

**PENGARUH *HOLDING TIME* PEMANASAN TERHADAP
KEKUATAN TARIK PADA PROSES *ROLL BONDING* AA1100 DAN
AA6061**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RIDHA DHARMINSYAH
NIM. 135060201111080**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH *HOLDING TIME* PEMANASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA PROSES *ROLL BONDING* AA1100 DAN AA6061

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



RIDHA DHARMINSYAH
NIM. 135060201111080

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal 20 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.
NIP 19750710 199903 1 004

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, ST., MT.
NIP 19591128 198710 1 001



Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 24 Juli 2018

Mahasiswa



Ridha Dharminsyah

NIM. 135060201111080



JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh *Holding Time* Pemanasan Terhadap Kekuatan Tarik Pada Proses *Roll Bonding* AA1100 dan AA6061

Nama Mahasiswa : Ridha Dharminsyah
NIM : 135060200111080
Program Studi : Teknik Mesin
Konsentrasi : Teknik Manufaktur

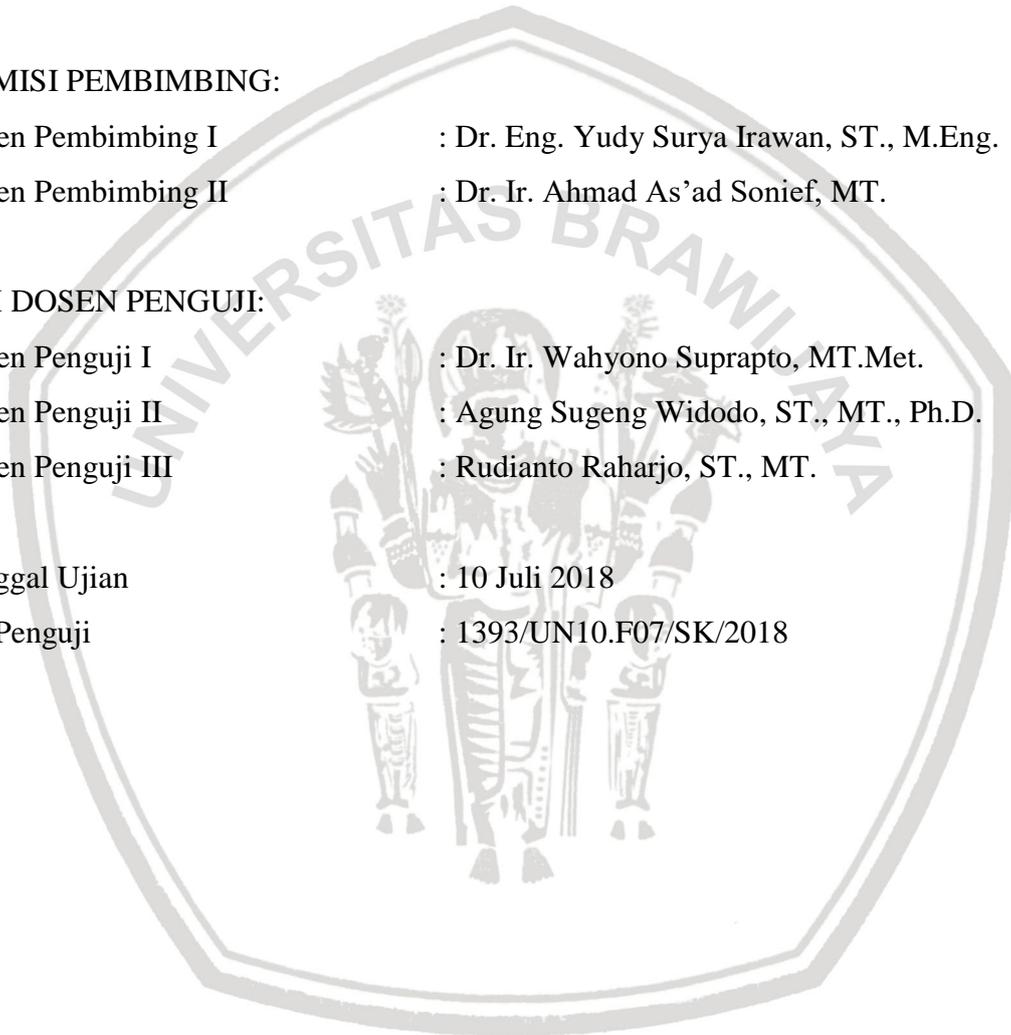
KOMISI PEMBIMBING:

Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Ahmad As'ad Sonief, MT.

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.
Dosen Penguji II : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.
Dosen Penguji III : Rudianto Raharjo, ST., MT.

Tanggal Ujian : 10 Juli 2018
SK Penguji : 1393/UN10.F07/SK/2018





*Ucapan Terima Kasih Kepada
Semesta Alam*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh *holding time* pemanasan terhadap kekuatan tarik pada proses *roll bonding* AA1100 dan AA6061” ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini:

1. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Mega Nur Sasongko ST., MT., Dr.Eng., selaku Kepala Program Studi S1 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE, selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bayu Satria Wardana, ST., M.Eng., selaku Pembimbing Akademik yang Telah Memberi Pengarahan Seputar Akademik.
6. Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., selaku pembimbing I skripsi dan Kepala Laboratorium Otomasi Manufaktur yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
7. Dr. Ir. Achmad As’ad Sonief, MT., selaku pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
8. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk kesempurnaan laporan skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca sekaligus bisa menjadi bahan acuan penelitian selanjutnya.

Malang, 10 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
BAB I 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	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Manufaktur.....	6
2.3 Alumunium	8
2.3.1 Pengertian Alumunium	8
2.3.2 Proses Pembentukan Alumuniumm	9
2.3.3 Alumunium Paduan	10
2.3.3.1 Klasifikasi Paduan Alumunium.....	10
2.3.3.2 Macam-Macam Paduan Alumunium.....	12
2.3.3.2.1 Alumunium 1100	12
2.3.3.2.2 Alumunium 6061	13
2.3.3.2.3 Diagram Fasa Al-Mg-Si	13
2.4 <i>Metal Cladding</i>	14
2.5 <i>Rolling</i>	15
2.6 <i>Roll Bonding</i>	21
2.7 <i>Hot Rolling</i>	23
2.8 <i>Cold Rolling</i>	23
2.9 Mekanisme <i>Bonding</i>	24
2.10 Gaya-Gaya Pengerolan.....	26



2.11 Permasalahan dan Cacat Pada Hasil Rol.....	29
2.12 Pengujian Kekuatan Tarik.....	31
2.13 Perilaku Elastis dan Plastis.....	34
2.9 Hubungan Uji Tarik Dengan Waktu Pemanasan	35
2.15 Hall-Petch <i>Relation</i>	36
2.16 Mikrostruktur 1050/6061	36
2.17 Patahan	37
2.17.1 Jenis-jenis patahan	37
2.18 Aplikasi <i>roll bonding</i>	38
2.19 Hipotesis.....	39
BAB III METODE PENELITIAN.....	41
3.1 Metode Penelitian.....	41
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	41
3.3 Variabel Penelitian	41
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	42
3.4.1 Alat.....	42
3.4.2 Bahan	48
3.5 Dimensi Spesimen	48
3.6 Skema Penelitian.....	50
3.7 Prosedur Penelitian.....	51
3.8 Diagram Alir Penelitian	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Hasil Penelitian	55
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	55
4.2 Pembahasan.....	56
4.2.1 Kekuatan Tarik.....	56
4.2.2 Tegangan-Regangan.....	57
4.2.3 Beban Pengerolan.....	58
4.2.4 Foto Hasil Patahan	59
4.2.5 Foto Mikrostruktur	60
4.2.5.1 <i>Grain Size</i>	60
4.2.5.2 Celah Spesimen.....	61
BAB V PENUTUP	63

5.1 Kesimpulan63
5.2 Saran 63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Paduan Aluminium Tempaan	11
Tabel 2.2	Properties Fisik Material Logam	12
Tabel 2.3	Komposisi AA1100	12
Tabel 2.4	Sifat Fisik Alumunium Alloy AA1100	12
Tabel 3.1	Komposisi AA1100	48
Tabel 3.2	Komposisi AA6061	48
Tabel 3.3	Jumlah Spesimen Pengerolan	49
Tabel 4.1	Jarak Celah Spesimen	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sejarah perkembangan proses manufaktur	8
Gambar 2.2	Sketsa peleburan bauksit menjadi Al_3O_2	9
Gambar 2.3	Sifat Alumunium 6061	13
Gambar 2.4	Komposisi alumunium 6061	13
Gambar 2.5	Diagram fase Al-Mg-Si	14
Gambar 2.6	Variasi <i>flat</i> dan <i>shape rolling</i>	16
Gambar 2.7	Langkah dalam <i>shape rolling</i> dari pembentukan <i>i-beam</i>	17
Gambar 2.8	<i>Roll forging</i>	18
Gambar 2.9	<i>Skew rolling</i>	18
Gambar 2.10	<i>Ring rolling</i>	19
Gambar 2.11	<i>Thread rolling</i>	20
Gambar 2.12	<i>Rotary tube piercing</i>	20
Gambar 2.13	(a) <i>tube rolling</i> menggunakan mandrel, (b) <i>Tube rolling</i> tanpa mandel	21
Gambar 2.14	Proses <i>roll bonding</i>	22
Gambar 2.15	Mekanisme <i>Bonding</i>	24
Gambar 2.16	Gaya-gaya pengerolan	25
Gambar 2.17	Distribusi tekanan rol sepanjang sudut kontak	27
Gambar 2.18	Skema ilustrasi torsi <i>roll</i>	28
Gambar 2.19	<i>Aligating</i>	29
Gambar 2.20	<i>Ways edges</i>	30
Gambar 2.21	<i>Side cracks</i>	30
Gambar 2.22	<i>Middle cracks</i>	31
Gambar 2.23	<i>Universal testing machines</i>	32
Gambar 2.24	Kurva <i>tegangan-regangan</i>	34
Gambar 2.25	Hubungan kekuatan tarik dengan <i>holding time</i>	35
Gambar 2.26	Foto mikrostruktur 6061 dan 1050	37
Gambar 2.27	Jenis patah pada logam akibat beban tarik sesumbu	38
Gambar 2.28	Aplikasi <i>roll bonding</i>	39
Gambar 3.1	Mesin <i>roll bonding</i>	42
Gambar 3.2	Dapur Listrik.....	43
Gambar 3.3	<i>Sandpaper waterproof p60</i>	43
Gambar 3.4	Jangka sorong digital	44

Gambar 3.5 Larutan aseton.....	44
Gambar 3.6 Kawat bendrat	45
Gambar 3.7 Universal testing machine	45
Gambar 3.8 Filler gauge	46
Gambar 3.9 Digital multimeter.....	46
Gambar 3.10 Tachometer	46
Gambar 3.11 Mesin bor	47
Gambar 3.12 Gunting pelat	47
Gambar 3.13 Spidol.....	47
Gambar 3.14 Penggaris	48
Gambar 3.15 Dimensi spesimen proses <i>roll bonding</i> (mm).....	48
Gambar 3.16 Dimensi spesimen uji tarik	49
Gambar 3.17 Skema penelitian <i>roll bonding</i>	50
Gambar 3.18 Skema penelitian uji mikro.....	51
Gambar 3.17 Diagram alir penelitian	54
Gambar 4.1 Grafik hubungan <i>holding time</i> pemanasan terhadap kekuatan tarik hasil <i>roll bonding</i> aluminium AA6061 dan AA1100	56
Gambar 4.2 Grafik perbandingan kekuatan tarik rata-rata pada setiap variasi <i>holding time</i>	57
Gambar 4.3 Grafik tegangan regangan rekayasa pada setiap variasi <i>holding time</i>	58
Gambar 4.4 Grafik <i>holding time</i> pemanasan dengan beban pengerolan	59
Gambar 4.5 Patahan pelat hasil pengerolan dengan <i>holding time</i> 30 menit 40 menit dan 50 menit.....	59
Gambar 4.6 Foto mikrostruktur pelat hasil pengerolan <i>holding time</i> 30 menit 40 menit dan 50 menit	60
Gambar 4.7 Jarak celah spesimen <i>holding time</i> pemanasan 30 menit 40 menit dan 50 menit.....	61

RINGKASAN

Ridha Dharminsyah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018, Pengaruh *Holding Time* Pemanasan Terhadap Kekuatan Tarik Pada Proses Roll Bonding AA1100 dan AA6061, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Ahmad As'ad Sonief.

Pemilihan material merupakan langkah awal yang sangat penting dalam menghasilkan produk yang berkualitas. Produk berkualitas bisa dilihat dari karakteristiknya, hal mendasar dari karakteristik suatu material terdiri dari sifat-sifat mekanik dan sifat-sifat fisik yang menjadi landasan awal pemilihan suatu material. Sifat fisik adalah bagaimana sifat suatu material apabila mengalami peristiwa fisika sedangkan sifat mekanik adalah bagaimana sifat suatu material mengalami gaya dari luar. Dalam upaya menciptakan karakteristik suatu material menjadi lebih baik daripada sebelum bisa menggunakan beberapa cara dalam proses produksi. Penggabungan dua buah benda dapat memberikan tambahan properties suatu bahan, salah satu proses untuk menghasilkan bahan tersebut menggunakan proses *roll bonding* . *Roll bonding* adalah proses pembentukan logam yang digunakan pada material *solid* , dilakukan dengan cara pengerolan dua atau lebih plat sehingga menghasilkan plat datar.

Pada penelitian ini proses *roll bonding* menggunakan material pelat aluminium 1100 dengan aluminium 6061. Pada proses *roll bonding* energi tekan dimanfaatkan untuk menggabungkan dua atau lebih lapisan logam. Keadaan material saat proses pengerolan sangat mempengaruhi energi tekan yang dihasilkan oleh mesin *roll* . Proses pengerolan menggunakan metode pengerjaan panas dimana plat dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu 475°C. Variasi yang di gunakan adalah *holding time* pemanasan selama 30 menit, 40 menit, 50 menit. Penelitian ini menggunakan spesifikasi alat dengan daya motor listrik 2,980 kW, diameter *roll* 60 mm dengan lebar *roll* 250 mm.

Pada penelitian ini didapatkan hasil pada variasi *holding time* 30 menit mempunyai kekuatan tarik sebesar 132,290 MPa dengan diameter rata-rata butir 15,9 µm. *Holding time* pemanasan 40 menit mempunyai nilai kekuatan tarik sebesar 129,001 MPa serta diameter rata-rata butir 18,9 µm dan *holding time* pemanasan 50 menit kekuatan tariknya 123,054 MPa dengan diameter rata-rata butir 22,5 µm. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik dipengaruhi oleh *holding time* pemanasan.

Kata kunci: *holding time* , kekuatan tarik, pemanasan, *roll bonding*

SUMMARY

Ridha Dharminsyah, *Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2018, Effect of Holding Time Heating Against Tensile Strength with Roll Bonding Process AA1100 and AA6061, Academic Supervisor: Yudy Surya Irawan and Achmad As'ad Sonief.*

Material selection is a very important step in producing a good quality product. Product quality can be seen from its characteristic, the fundamental thing from characteristic of a material consist of mechanical properties and physical properties which become base of material selection. Physical properties is how the characteristic of a material when it is experiencing a physical event, while the mechanical properties is how characteristic of a material when it is experiencing a force from the outside. In order to create the better characteristics of a material than before, it can use some method in the production process. The merger of two objects can provide additional properties of a material, one of the process in order to produce the material is using the roll bonding process. Roll bonding is a metal forming process used in solid materials, by rolling two or more plates to produce flat plates.

In this research the process of roll bonding was using aluminum plate material 1100 and aluminum 6061. In the process of roll bonding preassure energy was used to combine two or more layers of metal. The material condition during the rolling process was very affecting the preassure energy that generated by the roll machine. The rolling process was used a heat-working method, which the plate was preheated to 475 °C. The variations of holding heating time was 30 minutes, 40 minutes, 50 minutes. This study was used a machine with following specification of an electric motor power 2.980 kW, diameter roll 60 mm with a roll width of 250 mm.

The result of this research is the holding time variation of 30 minutes has a tensile strength of 132.290 MPa with an average diameter of 15.9 μ m. Holding time of 40 minutes heating has a tensile strength value of 129,001 MPa and average diameter of 18.9 μ m and holding time heating 50 minutes tensile strength 123,054 MPa with average diameter of 22,5 μ m. It shows that the value of tensile strength is affected by holding time heating.

Keyword: *Honding Time Heating, Roll bonding, Tensile Strength*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir perkembangan teknologi di dalam dunia industri yang begitu pesat mengharuskan kita untuk menciptakan suatu produk yang lebih baik agar dapat bersaing dalam dipasaran, terlebih lagi dengan era sekarang yang dikenal dengan Masyarakat Ekonomi Asean (MEA). Untuk mencapai suatu produk yang lebih baik pemilihan bahan dasar sangat penting dikarenakan sifat-sifat mekanik dan sifat-sifat fisik merupakan landasan awal suatu produk dikatakan lebih baik dari produk yang lain.

Jika melihat produk industri cenderung menggunakan penggabungan 2 bahan atau lebih dalam mencapai karakteristik sifat-sifat mekanik dan fisik yang diinginkan, diharapkan dengan cara seperti itu mampu menghasilkan produk yang lebih unggul di bandingkan dengan bahan tunggal. Kelebihan penggabungan 2 bahan atau lebih biasanya dapat memberikan tambahan sifat suatu bahan, salah satu upaya untuk menghasilkan bahan tersebut dengan cara *roll bonding* dengan memperhalus mikrostruktur logam dan paduan dengan menggunakan proses *rolling* yang disertai dengan *heat treatment* diharapkan dapat menaikkan sifat-sifat mekanik.

Roll bonding adalah proses deformasi plastik secara menyeluruh dengan menggunakan roll (Saito,1998), Penggabungan beberapa lembar material dengan material yang sama atau berbeda untuk mendapatkan sifat yang lebih unggul, atau juga bertujuan untuk memperbaiki struktur butir pada logam paduan sehingga mengakibatkan meningkatnya kekuatan tarik (Argentero, 2012).

Salah satu material yang digunakan untuk proses *roll bonding* adalah aluminium. Aluminium adalah logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Penggunaan aluminium di dunia manufacturing untuk menunjang proses fabrikasi telah banyak diterapkan oleh berbagai perusahaan material. Aluminium juga digunakan dalam bidang yang luas, bukan hanya untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material mobil, pesawat terbang dan kontruksi-kontruksi yang lain. Dalam meningkatkan kekuatan mekanik logam aluminium di padukan dengan bermacam-macam unsur seperti Cu, Si, Mg, Ti, Cr dan sebagainya. Banyaknya aluminium dalam fabrikasi di industri bukan tanpa alasan, biaya yang relatif rendah untuk memproduksi dan

mengelolah aluminium menjadi bahan jadi merupakan salah satu alasan mengapa hal tersebut terjadi.

Penelitian mengenai *accumulative roll bonding* (ARB) sudah dilakukan Mohammad Reza Toroghinejad (2012) meneliti tentang pengaruh proses *roll bonding* terhadap pengembangan *nanostructured* pada aluminium paduan 5083 yang bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekerasan dan *micro hardness tests*. M.Eizadjou (2008) melakukan penelitian tentang penyelidikan struktur dan sifat-sifat mekanik pada multilayer komposit Al/CU melalui proses *roll bonding*, dengan menggunakan pengujian tarik dan diteliti dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Akroma (2011) melakukan penelitian mengenai meningkatkan sifat-sifat mekanik pada aluminium dengan cara *roll bonding* untuk bahan konstruksi atap rumah.

Dengan penjabaran di atas, diperlukan penelitian lebih lanjut agar mengetahui tingkat efisiensi metode *roll bonding* untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik suatu material. Oleh sebab itu, penelitian ini akan berfokus pada kekuatan tarik yang terjadi akibat proses *roll bonding* pada aluminium AA6061 dan AA1100.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan uraian pada latar belakang dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh holding time pemanasan terhadap nilai kekuatan tarik pada proses *roll bonding* menggunakan lembaran aluminium AA1100 dan AA6061.

1.3 Batasan Masalah

1. Suhu saat proses pengerolan diasumsikan sama.
2. Putaran *roll* dianggap konstan pada 25 rpm.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari pengaruh *holding time* pemanasan pada proses *roll bonding* spesimen AA1100 dan AA6061 terhadap nilai kekuatan tarik.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan suatu metode untuk peningkatan sifat mekanis dari suatu material agar dapat menghasilkan material yang memiliki kualitas yang lebih baik.
2. Dapat mengoperasikan mesin *roll bonding* dengan baik.
3. Menjadikan acuan untuk penelitian selanjutnya mengenai *roll bonding*.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Suprim Sardar (2014), melakukan penelitian tentang pengaruh dari *accumulative roll-bonding* pada sifat sifat AA 6005 dan AA 1060. Proses ARB dilakukan pada suhu 200°C, 300°C dan 400°C dengan menggunakan *roll* 320 mm pada kecepatan *roll* 10 m/ menit dan diberikan perlakuan *annealing* pada suhu 380°C selama 1800 detik dan mengalami proses pendinginan pada suhu ruangan selama 70200 detik sebelum material mengalami proses ARB. Pengujian ini befokus pada uji mikrostruktur dengan ukuran butir AA 6005 18 μm dan AA 1060 32 μm . Dari penelitian tersebut didapatkan material AA 6005 dan AA1060 dengan pemanasan 200°C dan reduksi ketebalan sebesar 19% dengan 3 *cycle* menghasilkan ukuran butir masing-masing 9 μm dan 11 μm . Penelitian ini juga menghasilkan nilai kekuatan tarik pada masing-masing suhu pemanasan, pada suhu pemanasan 200°C menghasilkan nilai tarik (210 MPa) pada *cycle* 1, (256 MPa) pada *cycle* 2 dan (270 MPa) pada *cycle* 3. Suhu pemanasan 300°C menghasilkan nilai tarik (202 MPa) pada *cycle* 1, (228 MPa) pada *cycle* 2 dan (245 MPa) pada *cycle* 3. Suhu pemanasan 400°C menghasilkan nilai tarik (199 MPa) pada *cycle* 1, (219 MPa) pada *cycle* 2 dan (236 MPa) pada *cycle* 3. Menyimpulkan bahwa suhu pemanasan berbanding terbalik dengan nilai kekuatan tarik.

C. Yu *et al* (2017), penelitian tentang material titanium murni dan baja Q235B sebagai pelapis dan besi murni DT4 sebagai intermediate layer pada proses *roll bonding* dengan dimensi material 3.7 mm x 3 mm x 1 mm. perlakuan permukaan diberikan pada material sebelum dilakukan proses *rolling* dengan cara di bersihkan menggunakan aseton dan alkohol agar terhindar dari oksidasi diperlukan pengerikan secara cepat dengan menggunakan *hairdryer*. Kemudian dilakukan proses stacking dengan mengelas kedua sisi material agar tidak terlepas saat proses *rolling*. Menggunakan mesin *roll* dengan spesifikasi kecepatan *roll* 50 rpm dan reduksi 20% dan 25% dengan suhu pemanasan yang berbeda-beda sebagai berikut: 700°C, 750°C, 800°C, 900°C, dan 950°C dengan *holding time* 2 jam. Dalam pengujian geser di dapatkan bahwa pada suhu 700°C-850°C gaya geser cenderung naik, sedangkan pada suhu 850°C – 950°C gaya geser cenderung menurun. Gaya geser maksimum 237,6 MPa pada suhu 850°C

Miyajima *et al* (2014), melakukan penelitian dengan tujuan mengetahui nilai kekuatan geser pada ikatan 2 buah material dalam proses proses *roll bonding*, dengan menggabungkan

tembaga dengan aluminium series 5052 dan 5083. Pengerolan dilakukan dengan suhu ruang pada kecepatan *roll* 21 rpm dan diameter *roll* sebesar 250 mm, dengan dimensi (1x5x30 mm) menghasilkan reduksi sebesar 50% dan 75%. Dari hasil pengujian tersebut dihasilkan kesimpulan bahwa gaya geser berbanding lurus dengan luas bidang geser, dimana semakin luas bidang geser semakin besar pula gaya gesernya, dan ditemukan juga bahwa gaya geser dipengaruhi oleh rasio reduksi, yang menjelaskan bahwa semakin besra reduksi pelat semakin besar pula gaya gesernya.

Lihong Su (2013) melakukan penelitian dengan judul *microstructure and mechanical properties of 1050/6061 laminated composite processed by accumulative roll bonding*. Pada penelitian membuat suatu material komposit dengan cara melaminasi satu sama lain, material yang di gunakan adalah aluminium seri 1050 dan 6061 dengan ketebalan awal 1.5 mm, panjang 400 mm, dan lebar 50 mm. Sebelum melakukan pengerolan spesimen di bersihkan pada sisi yang ingin di *bonding* menggunakan acetone dan sikat kawat. Spesimen kemudian di panaskan pada suhu 250°C selama 10 menit dan kemudian di *roll* dengan reduksi sebesar 50% dalam keadaan kering. Hasil *roll* di potong menjadi dua bagian dan di *bonding* kembali dengan proses yang sama (2 *cycle*). Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa nilai uji tarik kedua benda tersebut berada pada nilai tengah antara kekuatan dasar material yang digunakan, kekuatan awal 6061 adalah 330 MPa dan 1050 adalah 130 MPa sedangkan kekuatan material komposite 6061/1050 adalah 288 MPa pada siklus pertama dan pada siklus kedua nilai kekuatan tarik sebesar 317 MPa. Nilai kekuatan tarik di hasilkan berdasarkan konstanta tegangan alir kedua material. Total elongasi setelah siklus pertama adalah 4,5% dan 3% pada siklus kedua.

2.2 Manufaktur

Manufaktur adalah aktivitas manusia meliputi semua fase dalam kehidupan kita. Diturunkan dari bahasan latin (*manus = Hand, factus = mande*), kata tersebut di gunakan untuk menjelaskan “membuat sesuatu barang yang baik menggunakan tangan, atau terutama menggunakan mesin, kerap untuk produksi sekala besar dan dengan pembagian kerja. Untuk mengerti bagian-bagian manufaktur dalam perkembangan manusia penting untuk semua orang terlibat dalam studi dan praktik.

Sejarah manufaktur ditandai dengan perkembangan yang bertahap sedikit-demi sedikit, tetapi untuk beberapa waktu perkembangan manufaktur dikategorikan sebagai perkembangan yang besar dikarenakan ada dampak yang nyata terhadap tingkah laku sosial tanda tersebut diartikan sebagai revolusi industri.

1. Perkembangan awal manufaktur

Manufaktur sudah di pelajari dari beribu-ribu tahun yang lalu, bermula dengan produksi batu, keramik, dan benda logam. Pada kerajaan romawi sudah ada pabrik produksi masal untuk menghasilkan barang pecah belah dan aktivitas lainnya, termasuk pertambangan, metalurgi, industri tekstil mempunyai prinsip pekerjaan yang lama dalam pembagian kerja. Namun, proses manufaktur tetap menggunakan aktivitas individu untuk beberapa abad. Keahlian pengerajin dari tiap generasi dan dilanjutkan oleh penerusnya telah mendorong perkembangan dalam proses manufaktur secara bertahap selama ratusan tahun.

2. Revolusi industri pertama

Pada akhir abad ke 18, perkembangan mesin uap membuat ketersediaan tenaga dalam jumlah yang besar di berbagai tempat. Keadaan ini mendorong perkembangan dalam proses manufaktur yang mengakibatkan pertumbuhan fasilitas produksi sehingga menghasilkan produksi dalam jumlah banyak. Dengan keterlimpahan barang, dikarenakan perubahan mekanisme pertanian dalam produk pertanian. Menghasilkan masyarakat yang juga berubah dan perkembangan ini menjadikan hal ini sebagai revolusi industri. Hal tersebut ditandai dari menambahnya tenaga kerja mesin dalam pekerjaan manusia.

Selanjutnya pada pertengahan abad ke 19, beberapa tugas pekerja telah diambil alih oleh mesin. Komponen mesin seperti *cams* dan *levers* sudah menggunakan mekanisme mesin. Keadaan seperti ini, mengharuskan tereleminasinya beberapa pekerjaan dan menyebabkan para pekerja kehilangan pekerjaannya, perkara yang sama juga terjadi pada bidang pertanian. Namun para pekerja ini biasanya mendapatkan pekerjaan dalam sektor mengembangkan manufaktur dan layanan pada bidang ekonomi. Memasuki abad ke 20, pengembangan terjadi lagi akibat kemunculan bidang elektrik. Mesin sekarang bisa bergerak sendiri dan dikontrol menggunakan arus listrik yang meningkatkan kecanggihan.

3. Revolusi industri kedua

Perkembangan revolusi industri baru terjadi lagi pada pertengahan abad ke 20. Komputer mulai menawarkan kelebihan yang di berikan pada masa itu, bergabungnya komputer dengan mekanisme mesin menciptakan mesin dengan banyak keahlian (kegunaan). Pada awal tahun 1970-an ketersediaan *microchip*, dengan beribu-ribu komponen elektronik di dalamnya. Membuat komputer bisa melakukan perhitungan, kontrol, perencanaan, dan melakukan manajemen dengan kecepatan tinggi.

Perkembangan ini meliputi hampir seluruh aspek dalam kehidupan kita dan seolah-olah tidak ada batasnya. Bagaimanapun juga, perubahan sikap sosial terhadap perubahan ini sangat terlihat jelas seperti pada revolusi industri pertama. Para pengamat bersepakat bahwa kita sedang mengalami revolusi industri kedua karena benda yang bernama *microchip*.

Tahun	Penuangan	Ubah bentuk	Sambungan	Pemesinan	Seramik	Plastik	Mesin dan Kawalan
4000 SM	Acuan batu, tanah liat	Pembengkokan, tempaan (Au, Ag, Cu)	Perivetan	Lelasan: batu, emery, garnet, flin	Barang tembikar, pembinaan dengan tangan	Kayu, gentian semula jadi	Baji, kawalan manual
2500	Tuangan lilin (gangsa)	Perincihan, pembentukan kepingan	Pematerian, pateri keras	Penggenadian, sawing	Penggergajian Manik kaca, lereng alin		Roda, cord drill
1000		Penempaan panas (besi), penarikan dawai (?), Penekanan kaca, pelicauan	Kimpalan tempa, gam	Gergaji besi, pelarik (kayu)			Tuil, takal, pelarik kord
0 M		Penekanan skru pensyilingan (tembaga), penempaan (keluli)	Pengikatan resapan (barang kemas)	Kikir	Penuipan kaca		Engkol
1000		Penarikan dawai			Barang tembikar, porselin (China)	Gam protein	Kincir air
1400		Penuangan pasir, besi tuang	Tukul air		Kertas pasir, pembuatan jam	Majolika, kaca hablur	Rod penyambung, roda tenaga
1600	Acuan kekal	Kaleng plat timah, pengelekan untuk pensyilingan			Tuangan slip		Sesondol, pelarik roda
1800	Kelalang	Penarikan dalam, pengelekan (keluli), penyemperitan		Penggerekan, pelarikan, pemotongan skru	Penyemperitan, kaca plat, porselin (Jerman)		Enjin stim, pengisar gerak, penekan gerudi, kad tebuk
1850	Penuangan empar, mesin pengacuan	Tukul stim, Pengelekan Mg, Al, Ni		Pembentukan, pengisaran, pengisaran kimia	Kaca tingkap daripada silinder lekah	Pemvulkanan	Pemesinan, pelarik penyalin, mesin kisar
1875	Keluli Bessemer	Pengelekan pelandas, pengelekan selanjar			SiC, roda kisar	Penyemperitan getah, pengacuanan, seluloid	Pelarik Turret, pengisar semesta

Gambar 2.1 Sejarah perkembangan proses manufaktur
Sumber: Schey (1988)

2.3 Aluminium

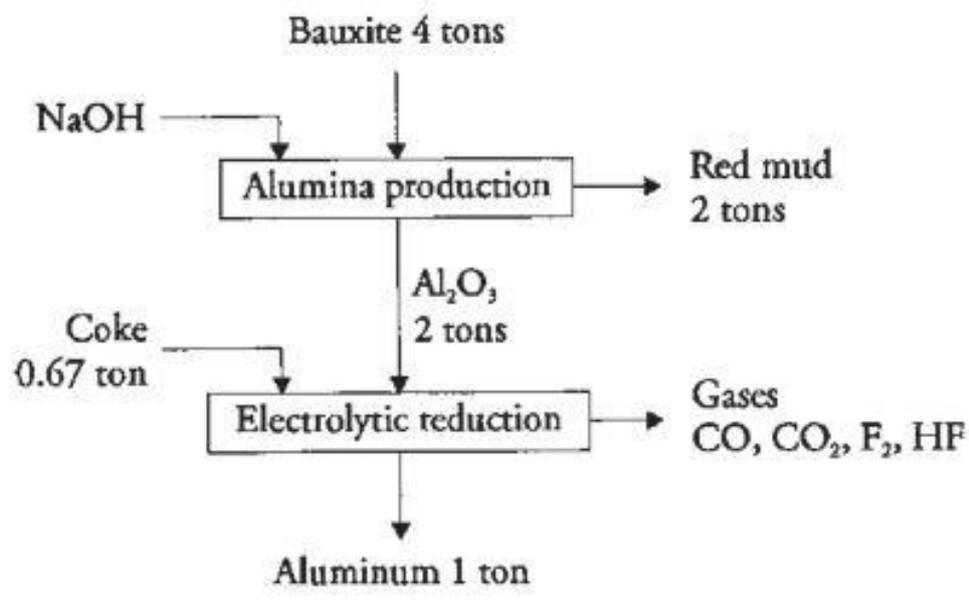
2.3.1 Pengertian Aluminium

Memiliki nomor unsur atom 13 dan diidentifikasi dengan simbol AL pada tabel periodik unsur, membuat aluminium salah satu unsur kimia berlimpah secara luas digunakan diseluruh dunia untuk berbagai macam produk, sehingga mudah kita temukan dalam kehidupan sehari-hari. Karakteristiknya yang ringan dan anti pengkaratan menjadikan material ini laku keras sebagai bahan dasar dalam membuat bermacam-macam produk seperti perkakas rumah tangga, otomotif hingga konstruksi bangunan.

Sejarah aluminium sendiri sudah cukup lama. Berbagai jenis aluminium (tanah liat aluminium) sudah di gunakan selama berabad-abad, tercatat aluminium sudah digunakan sejak zaman Mesir kuno dan bangsa Romawi. Sebelum tahun 1886 aluminium sangat langka dan sulit untuk diekstrak hingga pada tahun tersebut 2 orang mahasiswa berkebangsaan Amerika dan Perancis bernama C.M. Hall serta Paul Herout berupaya untuk mengembangkan proses peleburan biji aluminium untuk mengekstrak aluminium. Keberhasilan metode yang diciptakan Hall dan Herout sekarang banyak diaplikasikan di seluruh dunia. Aluminium sendiri pertama kali diproduksi dengan bebas pada pertengahan 1820-an seorang ahli kimia asal Jerman Frederich Wohler dan ahli kimia serta ahli ilmu fisika yang berasal dari Denmark Hans Oersted Kristen.

2.3.2 Proses Pembentukan Aluminium

Gambar dibawah ini mengilustrasikan proses pembuatan aluminium dari bauxite:



Gambar 2.2 Produksi aluminium
Sumber: Totten (2003)

Berikut langkah-langkah proses biji bauksit menjadi Al_2O_3 :

1. Penghancuran

Pengambilan bahan tambang yang mengandung aluminium seperti (bauksit, corundum, gibbsite), kemudian bahan baku digiling dan dihancurkan hingga halus dan merata untuk masuk ketahap pemanasan guna menghilangkan kadar air yang ada.

2. Pelarutan

Bahan tambang yang mengandung aluminium direaksikan dengan larutan natrium hidroksida pada temperatur 175°C hingga menghasilkan larutan NaAlO_2 .

3. Pengendapan Alumina Hidrat

Melalui proses kristalisasi larutan NaAlO_2 diubah menjadi kristal alumina trihidrat dengan menambahkan bibit kristal.

4. Pemisahan Alumina dengan air

pemanasan pada suhu 1100°C sehingga terbentuk alumina Al_2O_3 dan H_2O yang menjadi uap air.

Dengan metode yang ditemukan seperti yang dijelaskan tadi mengakibatkan aluminium dengan mudah diproduksi massal yang mengakibatkan harga aluminium yang terjangkau untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia.

Setelah dilakukan pemurnian bauksit menjadi alumina, tahap selanjutnya adalah proses peleburan menggunakan metode Hall-Heroult yang didasarkan pada prinsip elektrolisis lelehan garam alumina (campuran alumina (Al_2O_3) dengan kryolite (Na_3AlF_6) pada temperatur yang tinggi. Bejana yang dipakai untuk menyalurkan arus listrik disebut bejana sel elektrolisa rectangular yang mempunyai 2 elektroda, yaitu katoda dan anoda. Alumina dilarutkan dalam larutan kimia (kriolit) pada sebuah tungku atau pot yang dindingnya terbuat dari karbon. Proses reduksi membutuhkan karbon yang didapatkan dari anoda. Arus listrik akan mengelektrolisa alumina menjadi aluminium. Aluminium hasil elektrolisa akan turun ke dasar pot karena perbedaan berat jenis. Reaksi pemurnian alumina menjadi aluminium adalah:



Berdasarkan reaksi diatas produk yang dihasilkan adalah aluminium murni, aluminium ini mengendap pada bejana elektrolisis.

2.3.3 Aluminium Paduan

2.3.3.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang terkenal dan sempurna adalah standar Aluminium Association di Amerika (AA) yang didasari atas standar terdahulu dari Alcoa (Aluminium company

Amerika). Standar AA menggunakan penandaan dengan 4 angka adalah angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur:

1. Al murni
2. Al-Cu
3. Al-Mn
4. Al-Si
5. Al-Mg
6. Al-Mg-Si
7. Al-Zn

Paduan Al-Cu dinyatakan dengan angka 2000. Angka pada tempat kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dan Al murni sedangkan angka ketiga dan keempat dimaksud untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali S, sebagai contoh 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063. Al dengan kemurnian 99% atau di atasnya dengan ketakmurnian terbatas (2S) dinyatakan sebagai 1100. Tabel 2.1 adalah tabel macam-macam aluminium paduan:

Tabel 2.1
Klasifikasi Paduan Aluminium Tempaan

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan	
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya	
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya	
2010-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama	
3003-3009	3S-9S	Mn "	
4030-4039	30S-39S	Si "	
5050-5086	50S-69S	Mg "	
6061-6069			Mg ₂ Si "
7070-7079			

Sumber: Surdia (1999:135)

Aluminium salah satu jenis logam *non ferrous* yang memiliki titik cair 670°C bersifat *non magnetic* dan tahan terhadap korosi dengan membentuk lapisan pasif Al₂O₃ (Suprpto, 2016). Aluminium yang memiliki densitas $2,7 \frac{\text{Gram}}{\text{cm}^3}$ banyak dipakai di bidang otomotif karena memiliki konduktivitas termal yang baik. Berikut ini adalah tabel *physical properties* logam pada temperatur kamar.

Tabel 2.2
Properties Fisik Material Logam

	Density (kg/m ³)	Melting point (°C)	Specific heat (J/kg K)	Thermal conductivity (W/m K)	Coefficient of thermal expansion (μm/m·°C)	Electrical resistivity (Ω·m)
Metallic						
Aluminum	2700	660	900	222	23.6	2.8×10^{-8}
Aluminum alloys	2630–2820	476–654	880–920	121–239	23.0–23.6	$2.8–4.0 \times 10^{-8}$
Beryllium	1854	1278	1884	146	8.5	4.0×10^{-8}
Columbium (niobium)	8580	2468	272	52	7.1	15×10^{-8}
Copper	8970	1082	385	393	16.5	1.7×10^{-8}
Copper alloys	7470–8940	885–1260	377–435	29–234	16.5–20	$1.7–5.9 \times 10^{-8}$
Gold	19,300	1063	129	317	19.3	2.4×10^{-8}
Iron	7860	1537	460	74	11.5	9.5×10^{-8}
Steels	6920–9130	1371–1532	448–502	15–52	11.7–17.3	17.0×10^{-8}
Lead	11,350	327	130	35	29.4	20.6×10^{-8}
Lead alloys	8850–11,350	182–326	126–188	24–46	27.1–31.1	$20.6–24 \times 10^{-8}$
Magnesium	1745	650	1025	154	26.0	4.5×10^{-8}
Magnesium alloys	1770–1780	610–621	1046	75–138	26.0	$4.5–15.9 \times 10^{-8}$
Molybdenum alloys	10,210	2610	276	142	5.1	5.3×10^{-8}
Nickel	8910	1453	440	92	13.3	6.2×10^{-8}
Nickel alloys	7750–8850	1110–1454	381–544	12–63	12.7–18.4	$6.2–110 \times 10^{-8}$
Silicon	2330	1423	712	148	7.63	1.0×10^{-3}
Silver	10,500	961	235	429	19.3	1.6×10^{-8}
Tantalum alloys	16,600	2996	142	54	6.5	13.5×10^{-8}
Titanium	4510	1668	519	17	8.35	42×10^{-8}
Titanium alloys	4430–4700	1549–1649	502–544	8–12	8.1–9.5	$40–171 \times 10^{-8}$
Tungsten	19,290	3410	138	166	4.5	5×10^{-8}
Zinc	7140	419	385	113	32.5	5.45×10^{-8}
Zinc alloys	6640–7200	386–525	402	105–113	32.5–35	$6.06–6.89 \times 10^{-8}$

Sumber: Kalpakjian (2009:89)

2.3.3.2 Macam-Macam Paduan Aluminium

2.3.3.2.1 Aluminium 1100

Material AA1100 dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini, berikut ini sifat fisik dan komposisi dari material AA1100.

Tabel 2.3
Komposisi AA1100

Component	Wt(%)
SI	0,95
Fe	0,05-0,20
Cu	0,05
Mn	0,10
Zn	99,00

Sumber: ASM handbook vol.2 (1993:43)

Tabel 2.4
Sifat fisik Aluminium Alloys AA1100

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	> 99,0
Massa jenis (20°C)	2,6989	2.71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g·°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	> 99,0
Tahanan listrik koefisien temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100 $^{\circ}\text{C}$)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , $a = 4,013 \text{ kX}$	<i>fcc</i> , $a = 4,04 \text{ kX}$

Sumber: Surdia (1999)

3.2.3.2.2 Aluminium 6061

Aluminium dengan seri 6061 adalah salah satu aluminium paduan dengan komposisi Al = 95%-98%, Mg = 0,8%-1,2%, Si = 0,4%-0,8%. Paduan ini memiliki sifat tahan korosi dan kekuatan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena senyawa Mg_2Si berkelakuan sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat dan sangat baik pada ekstrusi dan tahan korosi, dan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.

Gambar menunjukkan hubungan antara kekuatan setelah penuaan dan kadar Mg_2Si . Pada temperatur biasa cukup untuk dapat dikeraskan dengan penuaan akan tetapi pengerasan maksimum dapat dicapai dengan jalan perlakuan perlarutan pada 500 $^{\circ}\text{C}$. sedangkan Gambar 2.3 menunjukkan contoh perlakuan panas dan sifat-sifat mekanik untuk paduan sistem ini.

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Kekerasan Brinell	Batas leleh (kgf/mm ²)
6061	O	12,6	5,6	30	8,4	30	6,3
	T4	24,6	14,8	28	16,9	65	9,5
	T6	31,6	28,0	15	21,0	95	9,5

Gambar 2.3 Sifat aluminium 6061

Sumber: Surdia (1999:140)

Key Words: al6061, UNS A96061; ISO AlMg1SiCu; Aluminium 6061-T6, AD-33 (Russia); AA6061-T6; 6061T6, UNS A96061; ISO AlMg1SiCu; Aluminium 6061-T651, AD-33 (Russia); AA6061-T651

Component	Wt. %	Component	Wt. %	Component	Wt. %
Al	95.8 - 98.6	Mg	0.8 - 1.2	Si	0.4 - 0.8
Cr	0.04 - 0.35	Mn	Max 0.15	Ti	Max 0.15
Cu	0.15 - 0.4	Other, each	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.7	Other, total	Max 0.15		

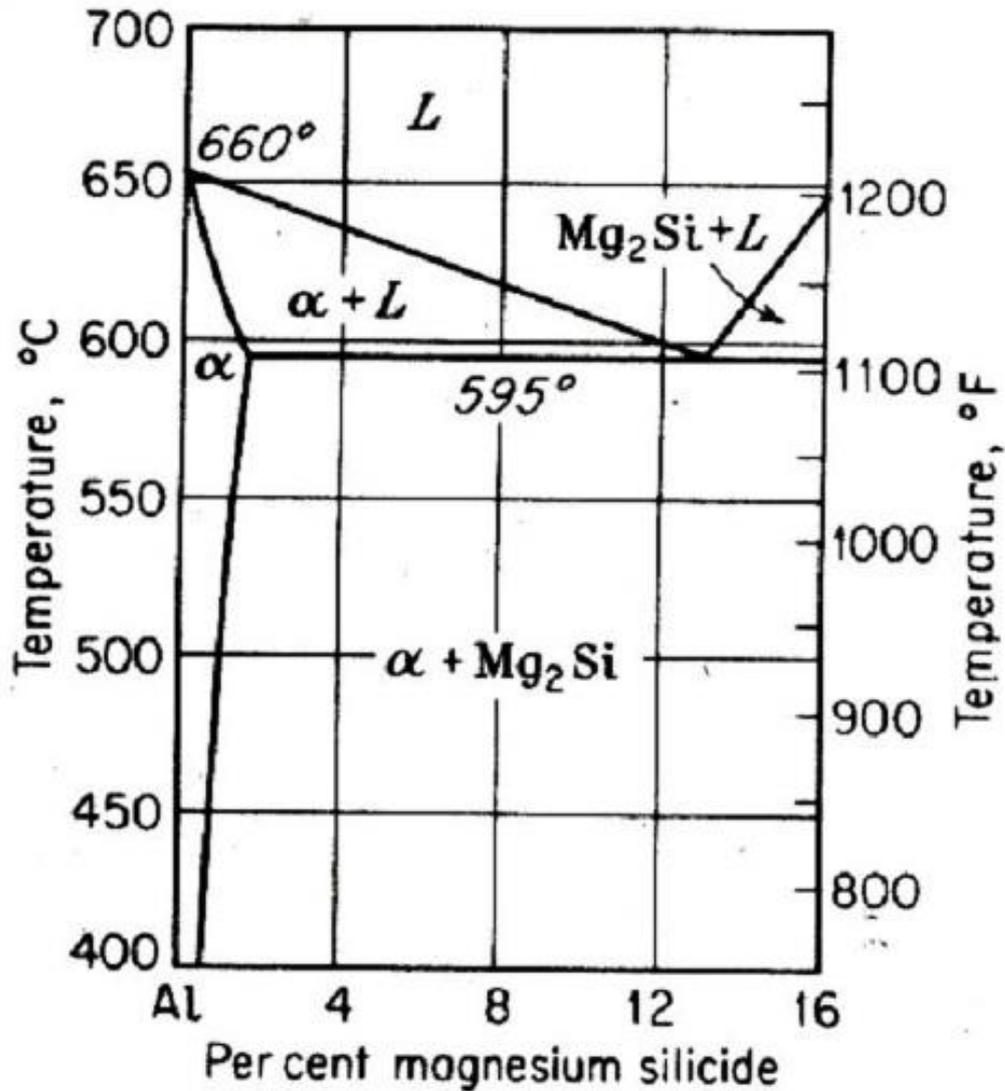
Gambar 2.4 Komposisi umum 6061

Sumber: ASM Aero Space Metal Inc.

2.3.3.2.3 Diagram Fasa Al-Mg-Si

Diagram fasa Al- Mg – Si bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi pada material akibat perubahan temperature maupun perbedaan komposisi kandungan unsur

paduan magnesium-silicon. Al – Mg – Si memiliki titik lebur 595°C hingga memasuki fasa *austenite* yang merupakan daerah transisi antara fasa pada menjadi cair. Titik cari Al – Mg – Si sendiri berada pada suhu 660°C.



Gambar 2.5 Diagram fasa Al – Mg – Si
Sumber: Heine (1976)

2.4 Metal Cladding

Metal *Cladding* adalah proses penggabungan dua atau lebih lembaran metal berbeda propertis dan karakteristik untuk menghasilkan satu lembar baru dengan sifat yang lebih baik. Metal *cladding* bertujuan untuk memberikan ketahanan korosi, serta perbaikan sifat sifat yang tidak dimiliki oleh satu jenis logam saja. Material metal *cladding* sangat cocok untuk rumah di daerah pesisir pantai karena tidak mudah korosi dan tahan terhadap angin laut yang banyak mengandung garam dan intensitas yang cukup kencang. Jenis uang logam

juga merupakan hasil dari metal *cladding* pada awal-awal mata uang logam menggunakan perak padat namun saat ini sudah menggunakan *cladding* nikel pada substrat tembaga.

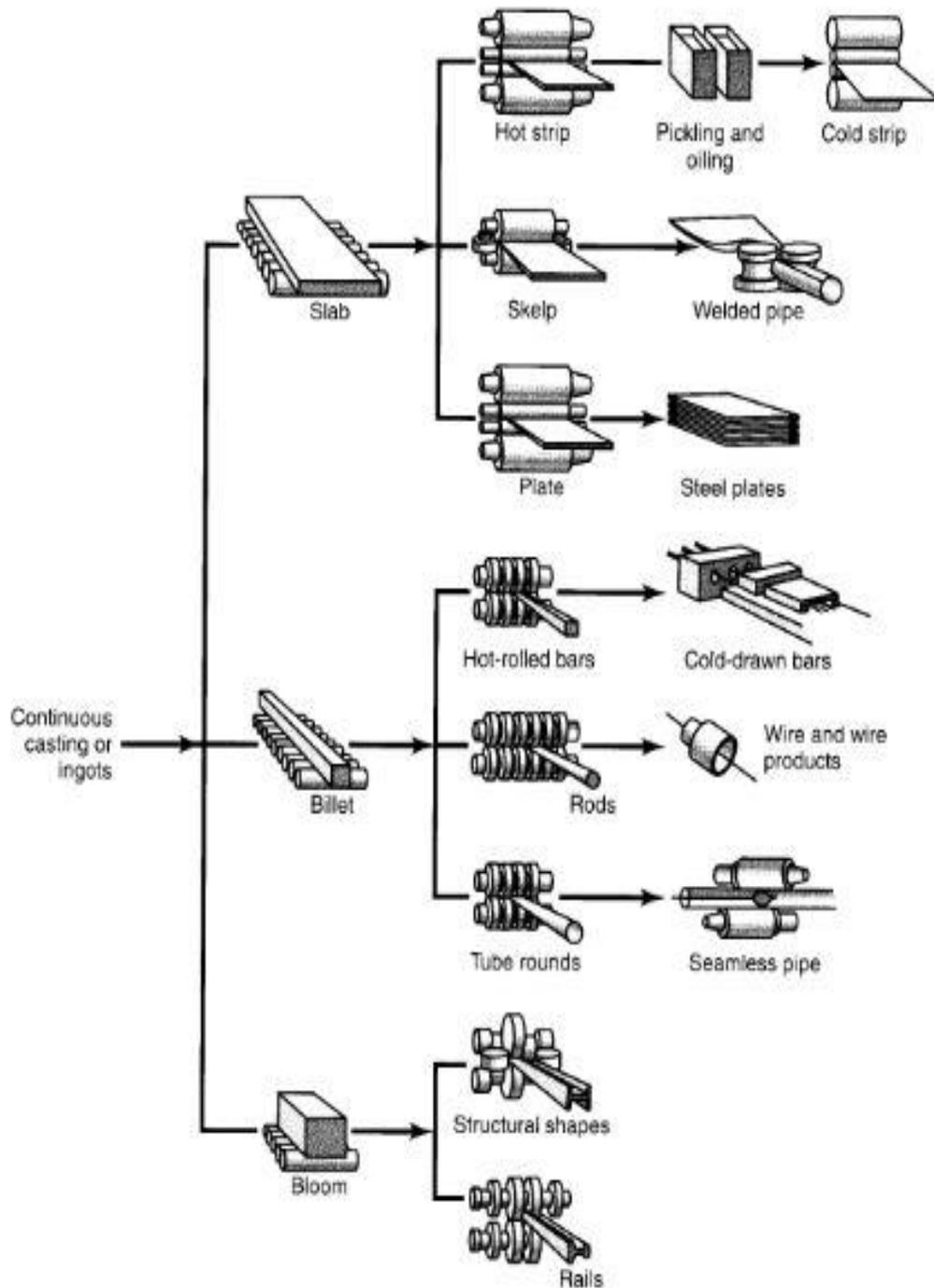
Salah satu cara menghasilkan *cladding* atau pelapisan dengan mengekstruksi dua macam material hingga terdeformasi plastis melalui proses penekanan. *Rolling* adalah salah satu metode untuk menghasilkan *cladding* dengan jenis material berupa lembaran.

2.5 Rolling

Rolling adalah proses reduksi ketebalan atau perubahan panjang pada benda kerja diakibatkan oleh tekanan gaya menggunakan struktur *roll* yang sudah dibentuk. Proses *rolling* digunakan 90% untuk memproduksi metal dengan proses *metalworking*, proses *rolling* sudah dikembangkan sejak akhir tahun 1500. Dasar dari pengoprasian *rolling* adalah *flat rolling*, atau *rolling* yang sederhana. Dimana proses *rolling* hanya menghasilkan material berbentuk pelat dan lembaran.

Proses *rolling* yang menghasilkan pelat atau lembaran sudah diaplikasikan dalam kehidupan tergantung dengan ketebalan itu sendiri. Jika ketebalan lebih dari 6 mm (1/4in.) digunakan untuk struktur lambung kapal, boiler, jembatan, struktur mesin, dan nuklir kapal. pelat dengan ketebalan 0,3 m (12 in) bisa membuat boiler yang lebih besar sedangkan ketebalan 150 mm (6 in.) digunakan untuk reaktor kapal dan 100-125 mm (4-5 in) diaplikasikan untuk kapal perang dan tank.

Dengan seiringnya perkembangan aplikasi *rolling* dengan sendirinya produk yang dihasilkan oleh *rolling* tidak hanya berbentuk pelat atau lembaran. Dengan memodifikasi set *roll* yang ada hasil *rolling* bisa menghasilkan material berbentuk pejal dan bahkan berbentuk rel kereta api. Gambar 2.6 memperlihatkan bermacam-macam set *roll* dan hasil pengerolannya.



Gambar 2.6 Variasi flat rolling dan shape rolling

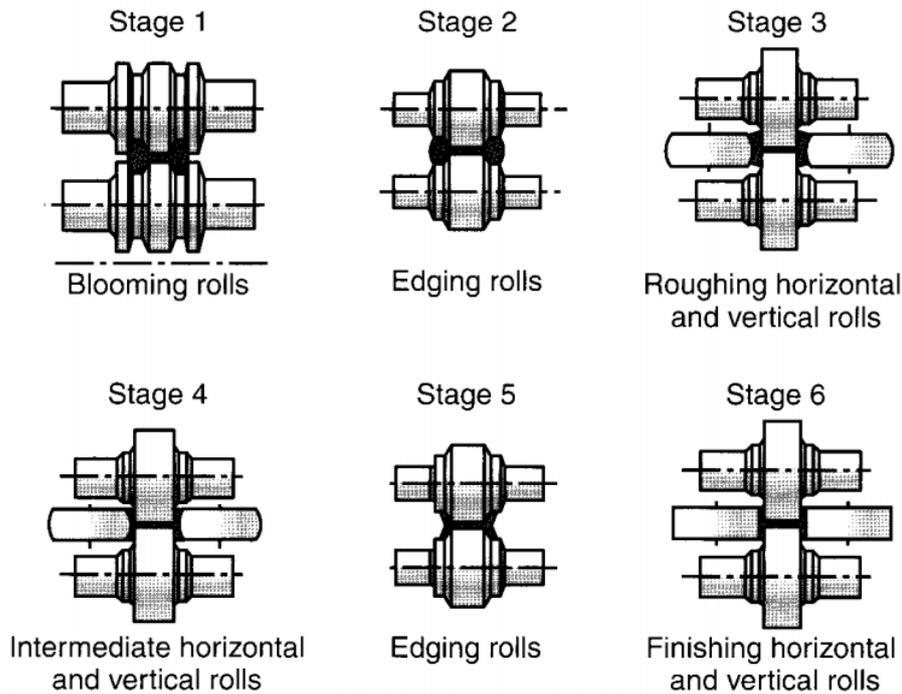
Sumber: Kalpakjian (1991)

Beberapa proses rolling telah dikembangkan untuk memproduksi bentuk produk yang spesifik, variasi dari pengerolan 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 2.7. Pada

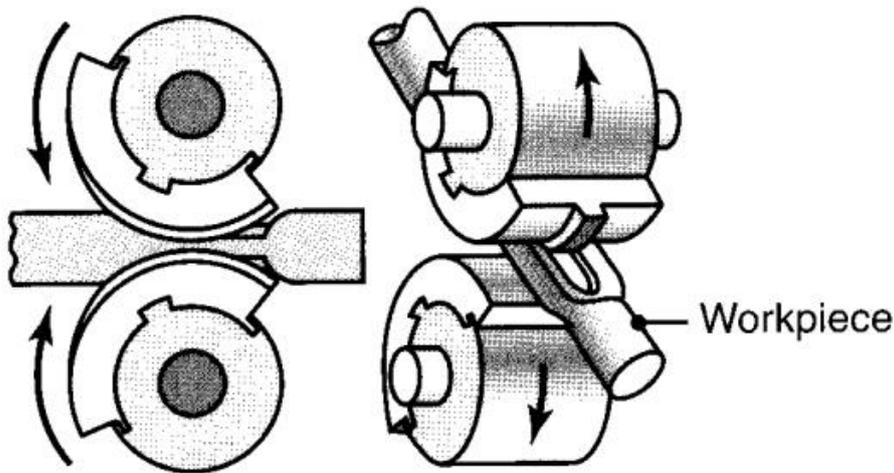
Gambar 2.7 benda kerja akan melewati banyak *stage* dimana setiap *stage* memiliki bentuk celah yang berbeda sampai akhirnya benda kerja memiliki bentuk yang sesuai dengan desain. *Cold shape rolling* juga dapat dilakukan dengan material awal berupa kawat dengan berbagai penampang. Penampang material 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 2.7 Langkah dalam *shape rolling* dari pembentukan I-Beam
 Sumber: Kalpakjian (2009:327)

2. *Roll forging*

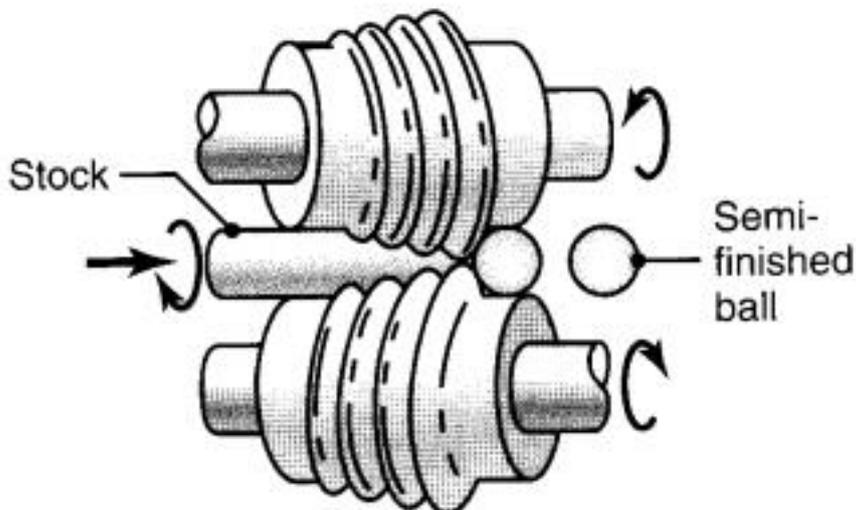
Pada proses ini penampang dari benda kerja dibentuk dengan cara dilewatkan melalui sepasang *roll* yang profilnya memiliki alur seperti Gambar 2.8. *Roll forging* biasanya digunakan untuk memproduksi *tapered shaft*, dan *tapered leaf spring*.



Gambar 2.8 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 2.9.

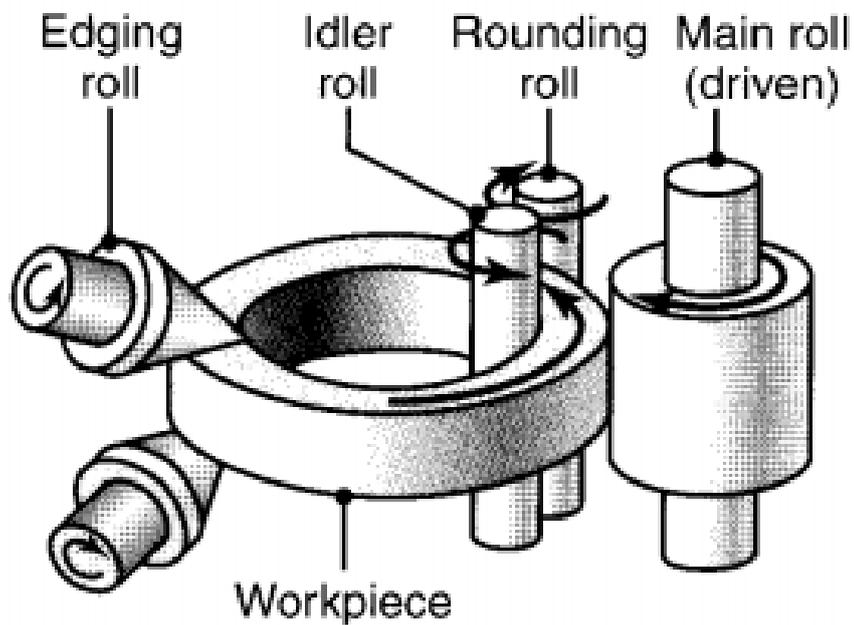


Gambar 2.9 Skew rolling
Sumber: Kalpakjian (2009:328)

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 2.10. *Ring rolling* biasanya digunakan untuk memproduksi cincin dengan diameter dan ketebalan yang

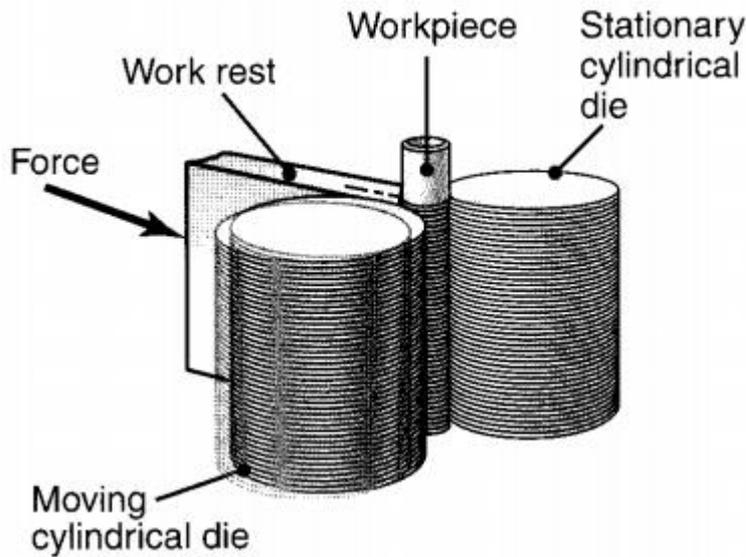
besar dan digunakan untuk badan roket dan turbin, pembungkus mesin jet, pelek, bagian luar *bearing*, *flanges*, dan cincin penguat untuk pipa.



Gambar 2.10 Ring rolling.
Sumber: Kalpakjian (2009:329)

5. Thread rolling

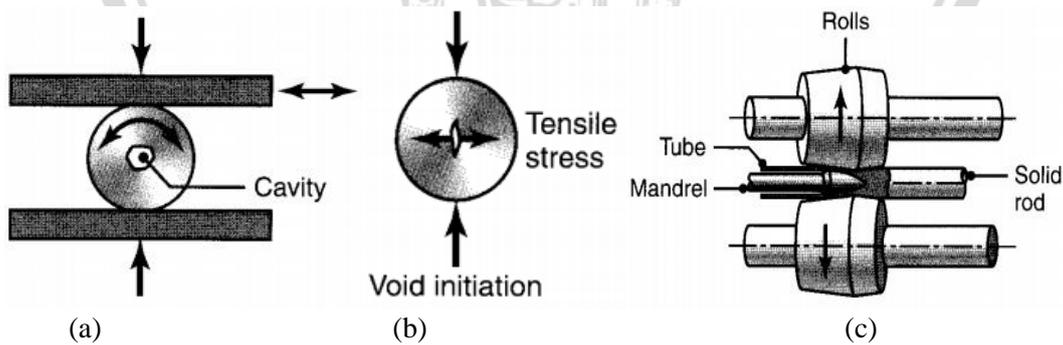
Thread rolling adalah proses *cold-forming* dimana ulir lurus atau *tapered* (meruncing) dibentuk pada *round rods* atau *round wire*. Ulir terbentuk setelah melewati *roll* yang berputar dimana profil *roll* memiliki alur yang akan membentuk ulir pada benda kerja seperti Gambar 2.12. *Thread rolling* 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 2.11 Thread rolling
 Sumber: Kalpakjian (2009:330)

6. Rotary tube piercing

Proses pengrolan 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 bar yang dapat dilihat pada Gambar 2.12(a), saat gaya tekan radial terus berlanjut yang dapat dilihat pada Gambar 2.12(b) maka celah pada pusat *round bar* akan mulai berkembang. *Rotary tube piercing* dilakukan menggunakan sebuah pengaturan dari *roll* yang berputar ditunjukkan pada Gambar 2.12(c) putaran dari *roll* akan menarik *round bar* menuju *mandrel*, *mandrel* berfungsi untuk melebarkan celah dan membentuk lubang sesuai dimensi pada *round bar*.

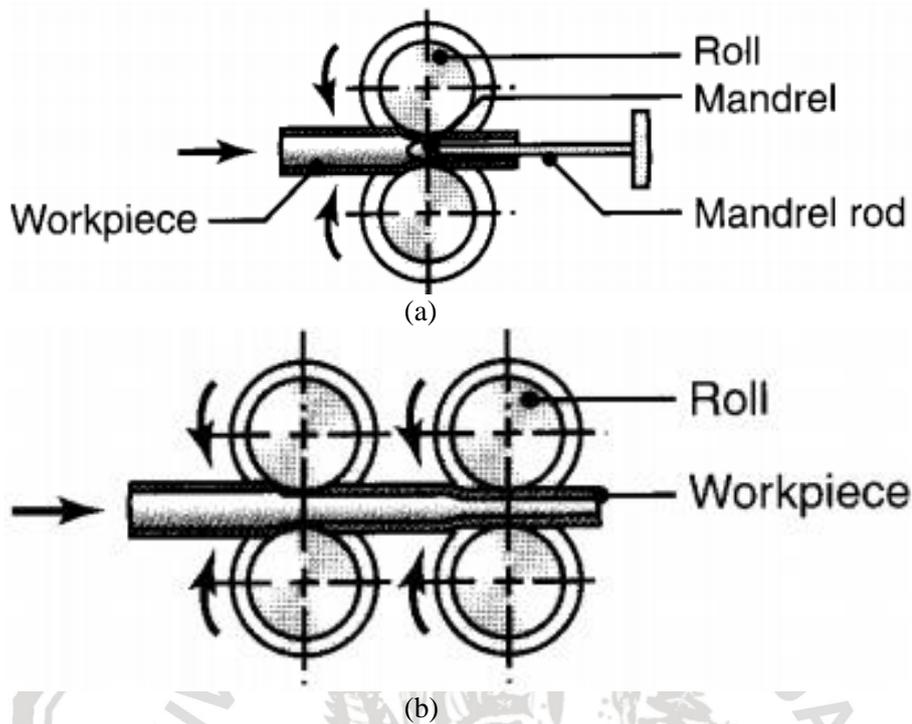


Gambar 2.12 Rotary tube piercing
 Sumber: Kalpakjian (2009:331)

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

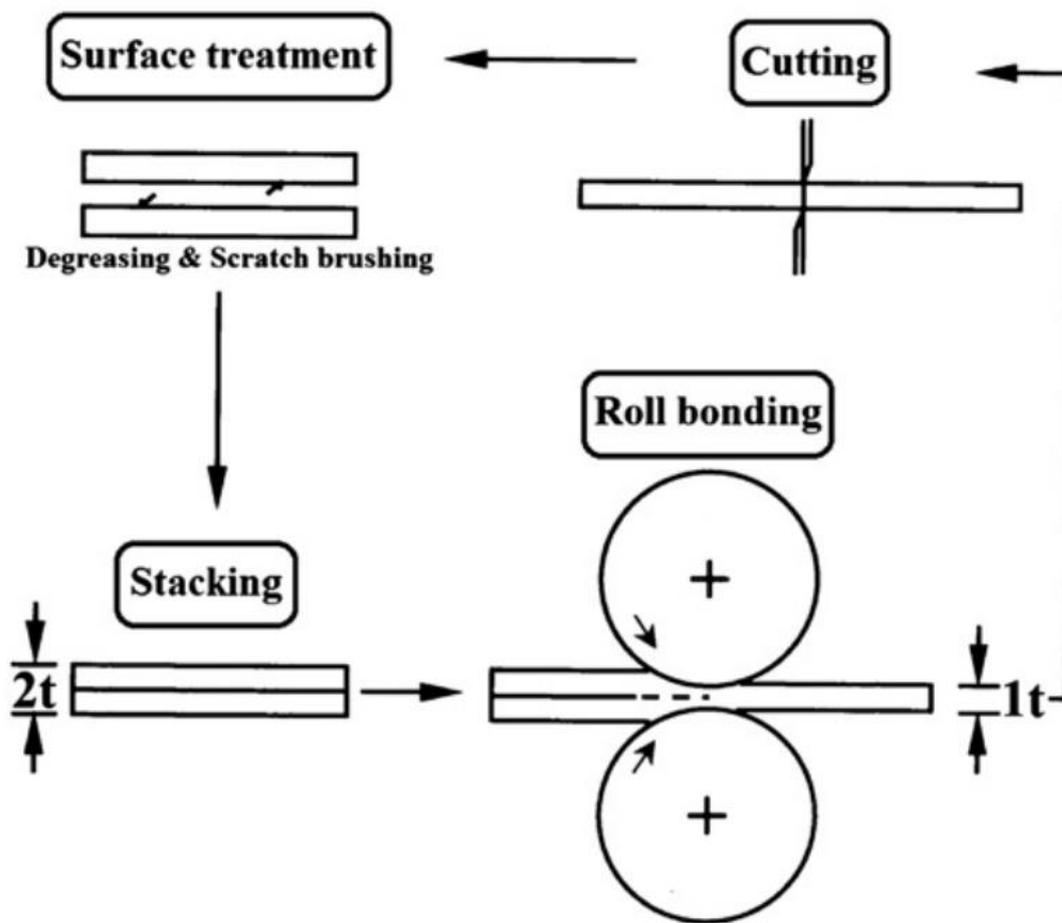
menggunakan *mandrel* yang ditunjukkan pada Gambar 2.13(a) atau tidak menggunakan *mandrel* yang ditunjukkan pada Gambar 2.13(b).



Gambar 2.13 (a) *Tube rolling* menggunakan *mandrel* (b) *Tube rolling* tanpa *mandrel*
Sumber: Kalpakjian (2009:332)

2.6 Roll Bonding

Roll bonding ditemukan oleh N. Tsuji pada tahun 1998 mereka menyatakan bahwa *roll bonding* adalah proses deformasi yang terjadi secara menyeluruh, dengan tujuan menggabungkan dua lembaran material pada proses *roll bonding*. Dengan menggunakan tekanan yang cukup tinggi menghasilkan material yang terdeformasi dan mereduksi ketebalan untuk menggabungkan 2 buah atau lebih material. Proses ini bisa dilakukan pada suhu ruang atau pada kondisi hangat atau panas. Gambar 2.14 menunjukkan skema dari proses *roll bonding*.



Gambar 2.14 Proses roll bonding
Sumber: Toroghinejad *et al* (2017)

Terdapat lima tahapan dalam proses *roll bonding* yaitu dimensi, persiapan permukaan, menjepit, pemanasan permukaan, dan *rolling*.

1. Dimensi

Dimensi merupakan proses pertama dalam melakukan *roll bonding*. Dimensi adalah pemotongan lembaran logam sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan, panjang kali lebar kali tinggi (ketebalan) lembaran harus dispesifikasikan, untuk ketebalan harus di perhitungkan ketebalan awal dan ketebalan akhir sebelum memulai pengerolan.

2. Persiapan Permukaan

Persiapan permukaan bertujuan untuk menghilangkan lapisan kontaminasi pada permukaan material yang akan di *bonding*, cukup membersihkan atau menghilangkan lapisan kontaminasi pada satu sisi saja yang akan digunakan untuk penggabungan.

3. Menjepit

Menjepit dua material atau lebih bisa dengan berbagai macam cara mulai dengan memberikan pengikat berupa kawat pada kedua sisi dengan cara membuat lubang untuk mengikatnya atau dengan mengelas pada tiap itu.

4. Pemanasan permukaan

Pemanasan permukaan adalah proses pemanasan material sebelum mengalami pengerolan. Pemanasan yang diberikan pada material bertujuan agar mudah di bentuk dan tidak sampai lunak atau mencair.

5. *Rolling*

Dalam proses ini persiapan alat *rolling* di perhatikan agar tidak terjadi kesalahan saat melakukan *roll bonding*, seperti mengatur kecepatan putar *roll*, jarak antara *roll*, tekanan yang harus dihasikan selama proses *rolling*.

2.7 *Hot Rolling*

Hot rolling pada hakekatnya adalah proses pengerolan yang dilakukan pada temperatur di atas temperatur rekristalisasi bahan. Hal ini mempunyai arti fisik bahwa deformasi berlangsung pada daerah rekristalisasi. Rekristalisasi yang terus menerus inilah yang menyebabkan tidak adanya pengerasan regangan, sehingga logam tetap relatif lunak selama proses *hot rolling*. Proses *hot rolling* terhadap pelat dilakukan dengan dua tujuan utama. Pertama adalah untuk menipiskan pelat menjadi pelat dengan reduksi pengerolan yang cukup besar. Tujuan yang kedua adalah untuk memperbaiki strukturmikro, yang dapat diartikan sebagai mengubah struktur coran pada pelat menjadi struktur yang lebih homogen. Selain itu *hot rolling* juga akan menyeragamkan struktur dan distribusi kadar unsur paduan yang tadinya tidak homogen akibat adanya segregasi pada saat pembekuan. *Hot rolling* juga akan memecah dan menghaluskan inklusi serta menutup porositas. Parameter proses pengerolan dapat juga dipakai untuk mengontrol sifat pelat yang dihasilkannya. Hal ini sejalan dengan prinsip yang menyatakan bahwa sifat bahan itu dipengaruhi oleh struktur bahan dan struktur bahan dipengaruhi oleh komposisi bahan dan proses pengolahannya.

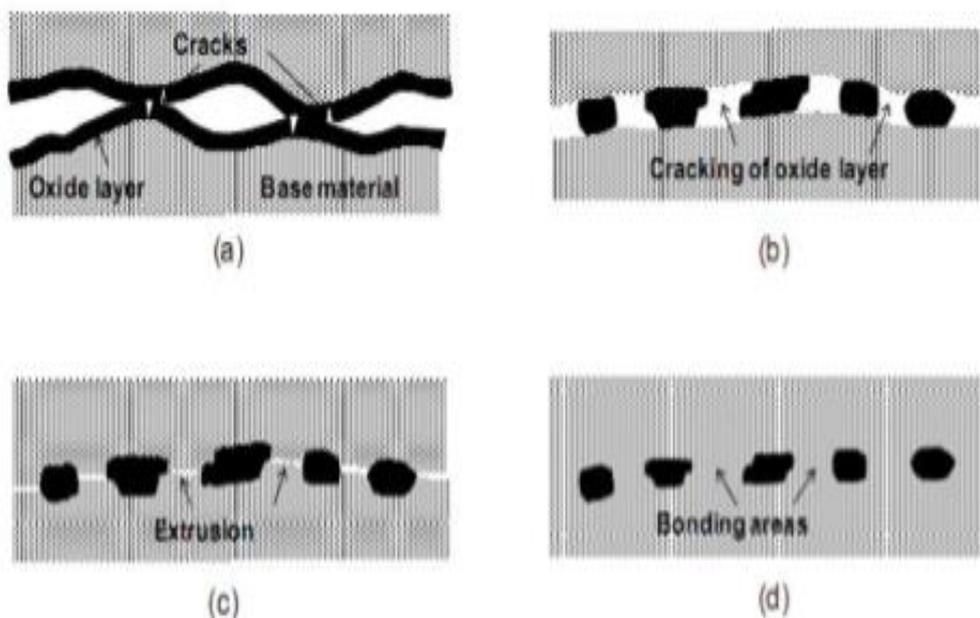
2.8 *Cold Rolling*

Pengerolan dingin digunakan untuk menghasikan lembaran atau strip yang memiliki kualitas akhir yang lebih baik serta kesalahan dimensional yang lebih kecil dibandingkan hasil proses pengerolan panas. Selain itu pengerasan akibat pengerolan saat kondisi dingin dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan material. *Cold rolling* sebagian besar di pilih

dari pada pengerjaan panas, untuk material logam bukan besi dalam proses akhir pengerjaan logam. Perbedaan mendasar dari *cold rolling* dan *hot rolling* adalah keadaan suhu material saat proses *rolling*, dimana suhu pada saat *hot rolling* berada di atas suhu rekristalisasi yang memberikan perubahan struktur pada material, sedangkan untuk *cold rolling* material mempunyai suhu dibawah suhu rekristalisasi yang mengindikasikan tidak ada perubahan struktur material akibat suhu dan perubahan material hanya disebabkan oleh proses *rolling* itu sendiri.

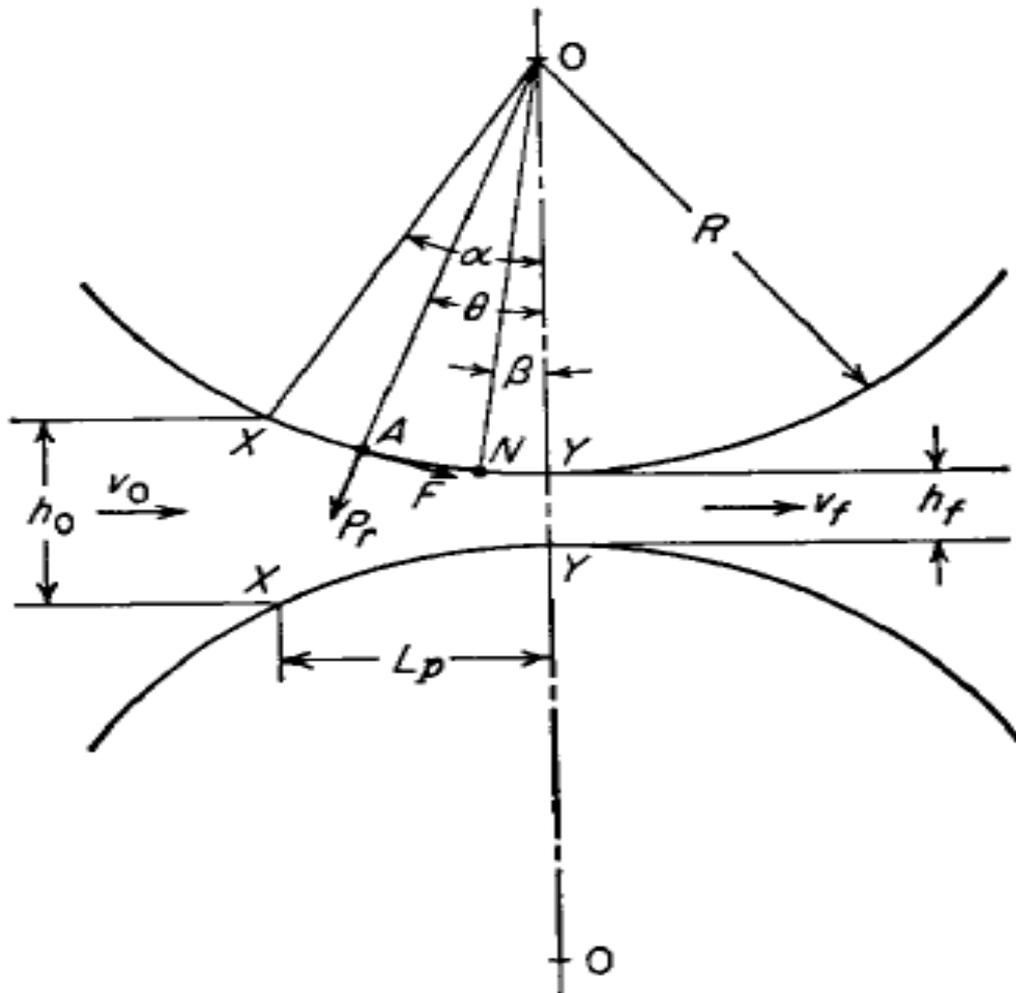
2.9 Mekanisme *Bonding*

Terdapat berbagai macam faktor yang mempengaruhi mekanisme *roll bonding* seperti *mechanical interlocking*, *capitavating of energy barrier*, ikatan antar permukaan dan rekristalisasi selama proses pemanasan dari pelat. Lapisan kontak terdiri dari lapisan yang keras dan lapisan yang relatif rapuh (Manesh, 2004). Selama proses pengerolan kedua permukaan pelat mengalami gesekan yang tinggi, mengakibatkan 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 dogma dasar melekat pada lapisan blok yang mengereas (Wright et al., 1978).



Gambar 2.15 Mekanisme *bonding*
 Sumber: Lauvdal (2011)

2.10 Gaya-Gaya Pengerolan



Gambar 2.16 Gaya-gaya pengerolan

Sumber: Dieter (1988)

dengan:

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

Gambar 2.16 diatas memperlihatkan sejumlah hubungan antara geometri pengerolan dengan gaya-gaya yang terlibat pada deformasi logam. Suatu lembaran dengan ketebalan h_0 masuk melalui bidang masuk XX dengan kecepatan v_0 . Anggaphlah tidak terjadi pelebaran, jadi penekanan logam kearah vertikal berubah menjai perpanjangan pada arah pengerolan. Maka didapatkan persamaan:

$$b \cdot h_0 \cdot v_0 = b \cdot h \cdot v = b \cdot h_f \cdot v_f \quad (2-1)$$

keterangan:

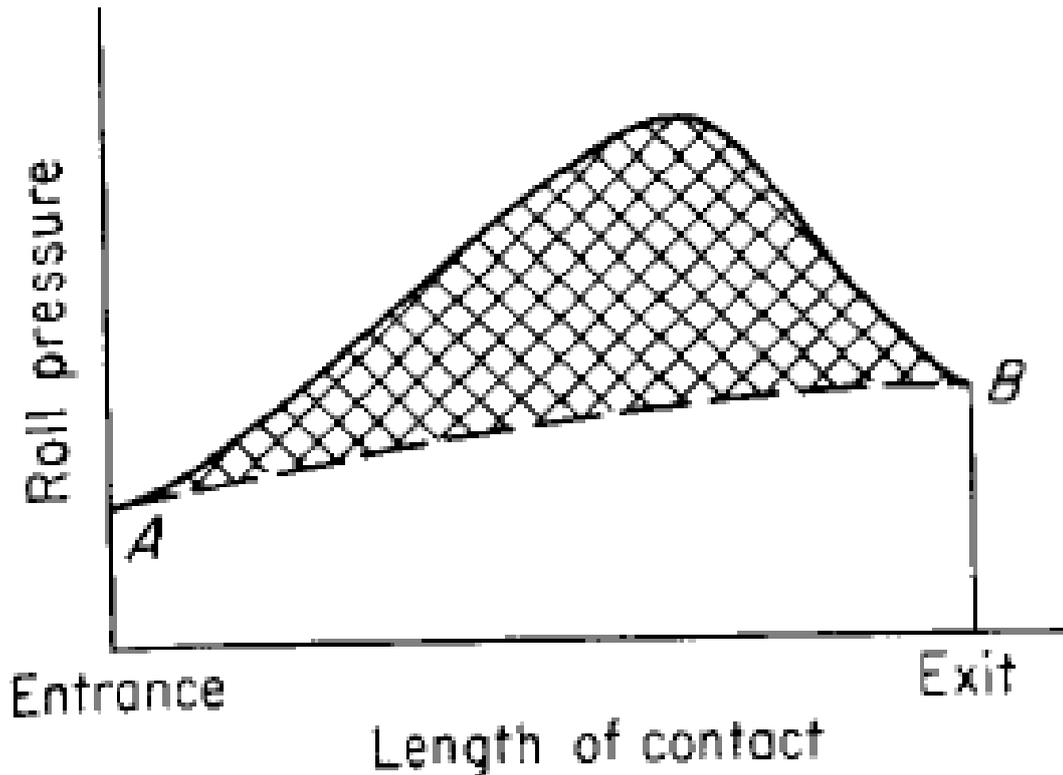
b = Lebar lembaran

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 rol v_f sama dengan kecepatan lembaran. Titik ini dinamakan *no-slip point*. Pada Gambar 2.16 dinyatakan sebagai N.

Pada titik A Gambar 2.16 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 dibidang permukaan *roll* dan terjadi gesekan pada arah yang ditunjukkan pada Gambar 2.16 sehingga logam tertarik antara *roll*. Pada daerah kanan titik N, gerak lembaran lebih cepat daripada permukaan *roll* sehingga arah gaya gesekan berbalik sehingga berfungsi sebagai hambatan arah gerak lembar yang menggilingkan *roll*.

Distribusi tekanan *roll* di sepanjang busur kontak ditunjukkan pada Gambar 2.16 adalah daerah yang menyatakan gaya yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan antara rol dan lembaran, sedangkan daerah di bawah garis putus-putus AB menyatakan gaya yang dibutuhkan untuk membentuk logam.



Gambar 2.17 Distribusi Tekanan Rol Sepanjang Busur Kontak
 Sumber: Dieter (1998)

Sudut α antara bidang masuk dan garis pusat pengerolan dinamakan sudut kontak atau sudut gigi (*angle of bite*). Gambar 2.17 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 mengarah ke celah *roll* harus lebih besar atau sama dengan gaya normal yang cenderung menjauh benda kerja dari celah *roll*. Syarat batas untuk memasukan pelat tanpa gaya luar adalah:

$$F \cos \alpha = P \sin \alpha \tag{2-2}$$

$$\frac{f}{p} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \tag{2-3}$$

$$F = \mu Pr \tag{2-4}$$

Benda kerja tidak dapat dimasukkan ke celah rol, jika garis singgung sudut kontak melebihi koefisien gesekan. Jika $\mu = 0$, pengerolan tidak dapat terjadi tetapi jika nilai μ bertambah maka slab yang dimasukan ke dalam rol bertambah besar. Untuk kondisi gesekan yang sama, rol berdiameter besar akan memungkinkan masuknya slab yang bertambah besar. Hal ini terjadi karena meskipun sudut antara pusat rol dengan bidang masuk akan sama dalam kedua kasus ($\tan \alpha$) tetapi panjang busur kontak akan berbeda cukup besar.

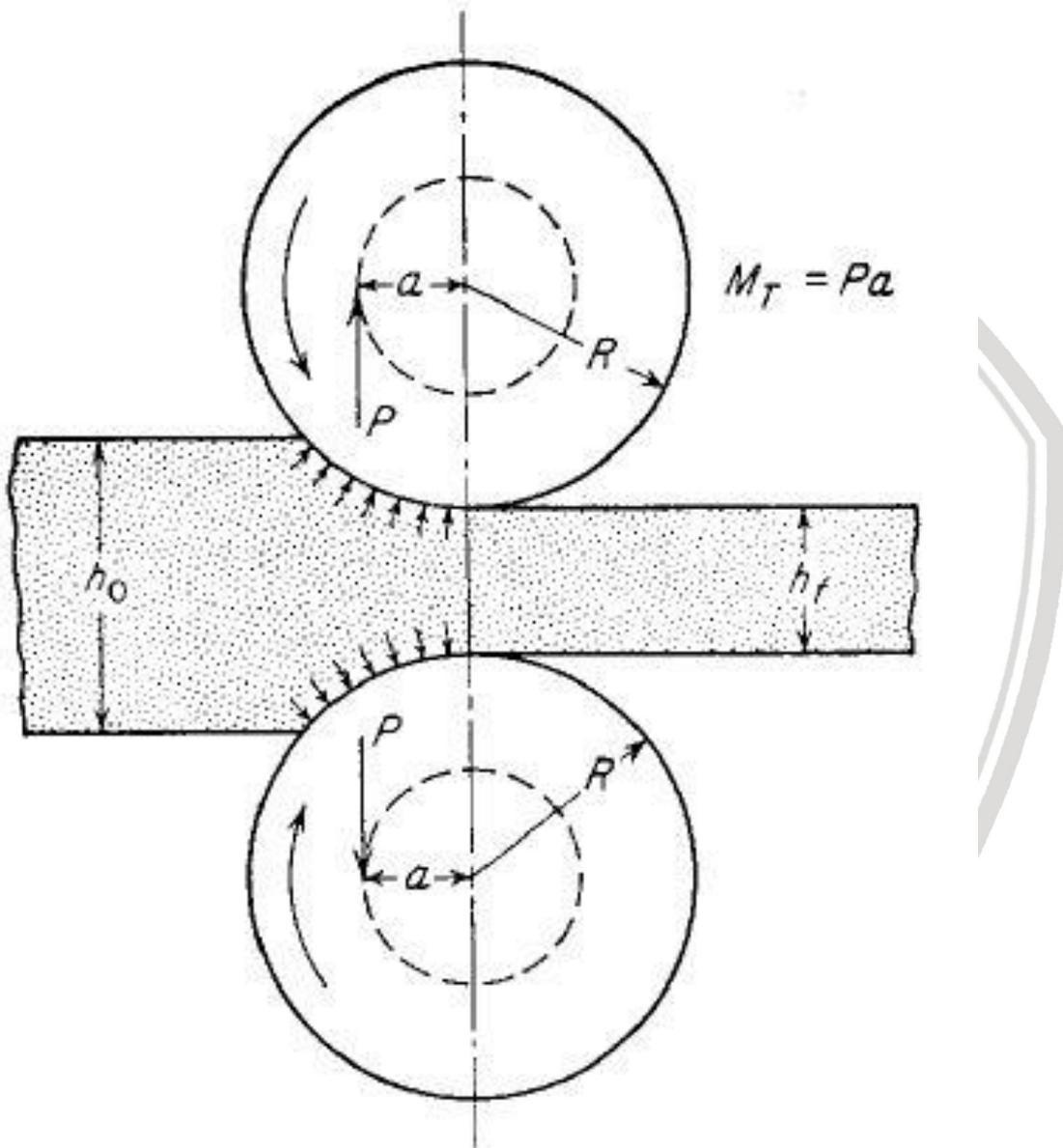
Beban rol merupakan beban yang diberikan *roll* kepada material yang mengalami *roll bonding* agar material mengikat beban *roll* harus di perhatikan agar beban *roll* sanggup untuk

memberikan beban. Beban *roll* dapat dihitung dari perkalian tekanan *roll* dengan luas daerah kontak antara *roll* dengan logam.

$$P = pbL_p = \sigma_o b \sqrt{R \Delta h} \tag{2-5}$$

Besarnya torsi sama dengan beban pengerolan total dikalikan dengan lengan momen efektif, dan karena terdapat dua buah rol kerja, maka besarnya torsi diberikan oleh:

$$M_t = 2Pa \tag{2-6}$$



Gambar 2.18 Skema ilustrasi torsi *roll*
 Sumber: Dieter (1998)

2.11 Permasalahan dan Cacat Pada Hasil Rol

Menurut Dieter (1988), bahwa terdapat 2 aspek yang mempengaruhi bentuk lembaran pelat rol. Yang pertama adalah mengenai tebal seragam pada arah lebar dan panjang. Tebal lembaran dapat diukur secara teliti. Yang kedua adalah kedataran permukaan (kerataan) lembaran. Sulit untuk menentukan besaran ini secara teliti, khususnya lembaran bergerak melalui mesin secara kontinu pada kecepatan yang tinggi.

1. *Alligatoring*

Alligatoring pada Gambar 2.19 merupakan cacat pelat hasil rol yang disebabkan oleh deformasi 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.



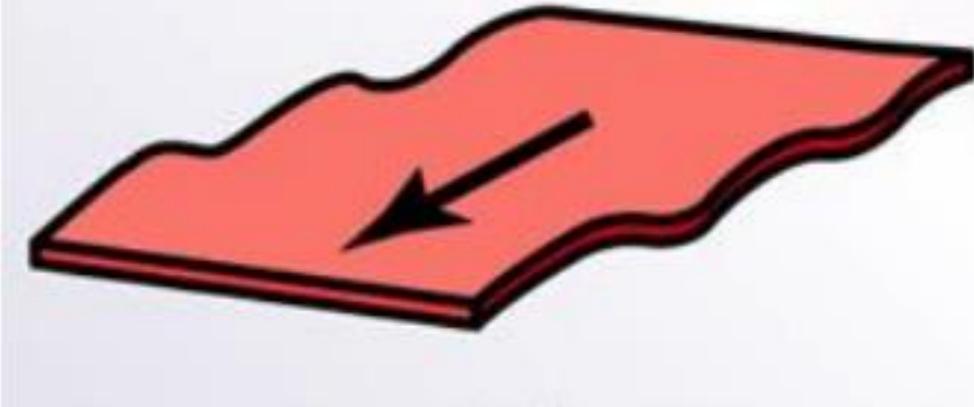
Gambar 2.19 *Alligatoring*

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009:324)

2. *Wavy edge*

Wavy edge atau *edge wrinkling* pada Gambar 2.19 disebabkan oleh *roll bending*. *Wavy edges* adalah cacat hasil rol 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.

Rolling direction



Gambar 2.20 Ways Edges

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009:324)

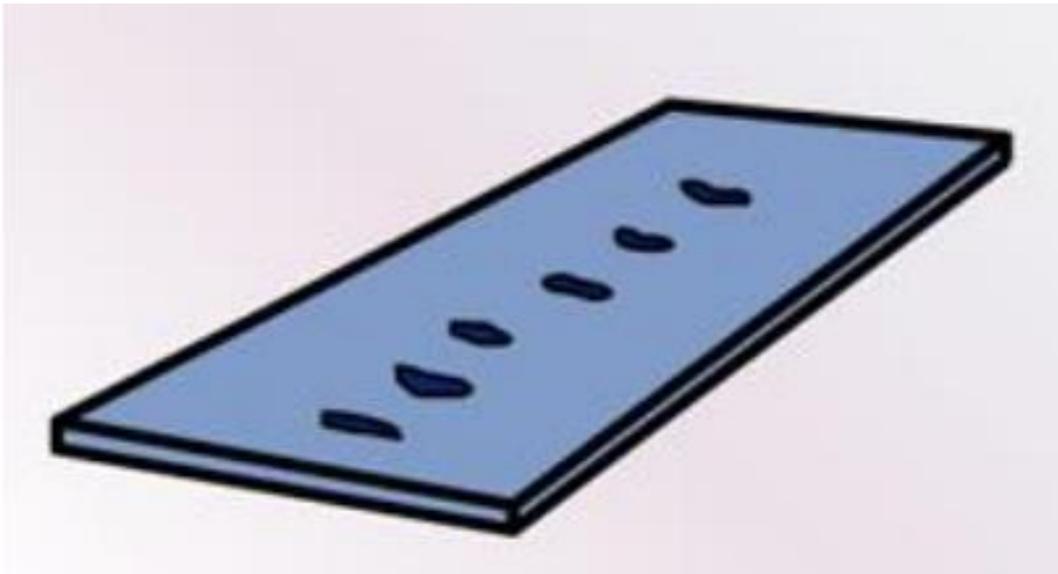
3. *Side Cracks* atau *Middle Cracks*

Side cracks atau *middle cracks* pada Gambar 2.21 dan Gambar 2.22 adalah cacat hasil pengerolan yang disebabkan oleh buruknya sifat *ductile* pada material yang digunakan. Selain itu *side cracks* atau *middle cracks* dapat disebabkan oleh desain rol yang kurang tepat sehingga selisih diameter bagian tengah rol dan bagian tepi rol yang terlalu besar sehingga menyebabkan *side cracks* atau *middle cracks*.



Gambar 2.21 Side Cracks

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009:324)



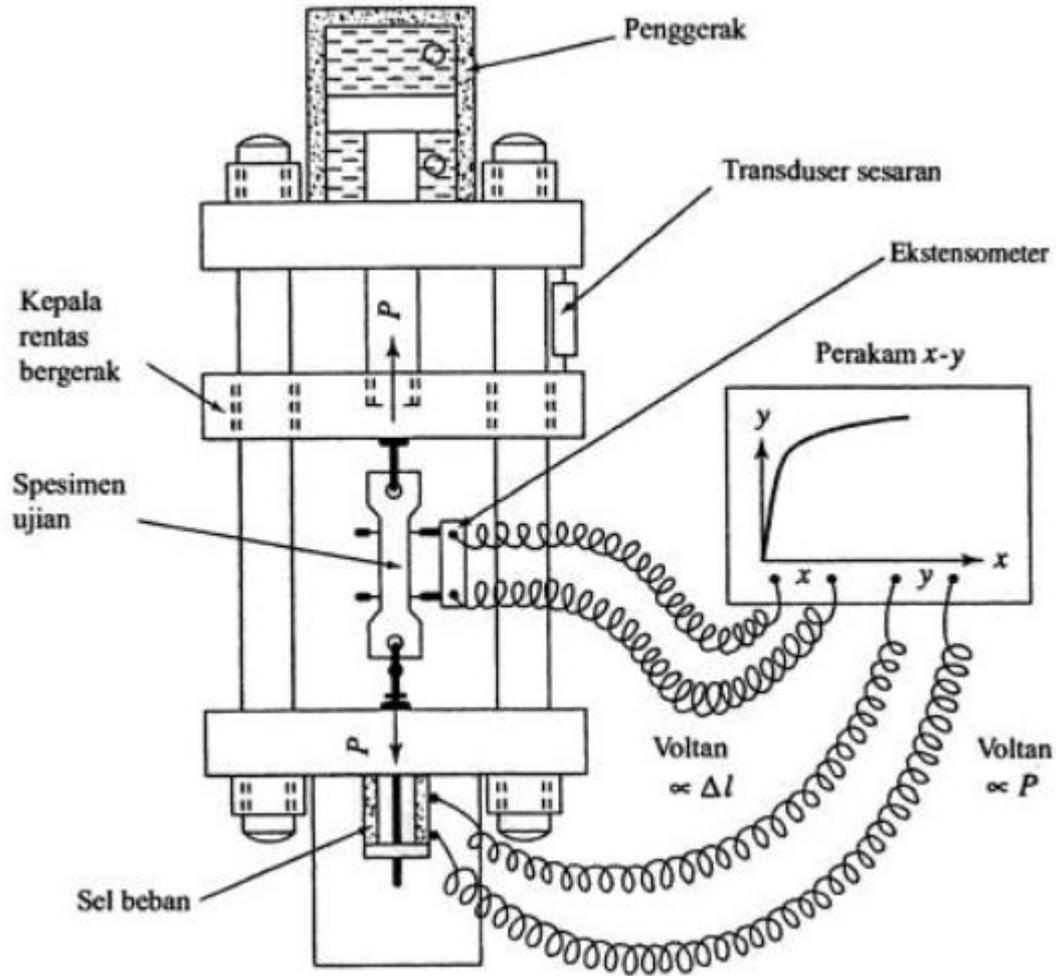
Gambar 2.22 Middle Cracks

Sumber: Kalpakjian dan Schmid (2009:324)

2.12 Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter,1978). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil 1955).

Proses pengujian uji tarik, dimensi spesimen di bentuk dengan bagian kepala lebih besar (masing-masing ujung spesimen) untuk memastikan tidak terjadi slip saat proses penarikan. Ada standar geometri spesimen untuk melakukan uji tarik material berbentuk silinder atau pelat, terdapat berbagai macam standar yang bisa menggunakan dalam menentukan geometri spesimen uji tarik. Standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*) E8-82 atau standar JIS (*Japan Industry Standar*) Z 220 bisa dijadikan acuan dalam menentukan geometrinya.



Gambar 2.23 Universal testing machines
 Sumber: Schey (1988)

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 specimen (A_0), yang dapat dirumuskan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{2-7}$$

dengan:

σ = Tegangan Tarik (N/mm^2)

P = Beban tarik (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

Sedangkan untuk kekuatan tarik *ultimate* terjadi ketika nilai tegangan tarik tertinggi terjadi, hal tersebut dapat di rumuskan sebagai berikut.

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A_0} \tag{2-8}$$

dengan:

σ_{max} = Kekuatan tarik *ultimate* (MPa)

P_{max} = Beban tarik maksimum (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula (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:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2-8)$$

dengan:

\mathcal{E} = Regangan (%)

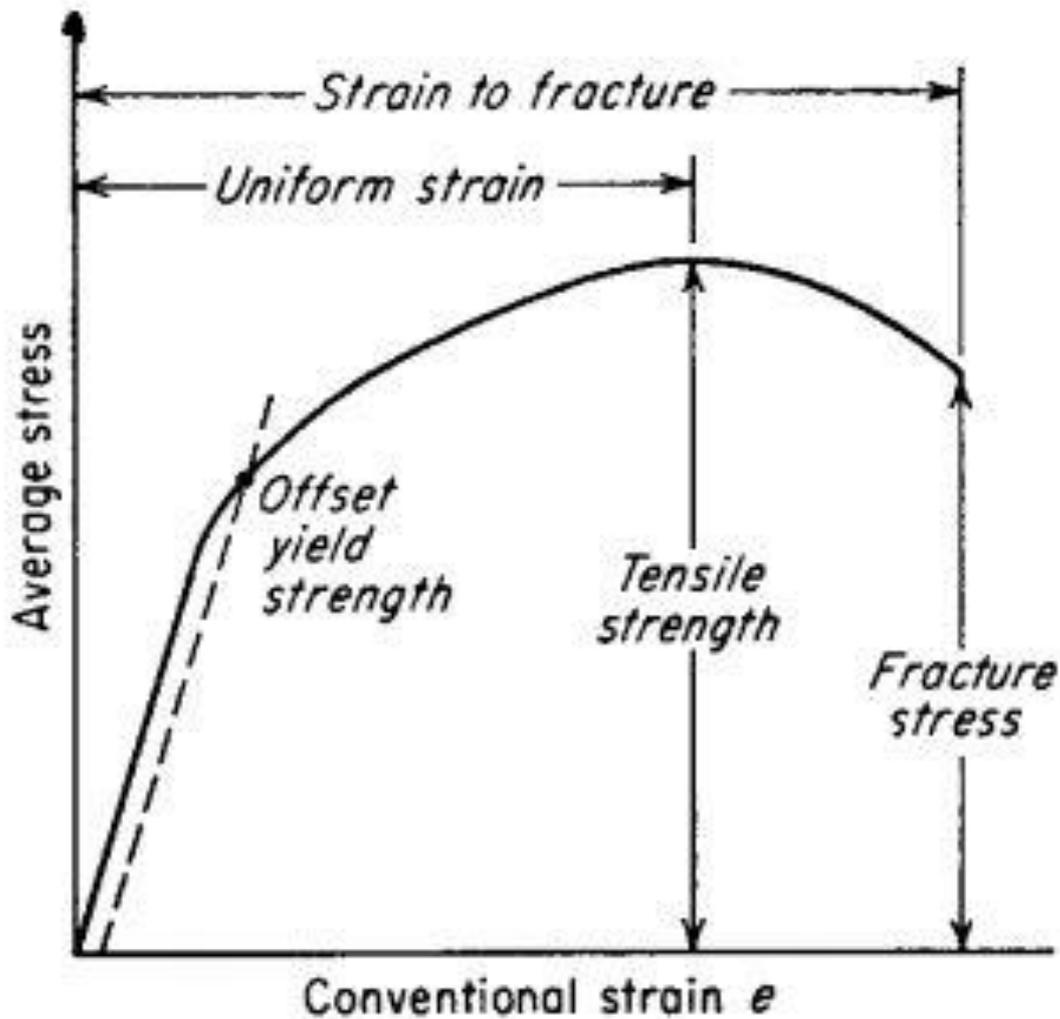
L_0 = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Pada prakteknya nilai hasil pengukuran regangan pada suatu pengujian tarik dan tekan pada umumnya merupakan nilai teknik. Regangan akibat beban tarik yang terjadi, panjang akan menjadi berkurang dan diameter pada spesimen akan menjadi besar, maka ini akan terjadi deformasi plastis. Hubungan antara stress dan strain dirumuskan pada persamaan (2-9).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2-9)$$

E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. E diberi nama “Modulus Elastisitas” atau “*Young Modulus*”. Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*). Kurva ini ditunjukkan oleh Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Kurva tegangan-regangan
Sumber: Dieter (1988)

2.13 Perilaku Elastis dan Plastis

Pengalaman memperlihatkan bahwa semua bahan padat dapat diubah bentuknya apabila mengalami pembebanan luar. Selanjutnya didapati bahwa sampai dengan batas beban tertentu, benda padat akan memperoleh kembali ukuran aslinya, bilamana beban ditiadakan. Perolehan kembali ukuran asli benda yang diubah bentuknya bilamana beban dihilangkan, dikenal sebagai perilaku elastis (*elastic behavior*). Beban batas, yang jika dilampaui menyebabkan bahan tidak lagi berperilaku elastis ialah batas elastis. Kalau batas elastis dilampaui, benda akan mengalami regangan permanen atau deformasi, bilamana beban ditiadakan. Benda yang mengalami deformasi permanen dikatakan mengalami deformasi plastis.

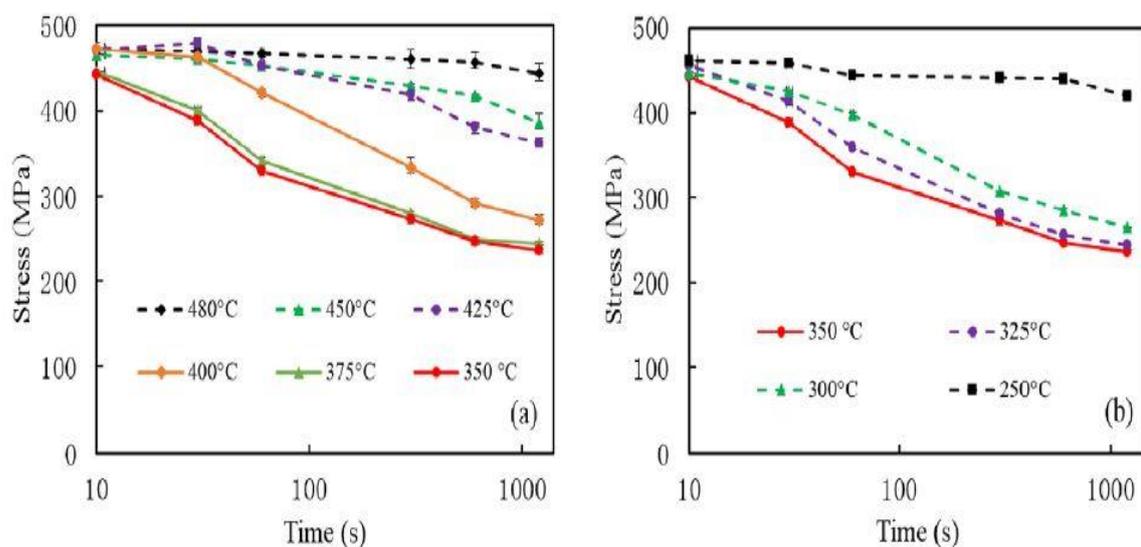
Untuk sebagian besar bahan, selama beban tidak melampaui batas elastis, deformasi sepadan dengan beba. hubungan ini dikenal sebagai hukum Hooke, hal ini lebih sering

dinyatakan sebagai tegangan sepadan dengan regangan. Hukum Hooke mensyaratkan bahwa hubungan beban deformasi itu linear. Tetapi tidak harus disimpulkan bahwa semua bahan yang berperilaku elastis akan memiliki hubungan tegangan regangan linier. Karet adalah contoh bahan memiliki hubungan tegangan regangan non linier, yang masih tetap memenuhi definisi bahan elastis.

2.14 Hubungan antara Uji Tarik dengan Waktu Pemanasan

Perlakuan panas adalah perubahan sifat-sifat bahan dengan pemanasan dan pendinginan tertentu untuk menghasilkan sifat dan bahan tertentu dan sesuai batas kemampuan dari masing-masing bahan. *Heating* adalah proses pemanasan untuk menaikkan suhu material, *holding* (waktu pemanasan) adalah proses penahanan suhu pada material. *Cooling* adalah proses pendinginan material untuk mendapatkan fasa yang diinginkan. Hasil pemberian perlakuan panas disini untuk meningkatkan sifat keuletan, menghilangkan tegangan dalam, menyeragamkan butir dan orientasi butir.

Dengan perlakuan panas dan waktu pemanasan yang diberikan akan menghasilkan suatu material dengan kekuatan uji tarik yang menurun apabila waktu pemanasan (*Holding time*) semakin lama dikarenakan proses pemanasan ini membentuk butir sedikit dan tegangan dalam yang ditimbulkan pun sedikit. Gambar 2.25 adalah grafik waktu pemanasan dengan hasil kekuatan tarik.



Gambar 2.25 Hubungan antara kekuatan tarik dengan *holding time*
Sumber: Yuxun Zhang (2017)

Gambar 2.25 menjelaskan bahwa menurunnya nilai kekuatan tarik seiring dengan semakin lamanya waktu pemanasan (*holding time*).

2.15 Hall-Petch Relation

Secara umum hubungan antara kekuatan luluh dan ukuran butir di usulkan oleh Hall dan diteruskan oleh Petch, karena hal tersebut maka di kenal dengan istilah *Hall-Petch equation*. rumus original Hall-Petch berbasis perhitungan tegangan lulus pada *low-carbon steel*. Hal tersebut di maksudkan untuk menggambarkan ketergantungan ukuran butir terhadap alur tegangan terhadap setiap regangan plastis pada material (*ductile fracture, brittle fracture, fatigue strength*) berdasarkan ukuran butir.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}} \quad (2-10)$$

dengan:

σ_y = Tegangan luluh

σ_0 = Konstanta material (ketahanan kisi terhadap pergerakan dislokasi)

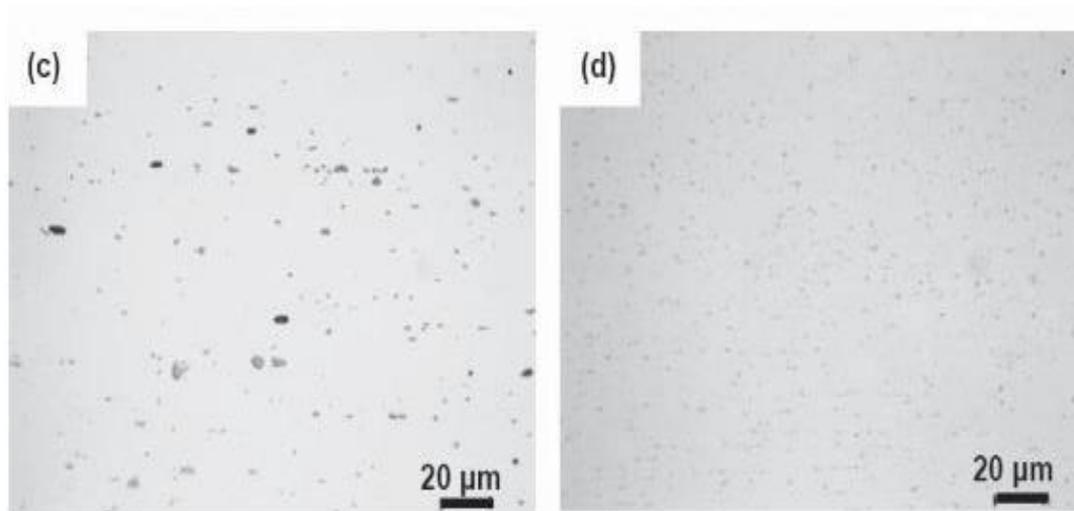
k_y = Koefisien penguatan

d = Diameter butir

Dari rumus di atas bisa di lihat bahwa hubungan diameter butir berbanding terbalik dengan tegangan luluh yang menjelaskan bahwa semakin kecil ukuran butir maka akan semakin tinggi tegangan luluhnya, begitu juga sebaliknya jika semakin besar ukuran diameter butir maka nilai tegangan luluh akan semakin rendah.

2.16 Mikrostruktur 1050/6061

Gambar 2.26 adalah Gambar hasil *optical microstructure* hasil *roll bonding* serta lembaran tanpa perlakuan material aluminium seri 1050 dan 6061. Pada Gambar 2.26 terlihat jelas perbedaan aluminium seri 1050 dan seri 6061, pada Gambar seri 6061 (c) terdapat bintik-bintik hitam (lapisan endapan) yang disebabkan oleh paduannya itu sendiri meliputi Al-Mg-Si, sifat dari Mg dan Si jika dilihat menggunakan mikroskop akan terlihat warna hitam sedangkan aluminium berwarna putih. Aluminium seri 1050 (d) terlihat pada Gambar 2.26 tidak terdapat bitnik-bintik hitam (lapisan endapan) dikarenakan seri 1050 merupakan seri aluminium murni.



Gambar 2.26 foto mikrostruktur (c) 6061 dan (d) 1050
Sumber: Lihong Su (2013)

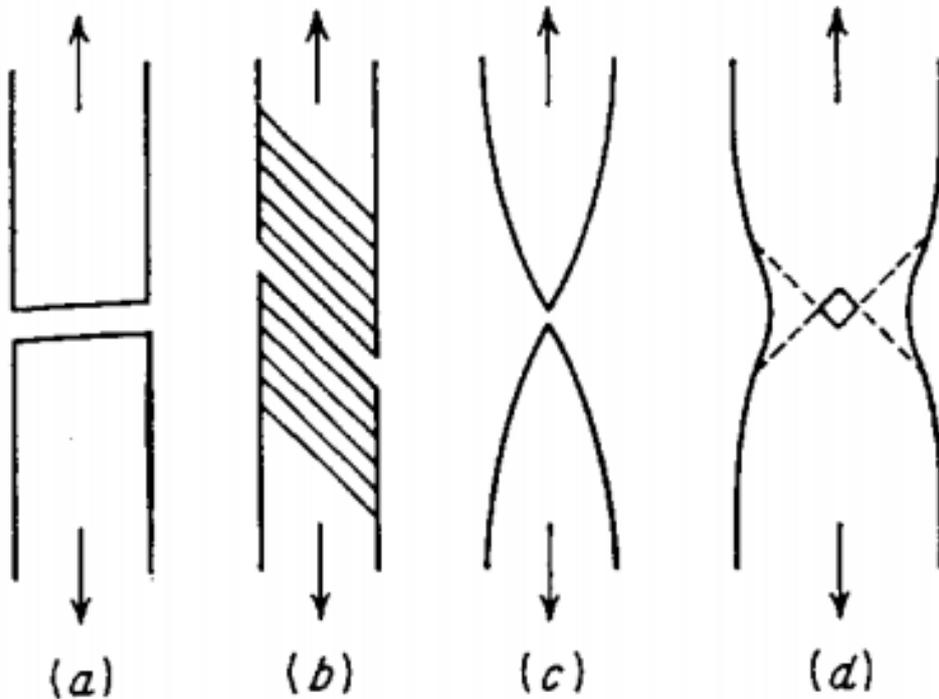
2.17 Patahan

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

2.17.1 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 patah getas dan patah liat (ulet). Gambar 2.27 menunjukkan beberapa jenis patah akibat tegangan tarik yang terjadi pada logam. Patah getas Gambar 2.27 (a) ditandai oleh adanya pemisahan berarah tegak lurus terhadap tegangan tariknya. Dari luar tidak terdapat bukti bukti adanya deformasi. Ada beberapa macam bentuk patah 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 2.27 (b). Benda uji polikristal dari logam yang sangat liat, misalnya emas atau timah putih, dapat ditarik hingga suatu titik sebelum terjadinya patah Gambar 2.27 (c). Pada perpatahan akibat

tegangan tarik logam yang cukup liat, deformasi plastik akhirnya akan menghasilkan daerah yang tertakik Gambar 2.27 (d). patah berawal dari pusat benda uji dan kemudian meluas akibat pemisahan geser, sepanjang garis putus putus pada Gambar 2.27 (d). (Dieter, 1987).



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

2.18 Aplikasi *Roll Bonding*

Metal cladding adalah proses pelapisan logam yang penerapannya dilaksanakan dengan memadukan material induk yang dilindungi dengan lapis pelindung berupa logam dengan cara memanaskan keduanya kemudian memadukannya menjadi satu lapisan padu yang lekat, 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 (liu *et al*, 2007). Gambar 2.28 menunjukkan beberapa aplikasi dari *Metal Cladding*:

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.

(a) 20/60/20 three-layer laminate. Source: Re

Gambar 2.28 Aplikasi roll bonding
Sumber: ASM specialty handbook *stainless steel*

2.19 Hipotesis

Berdasarkan dasar teori dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan maka hubungan antara *roll bonding* dengan nilai uji tarik dimana proses *roll bonding* membuat ukuran butir mengecil dan searah karena adanya gaya tekan ketika proses *roll bonding* serta menghasilkan butir baru dikarenakan proses *roll bonding* pada kondisi panas. Berdasarkan hal-hal berikut proses *roll bonding* meningkatkan nilai uji tarik. Serta hubungan antara *holding time* pemanasan dengan uji tarik berbanding terbalik, dimana semakin lama *holding time* pemanasan maka menghasilkan ukuran butir baru semakin besar dikarenakan butir mempunyai waktu lebih lama untuk membesarkan ukuran butir hal tersebut menyebabkan nilai uji tarik semakin rendah. Sedangkan untuk sebaliknya ketika waktu pemanasan semakin pendek maka waktu pembentukan butir baru semakin pendek yang mengakibatkan ukuran butir lebih kecil dari pada *holding time* yang lebih lama, hal tersebut akan meningkatkan nilai kekuatan tarik.

Dari penjelasan di atas dapat menghasilkan hipotesis bahwa perlakuan *roll bonding* pada dua buah material akan memperkecil dan memampatkan struktur butir pada material tersebut

yang selaras dengan meningkatnya uji tarik. Sedangkan perlakuan panas yang diberikan akan memberikan dampak, semakin pendek waktu pemanasan maka akan semakin tinggi nilai kekuatan tariknya, dan jika semakin lama waktu pemanasan akan semakin rendah nilai kekuatan uji tariknya.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan jenis metode yang digunakan adalah *true experimental research* (penelitian eksperimental nyata). Penelitian ini digunakan untuk mengetahui secara langsung nilai kekuatan tarik dari hasil eksperimen *roll bonding* dengan variasi *holding time* saat proses pemanasan dengan material yang digunakan dalam penelitian kali ini aluminium AA6061 dan AA1100.

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 pada tanggal 17 Febuari – 18 Febuari.
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 6 April 2018 – 6 April 2018.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel pada penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya dapat diubah sehingga variabel ini mempengaruhi hasil penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah *Holding time* suhu pemanasan = 30, 40, 50 menit

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penilitian ini merupakan nilai kekuatan tarik (MPa).

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya harus di jaga konstan supaya tidak mempengaruhi hasil variabel terikat. Variabel pada penelitian ini yakni:

- a. Proses pengerolan adalah *hot roll bonding* yang terjadi pada suhu pemanasan 475° C.
- b. Jumlah lembaran pada masing-masing aluminium adalah 2 lembaran.
- c. Diameter *roll* sebesar 120 mm
- d. *Roller gap* sebesar 1 mm.

3.4 Spesifikasi Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian adalah:

1. Mesin *Roll Bonding*



Gambar 3.1 Mesin roll bonding

Digunakan untuk proses *roll bonding* dengan spesifikasi

- Diameter *Roll* = 60 mm
- Daya Motor = 4 Hp
- *Reducer* motor = 1:10

2. Dapur Listrik



Gambar 3.2 Dapur listrik

Sumber: Laboraturium pengecoran logam teknik mesin universitas brawijaya

Digunakan untuk proses perlakuan pemanasan dengan spesifikasi

- Voltase = 220 V
- Arus listrik = 7,0 A
- Daya = 1500 W

3. Sandpaper waterproof



Gambar 3.3 Sandpaper waterproof p60

4. Jangka sorong digital



Gambar 3.4 Jangka sorong digital

Sumber: Laboratorium pengecoran logam teknik mesin universitas brawijaya

5. Larutan Asetone

Larutan ini digunakan untuk membersihkan permukaan pelat.



Gambar 3.5 Larutan aseton

6. Kawat Bendrat



Gambar 3.6 Kawat bendrat

7. Universal Testing Machine



Gambar 3.7 Universal Testing Machine

Spesifikasi:

- Merk : Matest
- Kapasitas : 1000 kN/0,1 kN
- Serial Number : 15784

8. *Filler Gauge*

Filler gauge digunakan untuk mengukur jarak celah antar rol pada mesin *roll bonding*.



Gambar 3.8 Filler gauge

9. *Digital Multimeter*

Digital multimeter digunakan untuk mengukur suhu spesimen setelah keluar dari dapur.



Gambar 3.9 Digital multimeter

10. *Tachometer*

Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan rol saat melakukan pengerolan.



Gambar 3.10 Tachometer

11. Mesin Bor

Mesin bor digunakan untuk memberi lubang pada pelat yang nantinya lubang tersebut berfungsi sebagai proses *riveting*.



Gambar 3.11 Mesin bor

12. Gunting Pelat

Gunting pelat digunakan untuk membentuk pelat sesuai dimensi yang diinginkan.



Gambar 3.12 Gunting pelat

13. Spidol

Spidol digunakan untuk menandai spesimen.



Gambar 3.13 Spidol

14. Penggaris

Penggaris digunakan untuk mengukur dimensi spesimen.



Gambar 3.14 Penggaris

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Aluminium 1100

Tabel 3.1
Komposisi AA1100

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

2. Alumunium 6061

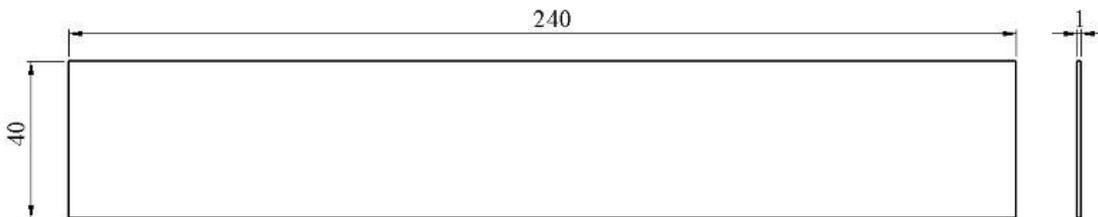
Tabel 3.2
Komposisi AA 6061

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

3.5 Dimensi Spesimen

1. Spesimen *Roll Bonding*

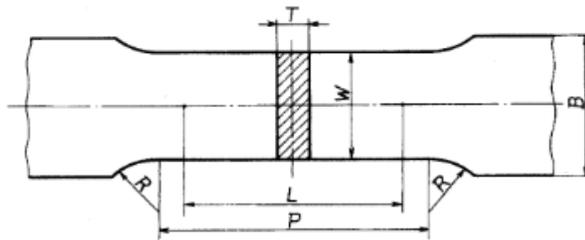
Dimensi dalam satuan mm



Gambar 3.15 Dimensi spesimen proses *roll bonding* (mm)

2. Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik berdasarkan standart JIS Z 2201:1998.



Unit : mm

Width <i>W</i>	Gauge length <i>L</i>	Parallel length <i>P</i>	Radius of fillet <i>R</i>	Thickness <i>T</i>
25	50	60 approx.	15 min.	Thickness of material

Gambar 3.16 Dimensi spesimen uji tarik

Pada pengujian setiap spesimen membutuhkan jumlah spesimen sebagai berikut.

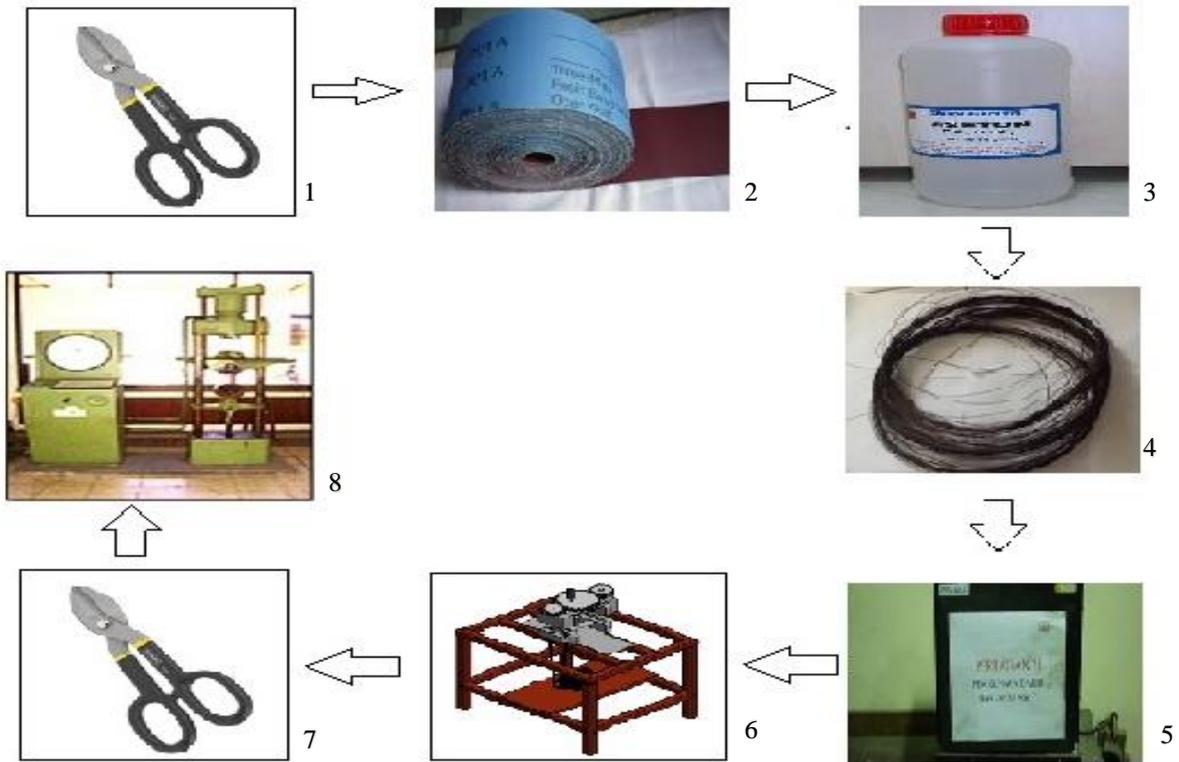
Tabel 3.3

Jumlah Spesimen Pengerolan

No	<i>Holding time</i> (waktu penahanan)	Jumlah Spesimen
1.	30	3 pasang
2.	40	3 pasang
3.	50	3 pasang

3.5 Skema Penelitian

Skema penelitian *roll bonding* dapat di jelaskan dalam Gambar 3.17 sebagai berikut.

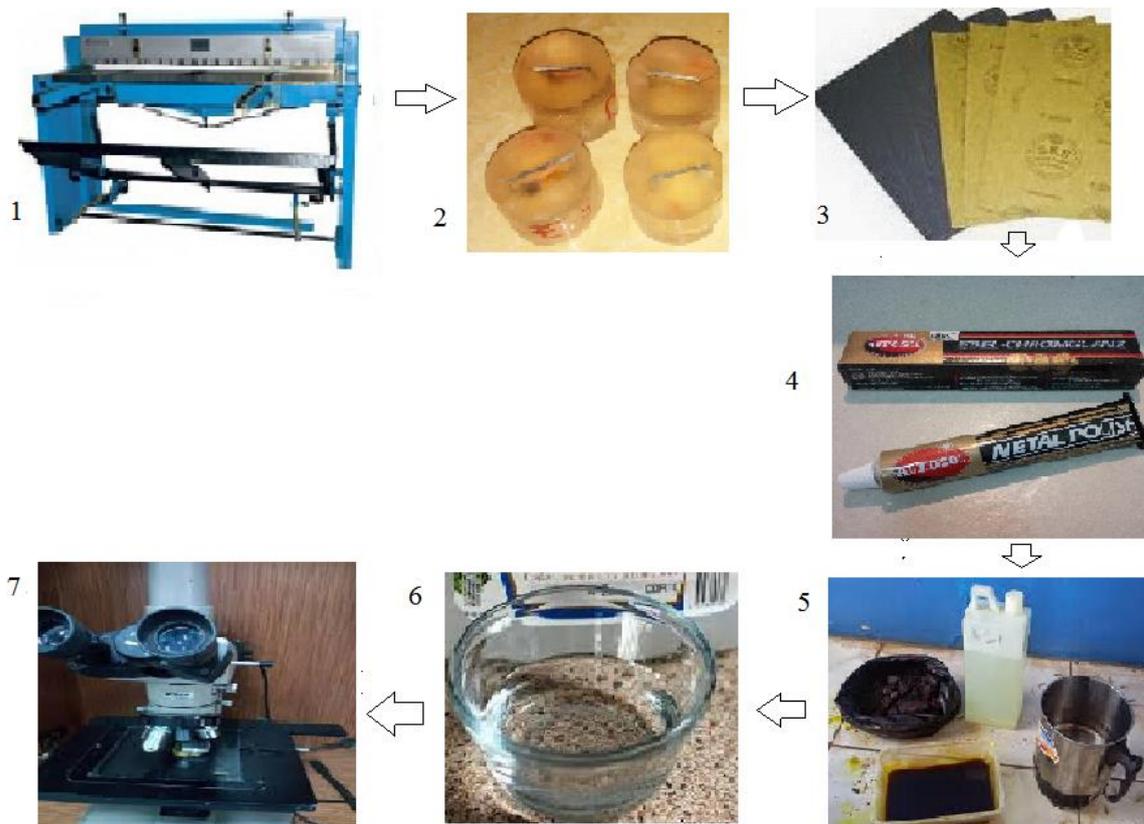


Gambar 3.17 Skema penelitian *roll bonding*

Keterangan:

1. Pembentukan material *hot roll bonding*
2. Proses pengamplasan
3. Proses merendam spesimen dengan larutan *acetone*
4. Proses *wiring* 2 spesimen
5. Proses *preheating* selama 30,40 dan 50 menit dengan suhu 475°C
6. Proses pengerolan
7. Proses pembentukan spesimen menjadi spesimen uji tarik

Pada Gambar 3.18 menjelaskan tentang skema penelitian tentang uji mikrostruktur pada hasil pengerolan AA1100/AA6061.



Gambar 3.18 Skema penelitian uji 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. Melakukan uji mikrostruktur

3.6 Prosedur Penelitian

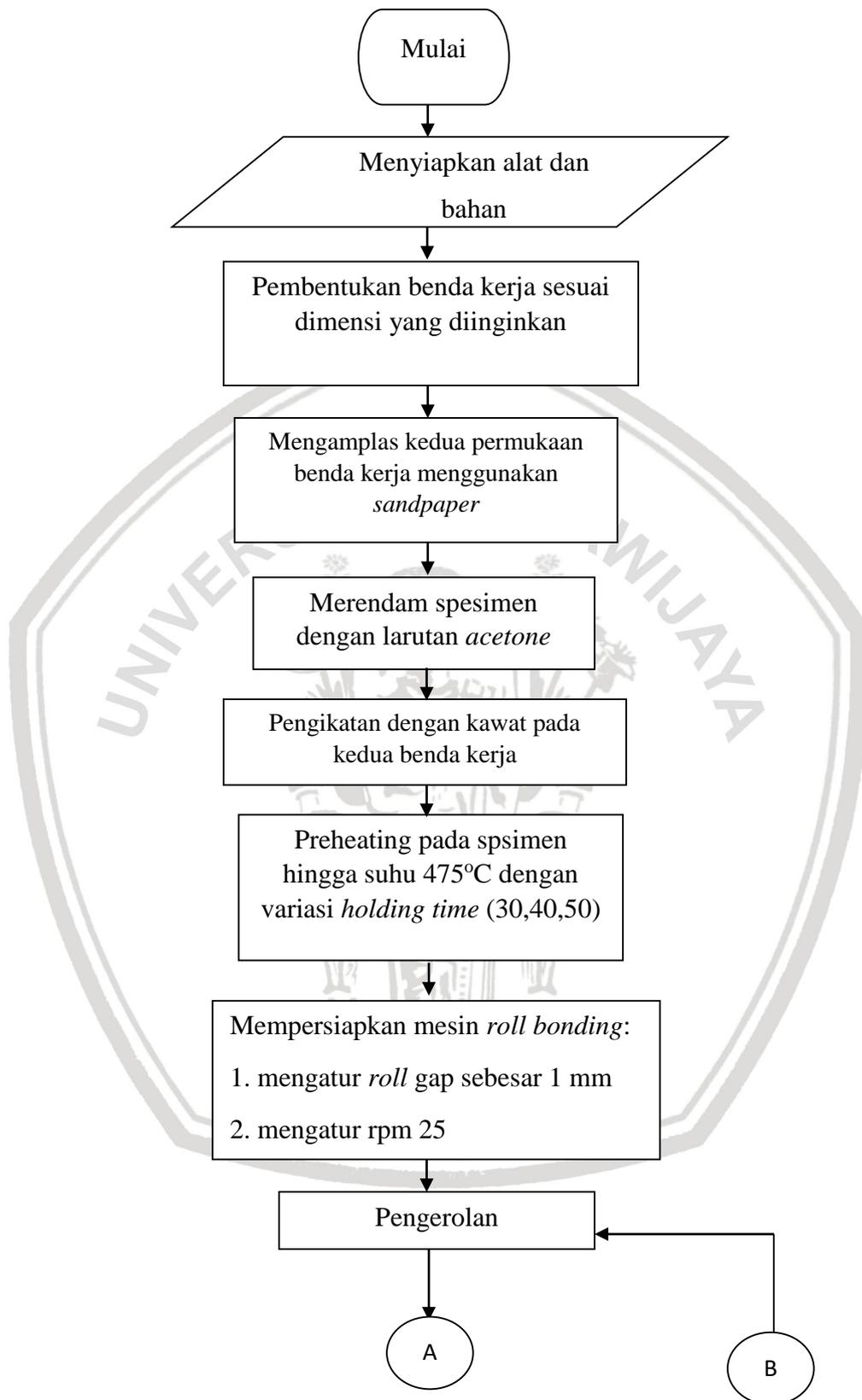
Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

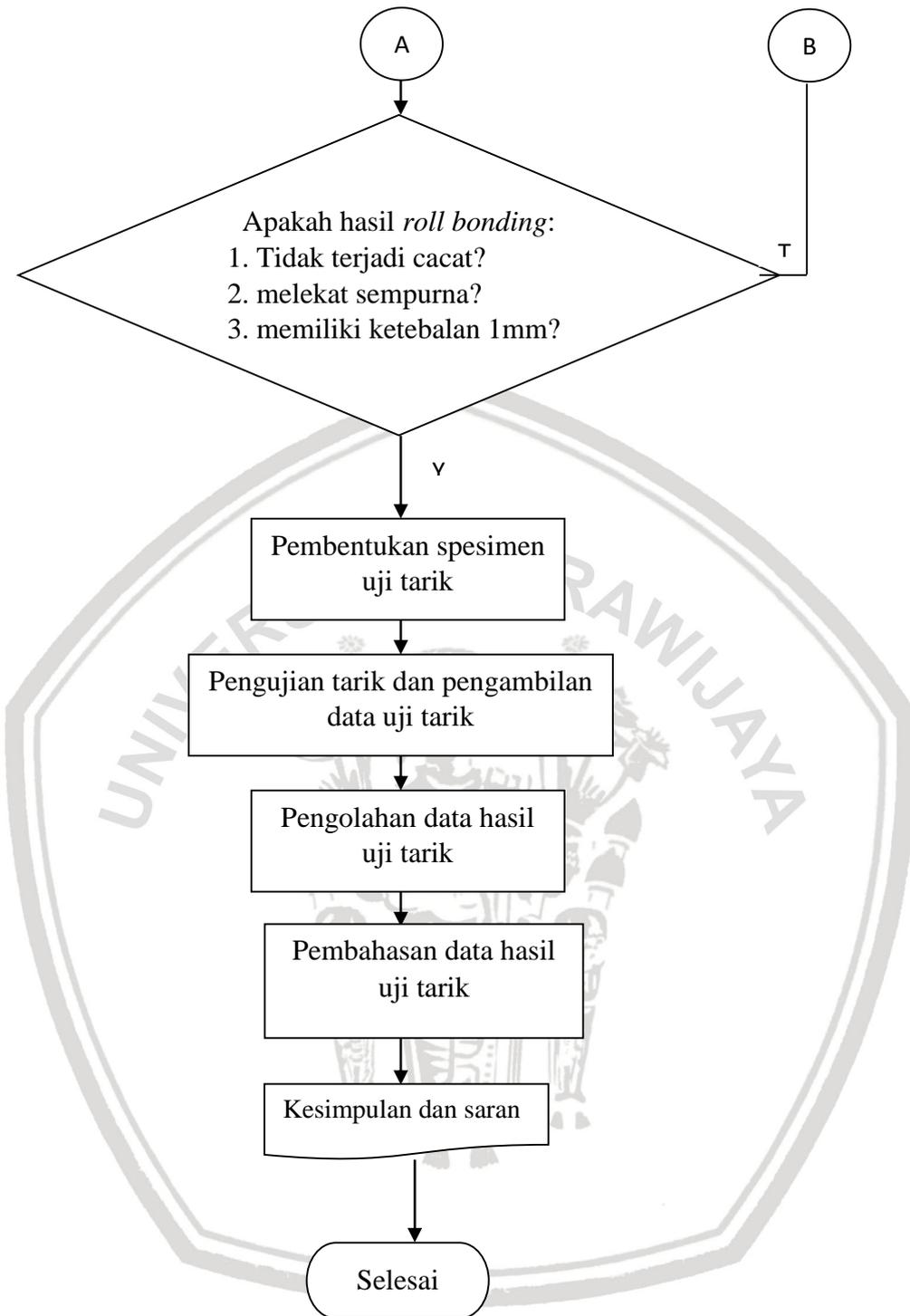
1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Menyiapkan AA6061 dan AA1100 dengan masing masing dimensi (1x35x240 mm)
3. Lubangi setiap sudut alumunium AA6061 dan AA1100 dengan diameter 3mm
4. Membersikan *surface* material dengan aseton
5. Mengkasari permukaan dengan *sandpaper*
6. Melakukan *wiring* dengan kawat
7. Memasukan spesimen ke dalam dapur pemanas

8. Panaskan material di dapur hingga suhu 475°C
9. *Holding time* sesuai dengan penelitian
10. Mempersiapkan mesin *roll bonding*
 - a. Mengatur *roll gap*
 - b. Mengatur kecepatan putar roll 25 rpm
 - c. Memberikan silicon pada batang *roll*
11. Dikeluarkan dari dapur dan langsung melakukan pengerolan dengan kecepatan konstan 25 rpm dengan kondisi temperature material 350°C
12. Pembentukan spesimen uji tarik dengan standart yang ada
13. Mengukur nilai kekuatan tarik menggunakan mesin uji tarik
14. Melakukan pengujian mikrostruktur
15. Mengolah data dan melakukan analisis dari grafik
16. Menarik kesimpulan



3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengambilan data kekuatan tarik dilakukan setelah proses *roll bonding* pada semua spesimen, dan spesimen uji tarik dibentuk sesuai dengan standar yang digunakan, lalu dilakukan pengujian kekuatan tarik menggunakan *universal test machine*. 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 *holding time* pemanasan sebelum spesimen mengalami proses *roll*, waktu yang digunakan yaitu 30 menit, 40 menit, dan 50 menit. Hasil pengujian kekuatan tarik tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1
Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Hasil *Roll bonding* Pada Berbagai Variasi *Holding Time* Pemanasan

<i>Holding Time</i>	F max (kN)	Luas Penampang (mm ²)	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Tarik Rata-Rata (MPa)	Standard Deviasi
30	4,12	31,18	133,739	132,290	1,34
	3,901	31,2	132,051		
	3,41	29,76	131,081		
40	3,63	26,07	130,801	129,001	1,55
	3,41	28,34	128,087		
	4,06	31,69	128,116		
50	3,68	29,5	125,811	123,054	2,77
	3,52	29,27	120,259		
	3,79	30,79	123,091		

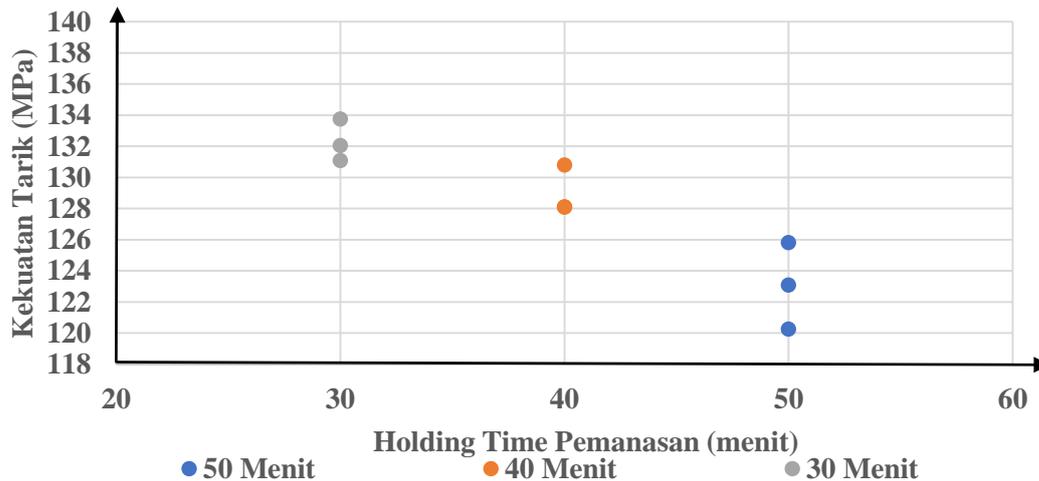
Tabel 4.2
Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Tanpa Perlakuan

No	Spesimen Uji Tarik (Menit)	Pembebanan (kN)	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)
1	A1100 (Tanpa Perlakuan)	2,4	95.93
2	A6061(TanpaPerlakuan)	2,6	103.17

4.2 Pembahasan

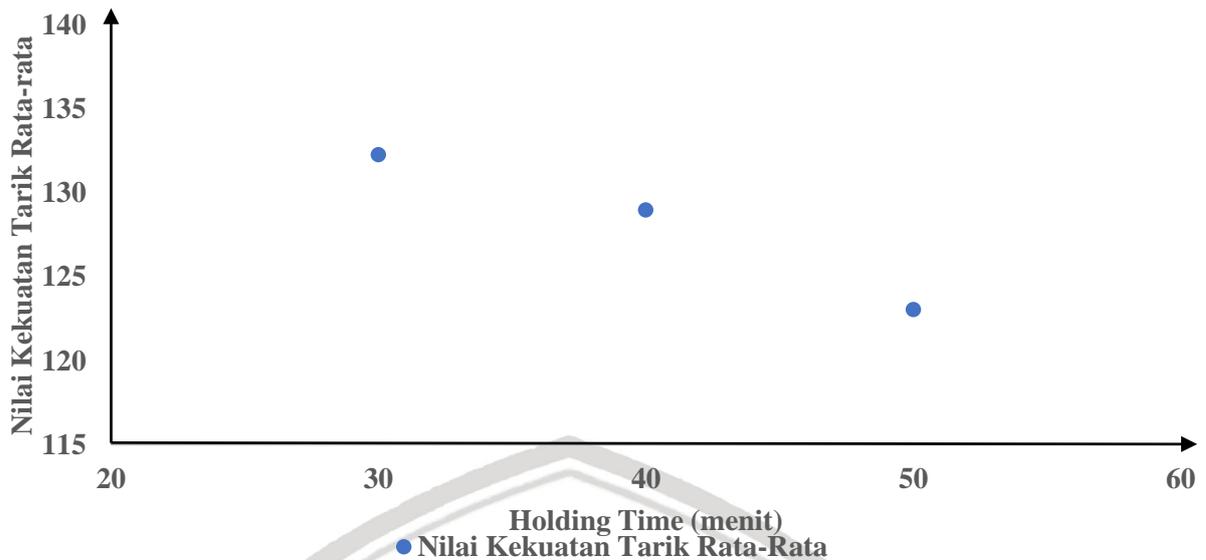
4.2.1 Kekuatan Tarik

Setelah didapatkan data hasil pengujian tarik, kemudian data tersebut diolah dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam menganalisa data. Di bawah ini menunjukkan grafik hubungan antara *holding time* pemanasan terhadap nilai kekuatan tarik hasil *roll bonding* plat alumunium AA6061 dengan plat alumunium AA1100.



Gambar 4.1 Grafik hubungan *holding time* pemanasan terhadap kekuatan tarik hasil *roll bonding* AA6061 dengan AA1100

Dapat dilihat dari grafik hubungan antara *holding time* pemanasan terhadap kekuatan tarik pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik geser tertinggi ada pada *holding time* 30 menit. Jika dilihat secara keseluruhan nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada *holding time* 30 menit yaitu sebesar 133,73 MPa dan kekuatan tarik terendah ada pada titik *holding time* 50 menit yaitu sebesar 120,05 MPa. Serta untuk nilai rata-rata tertinggi terdapat pada *holding time* 30 menit yang memiliki kekuatan tarik sebesar 132,29 MPa dan *holding time* 50 menit memiliki nilai kekuatan tarik terendah dengan nilai sebesar 123,05 MPa. Hal ini dapat di lihat pada Gambar 4.2.

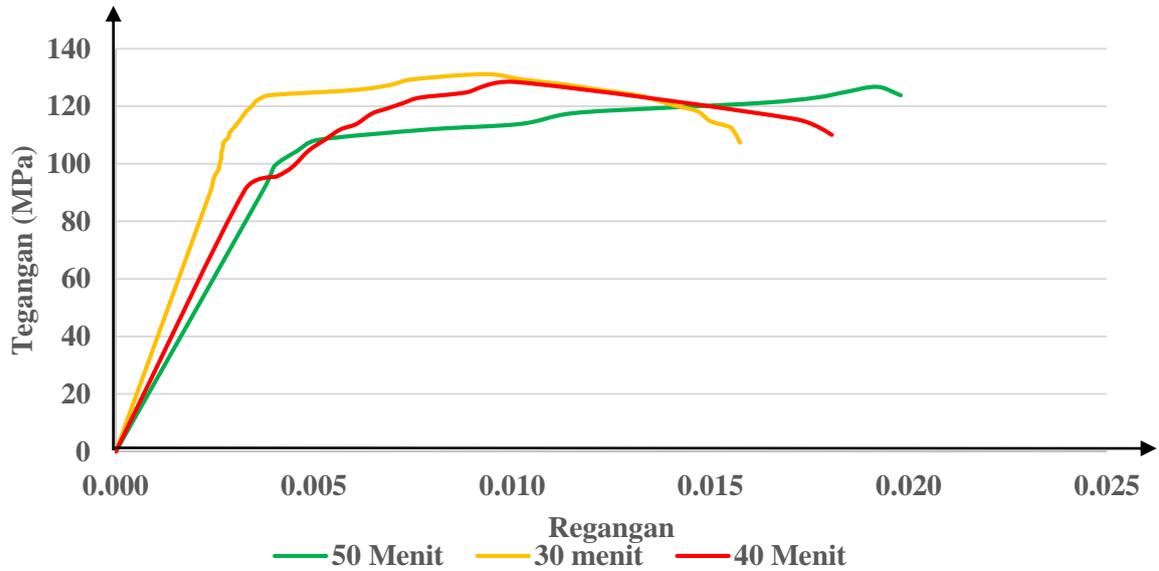


Gambar 4.2 Grafik perbandingan kekuatan tarik rata-rata pada setiap variasi *holding time*

Berdasarkan data yang diperoleh memberikan pembahasan bahwa, hal-hal tersebut terjadi dikarena semakin lama *holding time* pemanasan maka semakin lama proses pembentukan butir terbentuk yang mengakibatkan semakin besarnya ukuran butir, hal tersebut mengakibatkan semakin redahnya nilai kekuatan tarik. Jika *holding time* pemanasan semakin singkat, waktu butir untuk terbentuk semakin singkat yang mengakibatkan ukuran butir semakin kecil maka nilai kekuatan tarik semakin besar.

4.2.2 Tegangan – Regangan

Gambar 4.3 menunjukkan diagram tegangan regangan antara spesimen hasil *roll bonding* plat AA6061 dengan AA1100 dengan waktu pemanasan (*holding time*) 30, 40 dan 50 menit.



Gambar 4.3 Grafik tegangan regangan rekayasa setiap variasi *holding time*

Jika dilihat dari gambar 4.3 terdapat 3 tipe variasi pada proses pengujian, variasi dengan *holding time* pemanasan 30 menit, 40 menit dan 50 menit. Berdasarkan dasar teori pada grafik tegangan regangan, nilai tegangan regangan berbanding terbalik dimana ketika nilai tegangan lebih tinggi memiliki nilai regangan lebih rendah begitu juga sebaliknya. Sedangkan pada garis *holding time* 30 menit memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 131,08 MPa dan nilai regangan total sebesar 0,0157. *Holding time* pemanasan 40 menit memiliki nilai kekuatan tarik 128,11 dan nilai regangan total 0,0180. Sedangkan pada *holding time* 50 menit nilai kekuatan tarik 125,81 MPa dan nilai regangan total 0,0198.

4.2.3 Beban Pengerolan

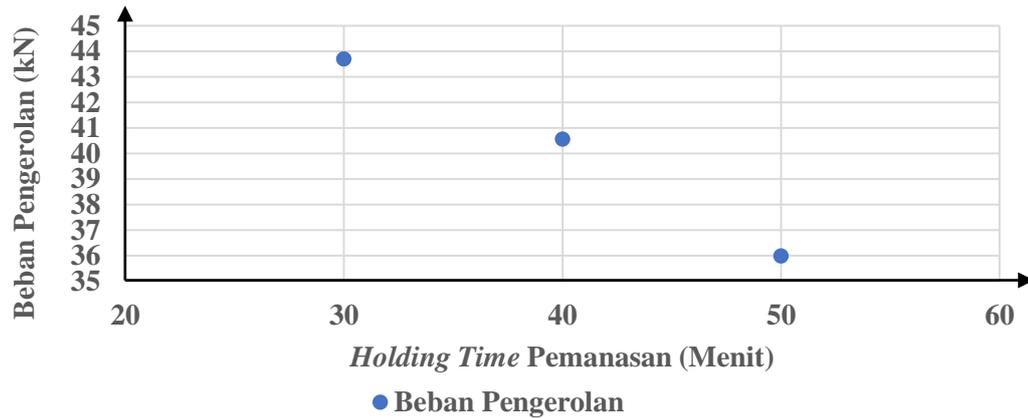
Pada gambar 4.4 memperlihatkan hubungan antara pengaruh *holding time* pemanasan terhadap beban pengerolan dari gambar tersebut *holding time* pemanasan 30 menit memiliki nilai beban pengerolan tertinggi senilai 43, 70 kN dan nilai terendah dimiliki oleh *holding time* pemanasan 50 menit sebesar 39,99 kN. Hal tersebut terjadi di karenakan spesimen *holding time* 30 menit memiliki nilai tegangan alir lebih tinggi daripada spesimen *holding time* pemanasan 50 menit, hal tersebut bisa di lihat dari rumus berikut.

$$P = \sigma_0 b \sqrt{R (\Delta H)} \tag{3-1}$$

dengan:

P = Beban Load σ_0 = tegangan alir

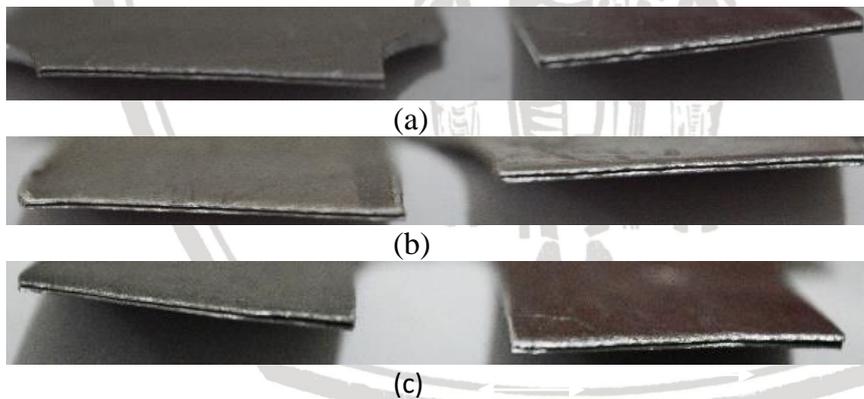
R = Jari-jari Rol ΔH = selisih tebal



Gambar 4.4 Grafik *holding time* pemanasan dengan beban pengerolan

4.2.4 Foto Makrostruktur

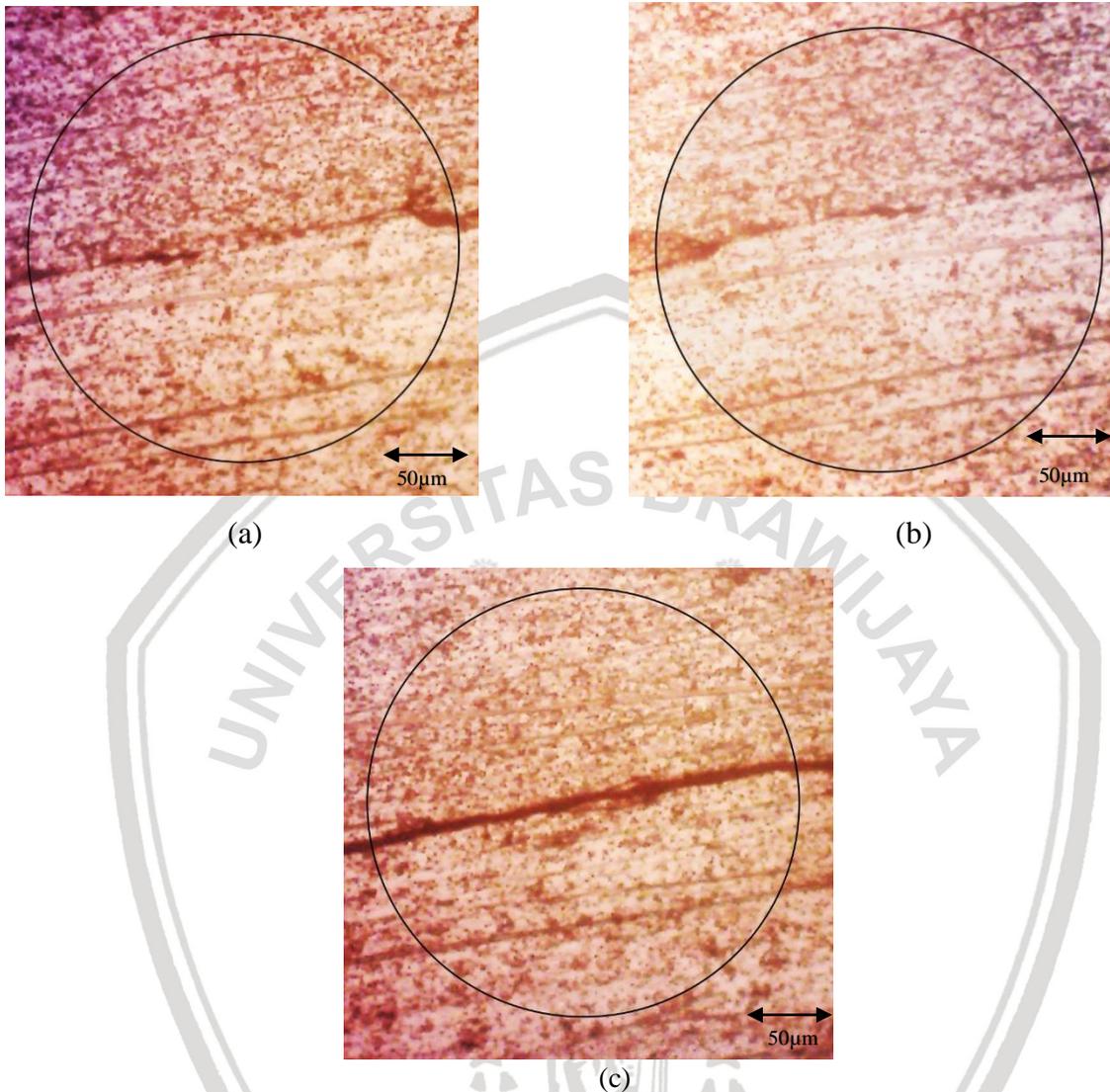
Pada Gambar 4.5 patahan spesimen saat dilakukan pengujian tarik, terlihat terdapat perbedaan hasil patahan yang terjadi. Pada gambar (a) terlihat daerah kelabu lebih sedikit dibandingkan dengan hasil patahan (b). Daerah kelabu adalah daerah yang diakibatkan oleh regangan suatu material, semakin besar daerah kelabu semakin besar regangan yang terjadi. Selain itu ada plat (a) terlihat juga oatahan lebih kasar dibandingkan dengan gambar (b). Hal tersebut menunjukkan bahwa gambar (a) memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan Gambar (b). Penjelasan di atas membuktikan bahwa *holding time* pemanasan berpengaruh pada nilai kekuatan tarik.



Gambar 4.5 Patahan Plat Hasil Pengerolan dengan *Holding Time* 30 menit (a) 40 menit (b) 50 menit (c)

4.2.5 Foto Mikrostruktur

4.2.5.1 Grain Size



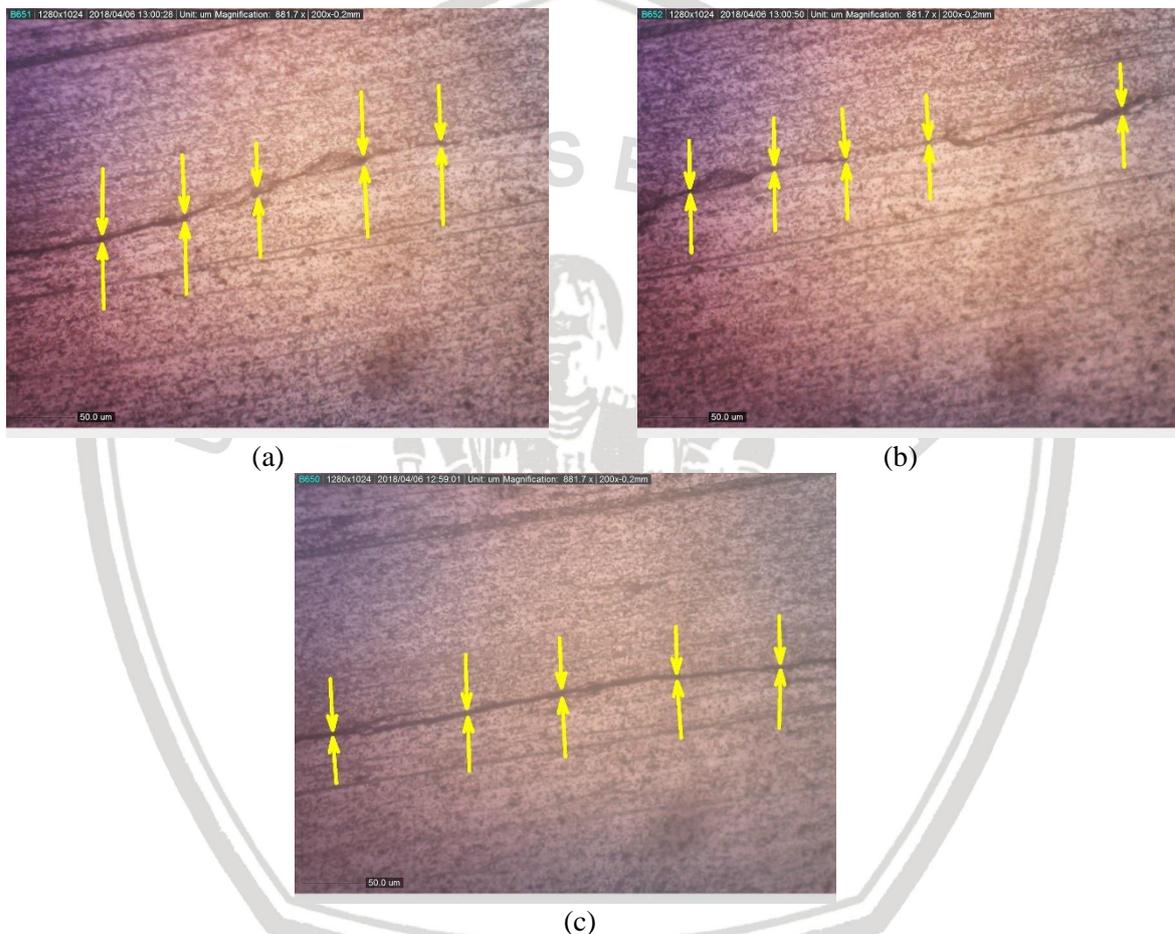
Gambar 4.6 Foto mikrostruktur plat hasil pengerolan *holding time* 30 menit (a) 40 menit (b) dan 50 menit (c)

Pada Gambar 4.6 merupakan hasil dari pengujian mikrostruktur dengan perbesaran 200x, tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui perubahan struktur butir akibat proses *roll bonding*. Perhitungan ukuran butir menggunakan metode planimetric (lihat lampiran 03) untuk mengetahui diameter rata-rata setiap plat variasi 30 menit, 40 menit, dan 50 menit *holding time* pemanasan.

Plat hasil *roll bonding* dengan *holding time* pemanasan 30 menit didapatkan diameter ukuran butir rata-rata 15,9 μm dan jumlah butir sebanyak 306, sedangkan untuk foto mikrostruktur *holding time* pemanasan 40 menit (b) mempunyai nilai diameter ukuran butir rata-rata 18,9 μm dan jumlah butir sebanyak 287, untuk variasi *holding time* pemanasan 50

menit didapatkan diameter ukuran butir rata-rata 22,5 μm dengan jumlah butir sebanyak 257. Penjelasan di atas menjelaskan bahwa terjadinya perbedaan ukuran butir dihasilkan oleh lamanya waktu pemanasan saat perlakuan panas pada spesimen, dengan waktu pemanasan yang semakin lama menghasilkan ukuran butir semakin besar. Waktu pemanasan memberikan butir untuk bertambah besar jika waktu yang di berikan semakin lama maka butir dapat membesarkan ukurannya.

4.2.5.2 Jarak Celah Spesimen



Gambar 4.7 Jarak Celah Spesimen *Holding Time* Pemanasan 30 Menit (a) 40 Menit (b) dan 50 Menit (c)

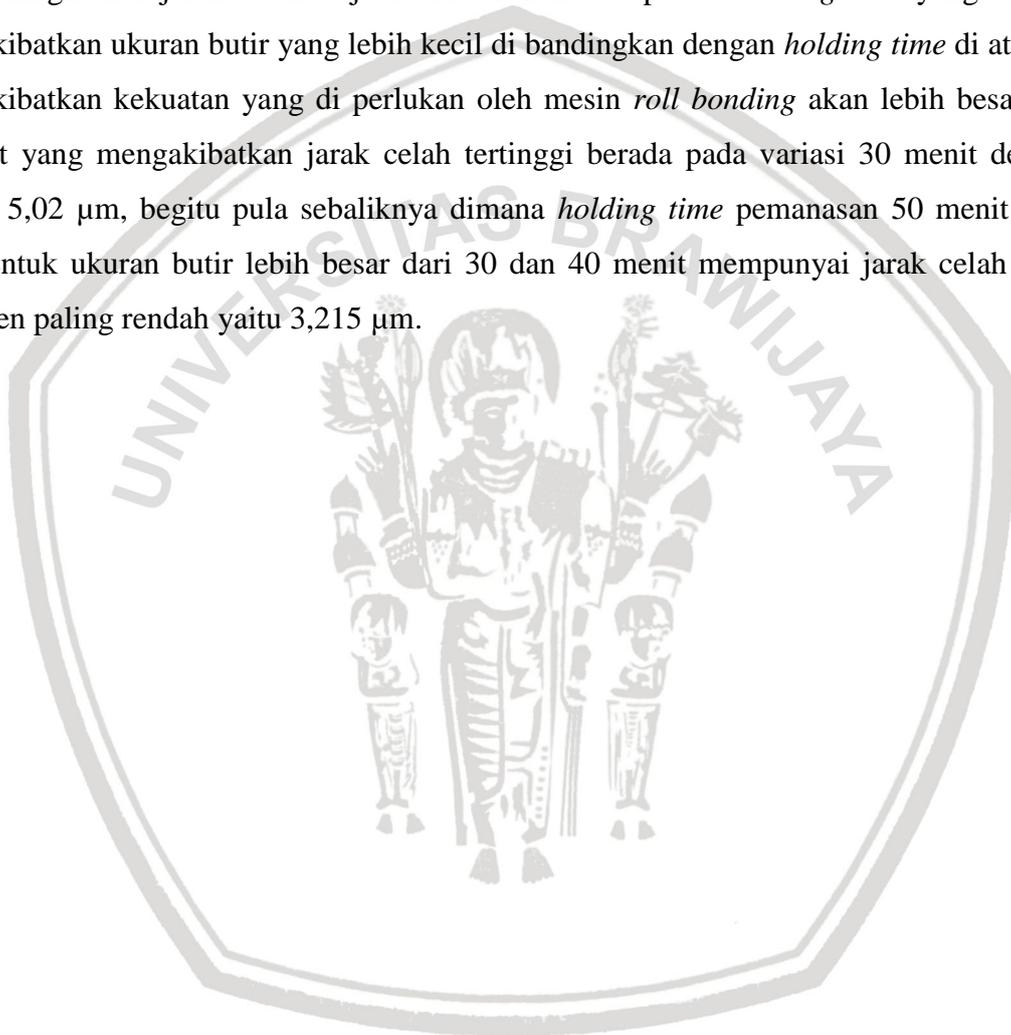
Perhitungan jarak celah spesimen di maksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *holding time* pemanasan terhadap kerapatan kedua spesimen mengikat (*bonding*). Jika semakin kecil celah yang ada maka proses *bonding* yang terjadi lebih baik dari yang celahnya lebih besar, dan celah yang semakin kecil mengakibatkan kekuatan *bonding* itu sendiri semakin kuat.

Pengambilan jarak celah antar spesimen sebanyak 5 titik pada hasil foto mikrostruktur, dan didapatkan hasil dari perhitungan jarak celah antar spesimen hasil *roll bonding* sebagai berikut:

Tabel 4.3
Jarak Celah Rata-rata Spesimen

Variasi <i> Holding Time</i>	Jarak Celah (μm)
30 Menit	5,02
40 Menit	4,25
50 Menit	3,215

Meningkatkan jarak celah terjadi dikarenakan saat proses *holding time* yang singkat mengakibatkan ukuran butir yang lebih kecil di dibandingkan dengan *holding time* di atasnya mengakibatkan kekuatan yang di perlukan oleh mesin *roll bonding* akan lebih besar. hal tersebut yang mengakibatkan jarak celah tertinggi berada pada variasi 30 menit dengan ukuran 5,02 μm , begitu pula sebaliknya dimana *holding time* pemanasan 50 menit yang membentuk ukuran butir lebih besar dari 30 dan 40 menit mempunyai jarak celah antar spesimen paling rendah yaitu 3,215 μm .



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. *Holding time* pemanasan mempengaruhi kekuatan tarik suatu material pada hasil proses *roll bonding* . Semakin lama *holding time* pemanasan maka semakin rendah nilai kekuatan tariknya sedangkan semakin pendek *holding time* pemanasan maka nilai kekuatan tarik semakin tinggi.
2. *Holding time* pemanasan mempengaruhi beban pengerolan yang terjadi pada proses *rolling* . Semakin lama *holding time* pemanasan maka beban pengerolan yang dihasilkan akan semakin kecil begitu juga sebaliknya semakin pendek *holding time* pemanasan maka semakin besar nilai beban pengerolan yang dihasilkan.
3. *Holding time* pemanasan mempengaruhi struktur butir material hasil *roll bonding* . Semakin pendek *holding time* pemanasan maka semakin kecil diameter rata-rata ukuran butir, sedangkan semakin lama *holding time* pemanasan maka semakin besar diameter rata-rata ukuran butir.

5.2 Saran

1. Dianjurkan untuk menggunakan *holding time* pemanasan tersingkat dalam melakukan *hot roll bonding* untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik yang besar.
2. Dalam melakukan *roll bonding* diperhatikan kebersihan dalam melakukannya dikarenakan faktor kebersihan mempengaruhi proses *roll bonding* .
3. Dalam penelitian kedepan bisa menggunakan variasi putaran *roller* atau dengan pengujian yang berbeda untuk mengembangkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Aerospace Specification Metals Inc. 2015.
- Avner, S.H. 1974. Introduction to Physical Metallurgy. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Dieter, G.E. 1986. Metalurgi Mekanik, Edisi ketiga, Jilid 2 Jakarta : Erlangga
- Goerge T, Austin. 1975. *Shereve's Chemical Proses Industries*, fifth editon, McGrawHill Book Company, NewYork
- Irawan, Yudy Surya, Hagiwara, Yosihiko., Ohya, shin-ichi., (2006). *Effects of Rolling Ratios, Microstructures and Crystal Orientations on Peculiar Fatigue Crack Growth Paths in Anisotropic Cold-Rolled Pure Aluminum Sheets*. Japan: The Society of Materials Science
- Kalpakjian, S. 1989. *Manufacturing Engineering and Technology*. New York: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Lauvdal, Steinar. 2011. *Experimental Studies of Cold Roll Bonded Aluminum Alloys*. Norwegia: Norwegian University of Science and Technology
- Li, Long., Nagai, Kotobu. 2008. *Progress in cold roll bonding of metals*. Tsukuba: Innovative Materials Engineering Laboratory, National Institute for Materials Science.
- M.S. Silberberg, *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change*, 5th ed., McGraw-Hill 2009
- Rahmatabadi. D. *Experimental Evaluation of the Plane Fracture Toughness for Ultra-Fine Grained Aluminium Specimens Prepared by Accumulative Roll Bonding Process*. Tehran, Iran university of Science and Technology
- Saito, Y. 1998. *Novel Ultra-High Straining Process for Bulk Materials-Development of The Accumulative Roll Bonding (ARB) Process*. Osaka, Osaka University
- Sardar, S. 2014. *Accumulative Roll Bonding of AA6005 and AA1060 Metal Strip: Study on Microstructure, Mechanical Properties and Evaluation of Minimum Bonding Criteria*. Kharagpur: Departement of Metallurgical & Materials Engineering, IIT.
- Schey, John A. 1988. *Introduction to Manufacturing Processes*. Singapore: *Second edition* McGraw-Hill Book Company.
- Su, Liong. 2013. *Microstructure and Mechanical properties of 1050/6061 laminated composite processed by accumulative roll bonding*. University of Wollongong Australia.
- Surdia, Tata. 1995. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Toroghinejad R Mohammad, Ashrafizadeh F, and Jamaati R (2012) *On The Use of Accumulative Roll Bonding Process to Develop Nanostructured Alumunium Alloy 5083*. Amol, Islamic Azad University.
- Totten, E George. 2003. Handbook of Aluminum vol 2. New York: Marcel Dekker, Inc.

- Y, C et al. 2017. *Mechanical Properties and Interfacial Structure of Hot-Roll Bonding TA2/Q235B Plate Using DT4 Interlayer*. Qinhuangdo, Yanshan University.
- Z, Yuxun., Y, Youping., H, Shiquan., D, Fei., W, Huimin. 2017. *Investigation of the Quenching Sensitivity of Forged 2A14 Aluminum Alloy by Time-Temperature-Tensile Properties Diagrams*. China, Central South University.

