisional dalam keadaan dingin. Kelekatan material dalam CRB dikarenakan oleh gaya adhesi, maka dari itu perlu permukaan yang benar benar bersih agar tidak ada zat pengotor yang akan menghalangi ikatan antar material yang akan menyebabkan berkurangnya kekuatan *bonding* antar material.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Akroma (2011) mengenai *roll bonding* atau *accumulative roll bonding* yang dilakukan pada aluminium untuk bahan konstruksi atap bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanisnya yang diketahui melalui pengujian kekuatan tarik, pengujian kekerasan dan pengujian mikrostruktur. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sagala (2011) mengenai *roll bonding* atau *accumulative*

roll bonding pada *propeller* kapal nelayan yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanisnya yang diketahui melalui pengujian kekuatan tarik, pengujian kekerasan dan pengujian mikrostruktur.

Aluminium sendiri banyak digunakan untuk proses produksi yang ada sekarang ini dikarenakan memiliki biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan material lainnya seperti lempengan *Stainless Steel*. Lempengan atau pelat Aluminium sendiri didukung oleh sifat-sifat lainnya seperti tahan terhadap karat, tahan terhadap segala macam cuaca, tahan terhadap temperatur tinggi serta memiliki nilai estetika yang baik sehingga tidak heran banyak perusahaan yang bergerak di bidang Industri memakai bahan lempengan atau pelat Aluminium sebagai bahan baku produk mereka.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kecepatan putaran *roll* terhadap nilai kekuatan uji tarik dari penggabungan 2 pelat A1100 dan A6061 pada proses *Hot roll bonding*.

1.3 Batasan Masalah

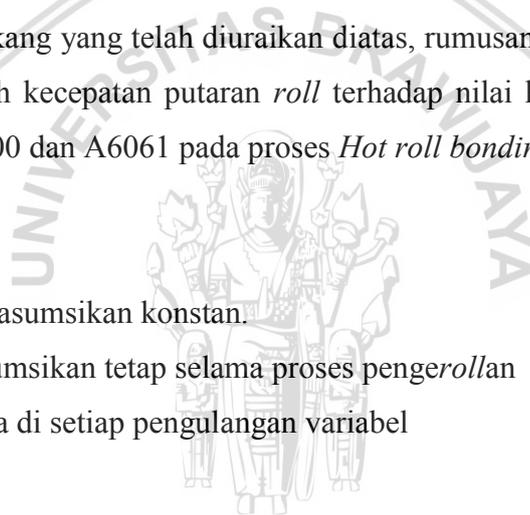
1. Kecepatan putar *roll* di asumsikan konstan.
2. Suhu pengerollan di asumsikan tetap selama proses pengerollan
3. Suhu di asumsikan sama di setiap pengulangan variabel

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan putaran *roll* terhadap nilai kekuatan uji tarik dari penggabungan 2 pelat A1100 dan A6061 pada proses *hot roll bonding*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberi metode dalam peningkatan sifat mekanis material
2. Mampu merancang dan mengoperasikan mesin *roll bonding*
3. Mampu menganalisa nilai kekuatan tarik pada material setelah proses *roll bonding*
4. Menjadi acuan penelitian selanjutnya mengenai *roll bonding*



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Akroma (2011) melakukan penelitian serupa dengan menggunakan material aluminium komersil untuk bahan konstruksi atap dengan menggunakan metode *Accumulative Roll-Bonding*. Penelitian dilakukan menggunakan mesin *roll* manual dan bahan yang berupa lempengan logam aluminium yang dapat ditemukan di pasaran dengan spesifikasi ukuran lebar 4 cm dan kemudian melakukan proses ARB yang dilakukan pada suhu 500°C dengan menggunakan variasi *layer* spesimen yaitu 2 *layer*, 4 *layer* serta 8 *layer* untuk mendapatkan hasil deformasi sebesar 50%. Setelah proses ARB selesai, ukuran dari spesimen kemudian disesuaikan dengan pengujian yang akan dilakukan yang mana untuk pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil yaitu Kekuatan tarik pada aluminium komersil dapat ditingkatkan dengan menggunakan *Accumulative Roll-Bonding* (ARB). Kekuatan tarik sebelum diproses ARB adalah 111,147 MPa, setelah diproses ARB pada 8 *layer* meningkat menjadi 123,438 Mpa. Peningkatan kekuatan tarik yang terjadi sebesar 11,058%. Diameter butiran akan semakin mengecil seiring dengan banyaknya siklus ARB yang dilakukan pada aluminium tersebut.

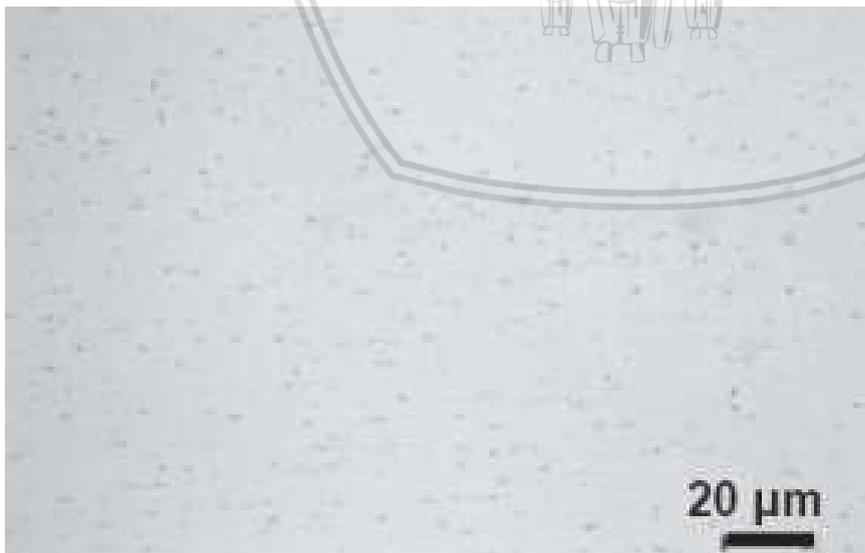
Alil *et al.* (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh dari proses *Accumulative Roll-Bonding* pada sifat sifat AA5083 yang merupakan lempengan logam Al-Mg. Proses ARB dilakukan pada suhu ruang dengan menggunakan *roll* berdiameter 206 mm pada kecepatan *rolling perifer* 70 rpm dengan metode *Cold Roll-Bonding* dan di berikan perlakuan *annealing* setelah material selesai dilakukan proses ARB. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil yaitu *Yield Strength* meningkat dengan cepat setelah siklus ARB 1 dan 2, dan nilainya setelah siklus ARB 3 dan 4 Hampir 3 kali lebih besar (370 MPa) dibandingkan bahan awal (130 MPa), sebelum deformasi ARB. Nilai *Ultimate Tensile Strength* meningkat pada tingkat yang lebih rendah dengan meningkatkan jumlah siklus ARB dengan peningkatan dari 275 MPa, pada keadaan awal, menjadi 385 MPa setelah 3 dan 4 siklus ARB. Pemanjangan seragam terjadi sekitar 7,5% setelah 1 siklus ARB, dan menurun hingga 2,5% setelah 2 siklus ARB. Dengan deformasi ARB lebih lanjut dari 2 sampai 5 siklus ARB, hampir tetap bertahan tidak berubah.

Qian Wang *et al.* (2013), melakukan penelitian tentang pelapisan A1060 dan besi murni dengan proses *vacum roll bonding*, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tebal awal pelat, *preheating temperature* dan reduksi terhadap kekuatan ikatan antar pelat. Dimensi pelat A1060 (0,5 x 45 x 150)mm dan (0,1 x 45 x 150)mm dan besi murni (2x50x150)mm. sebelum di *roll* ketiga pelat dibersihkan menggunakan larutan aseton selama 20 menit. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan ikatan antar pelat meningkat seiring dengan meningkatnya reduksi dan *preheating temperature*, juga semakin tebal pelat semakin menaikkan kekuatan antar pelat.

2.2 Aluminium

2.2.1 Aluminium Murni

Aluminium memiliki sifat diantaranya tahan terhadap korosi karena aluminium adalah logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen sehingga membentuk lapisan aluminium oksida. Selain itu aluminium bersifat ulet, mudah dibentuk dan diberi perlakuan permesinan. Aluminium murni memiliki kekuatan tarik sekitar 4-5 kgf/mm². Apabila aluminium dilakukan permesinan seperti di *roll* dingin maka kekuatan tariknya meningkat hingga 15 kgf/mm². Aluminium memiliki sifat konduktor listrik yang baik. Aluminium memiliki daya hantar listrik 65% dari tembaga. Aluminium merupakan logam *non ferrous* yang memiliki bobot paling ringan sehingga sering digunakan untuk pembuatan produk yang kuat dan ringan. Foto makro aluminium A1050 pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Foto makro aluminium A1050
Sumber: Lihong *et al* (2013:34)

Dari foto tersebut dapat dilihat bahwa aluminium A1050 memiliki permukaan yang mengkilap, dan memiliki sedikit bercak hitam, ini dikarenakan aluminium A1050 memiliki unsur paduan Al yang sangat tinggi mencapai 99%.

2.2.2 Sifat- Sifat Aluminium

Aluminium merupakan logam yang memiliki rumus kimia Al dengan nomor atom 13. Sifat-sifat fisik aluminium adalah aluminium merupakan logam berwarna putih keperakan dengan struktur kristal yang berbentuk FCC. Aluminium memiliki densitas sebesar $2.698 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ketika suhu 20°C . Titik cair aluminium adalah pada suhu 660°C .

Aluminium merupakan logam konduktor yang baik. Nilai hantaran listrik aluminium adalah sebesar 65% dari hantaran listrik tembaga, namun aluminium memiliki massa jenis hanya sepertiga dari tembaga sehingga memungkinkan untuk dilakukan perluasan penampang, selain itu dapat juga digunakan untuk campuran kabel dan dalam berbagai kebutuhan dapat kita jumpai aluminium dalam bentuk lembaran contohnya aluminium foil, pada aluminium foil aluminium yang digunakan sebesar 99.0%.

2.2.3 Klasifikasi Aluminium

Aluminium diklasifikasikan menurut paduan yang terkandung dan membentuk aluminium terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Klasifikasi Aluminium

<i>Primary Alloying Element</i>	<i>Series Number</i>	<i>Corrosion Resistance</i>	<i>Relative Strength</i>	<i>Heat Treatment</i>
<i>Aluminium, 99 % dan lebih besar</i>	1xxx	<i>Excellent</i>	<i>Fair</i>	<i>Non-Heat-Treatable</i>
<i>Copper</i>	2xxx	<i>Fair</i>	<i>Excellent</i>	<i>Heat-Treatable</i>
<i>Manganese</i>	3xxx	<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Heat-Treatable</i>
<i>Silicon</i>	4xxx	-	-	<i>Varies by Alloy</i>
<i>Magnesium</i>	5xxx	<i>Good</i>	<i>Good</i>	<i>Non-Heat-Treatable</i>
<i>Magnesium dan Silicon</i>	6xxx	<i>Good</i>	<i>Good</i>	<i>Heat-Treatable</i>
<i>Zinc</i>	7xxx	<i>Fair</i>	<i>Excellent</i>	<i>Heat-Treatable</i>

Sumber: Kissel (2002:14)

Berikut ini merupakan beberapa macam paduan aluminium yang dihasilkan melalui tempa/pengerjaan.

1. Paduan Al-Cu

Pada paduan Aluminium seri 2000, biasanya dikenal dengan sebutan duraluminium atau super duraluminium. Kandungan Si yang terdapat lebih banyak pada A2014 dibandingkan A2017 membuat A2014 dapat ditingkatkan kekuatannya dengan

memberikan metode perlakuan panas pendinginan cepat (*quenching*) kemudian dipanaskan lagi pada temperatur di bawah suhu rekristalisasi dan didinginkan dengan udara (*tempering*). Kandungan Cu dan Mg yang rendah pada A2117 membuat lebih lunak sehingga digunakan untuk bahan *rivet*. Kandungan Ni yang ditambahkan pada A2018 dapat meningkatkan kekuatan tahan panasnya sehingga sering digunakan untuk komponen tahan panas dengan kisaran daerah panas penggunaannya antara 200°C hingga 250°C.

2. Paduan Al-Mn

Paduan Al-Mn merupakan paduan Aluminium seri 3000. Penambahan Mn sekitar 1.2% pada A3003 meningkatkan kekuatan 10% dari pada aluminium murni dengan sifat tahan korosi dan sifat mampu mesin yang sama dengan aluminium murni. Paduan ini digunakan untuk peralatan dapur, panel.

3. Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg merupakan paduan Aluminium seri 5000. A5005 yang memiliki Mg yang rendah dapat digunakan untuk pembuatan aksesoris. Sedangkan paduan yang memiliki Mg antara 2% hingga 5% digunakan untuk material konstruksi seperti A5052, A5056, A5083. Penambahan Mn dan Cr untuk meningkatkan kekuatan terhadap korosi tegangan (*stress-corrosion*).

4. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si merupakan paduan Aluminium seri 6000. Paduan ini memiliki sifat tahan korosi dan kekuatan yang tinggi. Contohnya yaitu A6061 yang digunakan untuk material konstruksi dan A6063 untuk bingkai arsitektur.

5. Paduan Al-Zn-Mg

Paduan Al-Zn-Mg merupakan paduan aluminium seri 7000. Contohnya yaitu A7075 yang memiliki kekuatan tinggi sehingga banyak digunakan untuk material konstruksi pesawat terbang.

Tabel 2.2
Contoh Aluminium dan Paduannya (JIS H4000 ~ H4180)

Jenis	Kandungan kimia (% berat)									Sifat mekanis				Guna
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	dll.	Tr.	σ_B	$\sigma_{y0.2}$	El (%)	
1050	.25	.40	.05	.05	.05	.05	-	.03		O H18	75 160	30 145	39 7	Tangki, wadah, bahan arsitektur
1100	≤1.0		.13	.05	-	.10	-	-		O H18	90 165	35 150	35 5	Tangki, bahan arsitektur, pendingin
2024	.5	.5	4.4	.6	1.5	.25	.1	.15	Zr+Ti ≤0.2	O T4	185 470	75 325	20 20	Pesawat Terbang, Sepeda motor
3003	.6	.7	.13	2.2	-	.10	-	-		O H18	110 200	40 185	30 4	Peralatan sehari-hari, bahan arsitektur, wadah
5052	.25	.40	.10	.10	2.5	.10	.25	-		O H38	195 290	90 255	27 7	Kapal laut, gerbong, kereta roda, bahan arsitektur
6063	.4	.35	.10	.10	.67	.10	.10	.10		O T6	90 240	50 215	- 12	Bingkai jendela, bahan arsitektur
7075	.40	.5	1.6	.30	2.5	5.6	.20	-	Zr+Ti ≤0.25	O T6	230 570	105 505	17 11	Pesawat terbang, peralatan olah raga
7N01	.30	.35	.20	.45	1.5	4.3	.30	.20	Zr ≤.25 V≤.10	T6	430	355	15	Gerbong kereta api, material konstruksi las
8090	.20	.30	1.22	.05	.97	.10	.05	.15	Zr =.12 Li =2.21	T8	540	490	5	Material konstruksi las

Keterangan:

Tr. = *Treatment*

σ_B = Kekuatan Tarik (MPa)

$\sigma_{y0.2}$ = Tegangan Luluh metode *offset* 0.2% (MPa)

El = Perpanjangan (%)

2.2.4 Aluminium A1100

Aluminium A1100 merupakan aluminium seri 1xxx. Aluminium seri 1xxx memiliki kemurnian mencapai antara 99 % hingga 99.9 %. Aluminium ini memiliki sifat tahan korosi, konduktivitas tinggi dan kekuatan yang rendah. Pada penelitian ini menggunakan aluminium A1100. Berikut adalah data mengenai sifat fisik, sifat mekanik, dan komposisi yang terdapat pada aluminium A1100.

Tabel 2.3
Sifat Fisik Aluminium *Alloys* 1100

Aluminium	Density (g/cm ³)	Coefficient of thermal expansion ($\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$)	Melting range ($^\circ\text{C}$)	Thermal conductivity at 25 $^\circ\text{C}$ (W/m)	Ultimate tensile strength (MPa)
A1100	2,71	23,6	655	222	90

Sumber: ASM handbook vol.2 *properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose material* (1993:178)

Tabel 2.4
Komposisi A1100

<i>Component</i>	<i>Wt. %</i>
Si	0,95
Fe	(Si+Fe)
Cu	0,05-0,20
Mn	0,05
Zn	0,10
Al	99,00

Sumber: ASM handbook vol.2 *properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose material* (1993:43)

2.2.5 Aluminium Paduan 6061

Pada penelitian ini, Material aluminium yang digunakan adalah paduan Al-Mg-Si. Paduan dalam seri ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat baik untuk mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa. Mempunyai mampu bentuk yang baik pada ekstrusi dan tahan korosi, dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan (Surdia, 1999:40). Tabel 2.5 adalah data mengenai sifat fisik, Tabel 2.6 sifat mekanik dan Tabel 2.7 komposisi kimia secara umum pada aluminium paduan 6061. Selain itu juga digram fasa Al-Mg₂Si dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 merupakan foto makro dari Aluminium paduan 6061.

Tabel 2.5
Sifat Fisik *Aluminum Alloys 6061*

Aluminium	<i>Density</i> (g/cm ³)	<i>Coefficient of thermal expansion</i> (μm/m.°C)	<i>Melting range</i> (°C)	<i>Thermal conductivity at 25°C</i> (W/m)	<i>Ultimate tensile strength</i> (MPa)
A6061	2,70	23,6	650	180	125

Sumber: ASM handbook vol.2 *properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose material* (1993:178)

Tabel 2.6
Sifat Mekanik Aluminium Paduan

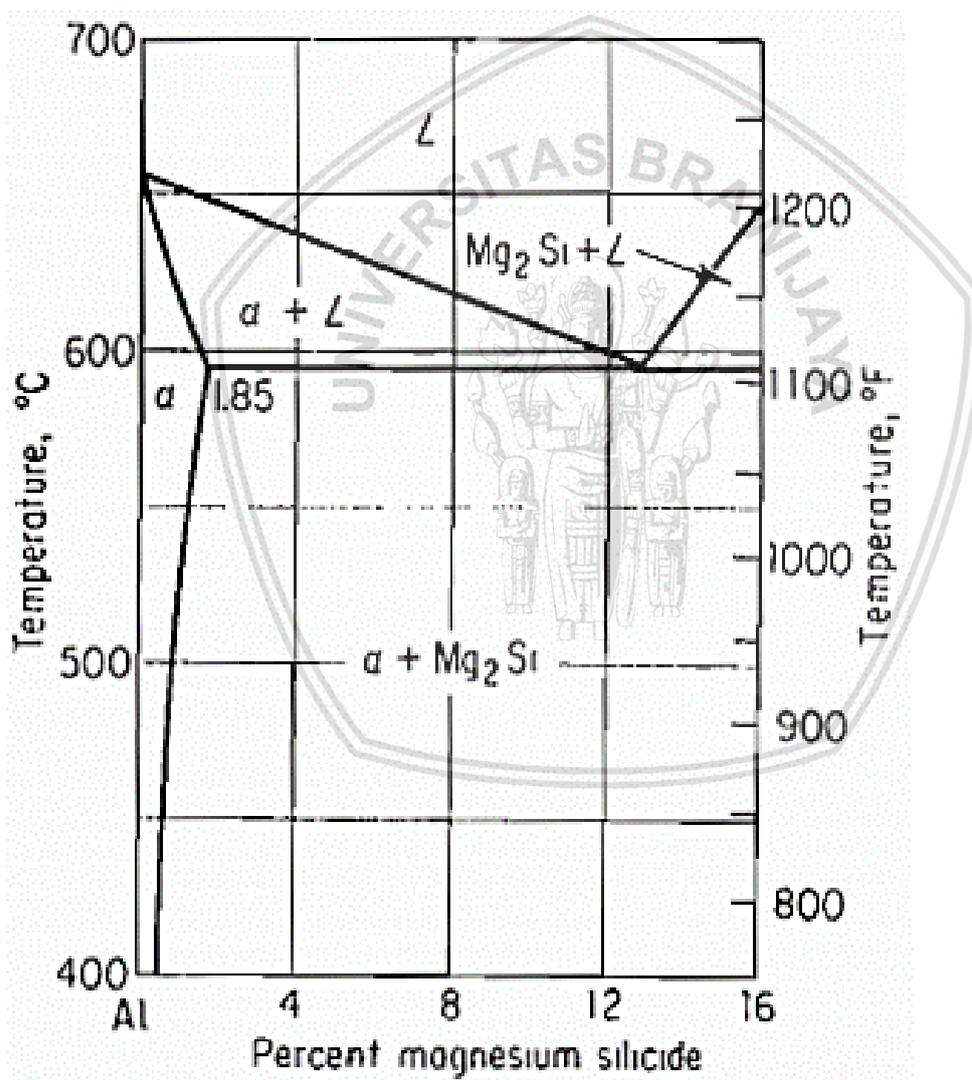
Aluminium Paduan	Kekuatan Tarik (Kgf/mm ²)	Kekuatan Mulur (Kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan <i>Brinell</i>	Batas Lelah (Kgf/mm ²)
6061	31,6	28,0	15	95	9,5

Sumber: Surdia (1999:140)

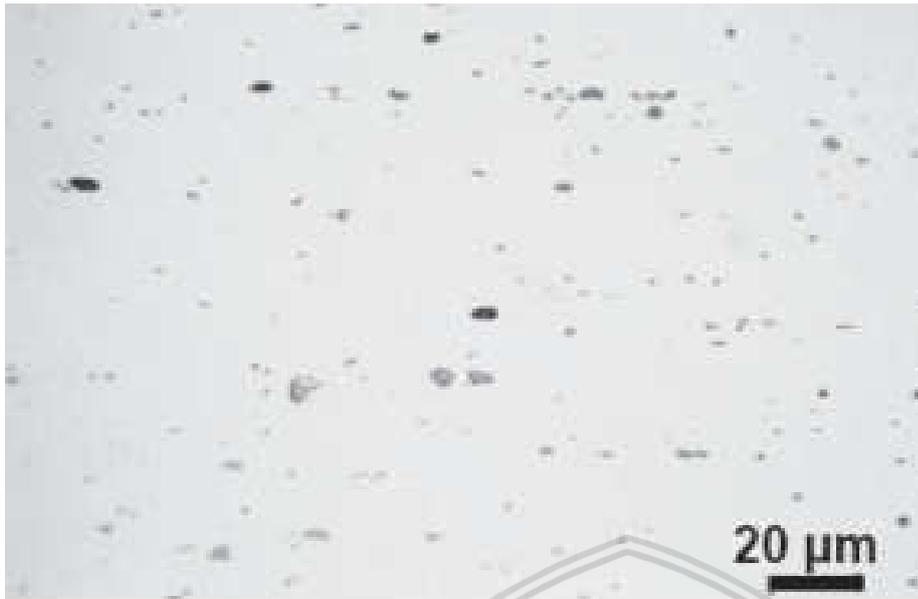
Tabel 2.7
Komposisi A6061

Component	Wt. %
Al	95,8 – 98,6
Cr	0,04 – 0,35
Cu	0,15 – 0,4
Fe	≤ 0,7
Mg	0,8 – 1,2
Zn	≤ 0,1
Residuals	≤ 0,20
Si	0,4 – 0,8
Ti	≤ 0,15
Mn	≤ 0,15

Sumber: *ASM handbook vol.2 properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose material* (1993:62)



Gambar 2.2 Diagram fasa Al-Mg₂Si
Sumber: Avner (1974:491)



Gambar 2.3 Foto makro spesimen aluminium A6061

Sumber: Lihong *et al* (2013.34)

Spesimen aluminium paduan A6061 memiliki bercak bercak hitam yang lebih banyak jika dibandingkan dengan aluminium murni, bercak bercak hitam yang terdapat di spesimen aluminium paduan A6061 dikarenakan adanya unsur Mg_2-Si yang lebih banyak jika dibandingkan persentase Mg_2-Si pada aluminium murni.

2.3 Metal Cladding

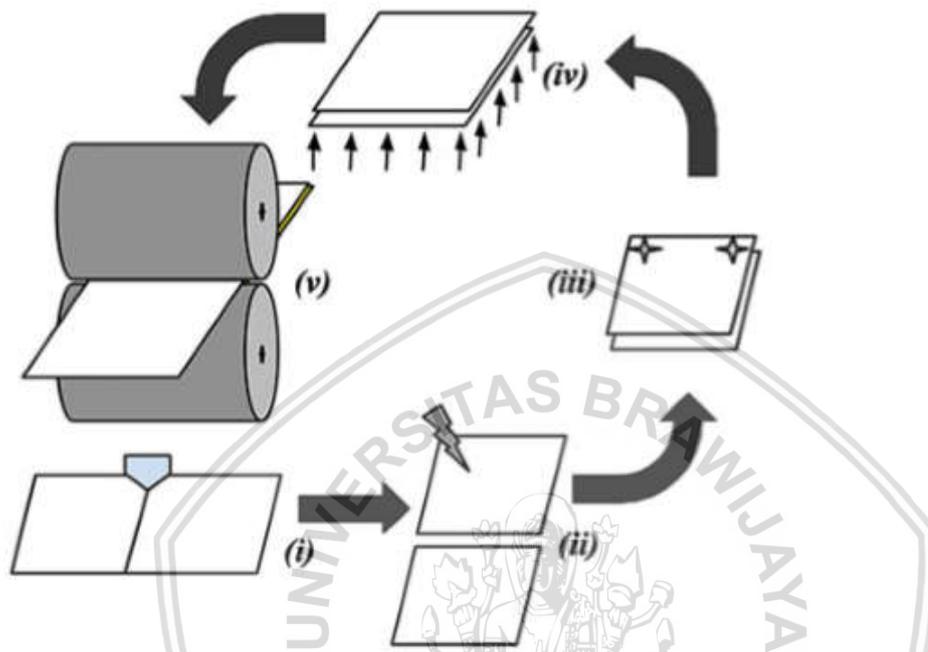
Metal cladding adalah proses penggabungan dua lembaran pelat atau lebih dimana lembaran tersebut memiliki sifat berbeda sehingga menghasilkan lembaran yang memiliki sifat lebih baik. Proses *metal cladding* tersebut bertujuan untuk menambahkan sifat tahan korosi, untuk meningkatkan sifat material, atau yang lain, yang tidak mampu diperoleh pada satu jenis logam. Contohnya uang koin U.S., sebelumnya koin tersebut terbuat dari paduan perak, namun sekarang koin tersebut terbuat dari *cladding* nikel dan tembaga. Hasil dari *cladding* nikel dan tembaga ini memiliki sifat yang sama seperti perak namun biaya yang dikeluarkan lebih murah dibandingkan koin perak. Contoh *cladding* pada aluminium pada badan pesawat yang tidak dicat.

Cladding sering dicapai melalui cara mengekstrusi dua buah logam hingga terdeformasi melalui proses penekanan atau *rolling* dengan bertekanan tinggi. *Roll bonding* merupakan salah satu metode utama dalam membentuk *metal cladding*.

2.3.1 Roll Bonding

Roll bonding merupakan proses pembentukan logam. Suatu pengerollan logam pada dasarnya terdiri atas: *roll*, bantalan, dan rumah untuk komponen komponen tersebut serta

pengendali untuk mengatur catu daya untuk *roll* dan untuk mengendalikan kecepatannya (Dieter:1987). ada 5 hal dasar pada proses *roll bonding* yaitu *dimensioning*, *surface preparation*, *riveting* atau *clamping*, *preheating* (untuk pengerjaan panas), dan *rolling* (Ghanes:2015). Gambar 2.4 menunjukkan skema dari proses *roll bonding*.



Gambar 2.4 Proses *roll bonding*, (i) *dimensioning*, (ii) *surface preparation*, (iii) *riveting or clamping*, (iv) *preheating in furnace*, (v) *rolling*
Sumber: Ganesh (2014:356)

1. *Dimensioning* adalah pemotongan lembaran logam dengan dimensi yang telah direncanakan, yaitu panjang kali lebar yang dimana ketebalan lembaran harus dispesifikasikan, pada saat pemilihan material. Namun, ketebalan final lembaran *roll bonding* harus dipilih sebelum memulai pengerollan.
2. *Surface preparation* adalah tahap kedua dan merupakan bagian penting dari proses *roll bonding*, *surface preparation* bertujuan untuk menghilangkan lapisan kontaminan yang ada di permukaan material yang akan di *bonding*. Caranya adalah dengan menyikat permukaan dari material, mengamplas atau bisa juga dengan proses *knurling*. Li *et al.* (2008) menyatakan bahwa *surface preparation* tidak hanya untuk untuk membersihkan permukaan dan memberi permukaan yang kasar pada material yang akan di *bonding*, namun juga memberikan sejumlah lokal deformasi geser yang besar yang tidak dapat dihindari oleh permukaan lapisan oksida material yang nantinya akan sangat membantu dalam penggabungan dua material yang akan di *roll bonding*.

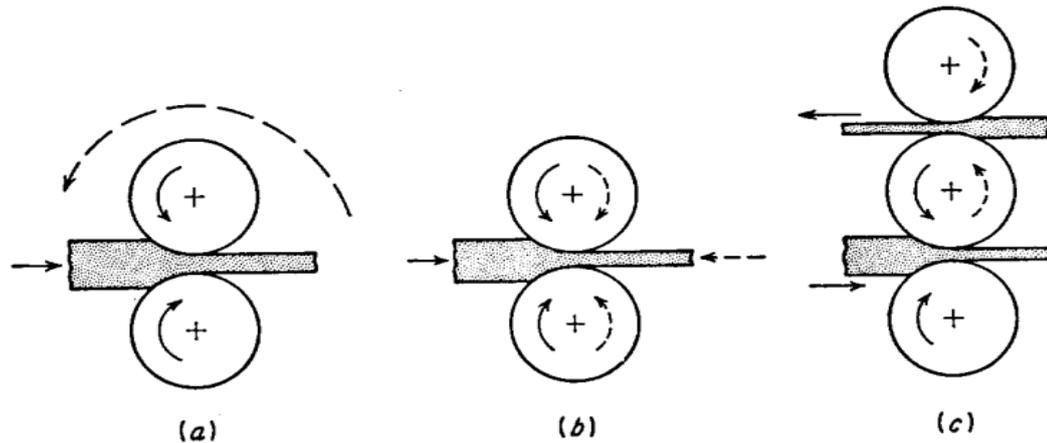
3. *Riveting* dilakukan hanya dengan melipat lembaran logam di kedua sisi yang akan di gabungkan. Sedangkan *clamping* adalah dua pelat tersebut di gabungkan dengan bantuan kawat atau pin sebelum di *roll*.
4. *Preheating* adalah operasi pemanasan, yang dilakukan sebelum material di *roll* yang di bantu oleh dapur listrik. Proses ini hanya memberikan panas pada material agar mudah di bentuk tidak sampai meleleh atau lunak sekali.
5. proses *rolling*. Dalam proses ini ada beberapa hal yang harus di perhatikan sebelum material di *roll* yaitu kecepatan putar *roll*, jarak antara *roll*, tebal material yang akan di *roll* dan tekanan yang harus di hasilkan selama proses *rolling*.

2.3.1.1 Klasifikasi Pengrollan Menurut George E Dieter

Proses pengubahan bentuk logam secara plastik dengan melewatkannya di antara *roll* dinamakan *pengerollan*, pengerjaan ini banyak di gunakan pada proses pengerjaan logam karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah di kontrol (Dieter, 1993). Adapun klasifikasi *pengerollan* antara lain:

1. *Pengerollan* logam (*Rolling mill*)

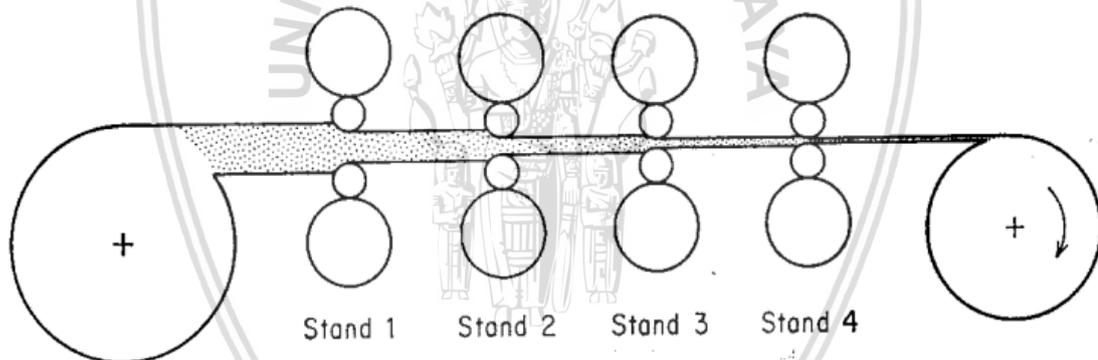
Pada *pengerollan* logam pada dasarnya terdiri atas *roll*, bantalan, dan rumah untuk tempat komponen komponen tersebut, serta pengendali untuk mengatur catu daya untuk *roll* dan untuk mengendalikan kecepatannya. *Pengerollan* logam pada umumnya dapat di golongan berdasarkan jumlah dan susunan *roll* Gambar 2.5 tipe *pengerollan* yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah *pengerollan* dua-tingkat (Gambar 2.5a). sedangkan untuk meningkatkan kecepatan, digunakan *roll* bolak balik dua tingkat, dimana benda kerja dapat di gerakkan maju dan mundur melalui *roll roll* yang arah putarannya dapat dibalik (Gambar 2.5b). cara lain adalah menggunakan *roll* tiga tingkat (Gambar 2.5c), terdiri atas *roll* dan *roll* bawah sebagai sumber gerak dan *roll* tengah yang bergerak akibat gesekan (Dieter:1993).



Gambar 2.5 Susunan roll untuk pengerollan logam (a) searah dua tingkat, (b) dua tingkat bolak balik dan (c) tiga tingkat.

Sumber: Dieter (1992:200)

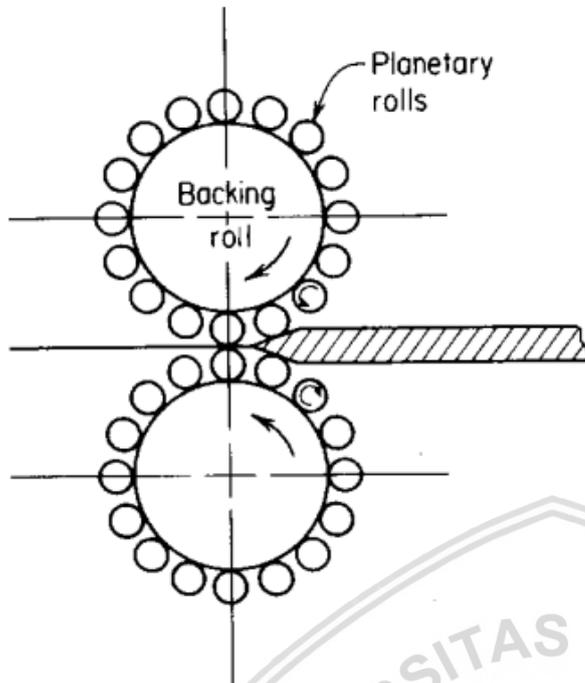
Untuk menghasilkan hasil yang berkualitas tinggi, biasanya disusun rangkaian mesin roll logam secara seri (Gambar 2.6), setiap roll memiliki dinamakan tahapan (*stand*), karena setiap tahapan roll terdapat reduksi yang berbeda beda, maka lembaran akan bergerak dengan kecepatan yang berbeda beda pada setiap tahapannya (Dieter,1993).



Gambar 2.6 Rangkaian mesin roll secara seri

Sumber: Dieter(1992:200)

Suatu rancangan mesin roll yang lain adalah mesin roll planet (*planetary roll*) (Gambar 2.7). mesin ini terdiri atas pasangan roll pendukung besar di kelilingi oleh sejumlah roll planet kecil. Karakteristik mesin roll planet adalah keefektifannya dalam melakukan reduksi pelat yang di roll, hal ini dikarenakan setiap roll planet membantu melakukan reduksi terhadap pelat yang melewati roll planet.



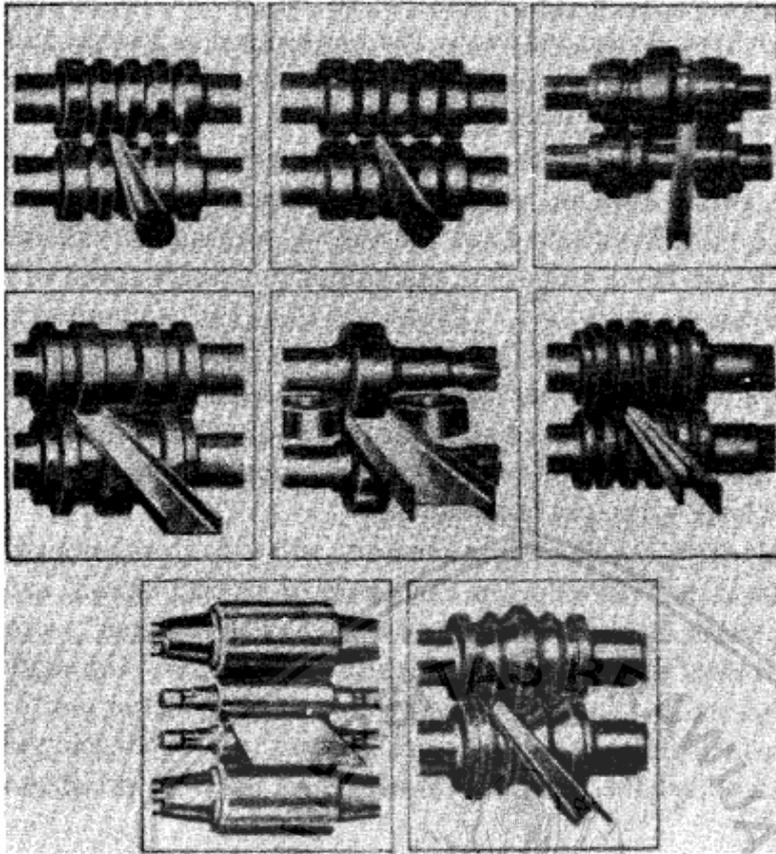
Gambar 2.7 planetary roll
Sumber: Dieter (1992:201)

2. Pengerollan panas

Proses pengerjaan panas pertama untuk sebagian besar produk baja dilakukan pada mesin *primary roughing mill*. Mesin mesin ini biasanya berupa mesin bolak balik dua tingkat yang mempunyai *roll* berdiameter *roll* 24 hingga 54 inchi. mesin mesin tersebut di golong golongkan berdasarkan ukuran *roll*, misalnya mesin dengan diameter *roll* 45 inchi atau mesin dengan diameter *roll* 24 inchi (Dieter, 1992).

3. Pengerollan batang

Suatu mesin *roll* yang dirancang untuk mengeroll batang dinamakan mesin *roll* batang atau mesin *mill*. Sebagian mesin *roll* pembuat batang dilengkapi dengan bagian memasukan *bilet* ke dalam alur dan bagian pembalik untuk membalikan arah batang dan mengumpulkannya kembali ketahapan *roll* berikutnya. Batang dengan bentuk lingkaran dan profil struktural, misal balok I, saluran rel kereta api, diproduksi dalam jumlah yang besar dengan cara pengerollan panas dalam *roll* yang diberi alur pada Gambar 2.8. yang membedakan pengerollan batang dengan pengerollan panas adalah dari *roll* nya yang memiliki alur untuk mengontrol perubahan bentuk selama proses pembentukan (Dieter, 1992).



Gambar 2.8 Pengerollan batang

Sumber: Dieter(1992:204)

Pengerollan batang dan profil berbeda dengan pengerollan lembaran, dikarenakan disini pengurangan luas penampang terjadi dalam 2 arah. Akan tetapi, logam seringkali di kompresi pada satu arah saja setiap tahapnya. Pada tahapan berikutnya logam di putar 90° . Karena pada pengerollan panas penyebaran logam jauh lebih besar dibanding dengan pengerollan dingin (Dieter, 1992).

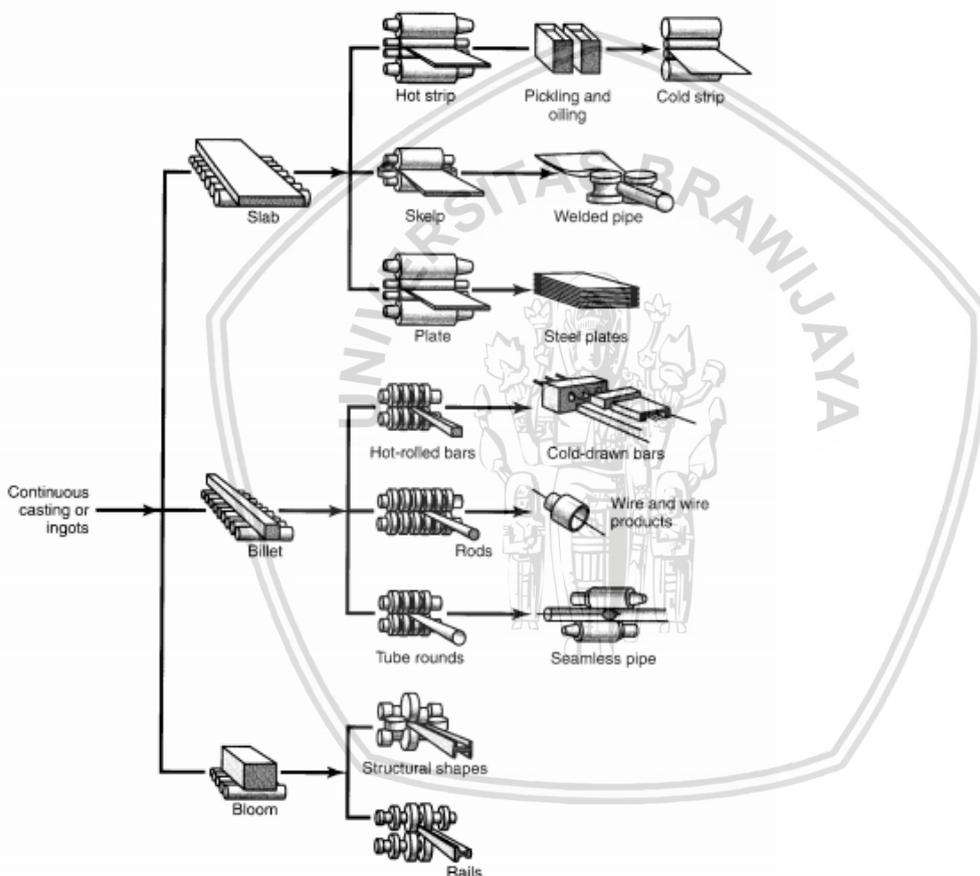
4. Pengerollan dingin

Pengerollan dingin di pergunakan untuk menghasilkan lembaran dan sirip yang memiliki kualitas permukaan akhir yang lebih baik serta kesalahan dimensional yang lebih dibanding dengan hasil proses pengerollan panas. Selain itu, pengerasan regang yang diperoleh dari reduksi dingin dapat digunakan untuk menaikkan kekuatan. Sebagian besar logam bukan besi lebih banyak menggunakan proses akhir pengerjaan dingin dibanding pengerjaan panas untuk baja. Mesin tandem empat-tingkat kecepatan tinggi yang mempunyai 3 hingga 5 *stand* adalah jenis yang digunakan untuk pengerollan dingin lembaran baja, aluminium dan paduan paduan-tembaga. Salah satu prosedur yang rasional untuk menyusun tahapan pengerollan dingin adalah melakukan

pengaturan pada setiap tahapan sedemikian hingga menghasilkan beban pengerollan yang konstan (Dieter,1992).

2.3.1.2 Klasifikasi pengerollan Menurut Serope Kalpakjian

Proses *rolling* menyumbang sekitar 90% dari semua produk logam yang dihasilkan oleh proses pengerjaan logam, pertama kali dikembangkan pada tahun 1500-an. Pengerollan adalah proses mengurangi ketebalan atau merubah penampang benda kerja oleh gaya tekan melalui sepasang *roll* (Kalpakjian, 2009), variasi dari pengurangan ketebalan dan perubahan penampang benda kerja dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Variasi dari *flat rolling* dan *shape-rolling* proses.

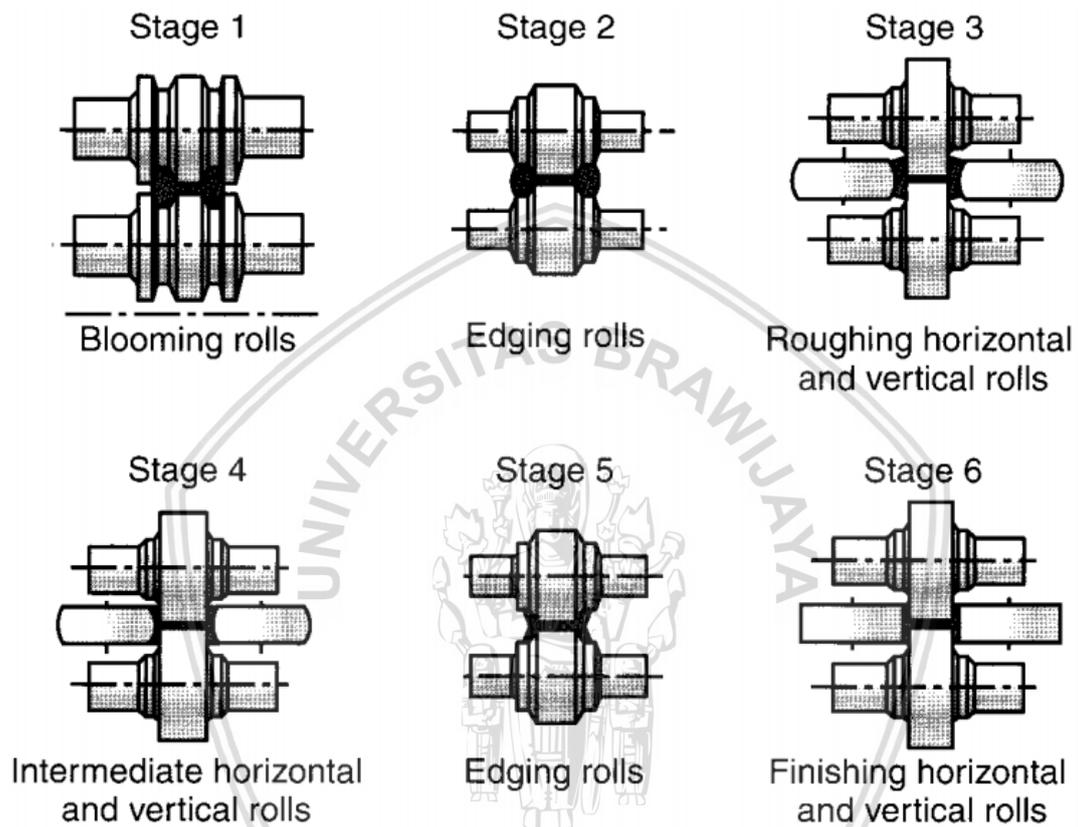
Sumber: Kalpakjian (2009:317)

Beberapa proses *rolling* telah dikembangkan untuk memproduksi bentuk produk yang spesifik, variasi dari pengerollan yaitu:

1. *Shape rolling*

Struktur yang panjang dan lurus seperti *I-beams*, rel kereta api, dan baja tulangan terbentuk pada suhu tinggi dengan proses *shape rolling (profile rolling)*, dimana benda kerja melewati beberapa *roll* yang telah dirancang khusus seperti Gambar 2.10. Pada Gambar 2.10 benda kerja akan melewati banyak *stage* dimana setiap *stage* memiliki

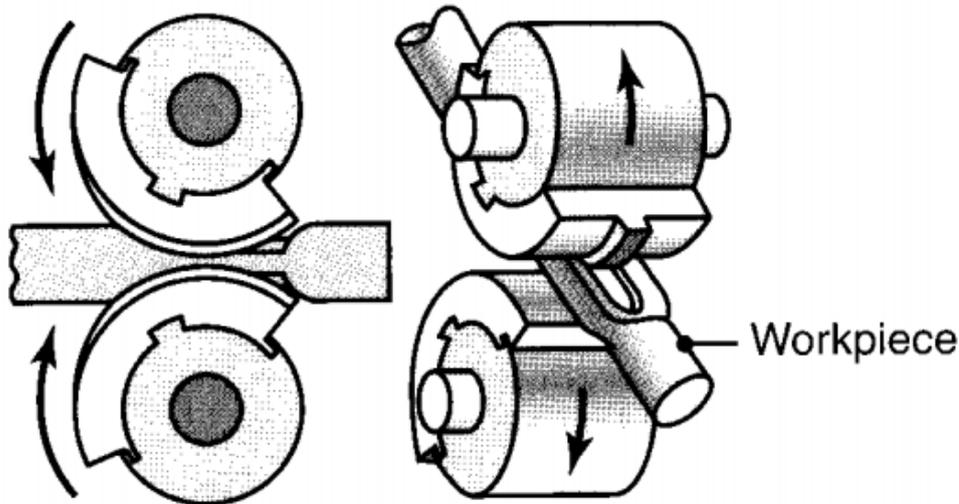
bentuk celah yang berbeda sampai akhirnya benda kerja memiliki bentuk yang sesuai dengan desain. *Cold shape rolling* juga dapat dilakukan dengan material awal berupa kawat dengan berbagai penampang. Penampang material biasanya berkurang secara tidak seragam maka desain dari *roll-pass* membutuhkan pengalaman yang cukup untuk menghindari cacat eksternal dan internal, menjaga toleransi dimensi, dan mengurangi aus pada *roll*.



Gambar 2.10 Langkah dalam *shape rolling* dari pembentukan *I-Beam*
Sumber: Kalpakjian (2009:327)

2. *Roll forging*

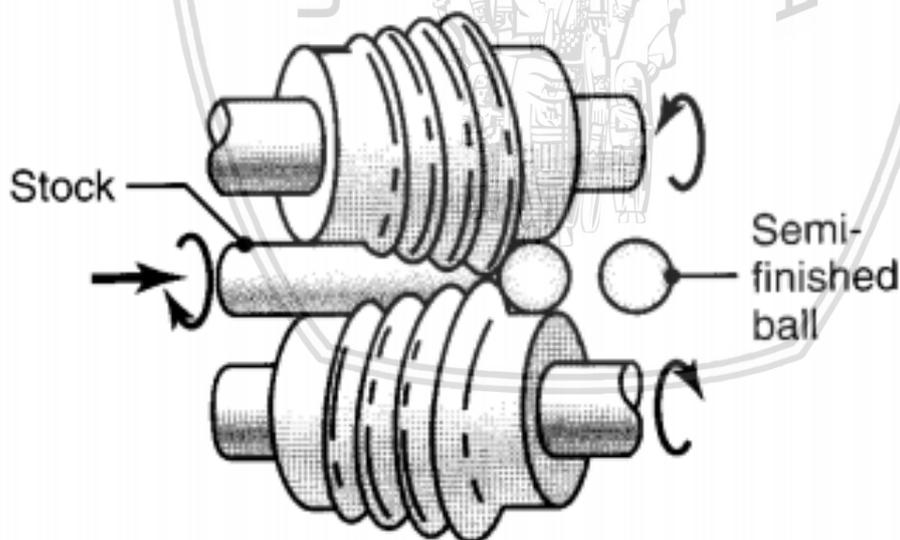
Pada proses ini penampang dari benda kerja di bentuk dengan cara dilewatkan melalui sepasang *roll* yang profilnya memiliki alur seperti Gambar 2.11. *Roll forging* biasanya digunakan untuk memproduksi *tapered shaft*, dan *tapered leaf spring*.



Gambar 2.11 Roll forging
Sumber: Kalpakjian (2009:328)

3. Skew rolling

Proses *rolling* ini mirip dengan *roll forging*, proses ini biasa digunakan untuk memproduksi bola-bola bantalan. *Round bar* atau *round wire* dimasukkan kedalam celah *roll* dan kemudian terbentuk bola-bola yang terus menerus keluar dari celah *roll*, proses *skew rolling* dapat dilihat pada Gambar 2.12.

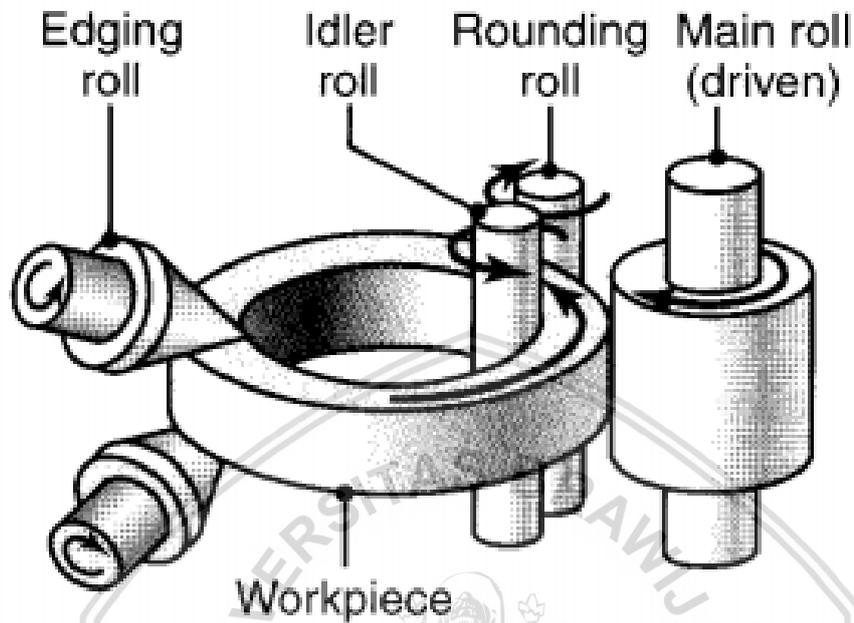


Gambar 2.12 Skewrolling
Sumber: Kalpakjian (2009:328)

4. Ring rolling

Dalam proses *ring rolling*, ketebalan cincin akan terus berkurang dengan membesarnya diameter dari cincin. Cincin diletakkan diantara dua buah *roll*, dimana satu *roll* bergerak (*main roll*) dan satu *roll* diam (*idler roll & rounding roll*), ketebalan akan berkurang ketika *edging roll* bergerak menjauhi *main roll* seperti pada Gambar

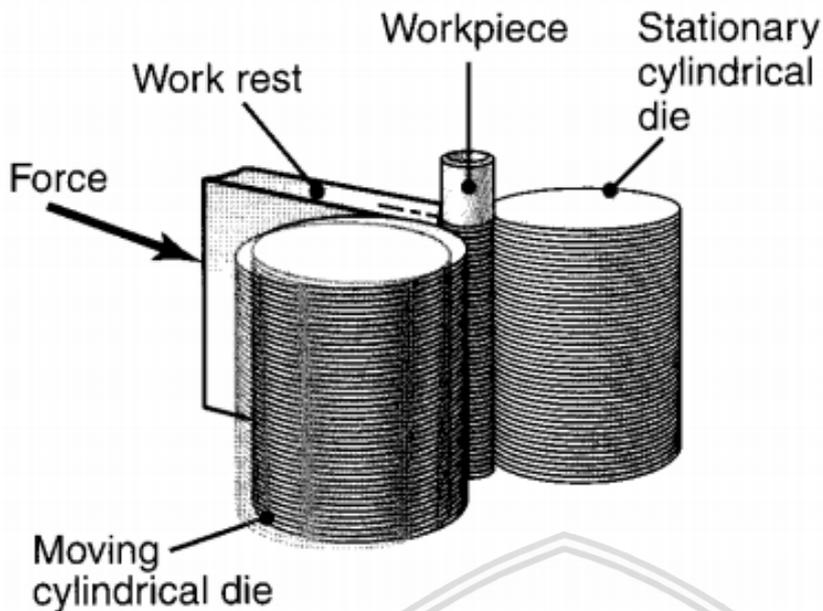
2.13. *Ring rolling* biasanya digunakan untuk memproduksi cincin dengan diameter dan ketebalan yang besar dan digunakan untuk badan roket dan turbin, pembungkus mesin jet, pelek, bagian luar *bearing*, *flanges*, dan cincin penguat untuk pipa.



Gambar 2.13 Ring rolling.
Sumber: Kalpakjian (2009:329)

5. Thread rolling

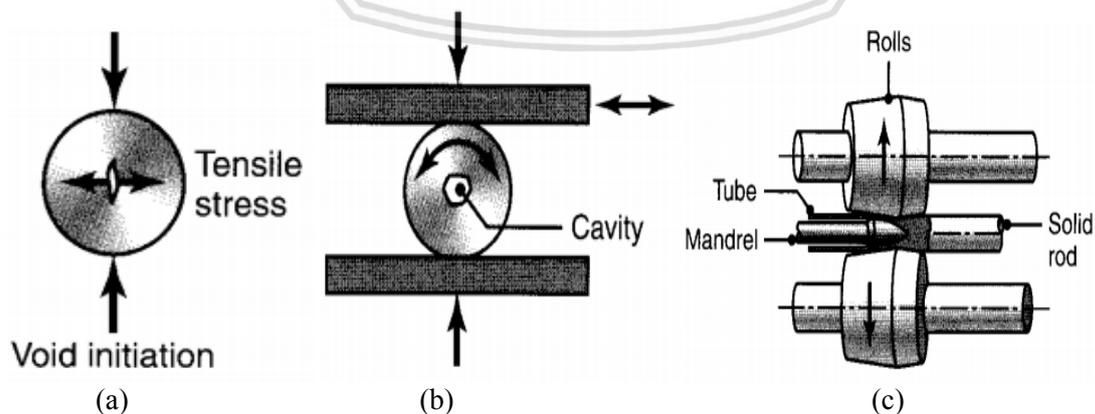
Thread rolling adalah proses *cold-forming* dimana ulir lurus atau *tapered* (meruncing) dibentuk pada *round rods* atau *round wire*. Ulir terbentuk setelah melewati *roll* yang berputar dimana profil *roll* memiliki alur yang akan membentuk ulir pada benda kerja seperti Gambar 2.14. *Thread rolling* memiliki keuntungan dibandingkan dengan proses lainnya yaitu produk memiliki kekuatan yang baik karena proses pengerjaan dingin, tidak menghasilkan geram, dan permukaan yang halus. *Thread rolling* biasa digunakan untuk memproduksi sekrup, baut, dan bagian yang memerlukan ulir.



Gambar 2.14 Thread rolling
Sumber: Kalpakjian (2009:330)

6. *Rotary tube piercing*

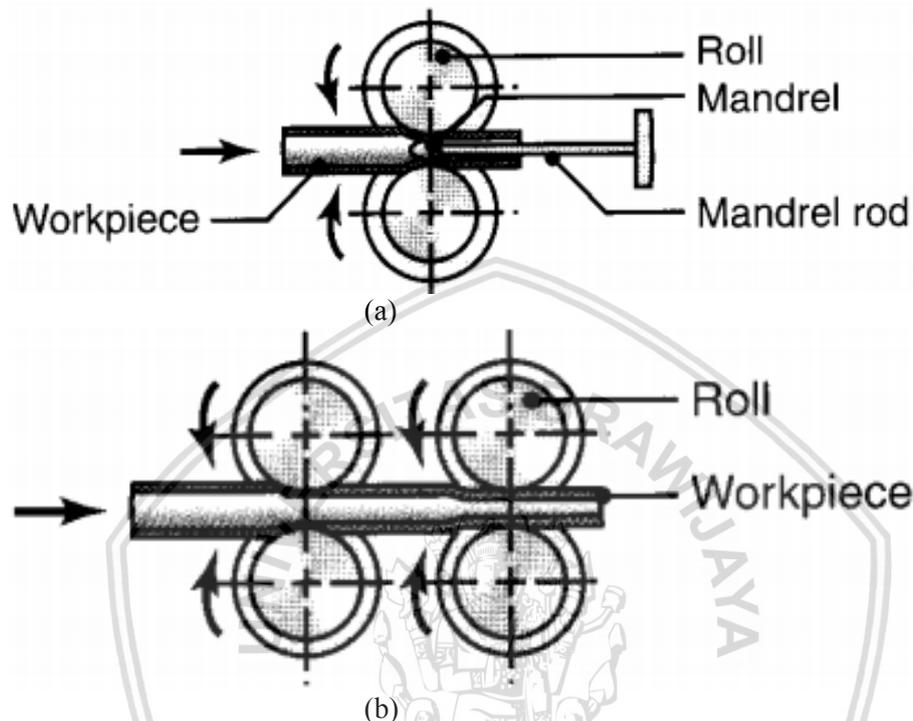
Proses pengerollan ini menggunakan proses pengerjaan panas untuk membuat pipa berongga dan tabung. Prinsip yang mendasari *rotary tube piercing* adalah ketika *round bar* dikenakan gaya tekan radial, tegangan tarik akan berkembang pada titik pusat baru yang dapat dilihat pada Gambar 2.15(a), saat gaya tekan radial terus berlanjut yang dapat dilihat pada Gambar 2.15(b) maka celah pada pusat *round bar* akan mulai berkembang. *Rotary tube piercing* dilakukan menggunakan sebuah pengaturan dari *roll* yang berputar ditunjukkan pada Gambar 2.15(c) putaran dari *roll* akan menarik *round bar* menuju *mandrel*, *mandrel* berfungsi untuk melebarkan celah dan membentuk lubang sesuai dimensi pada *round bar*.



Gambar 2.15 Rotary tube piercing
Sumber: Kalpakjian (2009:331)

7. *Tube rolling*

Diameter dan ketebalan dari pipa dapat direduksi menggunakan *tube rolling*, yang mana menggunakan *roll* yang sudah dibentuk. Pada beberapa proses *tube rolling* dapat menggunakan *mandrel* yang ditunjukkan pada Gambar 2.16(a) atau tidak menggunakan *mandrel* yang ditunjukkan pada Gambar 2.16(b).



Gambar 2.16 *Tube rolling*, (a) *Tube rolling* menggunakan *mandrel*, (b) *Tube rolling* tanpa *mandrel*

Sumber: Kalpakjian (2009:332)

2.3.2 Aplikasi *Roll Bonding*

Roll Bonding adalah proses pelapisan logam yang penerapannya dilaksanakan dengan memadukan material induk yang dilindungi dengan lapis pelindung berupa logam dengan cara memanaskan keduanya kemudian memadukannya satu lapisan padu yang lekat yang satu dengan yang lainnya, pelapisan satu logam dengan logam lainnya ini digunakan untuk mendapatkan sifat sifat yang diinginkan (Leonard, 2011).

Selain itu paduan aluminium berlapis memberikan keuntungan dari pada paduan tunggal untuk berbagai aplikasi, misalnya lembaran untuk kulit badan pesawat komersial, digunakan aluminium dengan kekuatan tinggi sedangkan lapisan luarnya digunakan aluminium murni yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi (Iiu *et al.*, 2007). Tabel 2.8 menunjukkan beberapa aplikasi dari *Roll Bonding*.

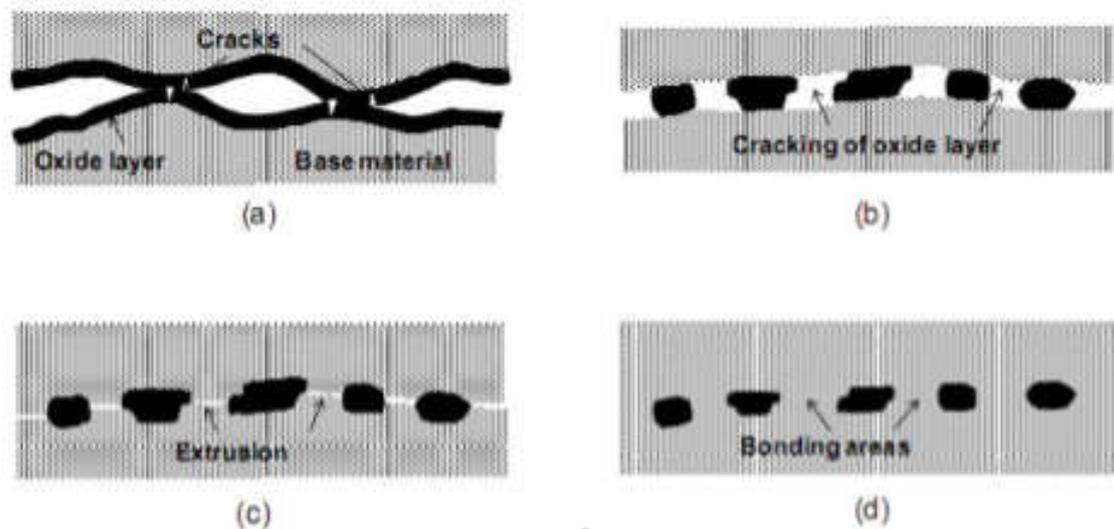
Tabel 2.8
Aplikasi *Roll Bonding*

Materials system	Composite ratio, %	Yield strength		Elongation, %	Applications
		MPa	ksi		
Type 434 stainless/5052 aluminum	40:60	360	52	12	Widely used for automotive body moldings, drip rails, rocker panels, and other trim components, often replacing solid stainless steel or aluminum. Stainless steel provides bright appearance; the hidden aluminum base provides cathodic protection, corroding sacrificially to the body steel.
C1008 steel/type 347 stainless steel/C1008 steel	45:10:45	195	28	35	Used in hydraulic tubing in vehicles, replacing terne-coated carbon steel tubing. The outer layer of carbon steel cathodically protects the stainless core of the tube, extending its life significantly.
Nickel 201/type 304 stainless steel/nickel 201	7.5:85:7.5	310	45	40	Used in formed cans for transistor and button cell batteries, replacing solid nickel at a lower cost
Copper 10300/type 430 stainless steel/copper 10300	17:66:17, 20:60:20, 33:34:33	275	40	20(a)	Replaces heavier gages of copper and bronze in buried communications cable. The stainless steel provides resistance to gnawing by rodents, which is a serious problem in underground installations.

Sumber: ASM specialty handbook *Stainless steel*

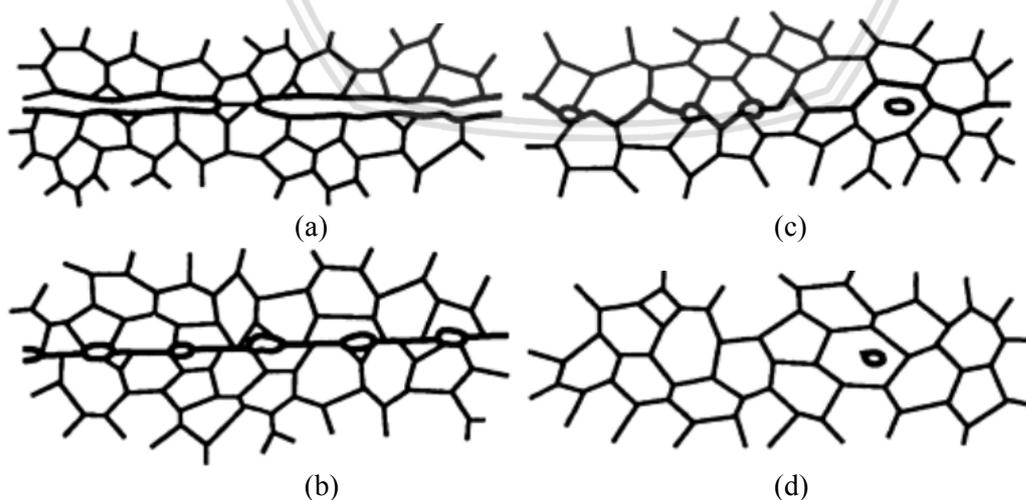
2.3.3 Mekanisme *Bonding*

Ada beberapa faktor penting yang mempengaruhi mekanisme *roll bonding*, ikatan antar permukaan dan rekristalisasi selama proses *annealing* dari pelat *bonding*. Manesh dan Taheri (2004), mengungkapkan bahwa lapisan kontak terdiri dari lapisan yang keras dan lapisan yang relatif rapuh. Selama proses pengerollan, kedua permukaan pelat yang berhadapan mengalami gesekan yang tinggi. Setelah itu, permukaan yang kasar mengalami patah dan membentuk pecahan-pecahan blok. *Mechanical interlocking* terjadi ketika logam induk melewati *pass roller*. Lapisan yang kasar dan mengeras membelah dan pada waktu yang bersamaan membentuk blok-blok koheren sepanjang permukaan lapisan Logam dasar tersebar diantara blok-blok yang mengeras, lalu logam dasar melekat pada lapisan blok yang mengeras (Wright *et al*, 1978).



Gambar 2.17: Mekanisme *bonding*
 Sumber: Lauvdal (2011)

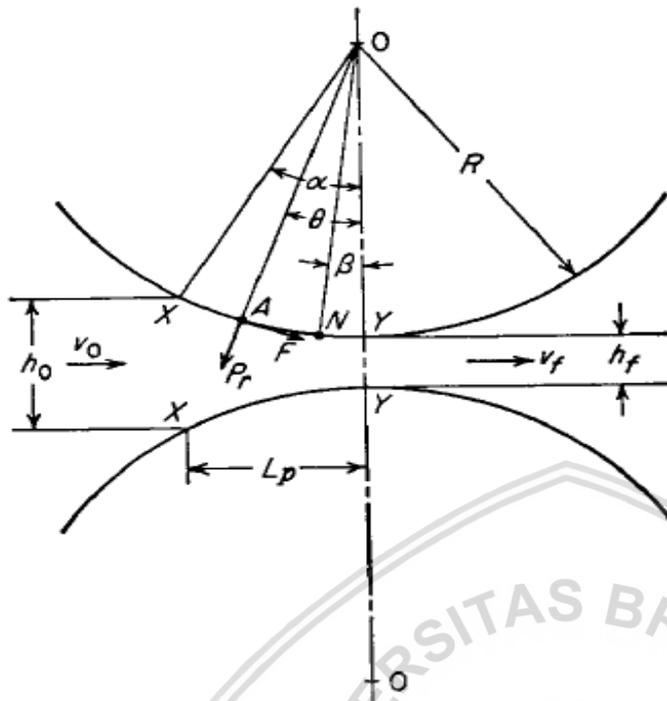
Selain *mechanical interlocking*, *bonding* juga dapat terjadi secara difusi, pada *bonding* secara difusi sifat proses penggabungan pada dasarnya adalah gabungan dari dua atom pada permukaan yang bersih. Pada Gambar 2.17 menunjukkan proses *bonding* secara difusi, pada gambar 2.17(a) menunjukkan proses awal bersentuhnya dua permukaan, pada Gambar 2.17(b) menunjukkan luasan yang saling bersentuhan semakin bertambah akibat deformasi, faktor seperti kekasaran permukaan, kekuatan *yield*, pekerjaan pengerasan, temperatur, dan tekanan adalah faktor utama dalam tahap ini. Pada Gambar 2.17(c) menunjukkan batas butir mulai bersentuhan dan bersatu yang mengakibatkan berkurangnya celah. Pada Gambar 2.17(d) menunjukkan celah mulai menghilang dan proses difusi *bonding* sudah selesai.



Gambar 2.18 Urutan dari tahapan *metallurgy* pada proses *diffusion bonding*
 Sumber: ASM Handbook vol.6 *welding, brazing and soldering* (1993:520)



2.3.4 Gaya-Gaya Pengerolan



Gambar 2.19 Gaya-gaya pengerollan
Sumber: Dieter (1988:594)

Keterangan:

h_0 : tebal awal spesimen

h_f : tebal akhir spesimen

P_r : gaya radial

F : gaya gesek tangensial

L_p : panjang kontak spesimen dan roll

V_0 : kecepatan awal spesimen

N : Titik Netral

V_f : kecepatan akhir spesimen

R : jari-jari roll

α : sudut kontak

Pada Gambar 2.19 memperlihatkan sejumlah hubungan antara geometri pengerollan dengan gaya-gaya yang terlibat pada deformasi logam. Suatu lembaran dengan ketebalan h_0 masuk melalui bidang masukan XX dengan kecepatan v_0 . Lembaran tersebut melalui celah roll dan meninggalkan ujung YY dengan ketebalan h_f . Anggaplah tidak terjadi pelebaran, jadi penekanan logam ke arah vertikal berubah menjadi perpanjangan pada arah pengerollan. Maka didapatkan persamaan:

$$bh_0v_0 = bhfv_f$$

(2-1)

dimana:

b : lebar lembaran

v : kecepatan pada ketebalan h

Persamaan (2.1) memiliki persyaratan yaitu v_f harus lebih besar dibandingkan v_0 sehingga kecepatan lembaran harus terus-menerus meningkat sejak lembaran dimasukkan. Hanya pada satu titik di sepanjang permukaan kontak *roll* dan lembaran yang kecepatan permukaan *roll* v_f sama dengan kecepatan lembaran. Titik ini dinamakan *no-slip point*. Pada Gambar 2.19 dinyatakan sebagai N.

Pada titik A Gambar 2.19 terdapat 2 buah gaya yang bekerja yaitu gaya radial P_r dan gaya tangensial F . Antara bidang masuk dan titik netral, lembaran bergerak lebih lambat dibanding permukaan *roll* dan terjadi gesekan pada arah yang ditunjukkan pada Gambar 2.19 sehingga logam tertarik diantara *roll*. Pada daerah kanan titik N, gerak lembaran lebih cepat daripada permukaan *roll* sehingga arah gaya gesekan berbalik sehingga berfungsi sebagai hambatan arah gerak lembaran yang meninggalkan *roll*. Titik P_r dinamakan sebagai beban pengerollan P . Beban pengerollan adalah gaya *roll* menekan logam. Besarnya gaya pengerollan dapat dihitung melalui persamaan:

$$P = \sigma_0 \cdot b \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (2-2)$$

dengan:

P = beban pengerollan (N)

b = lebar spesimen uji tarik (mm)

R = jari jari *roll* (mm)

Δh = Selisih ketebalan spesimen (mm)

σ_0 = Tegangan alir (MPa)

dengan:

$$\sigma_0 = K \cdot \varepsilon^n \quad (2-3)$$

dengan:

σ_0 = Tegangan alir (MPa)

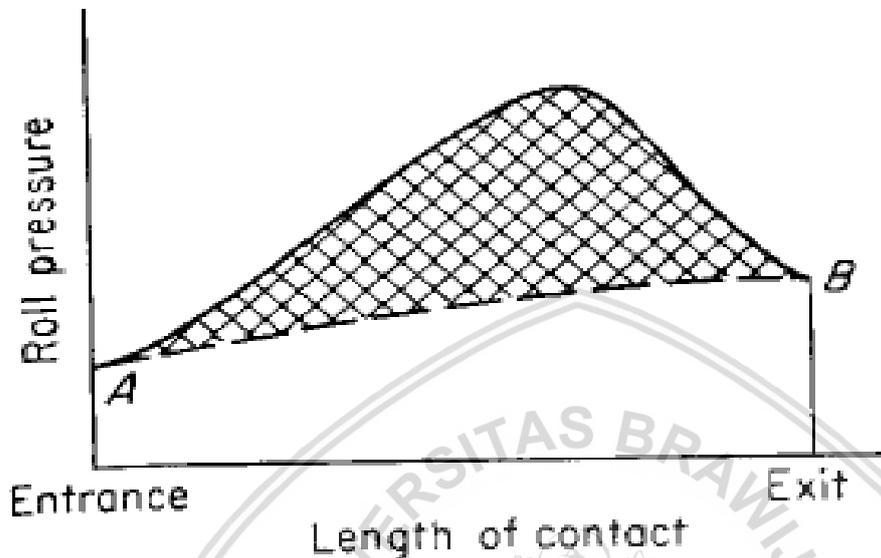
ε = Regangan total

(Nilai K dan n didapat dari grafik tegangan - regangan sejati)

Contoh perhitungan mendapatkan nilai K dan n ditunjukkan pada Lampiran 1.

Distribusi tekanan *roll* di sepanjang busur kontak ditunjukkan pada Gambar 2.20. tekanan bertambah besar mencapai harga maksimum pada titik netral kemudian turun. Distribusi tekanan tidak berupa puncak yang tajam pada titik netral seperti yang dibutuhkan secara teoritis untuk suatu pengerollan, menyatakan bahwa titik netral tidak

berupa garis pada permukaan *roll* namun berupa luas permukaan. Daerah yang diarsir pada Gambar 2.20 adalah daerah yang menyatakan gaya yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan antara *roll* dan lembaran, sedangkan daerah dibawah garis putus-putus AB menyatakan gaya yang dibutuhkan untuk membentuk logam.



Gambar 2.20 Distribusi tekanan *roll* sepanjang busur kontak
Sumber: Dieter (1988:595)

Sudut α antara bidang masuk dan garis pusat pengerollan dinamakan sudut kontak atau sudut gigit (*angle of bite*). Gambar 2.19 menunjukkan bahwa komponen horizontal gaya normal adalah $P_r \sin \alpha$ dan komponen horizontal gaya gesekan adalah $F \cos \alpha$. Agar benda kerja dapat masuk pada celah *roll* maka gaya gesek yang mengarahkan ke celah *roll* harus lebih besar atau sama dengan gaya normal yang cenderung menjauhkan benda kerja dari celah *roll*. Syarat batas untuk memasukkan pelat tanpa gaya luar adalah :

$$F \cos \alpha = P \sin \alpha \quad (2-4)$$

$$\frac{F}{P} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \quad (2-5)$$

$$F = \mu P \quad (2-6)$$

$$\mu = \tan \alpha \quad (2-7)$$

Benda kerja tidak dapat dimasukkan ke celah *roll*, jika garis singgung sudut kontak melebihi koefisien gesekan. Jika $\mu = 0$, *pengerollan* tidak dapat terjadi, tetapi jika nilai μ bertambah maka *slab* yang dimasukkan ke dalam *roll* bertambah besar. Untuk kondisi gesekan yang sama, *roll* berdiameter besar akan memungkinkan masuknya *slab* yang bertambah besar.

2.4 Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik digunakan untuk memperoleh informasi dari kekuatan bahan dan sebagai uji spesifikasi bahan. Pada uji tarik spesimen dibebani gaya tarik searah sumbu secara *continue*. Kekuatan tarik suatu bahan dapat diketahui melalui pengujian tarik, kekuatan suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula-mula. Tegangan yang digunakan adalah tegangan rata-rata pada uji tarik yang diperoleh dari pembagian beban (P) dengan luasan spesimen (A_0), yang dapat dirumuskan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2-8)$$

dengan:

σ = Tegangan tarik (N/mm²)

F = Beban tarik maksimum (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm²)

Kekuatan Tarik maksimum dapat dicari dengan cara membagi gaya maksimal (F_{max}) dengan luas permukaan awal (A). Dapat dirumuskan menjadi:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (2-9)$$

dengan:

σ_{max} = Tegangan Tarik maksimal (MPa)

F_{max} = Gaya Tarik maksimal (N/mm²)

A_0 = Luas penampang awal (mm²)

Regangan yang digunakan adalah regangan rata-rata yang diperoleh dari perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang awal pengukuran (L_0) yang dapat dirumuskan:

$$\epsilon = \left(\frac{l-l_0}{l_0} \right) \times 100 \% \quad (2-10)$$

dengan:

ϵ = Regangan (%)

l_0 = Panjang awal (mm)

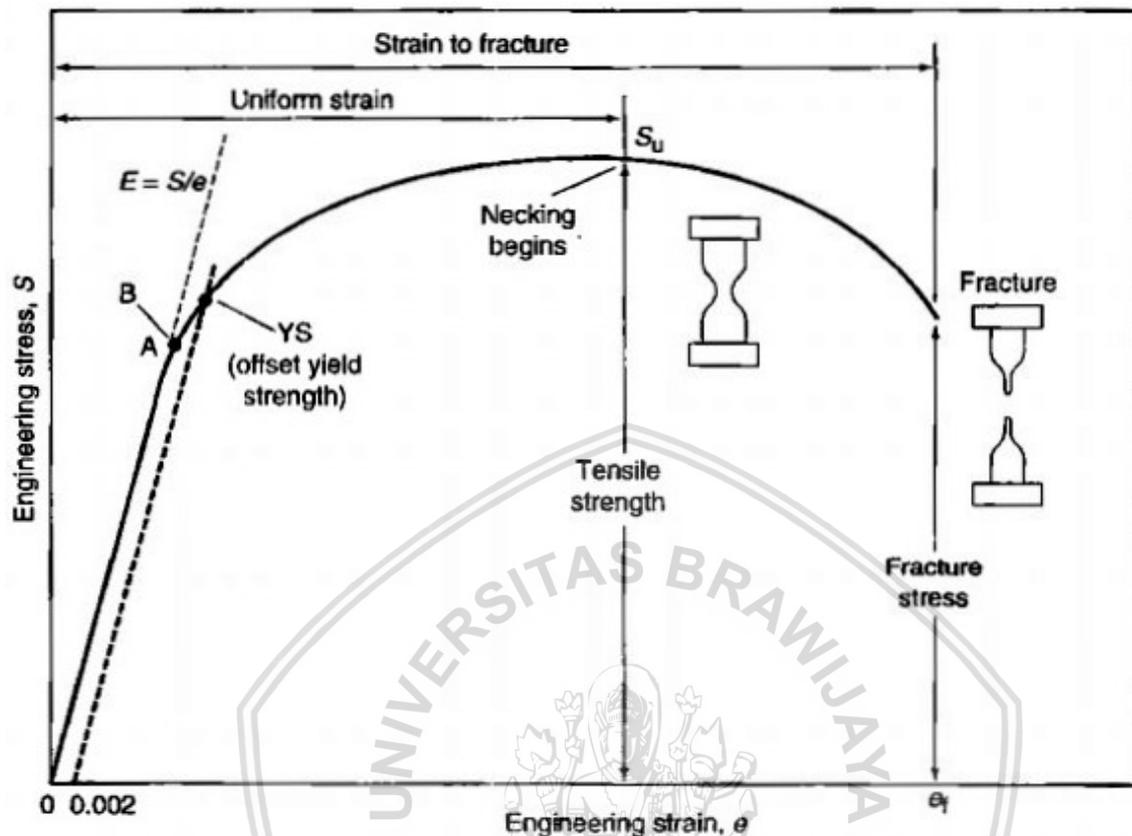
l = Pertambahan panjang (mm)

Hubungan antara *stress* dan *strain* dirumuskan pada persamaan (2.10)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2-11)$$

E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama “Modulus Elastisitas” atau “Modulus Young”.

Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*). Kurva ini ditunjukkan oleh Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Kurva Tegangan-Regangan.

Sumber: ASM atlas of *stress-strain curves* (2002:1)

2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Tarik

1. Kadar karbon

Dengan meningkatnya kadar karbon dalam baja, maka akan didapat kekerasan dan kekuatan tarik yang meningkat. Untuk baja dengan kandungan karbon 1% maka akan memiliki sifat rapuh/getas.

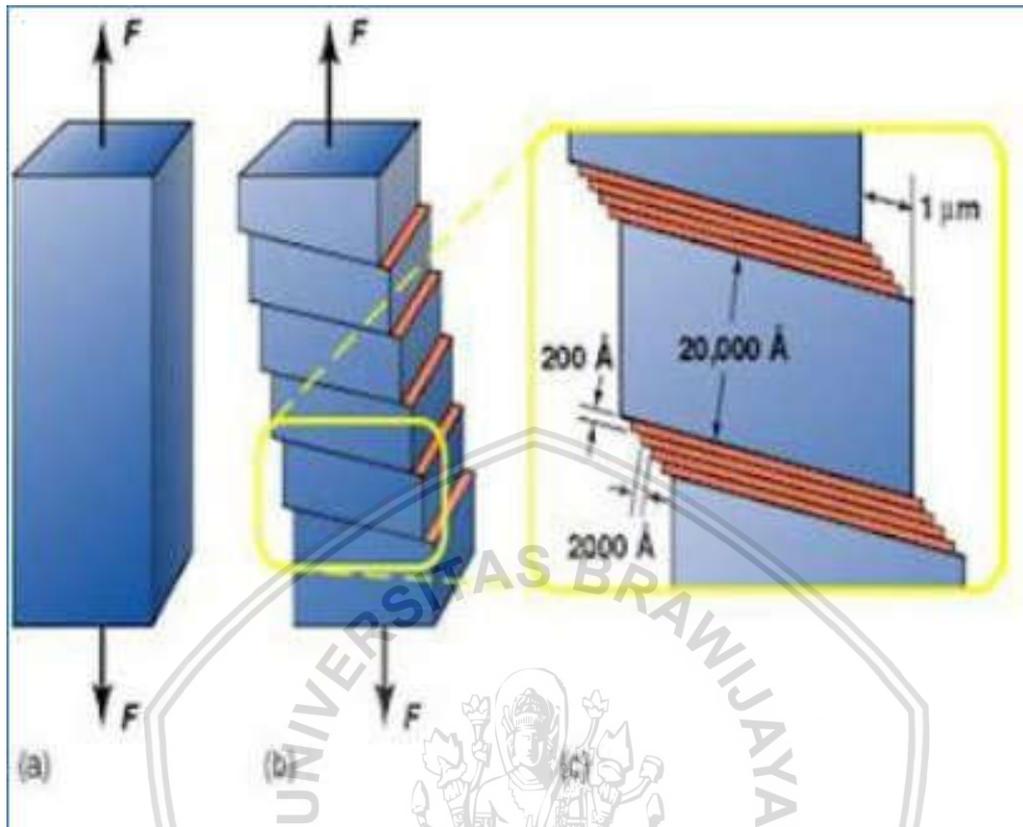
2. Homogenitas

Homogenitas dari suatu material akan berpengaruh terhadap gaya ikat antar atom. Untuk material dengan tingkat homogenitas tinggi maka gaya ikat antara atomnya juga tinggi dan luas butirnya lebih besar sehingga kekuatan tariknya juga tinggi

3. Bidang *slip*

Logam dan paduannya berdeformasi dengan pergeseran plastis, dimana atom didekatnya. Terjadi juga penguraian tegangan atau gaya tekan menjadi tegangan geser. Gerakan kepala silang mesin penguji memaksa benda uji berada di penjepit karena penjepit harus tetap sebaris, sebab benda uji tidak dapat berubah bentuk secara bebas.

Semakin banyak bidang *slip* yang terjadi, maka material akan semakin mudah terdeformasi sehingga kekuatan tariknya menurun.



Gambar 2.22 Bidang *slip*

4. Unsur paduan

Penambahan unsur paduan pada baja akan mempengaruhi sifat pada baja tergantung sifat unsur paduan itu. Misal nikel, chromium dan mangan dapat meningkatkan kekuatan tarik baja karena bersifat mengeraskan baja.

5. Ukuran butir

Butiran yang ukurannya kecil memiliki ikatan antar atom yang besar sehingga logam yang butiran strukturnya kecil kekerasannya akan tinggi, begitu pula dengan kekuatan tariknya. Hal ini dapat dibuktikan dengan *hall patch equation*.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}}$$

dengan:

σ_y = Tegangan luluh

σ_0 = Konstanta material

k_y = Koefisien penguatan

d = Diameter butir rata rata

Pada rumus di atas dapat dilihat apabila nilai d semakin besar (ukuran butir semakin besar) nilai tegangan luluh (σ_y) akan semakin rendah. Dan sebaliknya apabila nilai d semakin kecil akan menyebabkan nilai Tegangan luluh (σ_y) semakin tinggi.

6. *Heat treatment*

Proses ini akan mempengaruhi sifat mekanik logam, struktur mikro spesimen dan juga bentuk butiran yang mempengaruhi gaya tarik antar atom. Dengan *Heat treatment* juga akan mempengaruhi kekuatan tariknya. Jenis *Heat treatment* yang dapat dilakukan adalah:

a. *Hardening*

Tujuannya untuk memperoleh kekuatan maksimum pada *hardening*. Sehingga terbentuk batas butir yang sangat banyak, oleh karena itu tegangan dalam yang ditimbulkan sangat besar. Dengan demikian kekerasan dan kekuatan tariknya meningkat.

b. *Tempering*

Tujuannya untuk mengurangi tegangan sisa dan melunakkan bahan setelah *hardening*. Hal ini karena laju yang telah di *hardening* sangatlah getas sehingga tidak cukup baik untuk pemakaian. Dengan *tempering* kekerasan dan kekuatan tariknya akan sedikit menurun dari proses *hardening*.

c. *Annealing*

Tujuannya untuk meningkatkan keuletan dengan menghilangkan tegangan dalam. Pada proses *annealing* batas butir yang terbentuk sedikit dan tegangan dalam yang ditimbulkan juga sedikit. Sehingga pada proses ini kekuatan tariknya paling kecil.

d. *Normalizing*

Tujuannya untuk mengurangi tegangan dalam, mengurangi struktur butiran yang mengalami pemanasan berlebihan. Pendinginan *normalizing* lebih cepat dari *annealing*. Sehingga butiran yang terbentuk lebih banyak dari pada yang dihasilkan *annealing*. Pada *normalizing*, butiran yang terbentuk lebih homogen sehingga proses pengerasannya lebih baik, begitu juga dengan kekuatan tariknya. Sehingga kekuatan tariknya lebih besar pada *annealing*.

7. *Impact strength*

Kekuatan tarik dipengaruhi ketangguhan spesimen. Ketangguhan spesimen diukur dengan kekuatan *impact* spesimen. Sehingga kekuatan tarik berbanding terbalik dengan *impact strength*. Semakin besar *impact strength* kekuatan tariknya semakin kecil begitu juga sebaliknya.

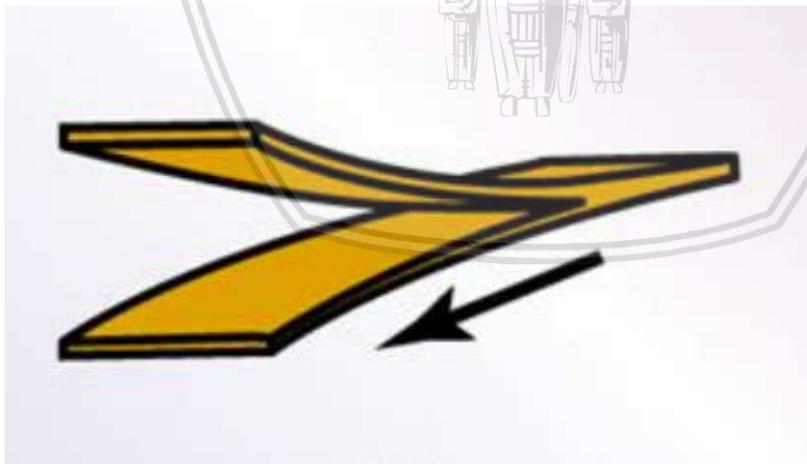
Dari beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik di atas di antaranya adalah kekerasan, semakin keras material semakin besar nilai kekuatan uji tariknya. Zacharias (1996) melakukan penelitian mengenai pengaruh kecepatan pengerollan terhadap kualitas ikatan metalurgik, nilai uji geser dan kekerasan sambungan, dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa yang kualitas ikatan metalurgik di pengaruhi oleh kekerasan yang mana kekerasan di pengaruhi kecepatan pengerollan, semakin cepat pengerollan, waktu difusi antar atom semakin singkat yang menyebabkan kekerasan material menjadi semakin rendah.

2.5 Cacat Pelat Hasil *Roll Bonding*

Pada pengerollan dapat terjadi berbagai persoalan yang dapat menimbulkan cacat khusus, tergantung pada interaksi antara benda kerja yang mengalami deformasi secara plastik dan *roll* serta mesin *roll* yang berdeformasi secara elastik (Dieter,1987). Adapun beberapa jenis cacat antara lain:

1. *Alligatoring*

Alligatoring merupakan cacat pelat hasil *roll* yang disebabkan oleh perubahan bentuk yang tidak seragam yang terjadi pada pelat selama proses *rolling*. *Alligatoring* juga bisa disebabkan oleh buruknya kualitas bahan baku. Bentuk dari cacat ini menyerupai buaya yang sedang membuka mulut. *Alligatoring* ditunjukkan pada Gambar 2.23.



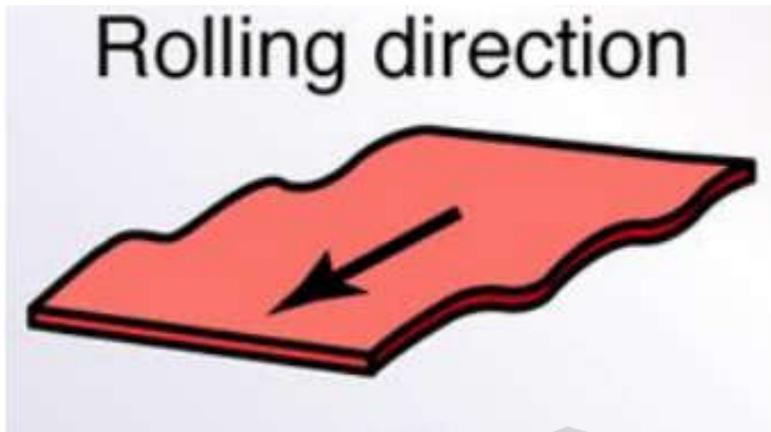
Gambar 2.23 *Alligatoring*

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009:324)

2. *Wavy Edge*

Wavy edge atau *edge wrinkling* disebabkan oleh *roll bending*. *Wavy edges* adalah cacat hasil *roll* yang terjadi pada pelat. Pelat menjadi tipis pada bagian tepinya sedangkan bagian tengahnya tidak bertambah panjang. Bagian tipis pada bagian tepi pelat akan

melengkung disebabkan bagian pelat yang bertambah panjang terhalang oleh bagian tebal yang tidak bertambah panjang. Cacat *wavy edge* di tunjukkan pada Gambar 2.24.

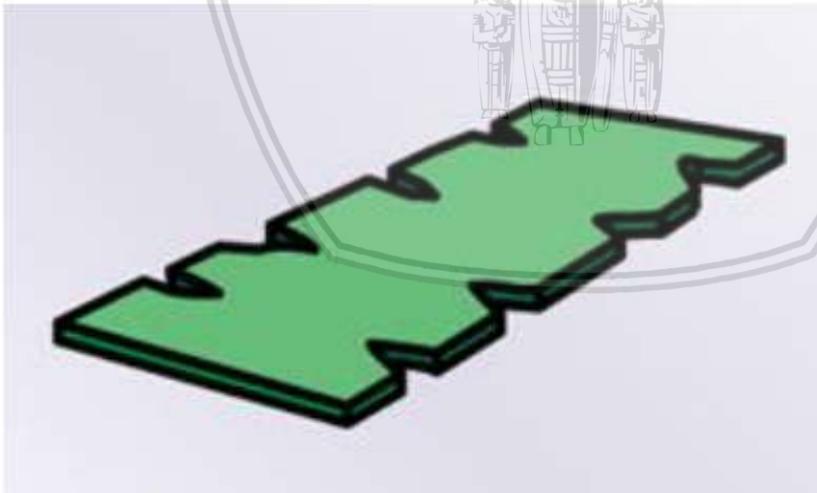


Gambar 2.24 *Wavy Edges*

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009:324)

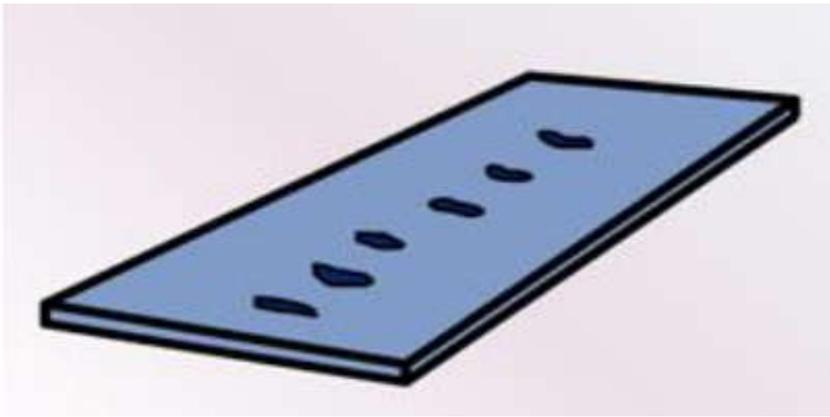
3. *Side Cracks* atau *Middle Cracks*

Side cracks atau *middle cracks* adalah cacat hasil pengerollan yang disebabkan oleh buruknya sifat *ductile* pada material yang digunakan. Selain itu *side cracks* atau *middle cracks* dapat disebabkan oleh desain *roll* yang kurang tepat sehingga selisih diameter bagian tengah *roll* dan bagian tepi *roll* yang terlalu besar sehingga menyebabkan *side cracks* atau *middle cracks*. Cacat *Side Cracks* atau *Midle Cracks* ditunjukkan pada Gambar 2.25 dan Gambar 2.26.



Gambar 2.25 *Side Cracks*

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009:324)



Gambar 2.26 Middle Cracks

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009: 324)

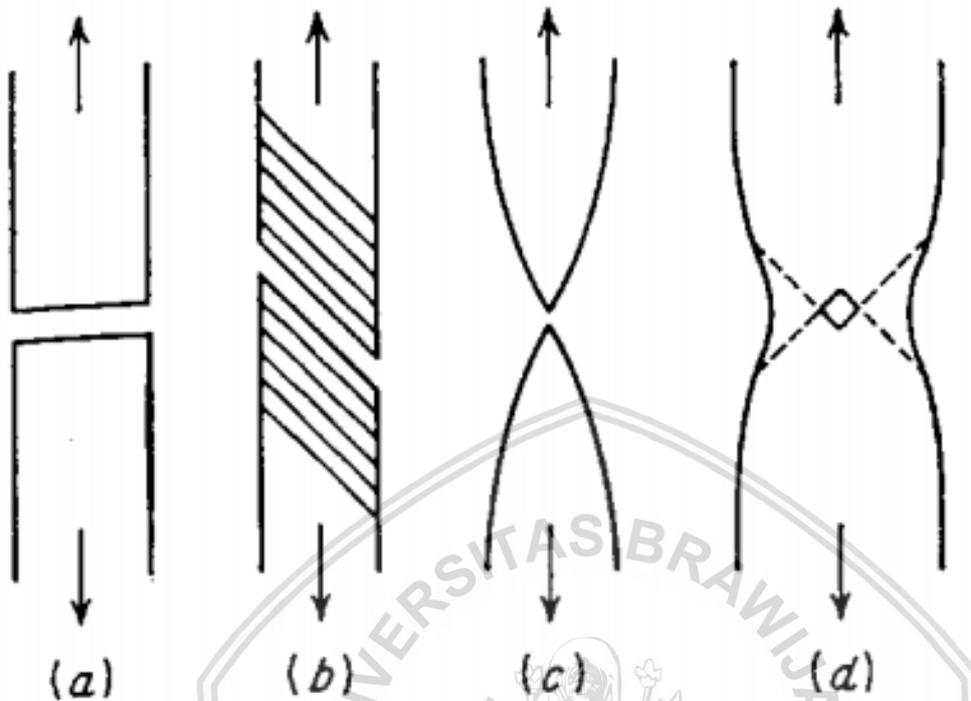
2.6 Patahan

Patahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat, menjadi 2 bagian atau lebih di akibatnya adanya tegangan. Proses perpatahan terdiri atas 2 tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjarangan retak. Patahan dapat digolongkan dalam 2 kategori umum, yakni patahan liat serta patahan getas. Patahan liat ditandai oleh deformasi plastik yang cukup besar sebelum dan selama proses penjarangan retak. Pada permukaan patahan, biasanya nampak adanya deformasi yang cukup besar. Patahan getas pada logam, ditandai oleh adanya kecepatan penjarangan retak yang tinggi, tanpa terjadi deformasi kasar, dan sedikit sekali deformasi mikro kecenderungan terjadinya patahan getas akan bertambah besar, bila temperatur turun, laju regangan bertambah (Dieter, 1987).

2.6.1 Jenis-Jenis Patahan

Logam dapat memperlihatkan beberapa jenis perpatahan yang berbeda beda, tergantung pada temperatur, keadaan tegangan dan laju pembebanan. Kategori umum yang selalu dipergunakan adalah patahan getas dan patahan liat (ulet). Gambar 2.27 menunjukkan beberapa jenis patahan akibat tegangan tarik yang terjadi pada logam. Patahan getas (Gambar 2.27a) ditandai oleh adanya pemisahan berarah tegak lurus terhadap tegangan tariknya. Dari luar tidak terdapat bukti adanya deformasi. Ada beberapa macam bentuk patahan liat kristal tunggal logam HCP dapat mengalami *slip* pada bidang bidang dasar yang berurutan, sampai akhirnya kristal kristal tersebut akan terpisah akibat tegangan geser (Gambar 2.27b). Benda uji polikristal dari logam yang sangat liat, misalnya emas atau timah putih, dapat ditarik hingga suatu titik sebelum terjadinya patahan (Gambar 2.27c). Pada perpatahan akibat tegangan tarik logam yang cukup liat, deformasi plastik akhirnya akan menghasilkan daerah yang tertakik (Gambar 2.27d). patahan berawal dari

pusat benda uji dan kemudian meluas akibat pemisahan geser, sepanjang garis putus putus pada (Gambar 2.27d) (Dieter, 1987).



Gambar 2.27 Jenis-jenis patahan pada logam akibat beban tarik sesumbu
 Sumber: George E dieter (1987:243)

2.7 Hipotesis

Semakin kecil kecepatan putaran *roller* yang digunakan untuk proses pengerollan, maka semakin merata gaya pembebanan yang diberikan kepada permukaan material sehingga menyebabkan ukuran butir menjadi semakin kecil dan menyebabkan spesimen menjadi semakin keras, hal ini menyebabkan nilai kekuatan tarik akan semakin besar.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran *roll* terhadap nilai kekuatan uji tarik dari penggabungan 2 pelat A1100 dan A6061 pada proses *hot roll bonding*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

1. Penelitian *Hot roll bonding* di lakukan di Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya di mulai pada tanggal 05 Februari 2018 – 16 Februari 2018.
2. Pembentukan spesimen Uji Tarik di lakukan di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang 17 Februari 2018 – 18 Februari 2018
3. Pengujian Kekuatan Tarik di lakukan di Laboratorium struktur Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang di mulai pada tanggal 24 Februari 2018 – 26 Februari 2018.
4. Pengujian Mikrostruktur di lakukan di Laboratorium Uji logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang di mulai pada tanggal 02 April 2018 - 06 April 2018.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya dapat diubah dan tidak dipengaruhi variable lain. Variable bebas dalam penelitian ini adalah:

Putaran *roll*: 10 rpm, 15 rpm, dan 20 rpm

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikatnya adalah nilai kekuatan tarik (N/mm^2).

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama proses penelitian. Dalam penelitian kali ini variabel terkontrolnya antara lain:

- a. Jumlah layer pada *aluminium sheet* adalah 2 layer
- b. Diameter *roll* sebesar 60 mm.
- c. *Roller Gap* sebesar 1 mm.
- d. *Reduction Ratio* sebesar 50%.
- e. Suhu pemanasan 475⁰C
- f. *Holding time* 30 menit.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

3.4.1.1 Proses *Roll Bonding*

1. Mesin *Roll Bonding*

Digunakan untuk proses *Bonding* pelat atau spesimen.



Gambar 3.1 Mesin *Roll Bonding*

Spesifikasi alat:

- Diameter *roll* = 60 mm
 - Daya motor = 4 Hp
 - *Reducer* motor = 1:10
 - *Gear ratio* = 1: 2
2. *Water proof Sandpaper* P 60
- Digunakan mengasarkkan permukaan pelat yang terkontak langsung dengan pelat lainnya.



Gambar 3.2 Water proof sandpaper P 60

3. Jangka sorong digital

Digunakan untuk mengukur dimensi spesimen.



Gambar 3.3 Jangka sorong digital

4. Dapur Listrik

Digunakan untuk memanaskan pelat sebelum di roll.



Gambar 3.4 Dapur listrik

Spesifikasi Dapur listrik

- Voltase : 220V
- Arus Listrik : 7.0A
- Daya : 1500 Watt

5. Larutan *acetone*

Larutan ini digunakan untuk membersihkan permukaan pelat.



Gambar 3.5 Larutan *acetone*

6. Kawat Bendrat

Digunakan untuk proses penyatuan 2 pelat (*riveting*) sebelum proses pengerollan.



Gambar 3.6 Kawat bendrat

7. Mesin bor

Digunakan untuk memberi lubang pada pelat yang nantinya lubang ini berfungsi untuk proses *riveting*.



Gambar 3.7 Mesin bor

8. Gunting Pelat

Untuk membentuk pelat sesuai dimensi yang diinginkan.



Gambar 3.8 Gunting pelat

9. Tacho Meter

Untuk mengukur kecepatan *roll* saat melakukan pengerollan.



Gambar 3.9 Tacho meter

10. Digital Multimeter

Untuk mengukur suhu spesimen setelah keluar dari dapur.



Gambar 3.10 Digital Multimeter

11. *Filler Gauge*

Untuk mengukur jarak celah antar *roll* pada mesin *roll bonding*.



Gambar 3.11 *Filler Gauge*

3.4.1.2 Pengujian Kekuatan Tarik

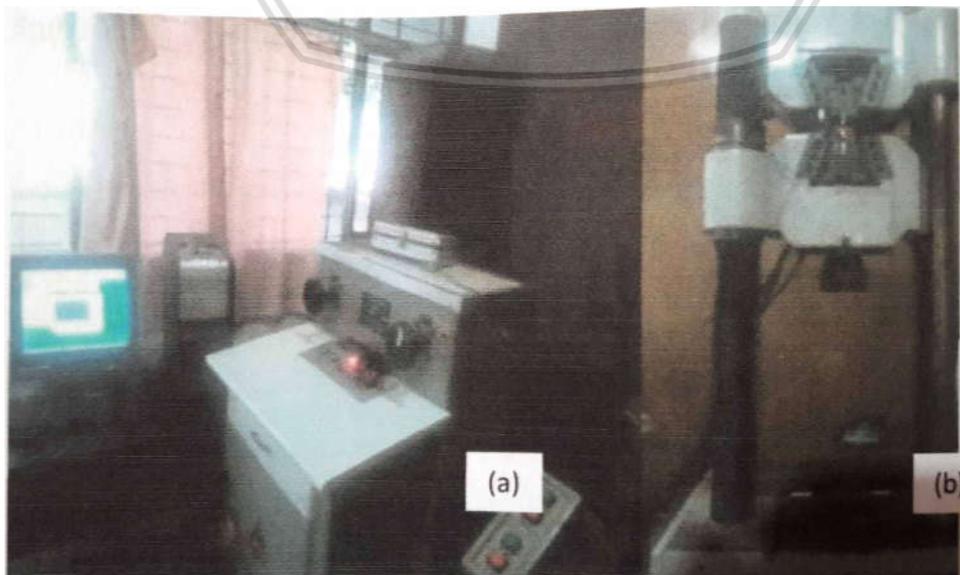
1. Mesin uji tarik

Merk : MATEST

Kapasitas : 1000 kN / 0.1 kN

Serial number : 15784

Alat ini digunakan untuk memberikan beban tarik kepada spesimen.



Gambar 3.12 Mesin uji tarik

2. Spidol

Digunakan untuk menandai spesimen.



Gambar 3.13 Spidol

3. Penggaris

Digunakan untuk mengukur Dimensi spesimen.



Gambar 3.14 Penggaris

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium 6061 dan aluminium 1100.

Tabel 3.1

Komposisi Kimia Spesimen A1100

Paduan	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Cr (%)	Ti (%)
A1100	<99,43	0,099	0,312	0,049	0,031	0,013	0,002	<0,001	0,021

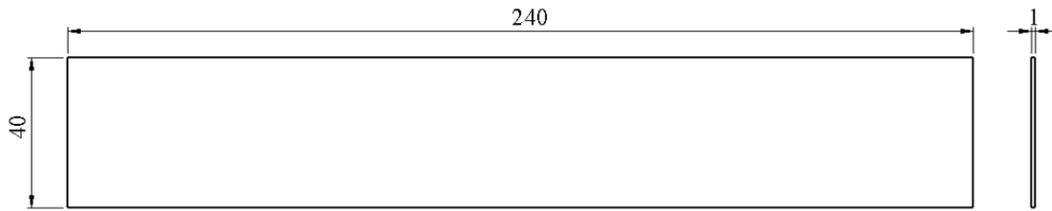
Tabel 3.2

Komposisi Kimia Spesimen A6061

Paduan	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Cr (%)	Ti (%)
A6061	<97,90	0,405	0,133	0,308	0,030	0,911	0,051	0,135	0,018

3.4.2.1 Dimensi Spesimen

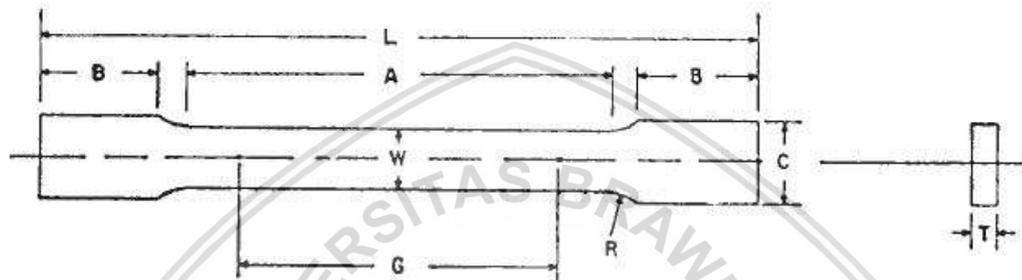
1. Spesimen *Roll Bonding*



Gambar 3.15 Dimensi Spesimen Proses *Roll Bonding* (mm)

2. Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik menggunakan standard JIS Z2201.



Gambar 3.16 Dimensi spesimen uji tarik

dengan:

- $L = 240$ mm,
- $A = 50$ mm,
- $W = 25$ mm,
- $C = 40$ mm,
- $R = 20$ mm,
- $T = 1$ mm.

Tabel 3.3

Jumlah Spesimen Pengerollan

No	Putaran <i>roll</i> (rpm)	Jumlah Spesimen
1.	10	3 pasang
2.	15	3 pasang
3.	20	3 pasang

3.5 Skema Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahap dan proses sebelum akhirnya spesimen dapat di *roll* dengan metode *Hot roll bonding*. Gambar 3.17 menggambarkan skema proses *Hot roll bonding* dan pengujian tarik.

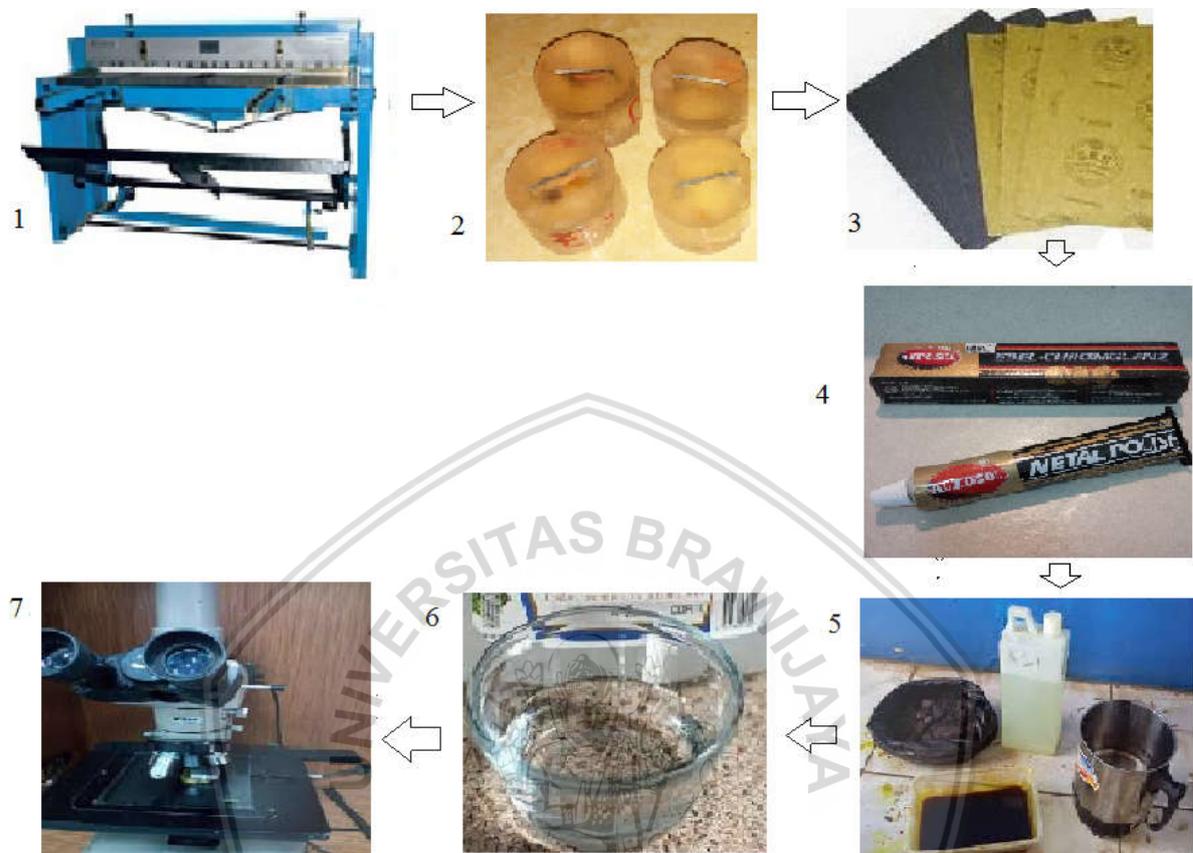


Gambar 3.17 Skema penelitian

Keterangan:

1. Proses pembentukan material *hot roll bonding*
2. Proses pengamplasan
3. Proses merendam spesimen dengan larutan *acetone*
4. Proses *wiring* 2 spesimen
5. Proses *preheating* selama 30 menit dengan suhu 475°C
6. Proses pengerollan
7. Proses pembentukan spesimen menjadi spesimen uji tarik

Pada penelitian kali ini juga dilakukan pengujian Mikrostruktur spesimen hasil proses *Hot roll bonding*. Gambar 3.18 menunjukkan skema proses pengujian Mikrostruktur.



Gambar 3.18 Skema pengujian mikrostruktur

Keterangan:

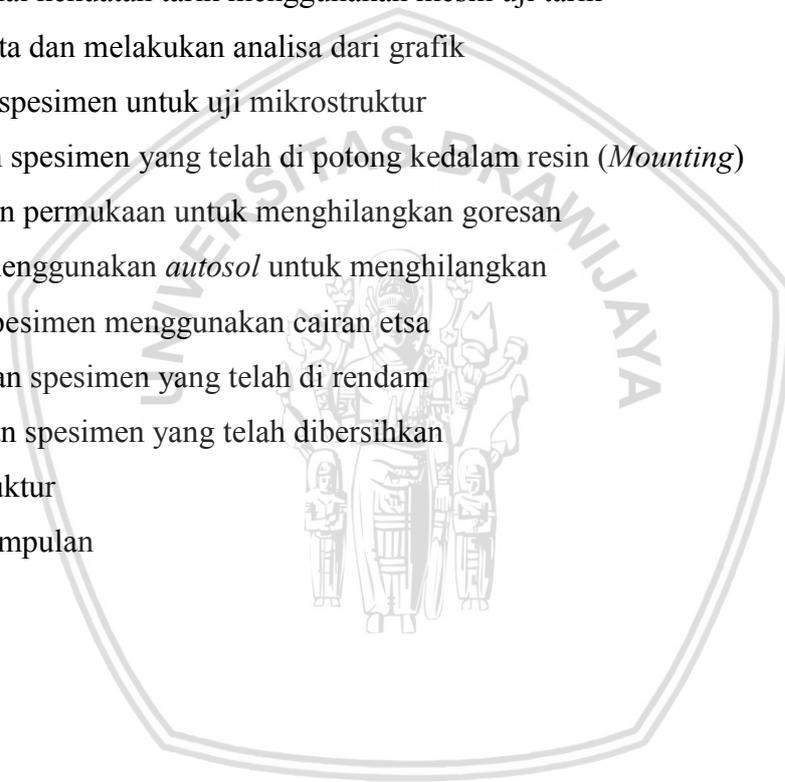
1. Proses pemotongan material untuk uji mikrostruktur
2. Proses resin spesimen
3. Proses pengamplasan spesimen
4. Proses pemolesan
5. Proses etsa
6. Proses pembersihan spesimen yang telah di etsa
7. Proses uji mikrostruktur

3.6 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

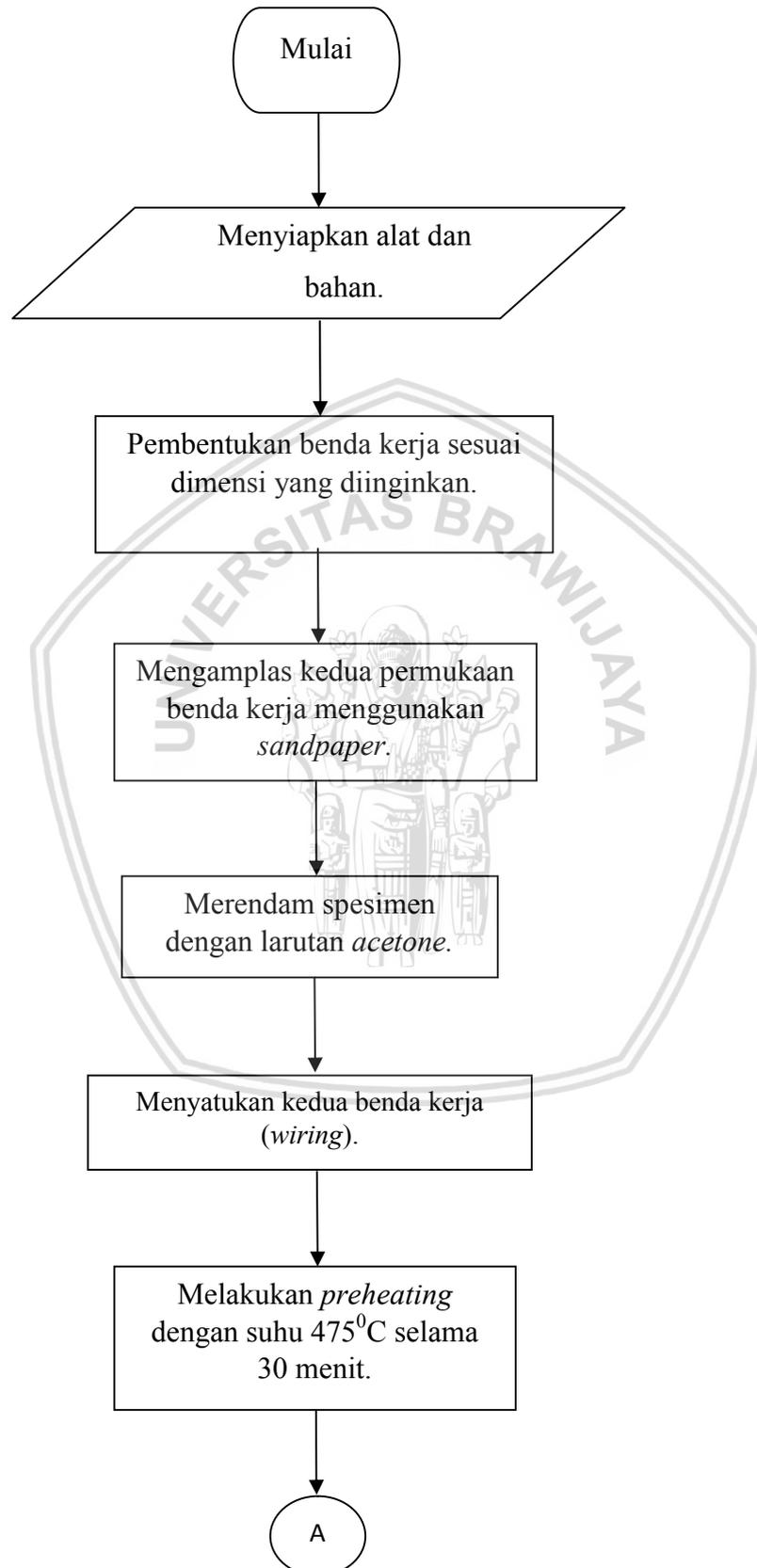
1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Memotong dimensi benda kerja sesuai dengan yang direncanakan
3. Mengamplas kedua permukaan benda kerja menggunakan *sandpaper*
4. Merendam Spesimen dalam larutan *Acetone*

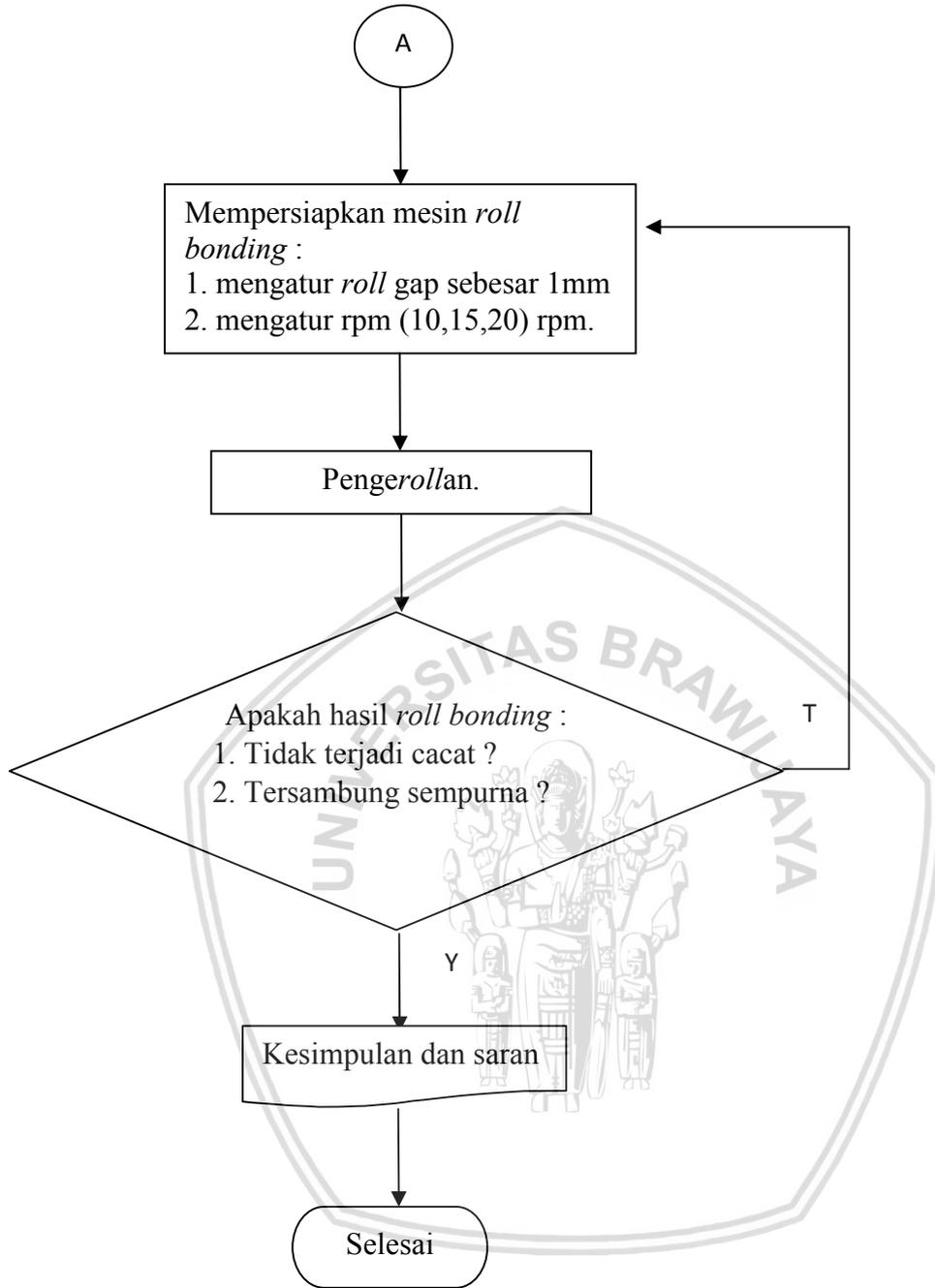
5. Mengeringkan Spesimen yang telah direndam larutan *Acetone*
6. Menyatukan kedua benda kerja menggunakan kawat bendrat (*wiring*)
7. Memasukkan Spesimen ke dalam dapur (*preheating*)
8. Mempersiapkan mesin *roll bonding*:
 - a. Mengatur *roll gap*
 - b. Mengatur kecepatan putar *roll*
9. Pengerollan spesimen yang telah dipanaskan dalam dapur
10. Inspeksi cacat spesimen hasil proses *Hot roll bonding*
11. Membentuk benda kerja sesuai dengan spesimen uji tarik
12. Mengukur nilai kekuatan tarik menggunakan mesin uji tarik
13. Mengolah data dan melakukan analisa dari grafik
14. Pemotongan spesimen untuk uji mikrostruktur
15. Memasukkan spesimen yang telah di potong kedalam resin (*Mounting*)
16. Pengamplasan permukaan untuk menghilangkan goresan
17. Pemolesan menggunakan *autosol* untuk menghilangkan
18. Merendam spesimen menggunakan cairan etsa
19. Membersihkan spesimen yang telah di rendam
20. Mengeringkan spesimen yang telah dibersihkan
21. Uji mikrostruktur
22. Menarik kesimpulan



3.7 Diagram Alir Penelitian

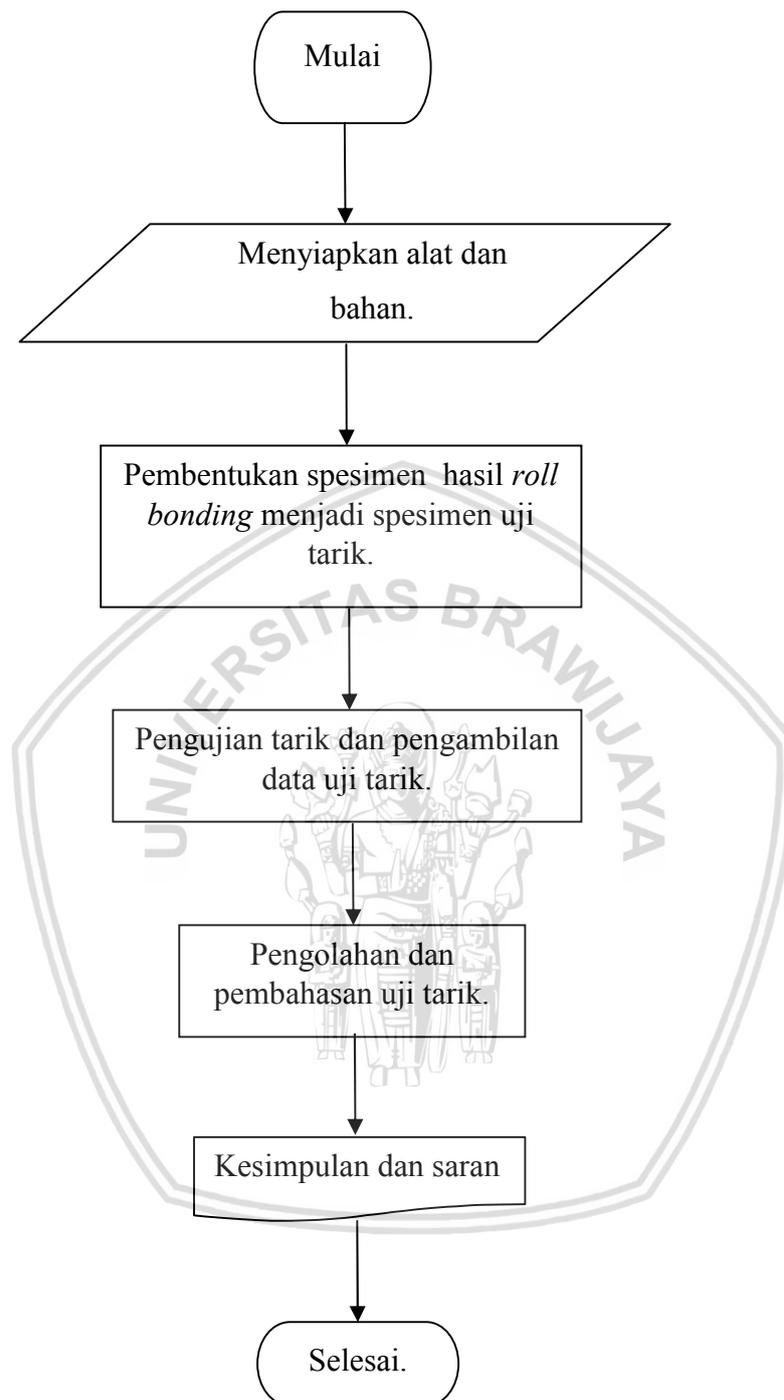
Diagram alir proses *Hot Roll Bonding*.





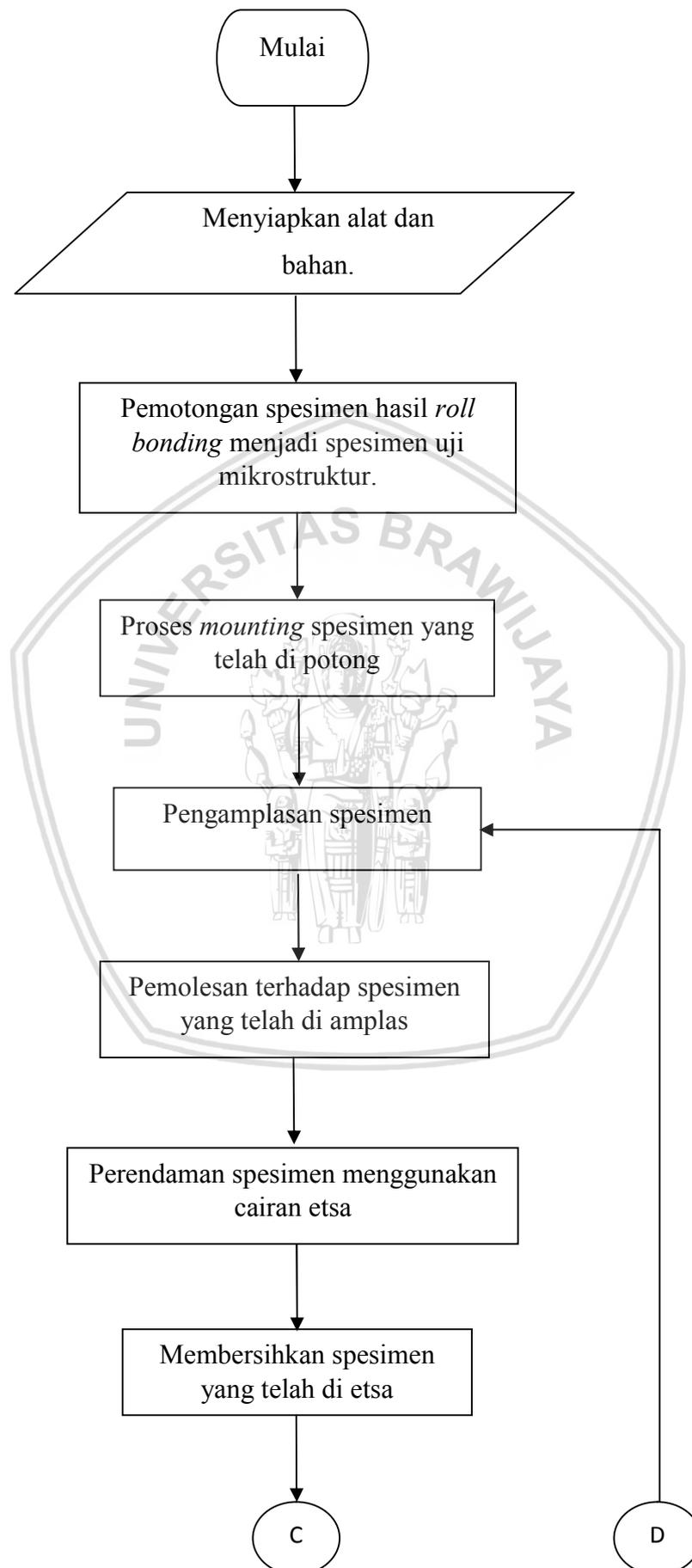
Gambar 3.19 Diagram alir roll bonding

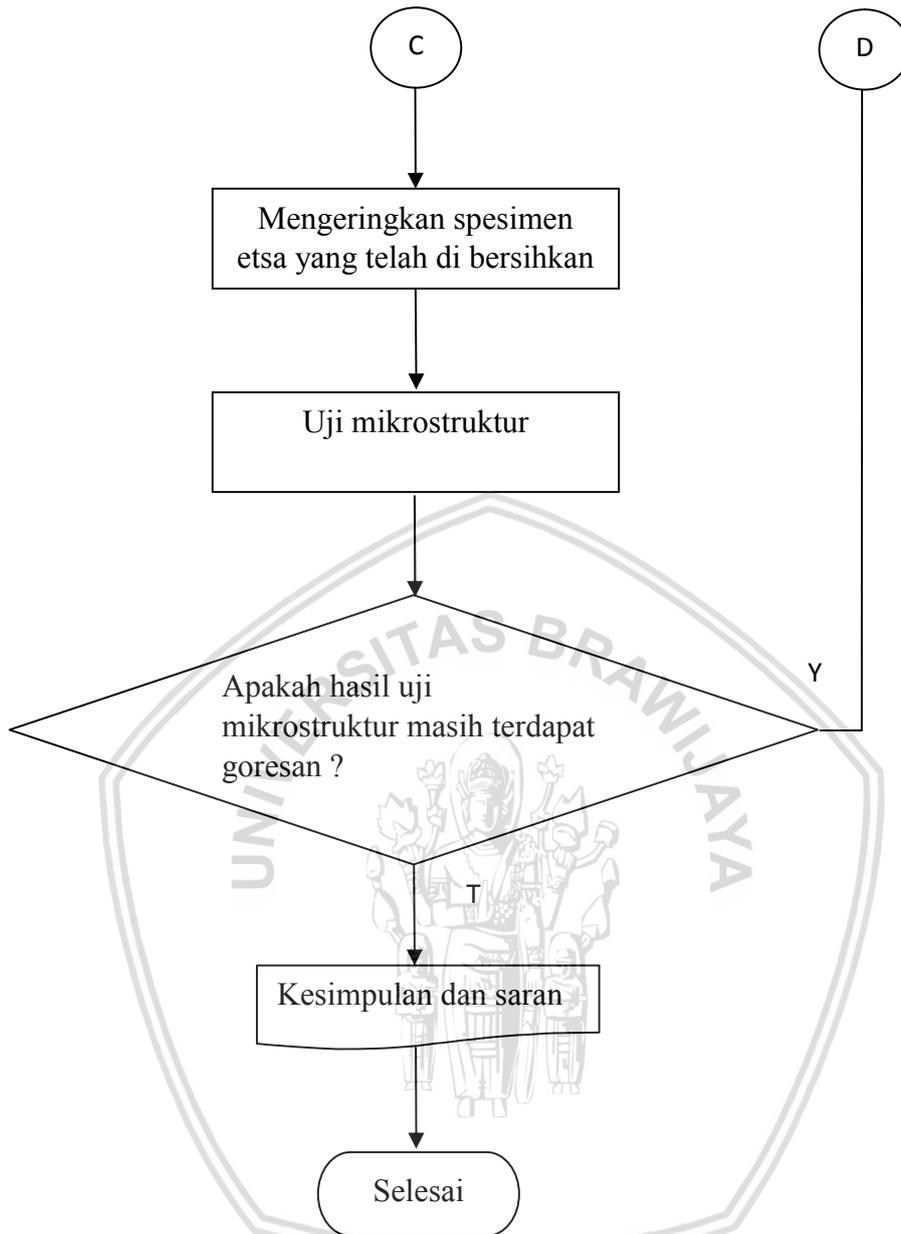
Diagram alir Proses pengujian Tarik



Gambar 3.20 Diagram alir uji tarik

Diagram alir proses pengujian Mikrostruktur





Gambar 3.21 Diagram alir uji mikrostruktur



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Pengambilan data kekuatan tarik dilakukan setelah proses *Hot roll bonding* pada semua spesimen, dan spesimen uji tarik dibentuk sesuai dengan standar yang digunakan, lalu dilakukan pengujian kekuatan tarik pada alat uji tarik. Setiap variasi dilakukan tiga kali pengulangan dan didapatkan nilai rata-rata dari ketiga pengulangan tersebut pada setiap variasi. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu pengaruh kecepatan putaran *roll* terhadap nilai kekuatan uji tarik dari penggabungan dua pelat A1100 dan A6061 pada proses *Hot roll bonding*

Tabel 4.1
Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Spesimen Hasil Proses *Hot Roll Bonding* dengan Variasi Putaran *Roll*

No	rpm	F max (kN)	luas penampang (mm ²)	kekuatan tarik (MPa)	kekuatan tarik rata-rata (MPa)
1	10	4.312	29.531	146.016	143.624
		4.228	29.38	143.907	
		4.282	30.38	140.947	
2	15	3.792	27.68	136.994	138.292
		4.282	30.4	140.855	
		4.119	30.06	137.026	
3	20	4.119	30.95	133.085	133,625
		3.955	29.13	135.770	
		4.119	31.2	132.019	

Tabel 4.2
Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Material Konvensional Sebelum Proses *Hot roll bonding*

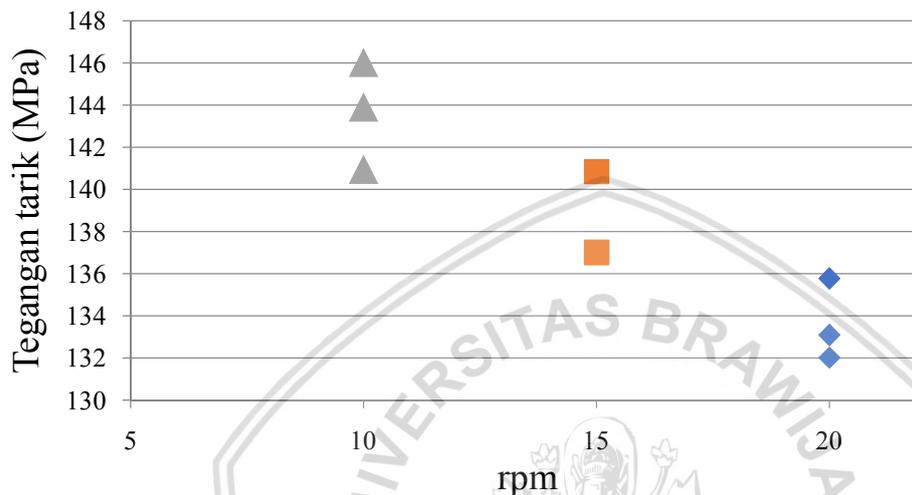
No	Alumunium	F max (kN)	luas penampang (mm ²)	Kekuatan tarik (MPa)
1	1100	2.461	25.13	97.930
	6061	2.693	24.97	107.849



4.2 Pembahasan

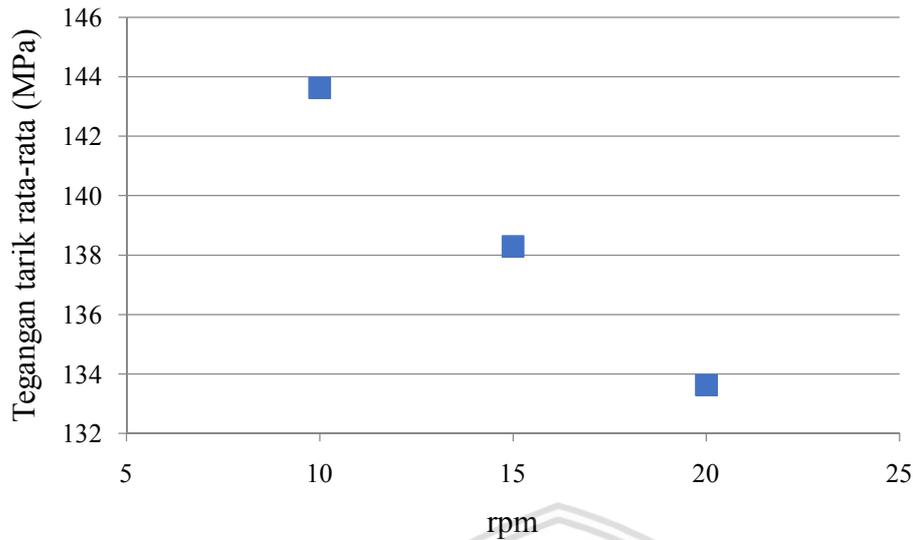
4.2.1 Kekuatan Tarik

Setelah didapatkan data hasil pengujian tarik, kemudian data tersebut dibuat dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam menganalisa data. Gambar 4.1 dibawah ini menunjukkan grafik hubungan antara kecepatan putaran *roll* terhadap nilai kekuatan tarik *Hot roll bonding* plat alumunium A6061 dengan plat Alumunium A1100.

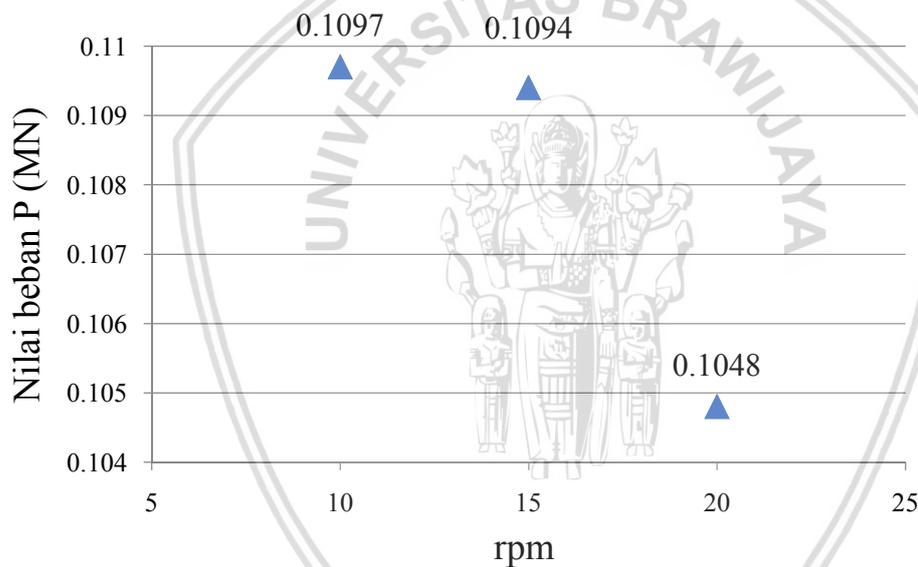


Gambar 4.1 Grafik hubungan kecepatan putaran *roll* terhadap kekuatan tarik hasil *hot roll bonding* alumunium A6061 dengan A1100

Dapat dilihat dari Gambar 4.1 grafik hubungan antara kecepatan putaran *roll* terhadap kekuatan tarik pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi ada pada spesimen hasil *roll* dengan kecepatan putar *roll* 10 rpm. Jika di lihat Keseluruhan nilai kekuatan tarik tertinggi ada pada spesimen hasil *roll* dengan kecepatan putar *roll* 10 rpm yakni sebesar 146.016 MPa dan kekuatan tarik terendah ada pada spesimen hasil dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm yakni sebesar 132.019 MPa. Dan jika di rata-rata kekuatan tarik tertinggi ada pada spesimen hasil *roll* dengan kecepatan putar *roll* 10 rpm dengan nilai rata rata 143.623 MPa kemudian spesimen hasil *roll* dengan kecepatan putaran *roll* 15 rpm dengan nilai rata rata 138.2918 MPa dan yang terendah ada pada spesimen hasil *roll* dengan kecepatan putaran *roll* 20 rpm dengan nilai rata rata 133.625 MPa.

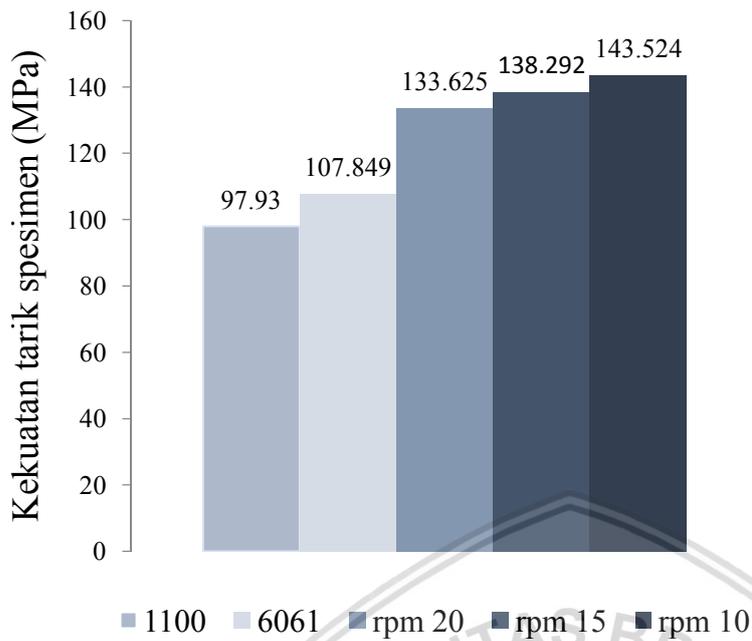


Gambar 4.2 Grafik hubungan kecepatan putaran *roll* terhadap nilai rata-rata kekuatan tarik spesimen hasil *hot roll bonding* alumunium A6061 dengan A1100

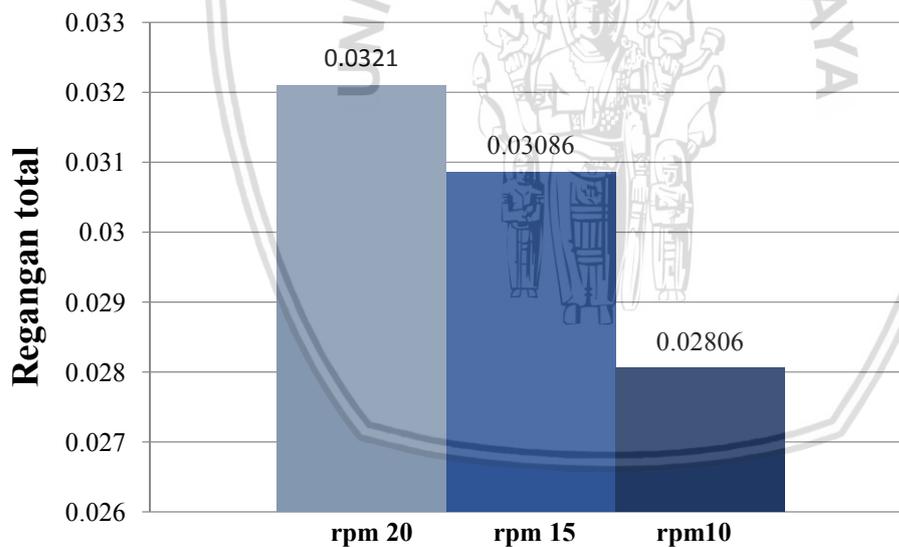


Gambar 4.3 Grafik hubungan kecepatan putaran *roll* terhadap nilai beban yang dihasilkan selama proses *hot roll bonding* alumunium A6061 dengan A1100

Dari Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa semakin rendah kecepatan putaran *roll* pada proses pengerollan maka semakin tinggi nilai uji tarik yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin rendah kecepatan putaran *roll* yang digunakan selama proses pengerollan akan menyebabkan pembebanan pada kedua spesimen yang di *roll* semakin merata dan semakin besar beban yang di terima oleh spesimen sehingga menyebabkan gaya tekan semakin tinggi dan menyebabkan kekuatan *bonding* semakin tinggi dan hal ini menyebabkan kekerasan spesimen hasil pengerollan semakin tinggi. Semakin tinggi nilai kekerasan suatu material semakin tinggi pula kekuatannya.



Gambar 4.4 Diagram perbandingan nilai kekuatan tarik spesimen konvensional sebelum proses *hot roll bonding* dengan spesimen hasil *hot roll bonding* dengan berbagai variasi rpm



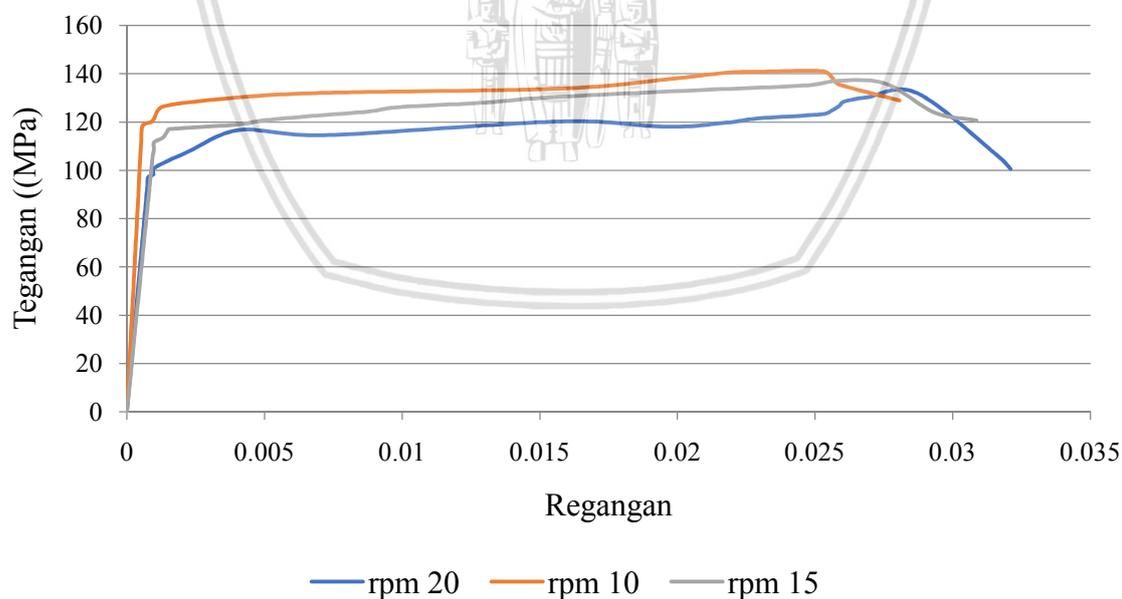
Gambar 4.5 Diagram perbandingan nilai regangan total spesimen hasil *hot roll bonding* dengan berbagai variasi rpm

Dari Gambar 4.4 di atas menunjukkan perbandingan nilai kekuatan tarik spesimen konvensional yang sebelum melalui proses *hot roll bonding* dan spesimen sesudah melewati proses *hot roll bonding* dengan berbagai variasi putaran, dari diagram batang di atas dapat disimpulkan bahwa spesimen yang telah melalui proses *hot roll bonding* memiliki nilai kekuatan uji tarik yang lebih tinggi dibanding dengan spesimen sebelum melalui proses *hot roll bonding*. Nilai kekuatan uji tarik tertinggi ada pada spesimen

dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm yaitu 143.524 MPa, dan nilai kekuatan uji tarik terendah ada pada spesimen aluminium 1100 konvensional tanpa perlakuan dengan nilai 97.93 MPa. Sedangkan pada Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan nilai regangan dari spesimen hasil proses *Hot roll bonding* dengan berbagai variasi rpm, dapat dilihat bahwa nilai regangan tertinggi ada pada spesimen dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm dan nilai terendah ada pada spesimen dengan kecepatan putar *roll* 10 rpm, hal ini menunjukkan bahwa spesimen dengan kecepatan putar 20 rpm memiliki sifat yang paling ulet sehingga mampu menyerap gaya lebih besar jika dibandingkan spesimen dengan kecepatan putar *roll* 15 rpm dan 10 rpm, Kesimpulan dari hasil di atas adalah bahwa material yang memiliki nilai regangan paling tertinggi memiliki nilai uji tarik yang paling rendah, dan juga proses *Hot roll bonding* terbukti dapat memperbaiki sifat material salah satunya adalah meningkatkan kekuatan uji tarik dari material.

4.2.2 Tegangan–Regangan

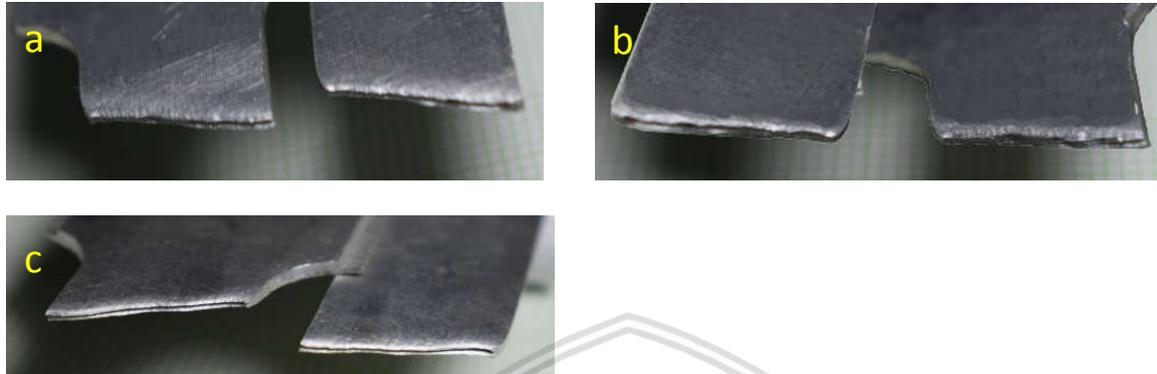
Dari penjelasan dasar teori di ketahui bahwa uji tarik menghasilkan diagram tegangan dan regangan untuk menunjukkan regangan yang di dapat dari spesimen yang di beri tegangan secara terus menerus. Gambar 4.6 menunjukkan diagram tegangan regangan antara spesimen hasil pengerollan dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm dan 20 rpm.



Gambar 4.6 Grafik tegangan regangan antara spesimen hasil pengerollan dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm dan 20 rpm

pada Gambar 4.6 grafik Tegangan regangan di atas dapat dilihat spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi yakni spesimen hasil pengerollan dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm dan yang memiliki kekuatan tarik terendah adalah spesimen hasil pengerollan dengan

kecepatan putaran *roll* 20 rpm. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa spesimen hasil pengerollan dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm memiliki regangan yang lebih rendah dibanding dengan spesimen hasil pengerollan dengan kecepatan putaran *roll* 15 dan 20 rpm.



Gambar 4.7 Foto patahan (a) spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm, (b) Spesimen dengan dengan kecepatan putaran *roll* 15 rpm, (c) spesimen dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm

Pada Gambar 4.7 bisa dilihat bahwa kedua spesimen mempunyai bentuk patahan ulet. Pada patahan ulet di Gambar 4.7 (a)(b) dan (c) terjadi penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu. Namun meskipun bentuk patahannya hampir sama patahan spesimen dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm memiliki daerah yang berwarna kelabu yang di lingkari oleh lingkaran merah lebih banyak di bandingkan dengan spesimen dengan kecepatan putar *roll* 15 rpm dan 10 rpm. Hal tersebut terjadi karena spesimen dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm memiliki regangan yang lebih besar bila di bandingkan dengan spesimen dengan kecepatan putar *roll* 15 rpm dan 10 rpm.

4.2.3 Hasil Foto Uji Mikrostruktur

Selain melakukan pengujian tarik sebagai data utama dalam penelitian ini juga di lakukan pengujian mikrostruktur sebagai data pendukung dari data utama pengujian tarik. Pengujian mikrostruktur bertujuan untuk mengetahui ukuran butir dan jarak celak antar plat. Besar butir didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$N_A = f \left(N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2} \right)$$

dengan:

F = Perbesaran foto mikrostruktur

N_{inside} = Jumlah butir dalam lingkaran

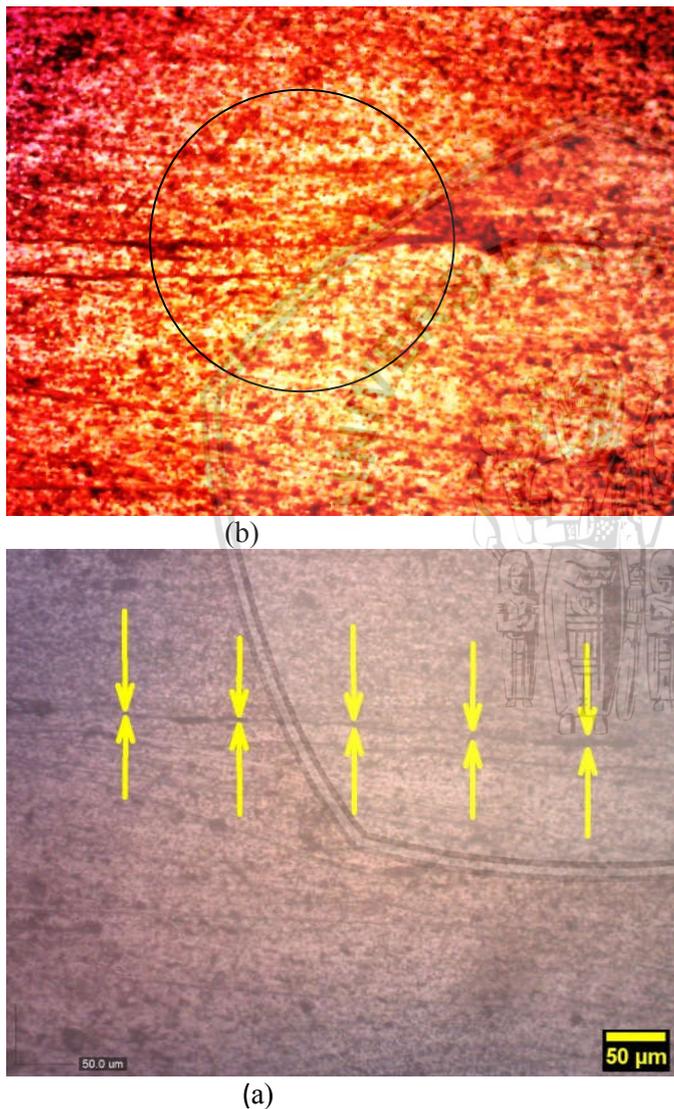
$N_{intersept}$ = Butir yang terpotong garis lingkaran

Dan selanjutnya hasil perhitungan menggunakan rumus di atas di masukkan ke dalam persamaan dibawah

$$G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$$

Setelah mendapatkan nilai G, selanjutnya nilai area butir dapat dilihat pada tabel *Grain size* (Lampiran 2).

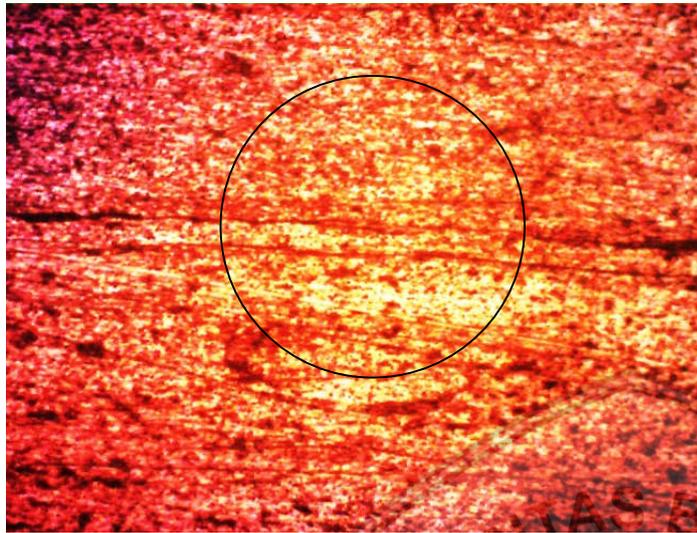
Gambar di bawah ini adalah hasil pengujian mikrostruktur material hasil *Hot roll bonding* dalam berbagai variasi kecepatan putaran *roll*.



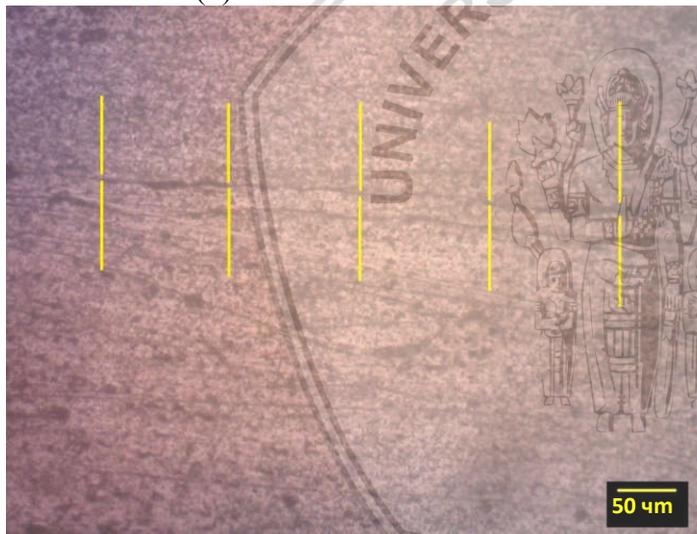
Gambar 4.8 Foto mikrostruktur (a) butir spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 20 rpm (b) jarak celah antar pelat spesimen hasil proses *hot roll bonding* sebesar 5.364 µm

Gambar 4.8 adalah foto mikrostruktur pelat hasil *Hot roll bonding* dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm. Pada Gambar tersebut menunjukkan bahwa jarak celah antara pelat adalah 5.364 µm dengan ukuran butir didapatkan adalah dengan nilai diameter butir rata rata adalah 18.6 µm. Jarak celah antara pelat dan ukuran besar butir tersebut lebih besar

dibandingkan pelat hasil *roll bonding* dengan kecepatan putaran *roll* 15 rpm dan 10 rpm. Hal ini disebabkan pembebanan *roll* yang diberikan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan putaran *roll* 15 rpm dan 10 rpm.



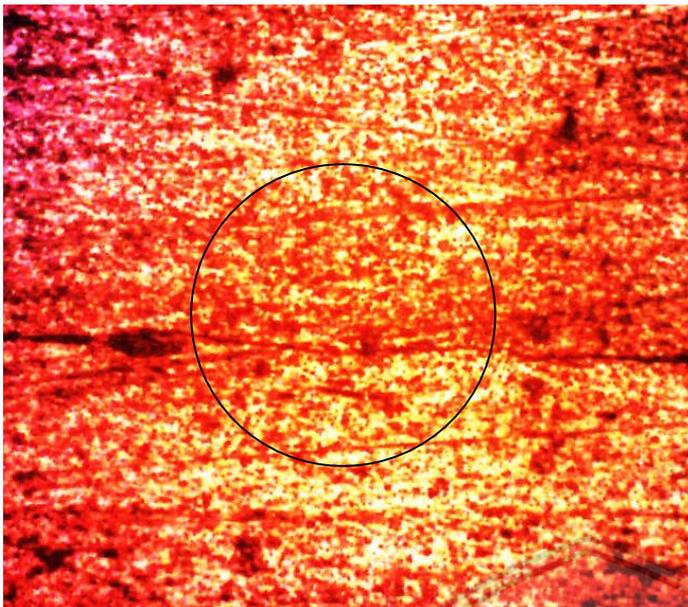
(b)



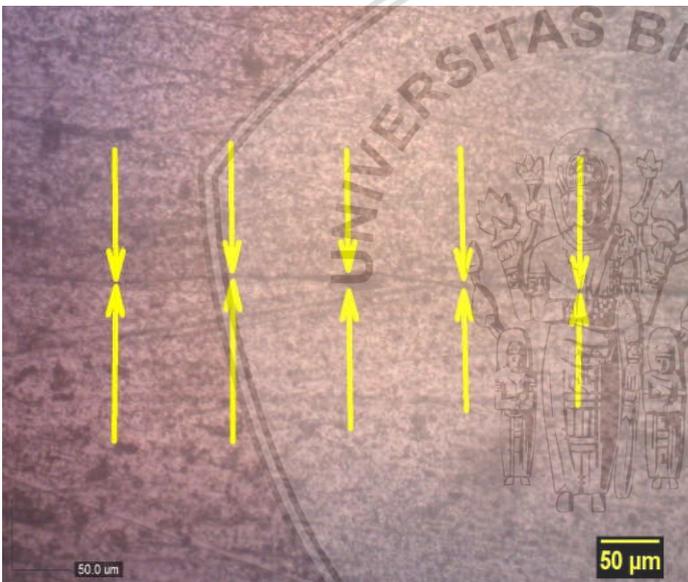
(a)

Gambar 4.9 Foto mikrostruktur (a) Butir spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 15 rpm (b) jarak celah antar pelat spesimen hasil proses *Hot roll bonding* sebesar 5.201 μm

Gambar 4.9 adalah foto mikrostruktur pelat hasil *Hot roll bonding* dengan kecepatan putar *roll* 15 rpm. Pada Gambar tersebut menunjukkan bahwa jarak celah antara pelat adalah 5.201 μm dengan ukuran butir didapatkan adalah dengan nilai diameter butir rata rata adalah 16.3 μm , Jarak celah antara pelat dan ukuran besar butir tersebut lebih besar dibandingkan pelat hasil *roll bonding* dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm namun lebih kecil jika dibanding dengan spesimen dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm. Hal ini disebabkan pembebanan *roll* yang diberikan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm namun lebih besar jika dibanding dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm.



(a)



(b)

Gambar 4.10 Foto mikrostruktur (a) Butir spesimen dengan kecepatan putaran *roll* 10 rpm (b) jarak celah antar pelat spesimen hasil proses *Hot roll bonding* sebesar $3.2834 \mu\text{m}$

Gambar 4.10 adalah foto mikrostruktur pelat hasil *Hot roll bonding* dengan kecepatan putar *roll* 10 rpm. Pada Gambar tersebut menunjukkan bahwa jarak celah antara pelat adalah $3.2834 \mu\text{m}$ dengan ukuran diameter butir rata rata sebesar $15.17 \mu\text{m}$, Jarak celah antara pelat dan ukuran besar butir tersebut lebih kecil dibandingkan plat hasil *roll bonding* dengan kecepatan putaran *roll* 20 rpm dan 15 rpm, dan jarak antar platnya lebih kecil dibandingkan dengan pelat hasil *roll bonding* dengan kecepatan putaran *roll* 20 rpm dan 15 rpm. Hal ini disebabkan pembebanan *roll* yang diberikan lebih besar dan lebih merata jika dibandingkan dengan kecepatan putaran *roll* 20 rpm dan 15 rpm.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *roll* sangat berpengaruh terhadap nilai uji tarik dari penggabungan 2 pelat A1100 dan A6061 melalui proses *Hot roll bonding*. Semakin rendah kecepatan putar *roll* selama proses pengerollan menyebabkan nilai kekuatan tarik hasil *roll bonding* akan semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, semakin tinggi kecepatan putar *roll* selama proses pengerollan akan menyebabkan nilai kekuatan tarik spesimen hasil *roll bonding* akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan semakin rendah kecepatan putaran *roll* selama proses pengerollan akan semakin besar gaya tekan yang diterima oleh spesimen, dan juga semakin rendah kecepatan putaran *roll* akan menyebabkan gaya pembebanan akan semakin merata, semakin besar dan merata gaya pembebanan yang diterima oleh spesimen akan menyebabkan jarak celah antar pelat akan semakin mengecil dan hal ini menyebabkan kekerasan spesimen hasil *roll* semakin tinggi spesimen yang memiliki nilai kekerasan yang tinggi akan memiliki nilai kekuatan tarik yang juga tinggi.

Dalam penelitian ini spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi ada pada spesimen dengan kecepatan putar *roll* selama pengerollan 10 rpm dengan nilai kekuatan tarik rata rata sebesar 143.623 MPa, dan yang terendah ada pada spesimen dengan kecepatan putar *roll* 20 rpm dengan nilai kekuatan tarik rata rata sebesar 133.625 MPa. Spesimen dengan nilai kekuatan tarik yang besar memiliki nilai regangan yang rendah, dalam penelitian ini spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi memiliki nilai regangan sebesar 0.02806 dan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah memiliki regangan yang lebih besar dengan nilai 0.0321, hal ini dikarenakan spesimen yang memiliki nilai uji tarik yang rendah memiliki sifat yang lebih ulet jika dibanding dengan spesimen yang memiliki nilai uji tarik yang lebih tinggi, spesimen yang ulet mampu menyerap gaya lebih banyak sehingga dari pada spesimen yang getas, sehingga memiliki nilai regangan yang besar namun memiliki nilai uji tarik yang rendah.

5.2 Saran

1. Disarankan untuk memperoleh spesimen hasil *hot roll bonding* dengan nilai kekuatan uji tarik yang tinggi disarankan menggunakan kecepatan putar *roll* yang rendah. Sehingga gaya tekan dari *roll* semakin besar dan sekaligus semakin merata gaya yang diterima spesimen proses *hot toll bonding*.
2. Kebersihan baik dari lingkungan, alat dan bahan selama penelitian harus dijaga agar penelitian dapat berjalan dengan maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Akroma, Boy Harpit. 2011. *Meningkatkan Sifat Mekanis Aluminium Komersil Untuk Bahan Konstruksi Atap Dengan Metode Accumulative Roll-Bonding*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Alil. Ana, Popovic. Milijana, Radetic. Tamara, Romhaji. Endre. 2014. *Influence of an Accumulative Roll Bonding (ARB) Proses on the Properties of AA5083 AL-MG Alloy Sheets*. Serbia : Faculty of technology and Metallurgy, University of Belgrade.
- ASM International. 1993. *ASM Handbook Volume2 : Properties and Selection: non ferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International.
- ASM International. 1993. *ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering*. ASM International.
- Avner, S.H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- Dieter, George E. 19886. *Mechanical Metallurgy SI Metric Edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Febrianti, Eka. Suhadi, Amin. Priadi, Dedi. Riastuti, Rini. 2016. *Pengaruh Peningkatan % Reduksi Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Kuningan Cu-Zn 70/30 setelah proses Warm rolling pada suhu 400⁰ C*. Majalah Pengkajian Industri Vo.10, No 3, Desember 2016, (163 – 172).
- Irawan, Yudy Surya., Hagiwara, Yoshihiko, Ohya, Shin-ichi. 2006. *Effects of Rolling Ratios, Microstructures and Crystal Orientations on Peculiar Fatigue Crack Growth Paths in Anisotropic Cold-Rolled Pure Aluminium Sheets*. Vol 55 No Hal 402-408. Jepang : Journal of Society of Materials Science, Japan.
- Kalpakistan, S. Schmid, Steven R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI Units*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kissel, J. R, Ferry, R. L. 2002. *Aluminum Structure A Guide to Their Spesification and Design Second Edition*. New York : John Wiley & Sons Inc.
- Lauvdal, Steinar. 2011 *Experimental Studies of Cold roll Bonded Aluminium Alloys*. Norwegian : Norwegian University of science and technology. Hal 11-13.
- Manesh, Danesh, H. Eizadjou, M. Janghorban, K. 2009. *Mechanism of warm and cold roll bonding of aluminum alloy strips*. Iran : Departement of Materials science and engineering, Shiraz University
- Miyajima, Yuji., Iguchi, Kotaro., Onaka, Susumu., Kato, Masaharu. 2014. *Effects of Rolling Reduction and Strength of Composed Layers on Bond Strength of Pure Copper and Alminium Alloy Clad Sheets Fabricated by Cold RollBonding*. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol 2014 No. 613821, hal 11-21.
- Narayanan, R. Ganesh. 2014. *Advances in Material Forming and Joining*. Guwahati : Springer Indian Institute of Technology Guwahati. Hal 356.

- Qian Wang, Xuesong Len, Jiuchun Yan, Weibing Guo, Yu Fu, Tianming Luan. 2013. *Al 1060/Pure Iron Clad Materials by Vacuum Roll Bonding and Their Solderability*. Hal 1-7.
- Sagala, Ahmad Rifai M. Nur. 2011. *Meningkatkan Sifat Mekanis Tembaga Komersil Untuk Bahan Propeller Kapal Nelayan Dengan Metode Accumulative Roll-Bonding*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Saito, Y. 1998. *Novel Ultra-High Straining Process For Bulk Materials-Development of The Accumulative Roll Bonding (ARB) Process*. Osaka : Osaka University. Scripta Materialia, Vol 47, No. 2, hal 579-583.
- Surdia. Tata. 1985. *Pengetahuan bahan teknik*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Su, Lihong. Lu, Cheng. Deng, Guanyu. Tieu,A.K. 2013. *Microstructure and mechanical properties of 1050/6061 Laminated composite processed by accumulative roll bonding*. Australia : University of Wollongong. Hal 33-34.
- Toroghinejad R Mohammad, Ashrafizadeh F, and Jamaati R. 2012. *On The Use of Accumulative Roll Bonding Proses to Develop Nanostructured Aluminum Alloy 5083*. *Materials Science and Engineering A* Vol 561 Hal 145-151.
- Yu, C et al. 2017. *Mechanical Properties and Interfacial Structure of Hot-Roll Bonding TA2/Q235B Plate Using DT4 Interlayer*. *Materials Science & Engineering A* vol 695 hal. 120-125.
- Zacharias, P. Al Hasa, M. H.Hersubeno, J. Sardjono. 1996. *Pengaruh Kecepatan Perolan Terhadap Kekuatan Ikatan Metalurgik Antarmuka Pelat AlMg-2*. Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bahan Nuklir. Hal 4-6.

