

**PENGARUH LINGKUNGAN PANTAI TERHADAP LAJU KOROSI DAN
SIFAT MEKANIK Al-4,4%Cu DENGAN PERLAKUAN AGING PADA
SUHU 140°C SELAMA 3 JAM**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Mesin



Disusun Oleh:

YULIUS DENI SAPUTRO

NIM: 155214058

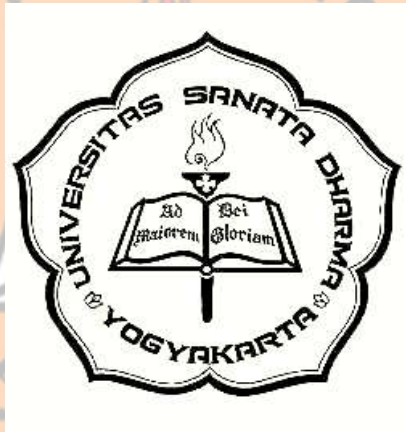
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2019

**THE EFFECT OF COASTAL ENVIRONMENT TO CORROSION
RATE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-4,4%Cu
WITH AGING TREATMENT AT 140^o C
FOR 3 HOURS**

FINAL PROJECT

Presented as partial fulfillment of the requirements
to obtain the Sarjana Teknik degree
in Mechanical Engineering



By:

YULIUS DENI SAPUTRO

Student ID: 155214058

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
SCIENCE AND TECHNOLOGY FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA**

2019

**PENGARUH LINGKUNGAN PANTAI TERHADAP LAJU KOROSI DAN
SIFAT MEKANIK Al-4,4%Cu DENGAN PERLAKUAN AGING PADA
SUHU 140°C SELAMA 3 JAM**

Ditusun Oleh:

YULIUS DENI SAPUTRO

NIM: 155214058



Telah disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Skripsi

Budi Setyahandana S.T., M.T.

**PENGARUH LINGKUNGAN PANTAI TERHADAP LAJU KOROSI DAN
SIFAT MEKANIK Al-4,4%Cu DENGAN PERLAKUAN AGING PADA
SUHU 140°C SELAMA 3 JAM**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Yulius Deni Saputro

NIM: 155214058

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji Skripsi

Fakultas Sains dan Teknologi

Pada tanggal 16 Desember 2019

Susunan Dewan Penguji

1. Ketua : Budi Sugiharto S.T., M.T.
2. Sekretaris : Dr. Eng. I Made Wicaksana Ekaputra
3. Pembimbing : Budi Setyahandana, S.T., M.T.




Yogyakarta, 28 Januari 2020

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

Dekan,




Sudi Mungkasi S.Si., M.Math.Sc., Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir dengan judul “Pengaruh Lingkungan Pantai Terhadap Laju Korosi dan Sifat Mekanik Al-4,4%Cu dengan perlakuan aging pada suhu 140° C selama 3 jam ” ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 16 Desember 2019



Yulius Deni Saputro

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma:

Nama : Yulius Deni Saputro

Nomor Mahasiswa : 155214058

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH LINGKUNGAN PANTAI TERHADAP LAJU KOROSI DAN
SIFAT MEKANIK Al-4,4%Cu DENGAN PERLAKUAN AGING PADA SUHU
140^o C SELAMA 3 JAM

Beserta perangkat yang diperlukan. Dengan demikian saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma hak untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas, dan mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya maupun memberikan royalti kepada saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 16 Desember 2019

Yang menyatakan,



Yulius Deni Saputro

INTISARI

Aluminium merupakan material yang tahan korosi, tidak beracun, ringan, pengantar panas yang baik dan mudah dibentuk. Dari sifat-sifat tersebut maka aluminium banyak dipadukan dengan logam lain. Salah satu cara yang dilakukan untuk memperbaiki sifat Al adalah dengan proses untuk meningkatkan kekerasan aluminium, tiap paduan aluminium memiliki suhu dan waktu *aging* yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekerasan dan laju korosi aluminium paduan tembaga 4,4%.

Proses pengujian dimulai dengan proses pengecoran, lalu spesimen dibentuk menggunakan standard ASTM A370. Metode *aging* yang dilakukan adalah *artificial aging* menggunakan suhu 140°C selama 3 jam dengan pendinginan secara perlahan pada suhu ruangan, setelah diberi perlakuan *aging* bahan dikorosi di lingkungan pantai selama 3 bulan. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan meliputi pengujian tarik dan pengujian kekerasan *Brinell*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *aging* pada aluminium paduan tembaga 4,4% menaikkan nilai kekerasan. Kekerasan setelah *aging* memiliki nilai sebesar 104,33 BHN, nilai kekerasan turun sebesar 2% pada bahan yang dikorosi selama 3 bulan. Pada pengujian uji tarik perlakuan korosi tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik Al-4,4%Cu yang terkorosi sampai 2 bulan. Pada bulan ketiga, spesimen mengalami penurunan kekuatan tarik sebesar 8,5%. Laju korosi benda uji tarik pada bulan ketiga sebesar 0,86, laju korosi benda uji kekerasan pada bulan ketiga sebesar 0,35 mdd.

Kata kunci: Al-4,4%Cu, *aging*, kekerasan, kekuatan tarik, laju korosi.

ABSTRACT

Aluminum is a corrosion resistant, non-toxic, lightweight, good conductor of heat and is easily formed. From these properties, aluminum is often combined with other metals. Another way to improve the properties of Al is by a process to increase the hardness of aluminum, each aluminum alloy has a different temperature and aging time. This study aims to determine the tensile strength, hardness and corrosion rate of aluminum alloy 4.4% copper.

The testing process begins with the casting process, then the specimen is formed using the ASTM A370 standard. The aging method used is artificial aging using a temperature of 140 ° C for 3 hours by slowly cooling at room temperature, after being given an aging treatment the material was corroded in the coastal environment for 3 months. Mechanical properties testing was conducted on tensile testing and Brinell hardness testing.

The results showed that the aging treatment of aluminum alloy 4.4% copper increased the hardness value. hardness after aging had a value of 104.33 BHN, the value of hardness decreased by 2% in the corroded material for 3 months. In the tensile test, corrosion treatment did not significantly influence the tensile strength of Al-4.4% Cu which was corroded for up to 2 months. In the third month, the specimen experienced a decrease in tensile strength by 8.5%. Corrosion rate of tensile test specimens in the third month was 0.86 mdd, corrosion rate of hardness specimens in the third month was 0.35 mdd.

Keywords: Al-4,4% Cu, aging, hardness, tensile strength, corrosion rate.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang selalu melimpahkan rahmat-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi bagi mahasiswa Teknik Mesin sebelum dinyatakan lulus sebagai Sarjana Teknik. Pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak, baik berupa materi, bimbingan, kerjasama serta dukungan moril. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:


1. Sudi Mungkasi S.Si., M.Math.Sc., Ph.D., Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Budi Setyahandana S.T., MT., Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma.
3. Doddy Purwadianto, S.T., M.T., Dosen Pembimbing Akademik.
4. Budi Setyahandana MT., Dosen Pembimbing Skripsi.
5. Seluruh Dosen dan Tenaga Kependidikan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
6. Doddy Purwadianto, S.T., M.T., Kepala Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma.
7. Martono Dwiyaning Nugroho, Ag. Ronny Widaryawan, Intan Widanarko dan semua Laboran yang lain.
8. Keluarga tercinta, Bapak, Ibu, Adik, dan keponakan atas dukungan moral, motivasi, dan financial.
9. Teman satu kelompok penelitian Adventus Anatoly.
10. Pemilik dan karyawan tempat pengecoran KM. Alumunium.
11. Mas Tri, Tenaga Kependidikan Prodi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma.

12. Rekan-rekan dan semua pihak yang membantu dalam penulisan Skripsi ini. Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan-kekurangan yang perlu diperbaiki dalam penyusunan skripsi, mengenai hal tersebut penulis mengharapkan masukan dan kritik, serta saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak agar dapat menyempurnakan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, untuk penulis maupun pembaca. Terima kasih.

Yogyakarta, 16 Desember 2019

Penulis,



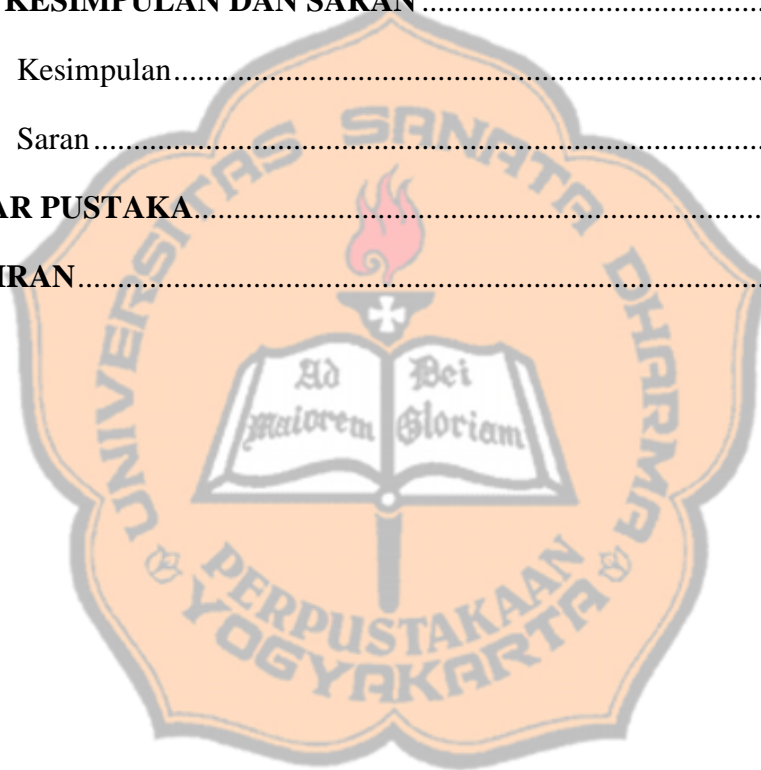
Yulius Deni Saputro

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PAGE TITLE	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN.....	vi
INTISARI.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Aluminium Dan Tembaga.....	5
2.2 Aluminium Murni.....	7
2.3 Aluminium Paduan.....	8
2.3.1 Paduan Aluminium Utama.....	9
2.3.2 Paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu).....	13
2.4 Sifat Mekanik.....	13

2.4.1	Uji Tarik.....	14
2.4.2	Uji Kekerasan	17
2.5	Aging	19
2.6	Korosi	20
2.6.1.	Konsep Dasar Korosi	21
2.6.2.	Laju Korosi	23
2.7	Tinjauan Pustaka	24
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.2	Bahan dan Alat Yang Digunakan.....	28
3.2.1	Bahan Penelitian	28
3.2.2	Alat Pengujian.....	29
3.3	Proses Pengecoran.....	31
3.3.1	Pembuatan Cetakan.....	32
3.3.2	Peleburan Bahan.....	32
3.3.3	Penuangan Logam Cair.....	33
3.3.4	Pembekuan Logam Cair.....	34
3.3.5	Pelepasan Coran Dari Cetakan.....	34
3.4	Pembuatan Spesimen.....	35
3.4.1	Spesimen Uji Tarik	35
3.4.2	Spesimen Uji Kekerasan.....	36
3.5	Proses Aging.....	36
3.6	Pengujian Spesimen.....	37
3.6.1	Pengujian Tarik.....	37
3.6.2	Pengujian Kekerasan.....	37
3.6.3	Perhitungan Laju Korosi.....	38

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Hasil Pengujian.....	42
4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Brinell	42
4.3 Data Hasil Pengujian Tarik	45
4.4 Data Perhitungan Laju Korosi	48
4.4.1 Perhitungan Laju Korosi Dengan Perubahan Berat Spesimen.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagan proses peleburan tembaga	6
Gambar 2.2 Spesimen berbentuk silinder pada pengujian tarik.....	15
Gambar 2.3 Kurva tegangan – regangan serta proses pengujian tarik menggunakan spesimen silinder.....	16
Gambar 2.4 Pengujian Brinell.....	17
Gambar 2.5 Proses pengujian brinell	18
Gambar 2.6 Komponen utama terjadinya korosi	21
Gambar 2.7 Proses terjadinya korosi	22
Gambar 3.1 Diagram Penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Aluminium	28
Gambar 3. 3 Tembaga.....	28
Gambar 3. 4 Oven	30
Gambar 3. 5 Mesin Uji Tarik.....	30
Gambar 3. 6 Mesin Uji Kekerasan Brinell.....	31
Gambar 3. 7 Cetakan pasir	32
Gambar 3. 8 Proses Peleburan Bahan	33
Gambar 3. 9 Penuangan Logam Aluminium.....	34
Gambar 3. 10 Hasil cetakan yang baru dilepas dari cetakan.....	35
Gambar 3. 11 Standarisasi Spesimen Uji Tarik	35
Gambar 3. 12 Dimesi Benda Uji Tarik	36
Gambar 3. 13 Bahan ditimbang	39
Gambar 3. 14 bahan dibersihkan.....	39

Gambar 3. 15 Bahan direndam dalam aseton.....	40
Gambar 3.16 Bahan dicuci dengan sabun.....	40
Gambar 3. 17 Bahan ditimbang kembali setelah dibersihkan.....	41
Gambar 4.1 Grafik rata-rata uji kekerasan <i>Brinell</i> Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.....	44
Gambar 4.2 Grafik rata-rata kekuatan tarik Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.	46
Gambar 4.3 Grafik rata-rata regangan Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.....	47
Gambar 4.4 Sketsa spesimen.....	48
Gambar 4.5 Grafik Laju Korosi bahan uji tarik Al-Cu yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.	49
Gambar 4.6 Benda uji digantung dibawah atap rumah (<i>outdoor</i>)......	51
Gambar 4.7 Partikel garam dan produk korosi yang menempel pada spesimen aluminium kondisi awal setelah mengalami dua bulan perlakuan korosi.	51
Gambar 4.8 Permukaan benda uji tarik dan kekerasan sebelum dikorosikan.....	52

DAFTAR TABLE

Table 2. 1 Sifat-sifat fisik aluminium	7
Table 2. 2 Sifat-sifat mekanik aluminium.....	8
Table 2. 3 Klasifikasi paduan aluminium tempaan.....	9
Table 2. 4 Klasifikasi perlakuan bahan.....	10
Table 2. 5 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Cu-Mg.....	12
Table 2. 6 Konversi pada diameter indenter	18
Table 4. 1 Data hasil pengujian kekerasan Brinell Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.....	43
Table 4. 2 Data hasil pengujian tarikl Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam	45
Table 4. 3 Data hasil laju korosi bahan uji tarik Al-4,4%Cu yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam	49
Table 4. 4 Data hasil laju korosi bahan uji kekerasan Brinell Al-4,4%Cu yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin pesat khususnya dalam bidang industri menyebabkan kebutuhan bahan aluminium meningkat dari waktu ke waktu. Pemakaian aluminium dalam kehidupan sehari-hari cenderung semakin meningkat. Banyak sifat aluminium yang menguntungkan seperti tahan karat, berat jenis yang rendah (ringan), titik lebur yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan logam yang lain seperti besi dan baja, lebih mudah dilakukan perubahan bentuk (*good formability*), daya hantar listrik dan panas yang tinggi, kenampakan yang menarik serta sifat-sifat lainnya. Perkembangan pemakaian aluminium tidak terbatas hanya pada negara-negara yang mempunyai teknologi dan tingkat pendapatan tinggi seperti negara-negara industri maju, tetapi perkembangan pemakaian aluminium juga terdapat pada negara-negara yang baru berkembang.

Sifat atau komposisi kebutuhan aluminium tidak sama disebabkan oleh perkembangan waktu, teknologi dan pendapatan masyarakatnya. Di Indonesia, ketersediaan bauksit sangat melimpah dan telah banyak perusahaan berlomba-lomba untuk mencari bauksit yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan aluminium. Kebutuhan bahan aluminium yang semakin meningkat menyebabkan manusia melakukan banyak penelitian untuk menghasilkan dan mengetahui sifat mekanis dari bahan-bahan industri. Di zaman sekarang mereka melakukan banyak inovasi dengan cara menghasilkan dan mengetahui sifat mekanis, sifat fisis, serta komposisi dari suatu bahan untuk mendapatkan sifat-sifat bahan yang mereka inginkan. Aluminium merupakan material yang tahan korosi, tidak beracun, ringan, pengantar panas yang baik dan mudah dibentuk. Sifat aluminium yang tahan terhadap korosi maka diperlukan penelitian pengaruh lingkungan pantai terhadap aluminium paduan tembaga. Karena penggunaan aluminium paduan yang semakin banyak. Selain itu

aluminium dapat dipergunakan untuk peralatan rumah tangga, aluminium banyak digunakan untuk keperluan industri seperti bahan pesawat terbang, kapal laut, elektronik, mobil, motor, dan konstruksi. Salah satu cara yang dilakukan untuk memperbaiki sifat Al adalah dengan proses Aging. Menurut Tata Surdia dan S. Saito, pada buku Pengetahuan Bahan Teknik tahun 1985 paduan Al–Cu dengan kadar tembaga 4% sampai 5% paling sering digunakan sebagai paduan coran, karena dapat meningkatkan tegangan tarik, jika kadar ditingkatkan lebih dari 5% akan menurunkan ketahanan korosi dari material paduan, cenderung bersifat getas, dan mudah retak pada coran.

Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian mengenai pengaruh *aging* terhadap sifat mekanis pada aluminium paduan tembaga 4,4%, dengan pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan korosi pada pengaruh lingkungan pantai. Penulis memilih proses *aging* sebagai proses awal sebelum diujikan sifat mekanis dari aluminium paduan tembaga untuk mengetahui sifat mekanis terhadap bahan ketika dipadukan dan diuji.

1.2 Rumusan Masalah

Penulis akan meneliti pengaruh lingkungan pantai pada sifat fisis dan mekanis apabila aluminium dipadukan dengan tembaga, sehingga diperlukan suatu perumusan masalah agar penelitian ini dapat dilakukan secara terarah. Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh *aging* dan korosi terhadap kekuatan tarik dan regangan aluminium paduan tembaga 4,4%?
2. Bagaimana pengaruh *aging* dan korosi terhadap kekerasan aluminium paduan tembaga 4,4%?
3. Bagaimana pengaruh laju korosi terhadap aluminium paduan tembaga 4,4% yang diberi perlakuan *aging*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian tentang pengaruh lingkungan pantai terhadap sifat fisis dan mekanis pada aluminium paduan tembaga, yaitu :

- a. Mengetahui kekuatan tarik dan regangan aluminium paduan tembaga 4,4% setelah melalui proses *aging* dan korosi.
- b. Mengetahui kekerasan aluminium paduan tembaga 4,4% setelah melalui proses *aging* dan korosi.
- c. Mengetahui laju korosi aluminium paduan tembaga 4,4% setelah melalui proses *aging* dan korosi.

1.4 Batasan Masalah

1. Komposisi tembaga sebanyak 4,4%.
2. Spesimen dibuat dengan cara machining sesuai dengan ASTM A370.
3. Proses *aging* dilakukan pada suhu 140°C selama 3 jam.
4. Pengujian yang bersifat mekanis yaitu: uji tarik, dan uji kekerasan *Brinell* di laboratorium.
5. Uji terhadap korosi dilakukan pada lingkungan pantai selama 3 bulan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang pengaruh mangan terhadap pengujian mekanis pada material aluminium paduan tembaga 4,4%.
- b. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi oleh pengusaha pembuatan aluminium paduan.
- c. Hasil dari penelitian ini akan dikembangkan serta akan diuji apakah dapat digunakan untuk kebutuhan industri ataupun lainnya.

- d. Bagi mahasiswa dapat digunakan untuk referensi tugas akhir yang berkaitan dengan aluminium.
- e. Bagi masyarakat umum dapat digunakan untuk pengetahuan tentang aluminium.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Aluminium Dan Tembaga

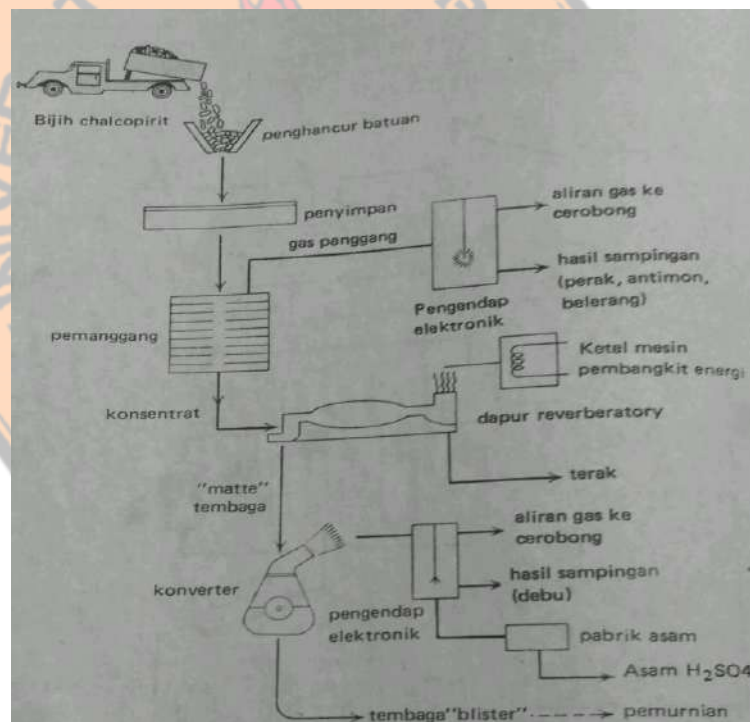
Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat ketahanan korosi yang baik. Material ini digunakan dalam bidang yang luas bukan hanya untuk peralatan rumah tangga saja. Tetapi juga dipakai untuk kepentingan industri, misalnya untuk industri pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi-konstruksi yang lain.

Pembuatan aluminium menggunakan bauksit, bauksit merupakan sumber aluminium yang ekonomis. Bauksit banyak terdapat di daerah Kalimantan dan Bintan. Cara penambangan adalah penambangan terbuka, bauksit kemudian dihaluskan, dicuci dan dikeringkan. Sesudah itu bauksit mengalami pemurnian menjadi oksida aluminium atau alumina. Setelah itu dilakukan proses *bayer*, yang dikembangkan oleh *Karl Josef Bayer*, seorang ahli kimia berkebangsaan Jerman, untuk memperoleh aluminium murni.

Aluminium memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan logam yang lain. Tetapi dalam aplikasi pada bidang teknik, aluminium masih memiliki kelemahan, yaitu sifat mekanik yang kurang baik, seperti pada tingkat kekerasan, regangan dan batas cair. Sehingga pada aluminium murni tidak bisa digunakan sebagai komponen pada mesin atau konstruksi bangunan. Akan tetapi jika aluminium sedikit dipadukan dengan elemen lain, maka kekuatan dan kekerasannya akan meningkat.

Tembaga diperoleh dari bijih tembaga yang disebut *chalcopirit*. *Chalcopirit* merupakan campuran $Cu_2 S$ dan $Cu Fe S_2$ dan terdapat dalam tambang-tambang di bawah permukaan tanah. Proses pembuatan tembaga diperlihatkan pada Gambar 2.1. Tembaga adalah logam lunak. Oleh karena itu, sifat-sifat yang dimiliki tembaga sangat berguna untuk proses pengerjaan perubahan bentuk dan digunakan untuk gelang paking. Tembaga merupakan

logam yang paling penting di dunia dan diolah dalam keadaan murni. Dalam bentuk campuran-campuran dan sebagai elemen tambahan untuk mengubah sifat dari logam-logam yang lain. Kekuatan tarik tembaga kira-kira 200N/mm^2 . Tembaga mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar pada suhu yang rendah. Oleh karena itu, tembaga merupakan bahan yang baik untuk teknik pendinginan. Tembaga mempunyai sifat lunak, dan tahan korosi. Maka dari itu, tembaga juga digunakan pada pipa saluran air. Tembaga mempunyai daya penghantar panas yang baik dan sekaligus mempunyai refleksi panas yang besar. Sehingga tembaga dapat menghantar panas dengan sempurna. Tembaga mempunyai daya penghantar listrik yang baik, sehingga tembaga banyak dipergunakan sebagai bahan penghantar listrik.



Gambar 2.1 Bagan proses peleburan tembaga

(Sumber: Sriati Djaprei, Teknologi Mekanik, 1993:68)

2.2 Aluminium Murni

Aluminium didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisa. Umumnya mencapai kemurnian 99,85% berat. Dengan mengelektrolisa kembali dapat dicapai kemurnian 99,99% berat yaitu dengan empat angka sembilan.

Tabel 2.1 menunjukkan sifat-sifat fisik Al dan Tabel 2.2 menunjukan sifat-sifat mekaniknya.

Table 2. 1 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Masa Jenis (20° C)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653 – 657
Panas Jenis (cal/gr °C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , $\alpha=4,013 \text{ kX}$	<i>fcc</i> , $\alpha=4,04 \text{ kX}$

Catatan: fcc = face centered cubic; kubus perpusat muka

(Sumber: Surdia,T., Saito, S. : Pengetahuan Bahan Teknik, 134)

Table 2. 2 Sifat-sifat mekanik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

(Sumber: Surdia, T., Saito, S. : Pengetahuan Bahan Teknik, 134)

Ketahanan korosi berubah menurut tingkat kemurniannya. Aluminium dengan kemurnian 99,0% atau di atasnya dapat dipergunakan di udara selama bertahun-tahun. Hantaran listrik aluminium kira-kira 65% dari hantaran listrik tembaga, tetapi massa jenisnya kira-kira satupertiganya. Sehingga memungkinkan untuk perluasan penampangnya. Oleh karena itu dapat dipergunakan untuk kabel-kabel tenaga dan bisa untuk lembaran tipis (*foil*). Aluminium dengan kadar 99,0% dapat dipergunakan untuk reflektor yang memerlukan reflektipitas yang tinggi.

2.3 Aluminium Paduan

Kekuatan aluminium dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur-unsur paduan ke dalam aluminium. Kekuatan aluminium paduan ini dapat di tingkatkan lagi dengan proses perlakuan panas. Sehingga penggunaannya dapat lebih luas dibandingkan dengan aluminium murni. Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat

ini klasifikasi yang sangat terkenal dan sempurna adalah standar *Aluminium Association* di Amerika (AA). Didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*Aluminium of America*). Paduan tempaan dinyatakan dengan satu atau dua angka "S". Sedangkan paduan coran dinyatakan dengan 3 angka. Standar paduan dengan unsur-unsur yang ditambahkan, yaitu : 1: Al murni, 2: Al-Cu 3: Al-Mn, 4: Al-Si, 5: Al-Mg, 6: Al-Mg-Si, 7: Al-Zn. Sebagai contoh, 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 dimaksudkan untuk tanda *Alcoa* terdahulu kecuali S, sebagai contoh, 3 S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063. Al dengan kemurnian 99,0% atau di atasnya dengan ketakmurnian terbatas (2S) dinyatakan sebagai 1100. Tabel 2.3 menunjukkan hubungan tersebut.

2.3.1 Paduan Aluminium Utama

Table 2. 3 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 merupakan unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069	50S-69S	Mg ₂ Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan unsur paduan utama

(Sumber: Surdia T,Saito S, :Pengetahuan Bahan Teknik,135)

Dalam paduan Al perubahan yang berarti dari material disebabkan oleh perlakuan panas. Sebagai contoh untuk 7075-T6, tabel 2.4 menunjukkan klasifikasi perlakuan bahan aluminium.

Table 2. 4 Klasifikasi perlakuan bahan

Tanda	Perlakuan
-F	Setelah pembuatan
-O	Dianil penuh
-H	Pengerasan regangan
-H 1n	Pengerasan regangan
-H 2n	Sebagian dianil setelah pengerasan regangan
-H 3n	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan $n=2$ (1/4 keras), 4(1/2 keras), 6(3/4 keras), 8(keras), 9(sangat keras)
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh (hanya untuk coran)
-T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
-T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
-T5	Penuaan tiruan (tanpa perlakuan pelarutan)
-T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
-T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
-T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
-T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
-T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

(Sumber: Surdia, T., Saito, S.: Pengetahuan Bahan Teknik, 135)

Paduan Al-Cu sering diaplikasikan hanya berkisar sekitar 4-5% Cu. Karena pada paduan ini mempunyai luas dari pembekuannya, penyusutan yang besar, risiko besar pada kegetasan panas dan mudah terjadi retakan pada coran. Adanya Si sangat berguna untuk mengurangi keadaan tersebut. Penambahan T1 sangat efektif untuk memperhalus

butir. Dengan perlakuan panas T6 pada coran dapat dibuat bahan yang mempunyai kekuatan tarik kira-kira 25 kgf/mm^2 .

Sebagai paduan Al-Cu-Mg paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5%Mg dapat mengeras dengan sangat dalam beberapa hari oleh penuaan. Pada temperatur biasa setelah pelarutan. Paduan ini ditemukan oleh A. Wilm dalam usaha mengembangkan paduan Al yang kuat yang dinamakan duralumin. Sudah banyak studi telah dilakukan, mengenai paduan ini. Khususnya Nishimura enjukan dua senyawa terner berada dalam kesetimbangan dengan Al. Yang dinamakan senyawa S dan T, dan ternyata bahwa senyawa S (Al_2CuMg) mempunyai kemampuan penuaan pada temperatur biasa. Duralumin adalah paduan praktis yang sangat terkenal disebut paduan 2024, nama lainnya disebut duralumin super. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang buruk. Jadi apabila ketahanan korosi yang khusus diperlukan, permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alklad. Pada tabel 2.5 menunjukkan sifat-sifat mekanik paduan pada Aluminium-Tembaga-Magnesium.

Penggunaan aluminium pada umumnya terbatas pada aplikasi yang tidak terlalu mengutamakan faktor kekuatan. Seperti penghantar panas dan listrik, perlengkapan bidang kimia, lembaran (*plat*) dan sebagainya. Salah satu usaha untuk meningkatkan aluminium murni adalah dengan perlakuan panas (*heat treatment*). Tetapi cara ini tidak senantiasa memuaskan bila tujuan utama adalah untuk menaikkan kekuatan bahan

Table 2. 5 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Cu-Mg

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan Mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Kekerasan brinell	Batas Lelah (kgf/mm ²)
17S (2017)	O	18,3	7,0	-	12,7	45	7,7
	T4	43,6	28,1	-	26,7	105	12,7
A17S (A2017)	T4	30,2	16,9	27	19,7	70	9,5
R317	Setelah dianil	42,9	24,6	22	-	100	-
24S (2024)	O	18,9	7,7	22	12,7	42	-
	T4	47,8	32,3	22	28,8	120	-
	T36	51,3	40,1	-	29,5	130	-
14S (2014)	O	19,0	9,8	18	12,7	45	-
	T4	39,4	28,0	25	23,9	100	-
	T4	49,0	42,0	13	29,5	135	-

(Sumber: Surdia T, Saito S,:Pengetahuan Bahan Teknik, hal 137)

2.3.2 Paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu)

Tembaga merupakan salah satu logam *non fero* yang kebanyakan digunakan pada paduan aluminium. Dengan menambahkan tembaga sebagai paduan, akan meningkatkan kekuatan dan ketahanan lelah (*fatigue*). Menurut B.H.Amstead (1997: 71) “tembaga sebagai unsur paduan aluminium dan jumlah tertentu akan menambah kekuatan dan kekerasannya”. Selain itu juga dengan paduan tembaga juga dapat memperbaiki kekuatan tarik. Mempermudah pengerjaan dengan mesin, menurunkan daya terhadap korosi dan mengurangi kemampuan dibentuk dan dirol.

Paduan aluminium-tembaga adalah paduan aluminium yang mengandung tembaga 4,4%. Memiliki sifat-sifat mekanik yang baik sedangkan sifat coranya agak jelek. Paduan ini di pakai untuk bagian – bagian motor, mobil, meteran, dan rangka utama dari *valve*.

Kelebihan:

1. Meningkatkan kekerasan bahan.
2. Memperbaiki kekuatan tarik pada aluminium.
3. Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin.

Kekurangan:

1. Menurunkan daya tahan terhadap korosi.
2. Mengurangi keuletan bahan.
3. Menurunkan kemampuan jika ingin dibentuk dan di rol.

2.4 Sifat Mekanik

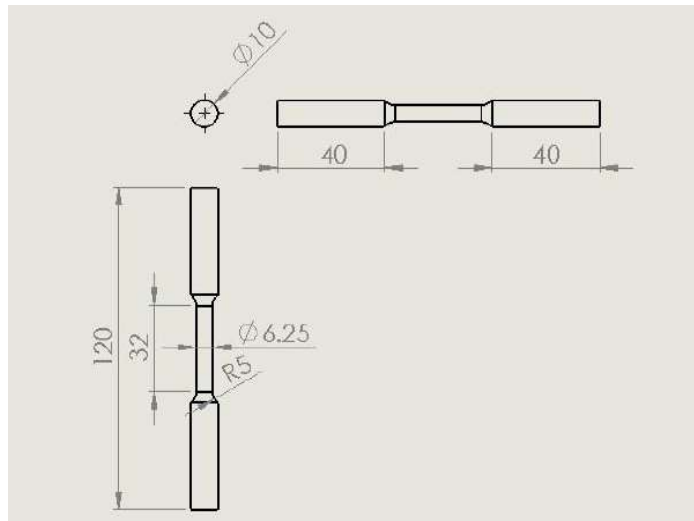
Pada saat ini semua material apapun pasti memiliki cacat-cacat kisi. Yang akan mempengaruhi sifat-sifat yang berkaitan dengan struktur kristal tersebut. Dengan mengamati sifat mekanik pada logam, akan memiliki informasi sifat-sifat cacat kisi tersebut. Ada beberapa metode pengujian mekanik pada logam seperti uji tarik, uji kekerasan dan uji *impact*. Apapun

tujuannya, pengujian mekanik berperan besar dalam metalurgi fisika dan pantas mendapat perhatian khusus.

2.4.1 Uji Tarik

Uji tarik adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia. Misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan. Dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Deformasi bahan disebabkan oleh beban tarik, beban tarik adalah dasar dari pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan, hal ini disebabkan karena pengujian ini sangat mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan *unifrom* pada penampang.

Pada uji tarik, ujung-ujung benda uji dijepit dengan kuat dan salah satu ujungnya dihubungkan dengan alat pengukur bahan, sedangkan ujung yang satu lagi dengan alat penarik. Regangan (elongasi) benda uji terlihat pada pergerakan relatifnya. Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu regangan diukur dengan menggunakan metode hidraulik, optik, atau elektromekanik. Untuk melaksanakan uji tarik, kita membutuhkan batang tarik. Benda uji tersebut sudah dilakukan perlakuan *normalising*, dibubut agar menjadi ukuran yang kita inginkan. Pada gambar 2.4 benda tersebut dijepit di antara dua kepala pengikat lalu akan di tarik hingga putus.



Gambar 2.2 Spesimen berbentuk silinder pada pengujian tarik

Dalam pengujian tarik tersebut akan dicari regangan dan tegangan pada proses pengujian. Dengan tegangan kita artikan gaya tiap satuan-luas dengan menghitung tegangan dan regangan maka menggunakan rumus berikut :

1. Tegangan

$$\sigma = \frac{P \text{ kg}}{A \text{ mm}^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

P adalah gaya maksimal (kg), A₀ adalah luas penampang semula (mm²) dan σ adalah tegangan yang dihitung atau yang disebut tegangan nominal.

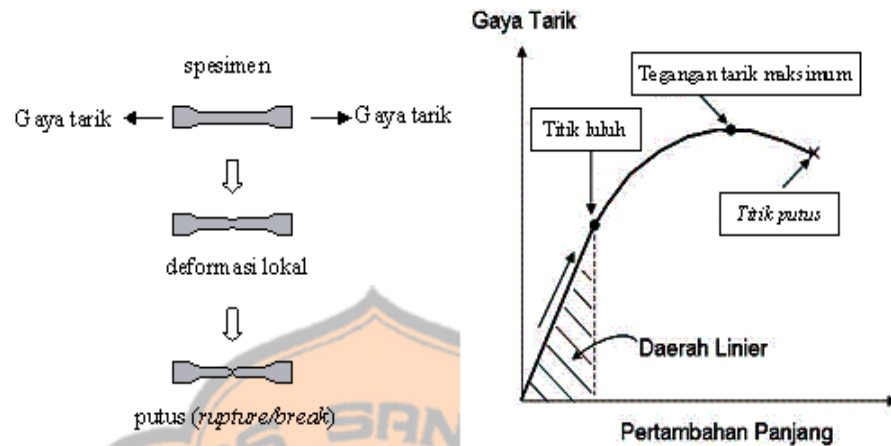
2. Regangan

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \text{ atau } \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

ε adalah regangan, L panjang akhir (mm), L₀ merupakan panjang awal (mm) , dan ΔL merupakan pertambahan panjang (mm).

Pada waktu percobaan tersebut hubungan antara regangan dan tegangan dapat digambarkan dalam diagram tegangan dan regangan. Dalam

diagram tersebut sangat lah penting untuk mengetahui sifat material yang telah diuji.



Gambar 2.3 Kurva tegangan – regangan serta proses pengujian tarik menggunakan spesimen silinder.

Titik luluh merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Baja berkekuatan tinggi dan besi tuang yang getas umumnya tidak memperlihatkan batas luluh yang jelas. Untuk menentukan kekuatan luluh material seperti ini maka digunakan suatu metode yang dikenal sebagai metode *Offset*. Dengan metode ini kekuatan luluh (*yield strength*) ditentukan sebagai tegangan dimana bahan memperlihatkan batas penyimpangan tertentu dari *proporsionalitas* tegangan dan regangan.

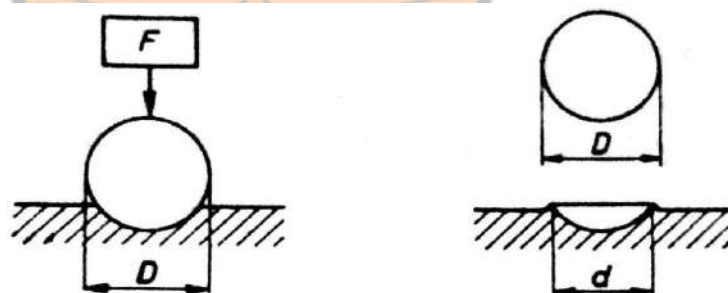
Tegangan tarik maksimum adalah tegangan yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik. Sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan disebut dengan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Nilainya tidak bergantung pada ukuran bahan, melainkan karena faktor jenis bahan. Setelah benda uji mengalami tegangan tarik maksimum maka benda tersebut akan patah. Hal ini dinamakan dengan titik putus.

2.4.2 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan sebuah pengujian untuk mengetahui ketahanan pada sebuah material. Salah satu cara untuk mengetahui ketahanan yaitu, dengan menggunakan alat uji kekerasan *Brinell*.

2.4.2.1 Kekerasan Brinell

Pengujian brinell adalah salah satu cara pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan. Pada pengujian brinell digunakan bola baja yang dikeraskan sebagai indentor. Pengujian kekerasan khususnya logam sangat diperlukan dalam bidang manufaktur. Dengan melakukan pengujian kekerasan dapat diketahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu. Uji kekerasan brinell dilakukan dengan cara material diberi tekanan dengan memakai bola baja berdiameter 10mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk logam lunak, beban dikurangi hingga tinggal 500kg, beban diterapkan selama waktu tertentu biasanya 30 detik dengan diameter indentor 2,5mm. (lihat gambar 2.6).



Gambar 2.4 Pengujian Brinell

(Sumber: Breumer, L.J.M : Ilmu Bahan Logam, hal 25)

Untuk mengetahui angka kekerasan brinell maka menggunakan persamaan:

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana P = beban yang diterapkan (kg)

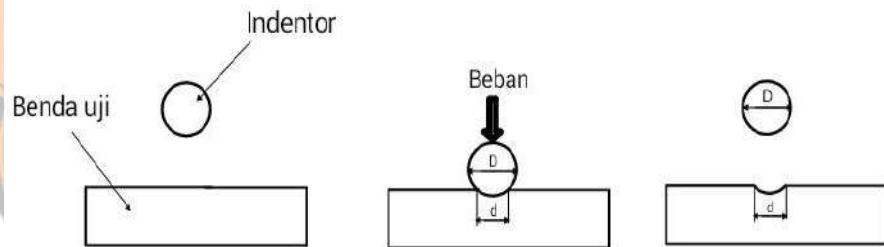
D = diameter bola (mm)

d = diameter lekukan (mm)

Table 2. 6 Konversi pada diameter indentor

Diameter indentor D(mm)	Beban P (kg)		
	30 D ²	10 D ²	5 D ²
10	3000	1000	500
5	750	250	125
2,5	187,5	62,5	31,25

(Sumber: Buku Panduan Praktikum Ilmu Logam, USD Yogyakarta, hal 9)



Gambar 2.5 Proses pengujian brinell

Keuntungan:

1. Bekas tekanan yang besar kekerasan rata-rata dari bahan yang tidak homogen dapat ditentukan, misalnya : besi tuang

Kerugian:

2. Benda kerja tidak dapat digunakan kembali karena besarnya tekanan pada material.

2.5 Aging

Aging yaitu proses pemanasan kembali logam menurut waktu pada suhu yang tidak terlalu tinggi untuk menghilangkan diskolasi akibat presipitasi partikel dengan deformasi partikel sehingga paduan mengalami penguatan. Sebelum diberi perlakuan aging diberi *Solution treatment* yang bertujuan untuk memanaskan paduan ke suhu yang sesuai, menahannya pada suhu yang cukup lama untuk menyebabkan satu atau lebih konstituen masuk ke dalam larutan padat dan kemudian mendinginkannya cukup cepat untuk menahan konstituen ini dalam larutan. *Solution treatment* memungkinkan pelepasan terkontrol konstituen ini baik secara alami (pada suhu kamar) atau secara buatan (pada suhu yang lebih tinggi). *Solution treatment* biasanya dilakukan dalam kisaran 450°C hingga 575°C di udara, diikuti dengan pendinginan cepat ke dalam air dingin, air panas, air mendidih, larutan polimer air (glikol), semprotan air atau udara. *Natural aging* akan terjadi pada suhu sekitar untuk paduan aluminium 2XXX, 6XXX, 2XX dan 3XX, dengan sebagian besar mencapai temper yang stabil setelah 96 jam, *artificial aging* dalam kisaran 93°C hingga 245°. (Bodycote.com, 2019)

Proses aging bertujuan untuk mengeraskan dan membentuk keseragaman struktur bahan. Bahan dipanaskan sampai pada temperature hampir menyentuh titik ubah, kemudian dibiarkan dengan waktu tertentu. Kekerasan dan keseragaman stuktur dapat diperoleh tergantung pada lamanya proses pemanasan. Pendinginan dilakukan perlahan-lahan ada suhu kamar.

Aging atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*), ada pun penjelasan dari keduanya adalah sebagai berikut:

a). *Natural Aging*

Natural aging adalah proses penuaan untuk paduan aluminium yang berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C-25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari.

b). *Artificial Aging*

Artificial aging atau biasa disebut penuaan buatan adalah penuaan untuk paduan aluminium yang berlangsung keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100°C-200°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam. (Fuad,2010).

Ada 2 metode utama untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada paduan yaitu: pengerjaan dingin dan perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang terpenting untuk paduan non logam adalah pengerjaan penuaan atau pengerjaan presipitasi. Dalam menerapkan perlakuan panas ini, diagram kesetimbangan harus menunjukkan daya larut pada parsial. Seperti itu, yang ada daya larut lebih besar pada temperatur lebih tinggi dibanding temperatur lebih rendah.

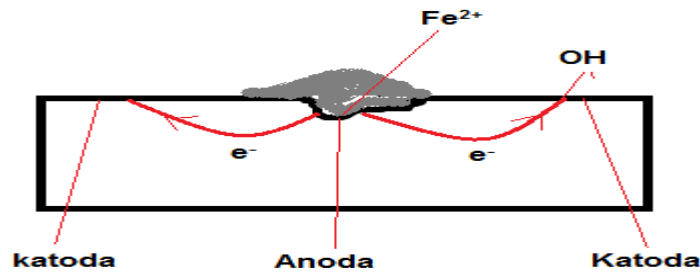
2.6 Korosi

Korosi adalah peristiwa rusaknya suatu bahan atau menurunnya kualitas bahan karena reaksi dengan lingkungannya. Proses korosi tidak dapat dihindari oleh sebuah material, korosi hanya dapat dicegah. Pencegahan korosi sejak awal sampai sekarang sudah banyak dilakukan karena korosi merusak. Korosi juga sangat merugikan, seperti dalam hal:

- a. Biaya korosi yang sangat mahal, baik akibat korosi itu sendiri maupun yang digunakan dalam pencegahannya.
- b. Korosi sangat memboroskan sumber daya alam.
- c. Korosi sangat membahayakan manusia, bahkan bisa mendatangkan maut.

Kebanyakan proses korosi adalah melalui proses elektrokimia dan beberapa secara kimiawi. Korosi yang terjadi pada logam, dikarenakan kebanyakan logam ditemukan di alam dalam bentuk oksida. Logam juga memiliki kecenderungan untuk kembali kekeadaan pada saat ditemukan di alam.

2.6.1. Konsep Dasar Korosi



Gambar 2.6 Komponen utama terjadinya korosi

(Sumber : Saludin Muis. Teori Keandalan dan Mekanisme Korosi. Hal 61)

Pada Gambar 2.10 terlihat komponen utama terjadinya korosi. Korosi berdasarkan proses elektro-kimia (electrochemical proses) terdiri dari 4 komponen utama yaitu:

1. Anoda

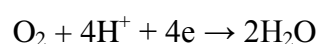
Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan electron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Contoh reaksi pada anoda adalah



Banyak elektron yang diambil dari masing-masing atom ditentukan oleh valensi logam bersangkutan. Umumnya adalah 1, 2, atau 3.

2. Katoda

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin terjadi kerusakan. Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi. Reaksi pada katoda tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti:



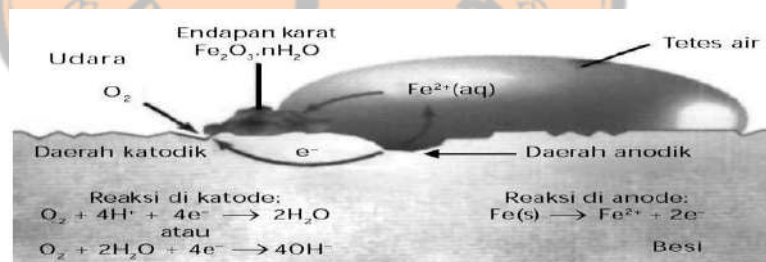
Persyaratan dalam reaksi katoda adalah bahwa reaksi harus mengkonsumsi elektron-elektron yang dihasilkan oleh proses anoda.

3. Elektrolit

Elektrolit adalah larutan yang mempunyai sifat menghantar listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, larutan basa, dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda.

4. Lintasan logam

Anoda dan katoda harus terhubung secara elektris agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama. Agar korosi dapat terjadi, keempat komponen di atas harus ada, maka dapat dikatakan bahwa menghilangkan salah satu dari keempat komponen sel korosi basah sederhana akan menghentikan reaksi korosi. Pada Gambar 2.3 memperlihatkan proses terjadinya korosi.



Gambar 2.7 Proses terjadinya korosi

(Sumber: Saludin Muis. Teori Keandalan dan Mekanisme Korosi. Hal 68)

2.6.2. Laju Korosi

Laju korosi adalah banyaknya material yang hilang (teroksidasi) tiap satuan waktu. Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat atau weight gain loss (WGL), pengujian ini sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Laju korosi dinyatakan dalam mpy (milli inch per year). Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan, waktu dan massa jenis logam yang diuji maka dihasilkan suatu laju korosi. Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi antara lain, yaitu:

1. Suhu

Suhu merupakan faktor penting dalam proses terjadinya korosi, dimana kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya. (Fogler, 1992).

2. Kecepatan Alir Fluida atau Kecepatan Pengadukan

Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan (korosi). (Kirk Othmer, 1965).

3. Konsentrasi Bahan Korosif

Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada di dalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda (Djaprie, 1995).

4. Oksigen

Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi (Djaprie, 1995).

5. Waktu Kontak

Dalam proses terjadinya korosi, laju reaksi sangat berkaitan erat dengan waktu. Pada dasarnya semakin lama waktu logam berinteraksi dengan lingkungan korosif maka semakin tinggi tingkat korosifitasnya.

2.7 Tinjauan Pustaka

Anugerah Novrio Angga. (2018) meneliti tentang “Pengaruh Aging 200°C Dengan Waktu 1-9 Jam terhadap Sifat Mekanik Pada Al-Cu Remelting”. Mengatakan bahwa pengujian tarik beda aging sesudah *remelting* menurunkan keuletannya. Sebelum dilakukan proses aging rata-rata nilai keuletannya adalah 0,022 J/mm². Setelah diberi perlakuan aging selama 9 jam rata-rata nilai keuletannya menjadi 0,010 J/mm². Nilai kekerasan maksimum hasil perlakuan aging dari Al-Cu remelting terjadi pada aging 6 jam yaitu 97,93 BHN dan ketika waktu aging mencapai 9 jam, kekerasannya menurun menjadi 90,52 BHN.

Anne zulfia dkk, (2010), melakukan penelitian pengaruh aging paduan aluminium AA 333. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi

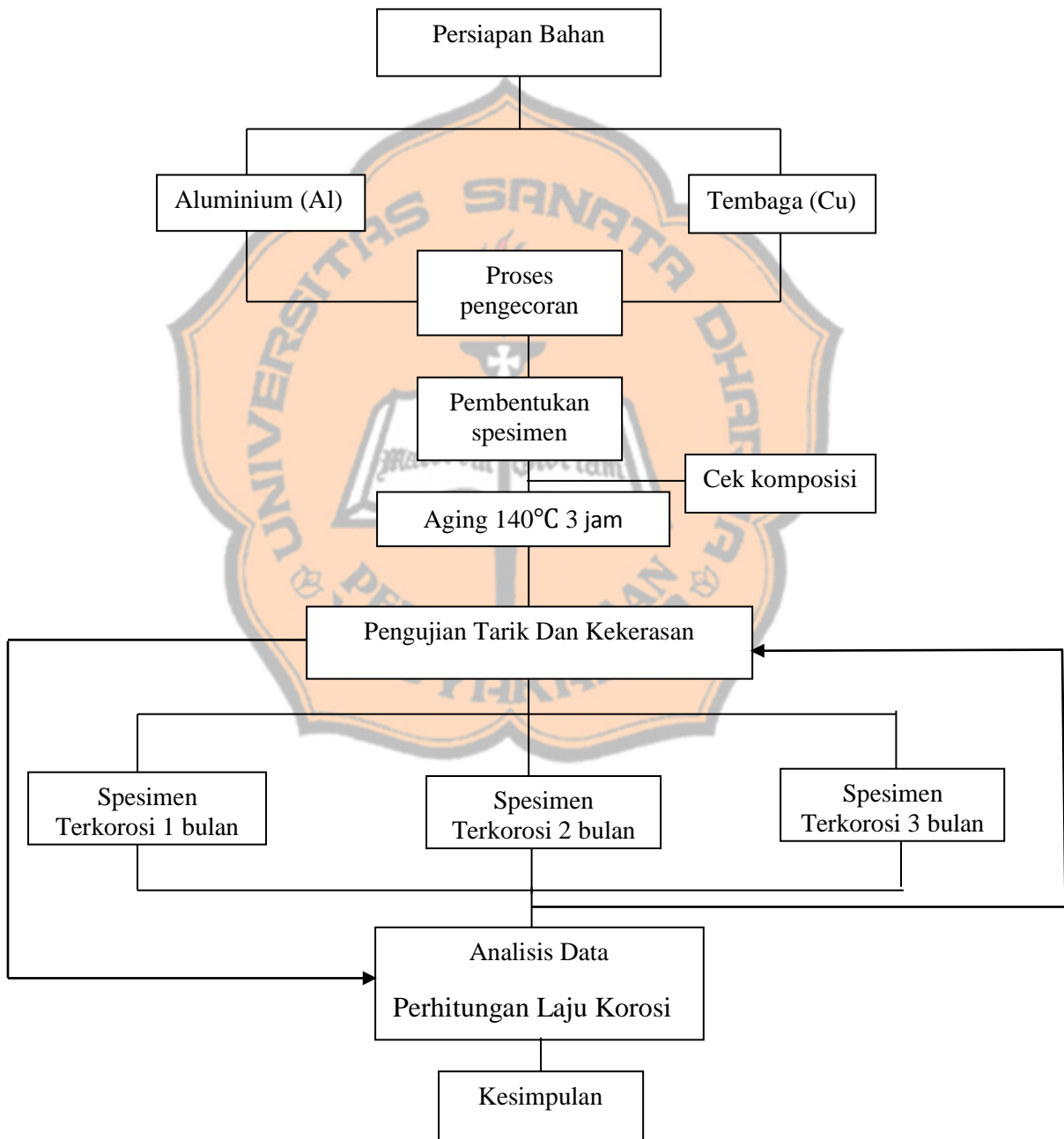
waktu aging yaitu 25 menit, 1 jam, 5 jam, 8 jam, dan 16 jam dan variasi aging (waktu aging 3 jam), yaitu 110°C, 150°C, 180°C, 200°C, 250°C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aging temperatur 180°C menyebabkan peningkatan kekerasan paduan aluminium AA 333. Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa proses aging selama 3 jam menyebabkan peningkatan kekerasan dari tiap fase. Waktu aging (pada temperatur 180°C) selama 8 jam dan temperatur aging (selama 3 jam) pada 180°C merupakan waktu yang paling optimum untuk memperoleh kombinasi yang terbaik dari distribusi fase, yang tersebar merata dalam matrik kaya Al, dan ukuran dari masing-masing fase sehingga nilai kekerasan yang tertinggi.

L. Derry Satria Putra. (2016) meneliti tentang “pengaruh korosi lingkungan pantai pada aluminium dengan penambahan komposisi 8,5% silikon dan 8% tembaga”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan komposisi 8,5% silikon dan 8% tembaga meningkatkan kekuatan tarik sebesar 15,32% dari kondisi awal, menjadi 133,106 MPa. Perlakuan korosi selama empat bulan pada aluminium kondisi awal menyebabkan penurunan rata-rata kekuatan tarik sebesar 75,45% dari awal sebelum perlakuan korosi hingga pada bulan keempat menjadi 27,67 MPa. Setelah diberikan penambahan komposisi 8,5% silikon dan 8% tembaga pada spesimen yang diberikan perlakuan korosi, memberikan hasil yang lebih baik pada nilai kekuatan tarik sebesar 48,30% dari awal sebelum perlakuan korosi hingga pada bulan keempat menjadi 68,82 Mpa. Terjadi reaksi kimia $AlCl_3 + 3H_2O$ menjadi $Al(OH)_3 + 3HCl$. NaCl bereaksi dengan aluminium dan menghasilkan Aluminium Klorida ($AlCl_3$). Aluminium klorida berbentuk seperti butiran berwarna putih dan menempel pada permukaan. Tidak terbentuknya Aluminium Oksida (Al_2O_3) menyebabkan terbentuknya Aluminium Hidroksida yang dapat merusak permukaan benda uji sehingga menurunkan kekuatan tarik.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 DIAGRAM PENELITIAN

Diagram penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

3.2 BAHAN DAN ALAT YANG DIGUNAKAN

3.2.1 Bahan Penelitian

Dalam proses pengujian ini, diperlukan bahan utama yang digunakan antara lain sebagai berikut:

1) Aluminium

Bahan utama yang digunakan untuk penelitian ini adalah aluminium, yang diperoleh dari OGINDO Aluminium Jakarta. Aluminium tersebut memiliki tingkat kemurnian 98%. Dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Aluminium

2) Tembaga

Bahan paduan yang digunakan untuk penelitian ini adalah tembaga, yang diperoleh dari 3S material Jakarta, yang berbentuk silinder dengan diameter 10 mm. Dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tembaga

3.2.2 ALAT PENGUJIAN

a. Alat-alat yang digunakan dalam proses pengecoran :

1. Gas Elpiji 3kg/12kg
2. Gergaji
3. Kowi
4. Tungku
5. Tang Jepit
6. Cetakan Logam
7. Mur dan Baut
8. Kunci Ring
9. Timbangan
10. Alat Pengungkit

b. Alat-alat yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji :

1. Mesin Bubut

Mesin Bubut adalah suatu Mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan.

2. Kikir
3. Jangka Sorong

c. Alat yang digunakan dalam proses Aging :

1. Oven

Tujuan oven digunakan dalam pengujian ini adalah untuk melakukan proses aging setelah hasil pengecoran sudah dibentuk spesimen.



Gambar 3.4 Oven

2. Penjepit benda uji.

d. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian benda uji :

1. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik adalah mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian spesimen (bahan), dengan cara menarik spesimen tersebut hingga putus. Hasil ujitarik tersebut merupakan fenomena hubungan antara tegangan-regangan (stress-strain) yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan



Gambar 3. 5 Mesin Uji Tarik

2. Mesin Uji Kekerasan Brinell

Mesin uji kekerasan brinell adalah mesin yang digunakan untuk melakukan sebuah pengujian kekerasan terhadap suatu bahan: Dalam pengujian ini, sebuah bola baja berdiameter tertentu diletakkan di atas bahan yang sedang diuji, lalu dikenakan suatu beban. Hasil dari pengujian ini adalah bilangan kekerasan Brinell, yang tergantung besarnya jejak yang terbentuk pada bahan itu.



Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan Brinell

3. Autosol
4. Kain
5. Amplas (150, 400, 800, 1000 CC-Cw)

3.3 Proses Pengecoran

Pengecoran dalam proses penelitian ini melalui beberapa tahapan antara lain :

1. Pembuatan Cetakan
2. Peleburan Bahan
3. Penuangan Logam cair
4. Pembekuan Logam Cair
5. Pelepasan coran dari cetakan

3.3.1 Pembuatan Cetakan

Suatu tahap yang akan mempengaruhi hasil coran yang akan dihasilkan. Proses pengecoran dalam penelitian ini menggunakan cetakan pasir. Pertimbangannya memakai pengecoran cetakan pasir adalah melihat dari beberapa keuntungan bila menggunakan cetakan pasir.

Keuntungan-keuntungan tersebut adalah :

- a) Material murah, mampu menahan detail dan tahan pada deformasi apabila dipanaskan.
- b) Waktu persiapan cetakan relatif pendek dibandingkan dengan proses lainnya.
- c) Tingkat pemakaian ulang pasir sangat tinggi.



Gambar 3.7 Cetakan pasir

3.3.2 Peleburan Bahan

Proses selanjutnya adalah proses peleburan bahan. Langkah pertama memanaskan kowi dalam tungku dengan menggunakan gas. Setelah kowi sudah panas, potongan bahan coran yang akan dicairkan dimasukkan ke dalam kowi peleburan. Bahan coran yang dimasukkan ke dalam kowi tersebut adalah paduan aluminium-tembaga tersebut. Waktu yang digunakan untuk proses peleburan tersebut dihitung dengan menggunakan stopwatch dimulai saat bahan coran mulai dimasukkan ke dalam kowi.



Gambar 3. 8 Proses Peleburan Bahan

3.3.3 Penuangan Logam Cair

Bahan logam yang telah lebur dan sudah menjadi logam cair siap memasuki tahapan selanjutnya yaitu, proses penuangan. Bahan coran yang telah cair dalam kowi yang digunakan untuk melebur diangkat dengan tang penjepit yang kemudian dituangkan kedalam cetakan yang telah disiapkan sebelumnya sampai cetakan terisi penuh. Kecepatan penuangan yang rendah akan menyebabkan cacat coran berupa rongga udara pada hasil coran. Tinggi penuangan yang rendah juga dapat menyebabkan cacat rongga udara, karena tekanan logam cair menjadi lebih kecil dari pada tekanan gas dalam cetakan.



Gambar 3. 9 Penuangan Logam Aluminium

3.3.4 Pembekuan Logam Cair

Proses selanjutnya adalah proses pembekuan logam cair yang telah dituang ke dalam cetakan. Dalam proses ini kecepatan dalam pembekuan, akan mempengaruhi hasil dari coran. Permukaan halus adalah contoh kasus dari logam yang mempunyai daerah beku (yaitu perbedaan temperatur antara mulainya dan berakhirnya membeku) yang sempit, dan permukaan kasar adalah kasus dari logam yang mempunyai daerah beku yang lebar.

3.3.5 Pelepasan Coran Dari Cetakan

Proses pelepasan coran dari cetakan dilakukan setelah logam cair yang dituang ke dalam cetakan telah membeku secara keseluruhan, yaitu beberapa menit setelah logam cair dituang ke dalam cetakan. Dalam proses ini, mur dan baut pengikat cetakan dilepas untuk mengambil coran dari cetakan. Coran tersebut diambil dengan cara mengungkit pinggiran coran dari cetakan dengan menggunakan alat pengungkit. Setelah coran terlepas, coran diletakkan di udara bebas untuk pendinginan.

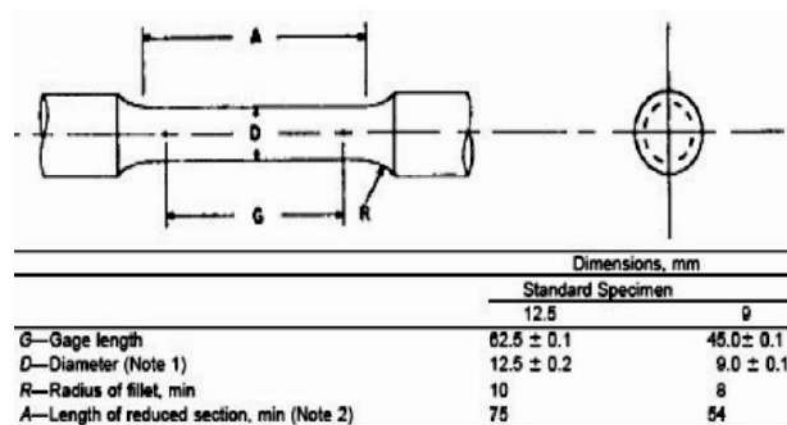


Gambar 3.10 Hasil cetakan yang baru dilepas dari cetakan

3.4 Pembuatan Spesimen

3.4.1 Spesimen Uji Tarik

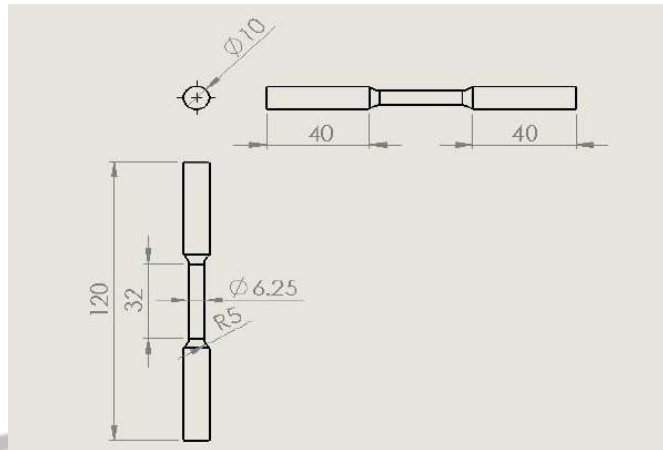
Hasil dari pengecoran berupa silinder yang sesuai dengan cetakan yang digunakan. Hasil dari coran tersebut akan dipotong dengan ukuran 15 cm x 2 cm x 1,5 cm sebelum dilakukan proses *machining*. Setelah dipotong kemudian benda uji dilakukan proses *machining*. Benda uji tarik dibuat dengan menggunakan mesin bubut. Benda uji



dibuat sesuai standard ASTM E8 volume 3 seperti gambar 3.11.

Gambar 3.11 Standarisasi Spesimen Uji Tarik

Gambar dibawah merupakan ukuran dari benda uji yang akan digunakan:



Gambar 3.12 Dimesi Benda Uji Tarik

Keterangan ukuran:

Diameter luar benda uji adalah 10mm, radius 5 mm, panjang keseluruhan benda uji 120 mm, *length of reduced section* 32 mm, diameter dalam benda uji 6,25 mm.

3.4.2 Spesimen Uji Kekerasan

Benda uji kekerasan digunakan lebih awal sebelum pengujian tarik dilakukan. Permukaan pada benda uji diampelas terlebih dahulu dibagian salah satu sisi yang nanti akan digunakan sebagai tempat penekanan indenter.

3.5 Proses Aging

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *aging*, yaitu:

- 1) Benda uji disiapkan terlebih dahulu.
- 2) Oven yang akan digunakan disiapkan.
- 3) Oven dinyalakan dan benda uji dimasukkan ke dalam oven.
- 4) Suhu pada oven diatur dengan suhu 140°C dan ditahan selama 3 jam kemudian dikeluarkan dari oven.
- 5) Hasil dari proses *aging* kemudian diuji.

3.6 Pengujian Spesimen

3.6.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu pengujian dengan cara benda material ditarik untuk mengetahui seberapa besar kekuatan tarik yang dapat diterima oleh suatu bahan atau material. Pengujian ini dilakukan untuk memberikan titik aman dari penggunaan bahan tersebut untuk kebutuhan suatu produksi, sehingga pengujian ini akan diketahui beban maksimum dan tegangan maksimum pada benda uji.

Proses pengujian tarik sebagai berikut:

- 1) Benda uji dipasang pada penjepit atas dan bawah pada alat uji. Penjepit bawah dinaikan dan diturunkan dengan kecepatan lambat, sehingga pada penjepit benda uji dalam posisi yang tepat, diusahakan kedudukan pada benda uji betul-betul vertikal, kemudian pada penjepit dikencangkan.
- 2) Benda uji diberikan beban tarik dengan kecepatan 10 mm/detik, sehingga pada benda uji akan mengalami pertambahan panjang hingga benda uji tersebut patah atau putus. Perpatahan diharapkan terjadi pada bagian panjang ukur atau *gauge length* dari benda uji.
- 3) Data yang didapatkan kemudian dicatat selama proses pengujian tarik berlangsung (pertambahan beban (P) dan pertambahan panjang (ϵ)) dengan *interval* yang ditentukan.
- 4) Hasil beban tarik maksimum dan kekuatan tarik pada benda uji yang telah putus dicatat.
- 5) Hasil pertambahan panjang yang tercantum pada mesin uji tarik dicatat setelah benda uji patah.

3.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian untuk mengetahui kekuatan suatu bahan. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban pada material dengan menggunakan indenter dengan berbentuk bola baja, sehingga akan terbentuk pola injakan dari

pengukuran diameter injakan, dan dapat ditentukan tingkat kekerasannya.

Proses pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

- 1) Benda uji dipersiapkan terlebih dahulu setelah melalui proses pengamplasan, karena permukaan pada benda uji harus memiliki kerataan yang sama, bersih dan ketinggian yang sama.
- 2) Benda uji diletakan pada dudukan atau *anvil*, lalu *anvil* dinaikan keatas dengan cara memutar roda pengatur *anvil*.
- 3) Benda uji diberikan beban sesuai pada petunjuk Tabel 2.6. Dalam pengujian ini digunakan beban 62,5 kg dan diameter bola indentornya 2,5 mm.
- 4) Menggerakkan *Anvil* secara perlahan-lahan hingga benda uji menyentuh bola indenter, tetapi jarum pada mesin *Brinell* harus berada pada angka 0 kg.
- 5) Indentor ditekan kebawah sesuai dengan beban yang ditentukan, tahan selama 30 detik kemudian beban dibebaskan ke angka 0 kg.
- 6) Setelah penekanan selesai pada benda uji, benda uji dipindahkan dari alat uji, setelah itu dilakukan pengamatan dan pengukuran diameter bekas injakan dengan menggunakan mikroskop. Hasil tersebut untuk mencari harga kekerasan.
- 7) Pengujian dilakukan di daerah/titik di tempat yang ditentukan.

3.6.3 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi ini menggunakan metode menimbang pengurangan berat pada spesimen uji dengan satuan mdd (milligram per square decimeter per day). Langkah-langkah perhitungan laju korosi adalah sebagai berikut:

- 1) Spesimen ditimbang setelah diambil dari pantai untuk mengetahui perubahan massa yang diakibatkan oleh korosi.



Gambar 3.13 Bahan ditimbang

- 2) Spesimen uji dibersihkan dari terak-terak korosi yang melekat.



Gambar 3.14 bahan dibersihkan

- 3) Spesimen uji direndam dalam aseton selama 15 menit untuk menghilangkan sisa-sisa karat yang masih menempel.



Gambar 3.15 Bahan direndam dalam aseton

- 4) Spesimen uji dicuci menggunakan sabun untuk menghilangkan sisa-sisa aseton.



Gambar 3.16 Bahan dicuci dengan sabun

- 5) Spesimen uji ditimbang kembali untuk mengetahui massanya setelah dibersihkan karatnya.



Gambar 3.17 Bahan ditimbang kembali setelah dibersihkan



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENGUJIAN

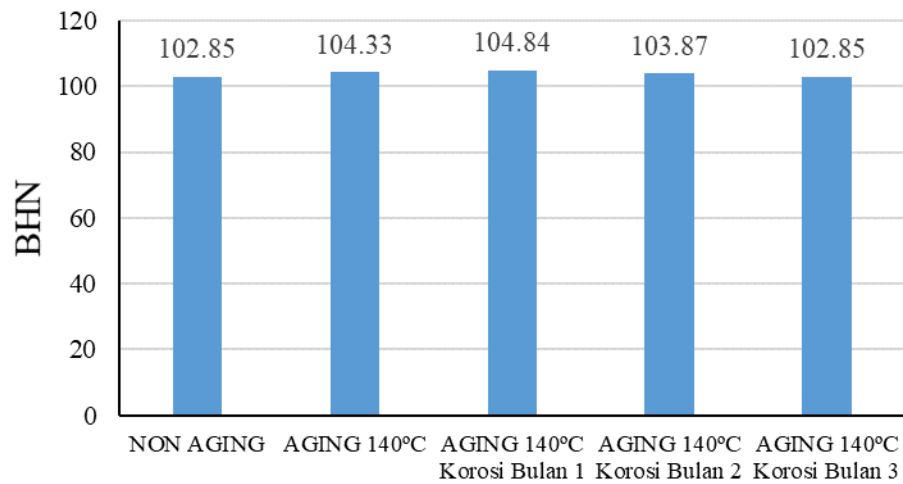
Dalam penelitian ini dilakukan dua pengujian, yaitu pengujian kekerasan *Brinell* dan pengujian tarik. Kemudian menghitung laju korosi dari tiap bahan uji. Setelah diperoleh data dari hasil pengujian, selanjutnya dilakukan pengolahan data serta perhitungan. Hasil pengujian yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.2 DATA HASIL PENGUJIAN KEKERASAN BRINELL

Pengujian kekerasan *Brinell* ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada Al-Cu sebelum dan sesudah proses aging. Proses *aging* yang diberikan adalah selama 3 jam dengan suhu 140 °C. Pembebanan yang diberikan pada uji kekerasan *Brinell* ini adalah 62,5 kg dengan diameter indentornya 2,5 mm. Hasil dari pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan pada Gambar 4.1.

Table 4. 1 Data hasil pengujian kekerasan Brinell Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam

Material	d (mm)	P (kg)	D (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)
NON AGING	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,88	62,5	2,5	99,47
	0,87	62,5	2,5	101,85
	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,86	62,5	2,5	104,31
	Rata-rata			
AGING 140°C	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,87	62,5	2,5	101,85
	0,85	62,5	2,5	106,86
	0,86	62,5	2,5	104,31
	Rata-rata			
AGING 140°C Korosi Bulan 1	0,85	62,5	2,5	106,86
	0,85	62,5	2,5	106,86
	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,87	62,5	2,5	101,85
	Rata-rata			
AGING 140°C Korosi Bulan 2	0,88	62,5	2,5	99,47
	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,85	62,5	2,5	106,86
	0,85	62,5	2,5	106,86
	0,87	62,5	2,5	101,85
	Rata-rata			
AGING 140°C Korosi Bulan 3	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,86	62,5	2,5	104,31
	0,88	62,5	2,5	99,47
	0,87	62,5	2,5	101,85
	0,86	62,5	2,5	104,31
	Rata-rata			



Bahan Uji

Gambar 4.1 Grafik rata-rata uji kekerasan *Brinell* Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam

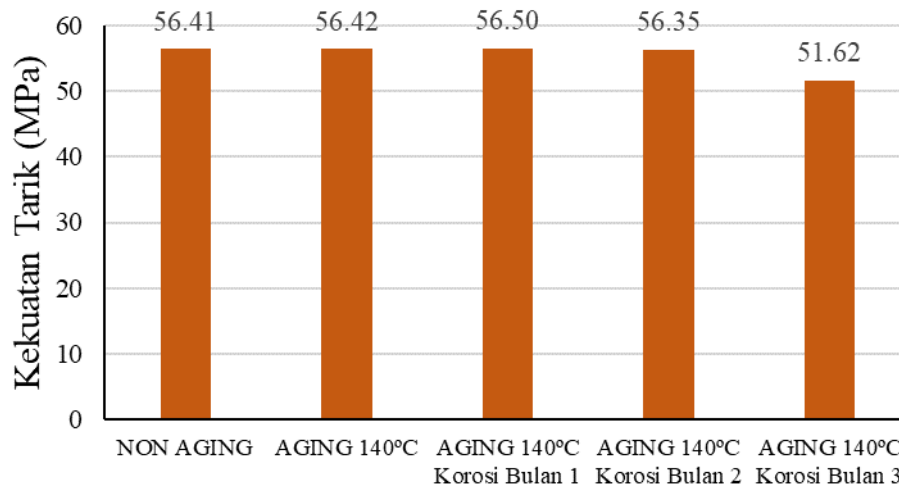
Gambar 4.1 yang berupa grafik rata-rata hasil pengujian kekerasan *Brinell* dapat diketahui bahwa perlakuan *aging* pada paduan Al-Cu 140°C selama 3 jam perubahannya tidak terlalu signifikan dan penurunan kekerasannya setelah dikorosi hanya 2% dibulan ketiga. Perubahan kekerasan tidak signifikan karena korosi yang terjadi pada benda uji hanya pada bagian permukaannya saja, sedangkan metode uji kekerasan yang digunakan adalah *Brinell*. Metode ini memberikan bekas indensasi agak dalam. Hal inilah yang menyebabkan yang menyebabkan perbedaan kekerasan tidak terlalu berbeda pada benda uji yang diberi perlakuan korosi.

4.3 DATA HASIL PENGUJIAN TARIK

Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada paduan Al-Cu sebelum dan sesudah korosi. Proses *aging* yang diberikan adalah selama 3 jam dengan suhu 140°C. Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.2, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.

Table 4. 2 Data hasil pengujian tarickl Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam

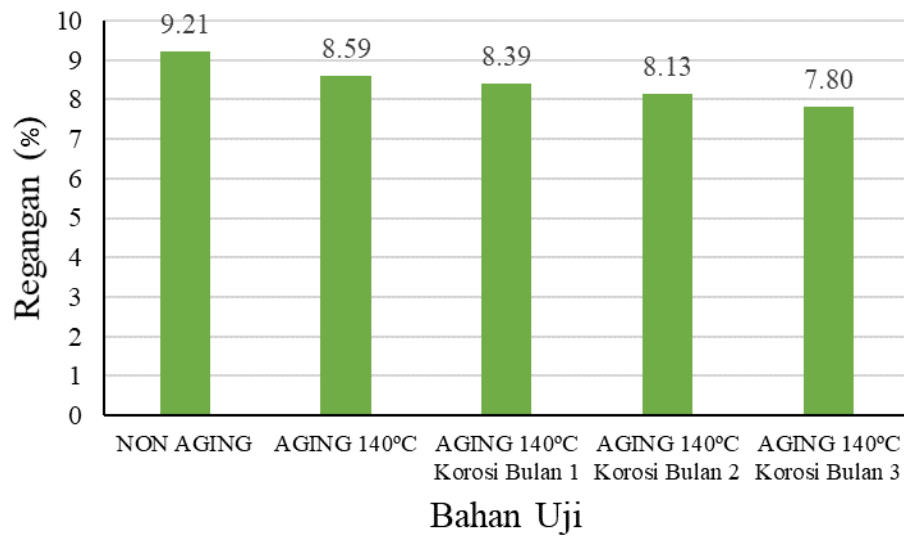
Material	Spesimen	D (mm)	L0 (mm)	P max (kgf)	ΔL (mm)	A (mm ²)	ϵ (%)	σ (kgf/mm ²)	MPa
NON AGING	N 1	6,25	32	160,61	3,15	30,68	9,84	5,24	51,34
	N 2	6,25	32	190,77	2,97	30,68	9,28	6,22	60,98
	N 3	6,25	32	178,09	2,72	30,68	8,50	5,80	56,93
	Rata-rata							9,21	5,75
AGING 140°C	D1	6,25	32	160,61	2,44	30,68	7,63	5,24	51,34
	D2	6,25	32	190,77	2,97	30,68	9,28	6,22	60,98
	D3	6,25	32	178,09	2,9	30,68	9,06	5,80	56,93
	D4	6,25	32	176,55	2,68	30,68	8,38	5,75	56,43
Rata-rata							8,59	5,75	56,42
AGING 140°C Korosi Bulan 1	K 1,1	6,15	32	197,61	2,77	29,71	8,66	6,65	65,24
	K 1,2	6,1	32	125,94	1,87	29,22	5,84	4,31	42,26
	K 1,3	6,2	32	145,83	2,22	30,19	6,94	4,83	47,37
	K 1,4	6,15	32	215,44	3,88	29,71	12,13	7,25	71,12
Rata-rata							8,39	5,76	56,50
AGING 140°C Korosi Bulan 2	K 2,1	6,2	32	174,75	2,84	30,19	8,88	5,79	56,76
	K 2,2	6,1	32	190,05	2,83	29,22	8,84	6,50	63,77
	K 2,3	6,2	32	190,95	2,95	30,19	9,22	6,32	62,03
	K 2,4	6,2	32	131,92	1,79	30,19	5,59	4,37	42,85
Rata-rata							8,13	5,75	56,35
AGING 140°C Korosi Bulan 3	K3,1	6,2	32	135,11	1,92	30,19	6,00	4,48	43,89
	K3,2	6,2	32	167,34	2,7	30,19	8,44	5,54	54,36
	K3,3	6,2	32	174,45	3,13	30,19	9,78	5,78	56,67
	K3,4	6,15	32	156,25	2,24	29,71	7,00	5,26	51,58
Rata-rata							7,80	5,26	51,62



Bahan Uji

Gambar 4.2 Grafik rata-rata kekuatan tarik Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.

Gambar 4.2 yang menunjukkan nilai rata-rata dari kekuatan tarik paduan Al-Cu sebelum dan sesudah korosi menunjukkan kekuatan tarik sebelum perlakuan aging yaitu 56,41 MPa, setelah diberi perlakuan aging menjadi 56,42 MPa. Pada bulan pertama dan kedua korosi yang terjadi hanya pada bagian permukaan saja maka tidak terjadi perubahan kekuatan tarik secara signifikan, pada bulan ketiga kekuatan tarik mulai menurun. Kekuatan tarik pada bulan ketiga menurun dikarenakan terjadinya korosi pada bagian permukaan dan kedalam benda uji.



Gambar 4.3 Grafik rata-rata regangan Al-4,4%Cu sebelum dan sesudah korosi pada bahan yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.

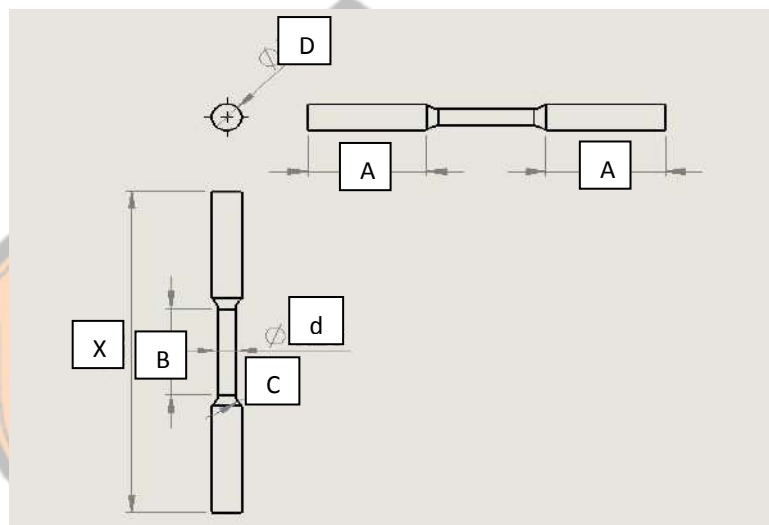
Gambar 4.3 menunjukkan nilai rata-rata regangan dari hasil pengujian tarik pada Al-Cu sebelum dan sesudah korosi. Dapat diketahui bahwa nilai regangan sebelum perlakuan *aging* yaitu sebesar 9,21%. Perlakuan aging menyebabkan nilai regangan menurun pada paduan aluminium. Pada bahan yang diberi perlakuan aging dan korosi nilai regangan terus menurun setiap bulannya diakibatkan korosi yang terjadi pada bahan uji tarik.

4.4 DATA PERHITUNGAN LAJU KOROSI

Laju korosi ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan spesimen korosi selama 3 bulan pada bahan Al-Cu yang diberi proses selama 3 jam dengan suhu 140°C. Hasil laju korosi dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.

4.4.1 Perhitungan laju korosi dengan perubahan berat spesimen

Contoh perhitungan luas spesimen K2,1:



Gambar 4.4 Sketsa spesimen

- Luas permukaan

$$\begin{aligned}
 A &= ((2 \times \pi \times \frac{1}{4} \times D^2) + (2 \times A \times (\pi \times D)) + (B \times \pi \times d) + (\pi \times C \times ((\frac{D}{2}) + (\frac{d}{2}))) \\
 &= ((\pi \times (9,9^2) / 2) + (\pi \times 9,9 \times 40 \times 2) + (32 \times \pi \times (6,15)) + (\pi \times 5 \times ((9,9/2) + (6,15/2)) \times 2)) \\
 &= 3434 \text{ mm}^2 \\
 &= 0,34 \text{ dm}^2
 \end{aligned}$$

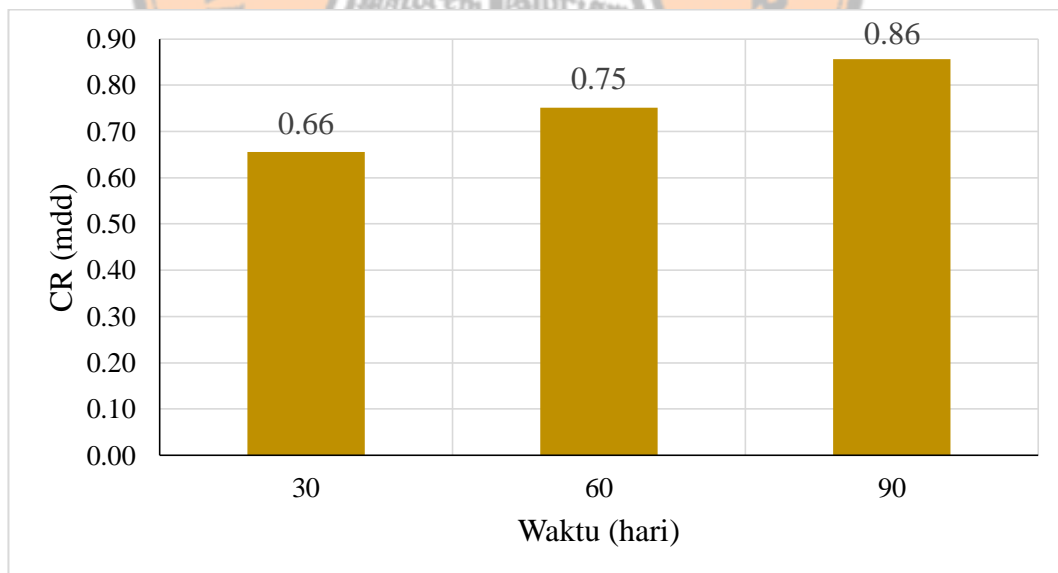
- Laju korosi:
$$CR = \frac{\Delta m}{A \times t}$$

$$CR = \frac{0,18}{0,34 \times 60}$$

$$CR = 0,87 \text{ mdd}$$

Table 4. 3 Data hasil laju korosi bahan uji tarik Al-4,4%Cu yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam

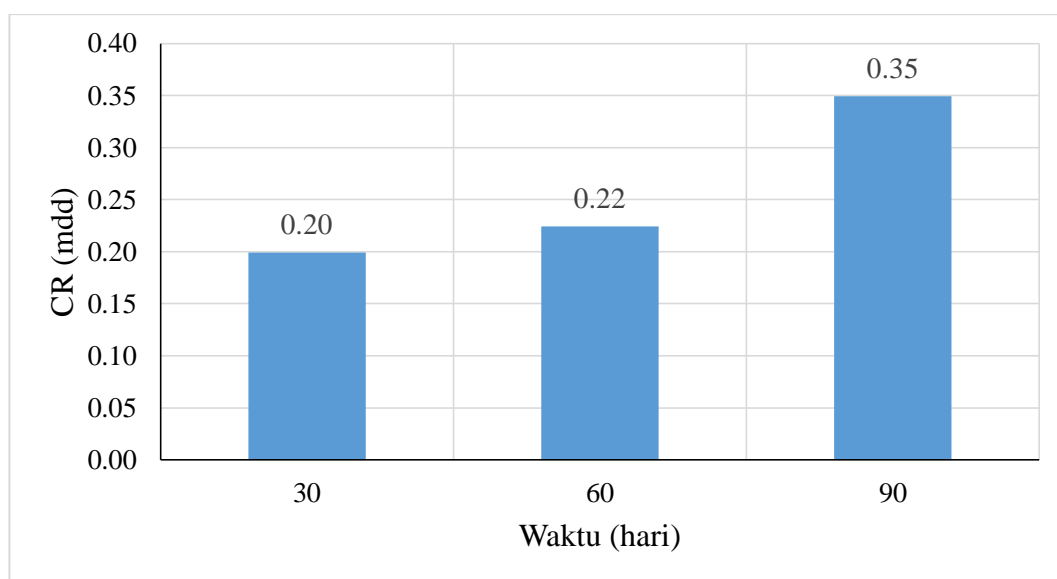
Material	Spesimen	m1 (gr)	m2 (gr)	Δm (gr)	t (Hari)	A (dm ²)	CR (mdd)
AGING 140°C Korosi Bulan 1	K 1,1	20,4	20,34	0,06	30	0,34	0,58
	K 1,2	20,52	20,45	0,07	30	0,34	0,68
	K 1,3	20,44	20,38	0,06	30	0,34	0,58
	K 1,4	20	19,92	0,08	30	0,34	0,78
	Rata-rata						
AGING 140°C Korosi Bulan 2	K 2,1	20,4	20,22	0,18	60	0,34	0,87
	K 2,2	20,36	20,22	0,14	60	0,34	0,68
	K 2,3	20,44	20,29	0,15	60	0,34	0,73
	K 2,4	20,23	20,08	0,15	60	0,34	0,73
	Rata-rata						
AGING 140°C Korosi Bulan 3	K3,1	20,54	20,29	0,25	90	0,34	0,81
	K3,2	20,3	20,04	0,26	90	0,34	0,84
	K3,3	20,47	20,22	0,25	90	0,34	0,81
	K3,4	20,43	20,13	0,3	90	0,34	0,97
	Rata-rata						



Gambar 4.5 Grafik Laju Korosi bahan uji tarik Al-Cu yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.

Table 4. 4 Data hasil laju korosi bahan uji kekerasan Brinell Al-4,4%Cu yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam

Material	Spesimen	m1 (gr)	m2 (gr)	Δm (gr)	t (Hari)	A (dm ²)	CR (mdd)
AGING 140°C Korosi Bulan 1	KD1	63,87	63,83	0,04	30	0,67	0,20
AGING 140°C Korosi Bulan 2	KD2	61,42	61,33	0,09	60	0,67	0,22
AGING 140°C Korosi Bulan 3	KD3	56,28	56,09	0,19	90	0,60	0,35



Gambar 4.5 Grafik Laju Korosi bahan uji kekerasan Al-4,4%Cu yang diberi perlakuan aging 140°C selama 3 jam.

Gambar 4.4 yang menunjukkan nilai rata-rata dari laju korosi bahan uji tarik Al-Cu yang sudah diberi perlakuan aging. Laju korosi pada bahan bulan pertama yaitu 0,66 mdd, terdapat peningkatan laju korosi yang signifikan setiap bulanya, bulan kedua menjadi 0,75 mdd dan bulan ketiga menjadi 0,86 mdd

Gambar 4.5 yang menunjukkan nilai rata-rata dari laju korosi bahan uji kekerasan Al-Cu yang sudah diberi perlakuan aging. Laju korosi pada bahan bulan pertama yaitu 0,20 mdd dan kemudian laju korosi bulan ke 2 tidak jauh perbedaannya dengan bulan ke 1. Laju korosi pada bulan ke 3 mulai meningkat dari bulan sebelumnya.



Gambar 4.6 Benda uji digantung dibawah atap rumah (*outdoor*).



Gambar 4.7 Partikel garam dan produk korosi yang menempel pada spesimen aluminium kondisi awal setelah mengalami dua bulan perlakuan korosi.

Pada aluminium dengan penambahan komposisi 4,4% tembaga jenis korosi yang dialami oleh spesimen yaitu korosi merata. Korosi pitting yang terjadi pada spesimen disebabkan pada awal mula pengecoran benda uji dengan menggunakan cetakan pasir, hal ini menyebabkan adanya pori-pori pada permukaan benda uji dan pencampuran partikel antara aluminium dan tembaga secara keseluruhan tidak dapat dipastikan tercampur dengan sempurna. Korosi pitting yang terjadi pada spesimen terjadi karena benda uji digantung di pinggir pantai dengan kondisi di bawah atap (*outdoor*), sehingga terjadi kontak pada permukaan benda uji dengan lingkungan pantai.

Udara pesisir pantai memiliki kandungan garam (salinitas) yang tinggi sehingga mudah terjadi perubahan zat dari bentuk udara ke bentuk zat padat (deposisi). Salah satu partikel yang mudah terdeposisi adalah partikel klorida.

Pada saat udara menjadi lembab atau saat pagi hari udara menghasilkan embun. Terjadi reaksi kimia $\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ menjadi $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$. NaCl bereaksi dengan aluminium dan menghasilkan Aluminium Klorida (AlCl_3). Aluminium klorida berbentuk seperti butiran berwarna putih dan menempel pada permukaan. Tidak terbentuknya Aluminium Oksida (Al_2O_3) menyebabkan terbentuknya Aluminium Hidroksida yang dapat merusak permukaan benda uji sehingga menurunkan kekuatan tarik.

Laju korosi benda uji tarik lebih besar dibandingkan benda uji kekerasan, hal ini terjadi karena benda uji tarik setelah dibubut permukaannya tidak halus dan berpori sedangkan permukaan benda uji kekerasan halus dikarenakan sebelum di korosikan di pinggir pantai benda uji dihaluskan terlebih dahulu agar mudah melihat bekas indenter pada permukaan benda uji.



Gambar 4.8 Permukaan benda uji tarik dan kekerasan sebelum dikorosikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari data-data yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perlakuan korosi tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik Al-4,4%Cu yang terkorosi sampai 2 bulan. Pada bulan ketiga, spesimen mengalami penurunan kekuatan tarik sebesar 8,5% dari rata-rata 56,42 MPa menjadi 51,62 MPa. Lingkungan pantai memberikan pengaruh penurunan regangan dari 8,59% Nilai regangan turun menjadi 8,59% dari rata-rata 8,26% menjadi 7,8% untuk spesimen yang terkorosi selama 3 bulan.
2. Korosi selama 3 bulan di lingkungan pantai tidak berdampak signifikan terhadap kekerasan Al-4,4%Cu, penurunan kekerasan hanya terjadi sebesar 2% dari 104,33 BHN menjadi 102,85 BHN untuk korosi selama 3 bulan.
3. Laju korosi benda uji tarik mengalami peningkatan dari bulan pertama sebesar 0,66 mdd menjadi 0,86 mdd pada bulan ketiga. Laju korosi benda uji kekerasan mengalami peningkatan dari bulan pertama sebesar 0,20 mdd menjadi 0,35 mdd pada bulan ketiga. Nilai laju korosi bahan uji tarik lebih besar karena memiliki permukaan benda yang lebih kasar dibanding bahan uji kekerasan.

5.2 SARAN

Untuk proses penelitian lebih lanjut dan mendapatkan hasil yang lebih baik. Maka, disarankan untuk :

1. Sebelum dan sesudah melakukan penelitian, sebaiknya dipastikan terlebih dahulu ketersediaan alat dan bahan untuk meminimalisir terhambatnya penelitian.
2. Sebelum melakukan proses penelitian, sebaiknya material di uji komposisinya terlebih dahulu untuk menghindari paduan lain masuk dalam paduan yang diinginkan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Anne Zulfia dan L. Derry Satria Putra.
3. Jika ingin melanjutkan penelitian ini sebaiknya waktu aging lebih dari 3 jam agar memperoleh perubahan data yang signifikan dan perlakuan korosi sebaiknya lebih dari 3 bulan agar bisa mendapatkan data yang lebih baik.
4. Sebaiknya dalam melakukan pengujian tarik, bahan yang akan dilakukan pengujian tarik diukur ulang lagi agar tidak mempengaruhi grafik pengujian tarik tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Angga, AN. 2018. *Pengaruh Aging 200°C Dengan Waktu 1-9 Jam terhadap Sifat Mekanik Pada Al-Cu Remelting*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Anwir, BS dan Beumer, BJM. 1994. *Ilmu Bahan Logam*. Jakarta: Bhratara.
- Bodycote.2019.Solution and Age. <https://www.bodycote.com/services/heat-treatment/solution-and-age> (diakses tanggal 28 Januari 2020).
- Cahyadi, AB. 2017. *Pengaruh Lingkungan Pantai Terhadap Laju Korosi dan Sifat Mekanis Pada Baja Karbon Sedang Dengan Perlakuan Quencing*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Corvo, F, dkk. 2007. *Outdoor–indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres*. Cuba: IMRE.
- Djaprie, Sriati. 1993. *Teknologi Mekanik*. Edisi ke-7, Jilid I. PT. Jakarta: Erlangga.
- Djaprie, S; Begeman, ML; Ostwald, PF; Amsted, BH. 1993. *Teknologi Mekanik I*. Jakarta: Erlangga.
- Fransson, Christoffer. 2009. *Accelerated aging of aluminum alloys*. Karlstads: Karlstads Universitet.
- Muis, S. 2015. *Teori Keandalan dan Mekanisme Korosi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Putra, LDS. 2016. *Pengaruh Korosi Lingkungan Pantai Pada Aluminium Dengan Penambahan Komposisi 8,5% Silikon Dan 8% Tembaga*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Saito, S dan Surdia, T. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Pramita.
- Total Materia. *Heat Treatable Aluminum Alloy*.
<http://www.totalmateria.com/Article39.htm>
- Wijaya, AI. 2008. *Laju Korosi Baja Zincallume G550*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Zulfia, Anne, dkk. 2010. *Proses Aging Pada Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting*. Jakarta: Universitas Indonesia.

LAMPIRAN



POLITEKNIK MANUFAKTUR CEPER LABORATORIUM LOGAM CEPER

Batur, Tegaiarjo, Ceper, Klaten 57465 - Jawa Tengah, Telp./Fax. (0272) 552968
Website : www.polmanceper.ac.id; E-mail : lab_polmanceper@yahoo.co.id

LAPORAN PENGUJIAN

Nomor : 326/UJI/SPMS/VIII/2019 Jenis Pengujian : Komposisi Kimia
Pelanggan : **Yulius Deny** Tanggal Diterima : 27 Agustus 2019
NIM 155214058 Tanggal Pengujian : 27 Agustus 2019
Sanata Dharma Yogyakarta Program : Aluminium
Ket.Sampel : Langsung Produk
Hasil :

UNSUR	SAMPEL UJI	
	19/S752 (%)	Deviasi
Al	94,113	0,1238
Si	0,786	0,0914
Fe	0,104	0,0659
Cu	4,378	0,0036
Mn	<0,0200	<0,0000
Mg	<0,0500	<0,0000
Cr	<0,0150	<0,0000
Ni	0,0965	0,153
Zn	0,188	0,0691
Sn	<0,0500	<0,0000
Ti	0,0107	0,0008
Pb	<0,0300	<0,0000
Be	0,0001	0,0000
Ca	0,0033	0,0001
Sr	<0,0005	<0,0000
V	*0,152	*0,132
Zr	0,0118	0,0085

Lampiran ini tidak boleh digunakan sebagian
Laporan pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji



Klaten, 28 Agustus 2019

Manajer Teknik
[Signature]
Lutiyatni, ST., MT.

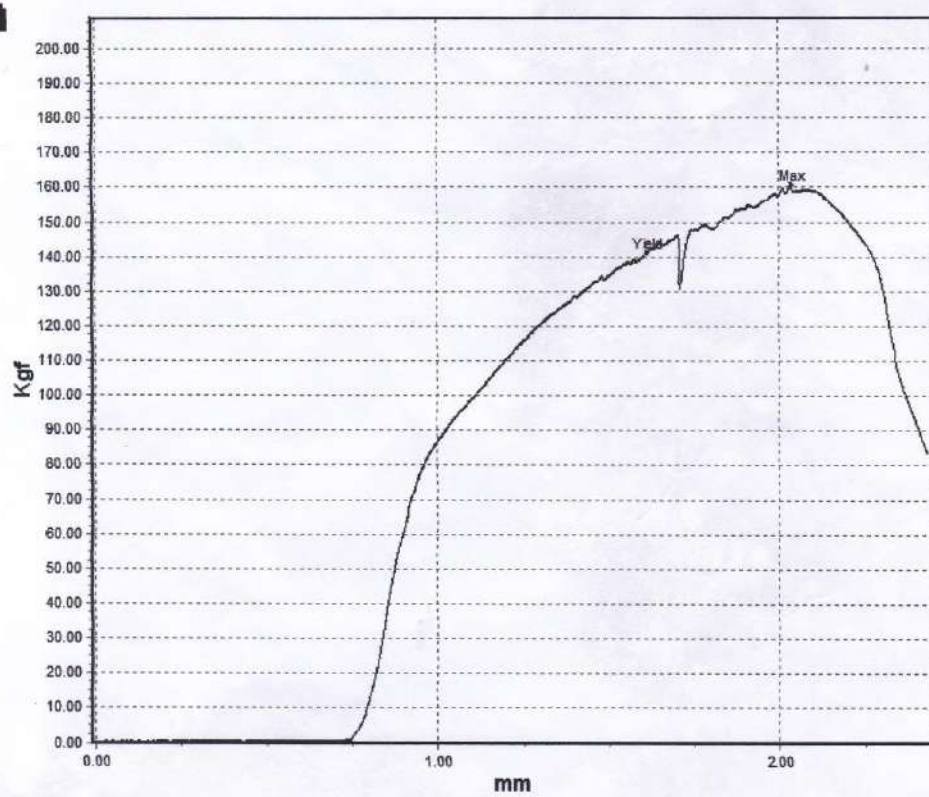
Halaman 1 dari 2

Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 3/30/2019
Material Name: D1

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	31.17	160.61	5.15	1.18	4.53	2.44	4.87

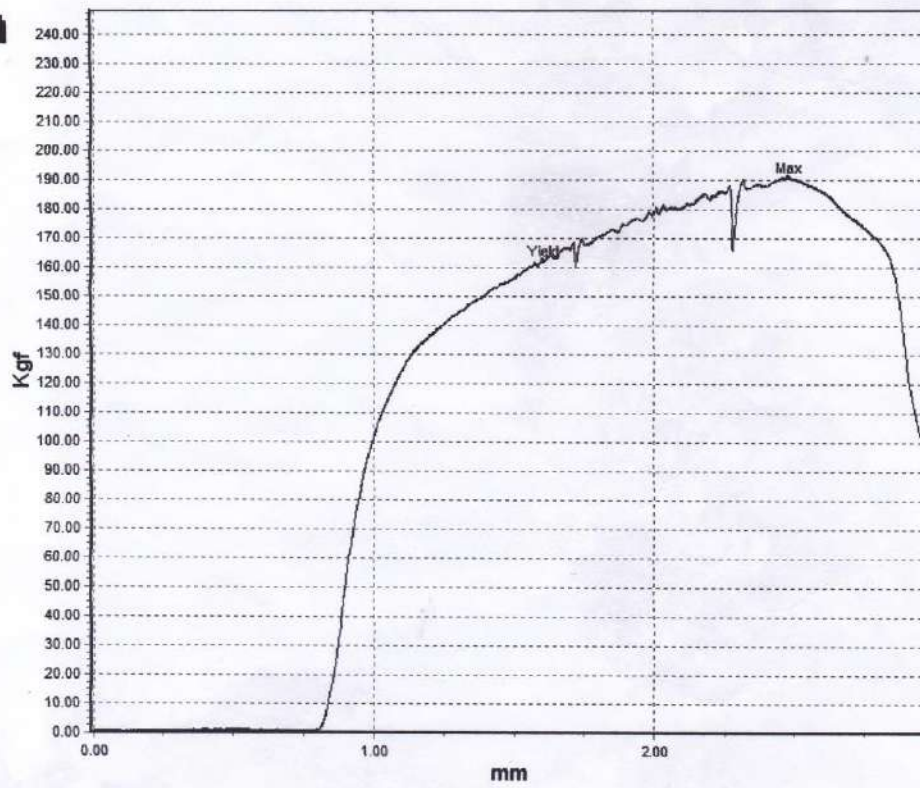


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 3/30/2019
Material Name: D2

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
2	31,1702	190,77	6,12	1,35	5,20	2,97	5,94

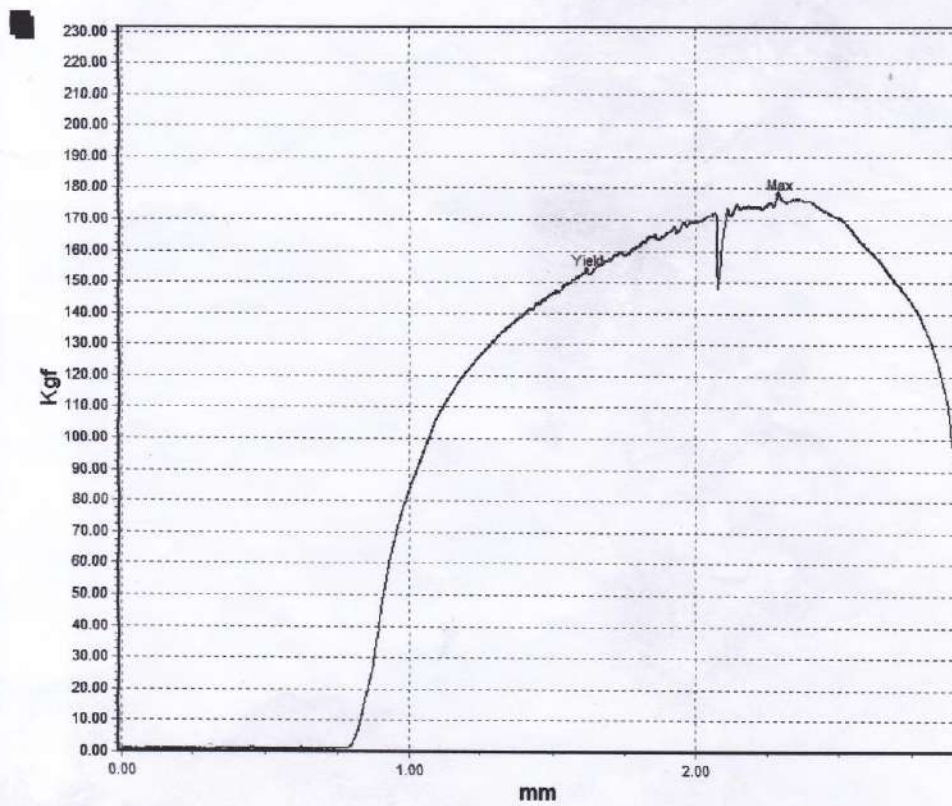


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 3/30/2019
Material Name: D3

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
# 3	31.17	178.09	5.71	1.28	4.94	2.90	5.80

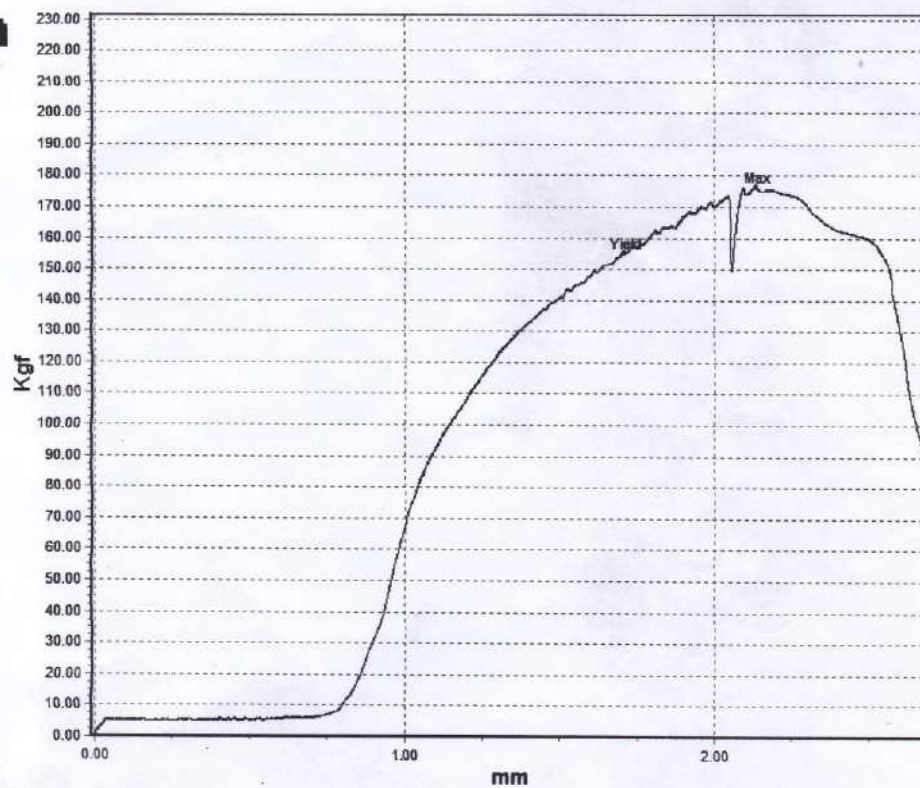


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 3/30/2019
Material Name: D4

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
# 4	30.68	176.55	5.75	1.29	5.06	2.68	5.37

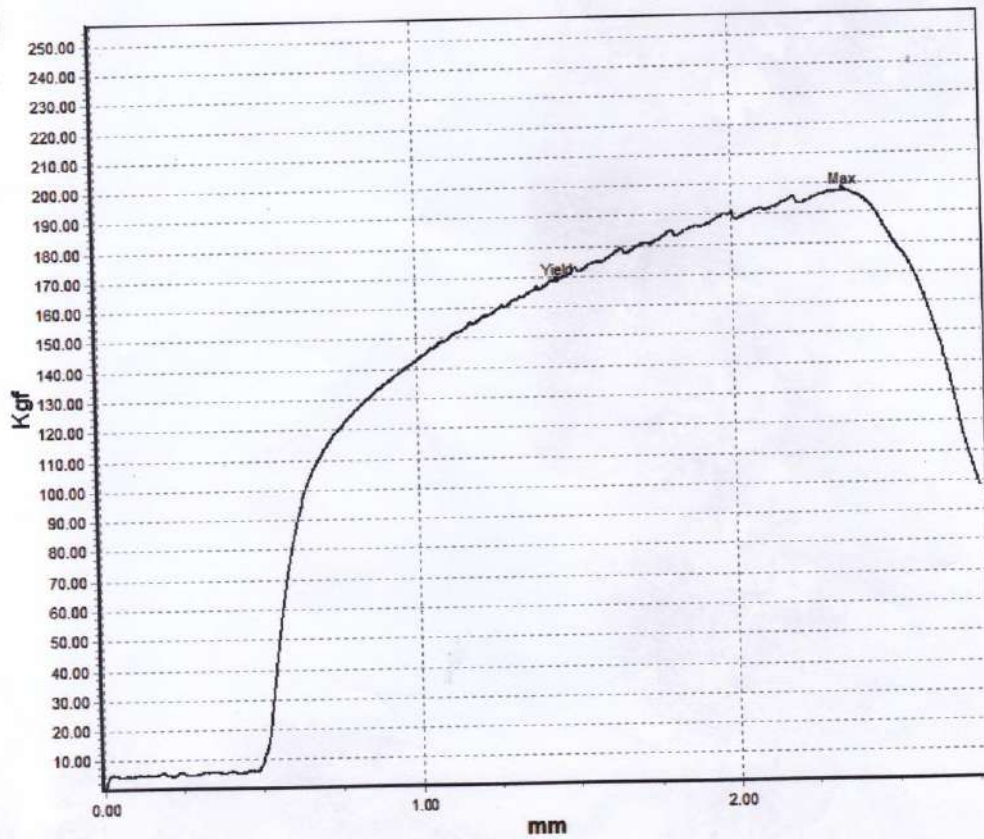


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: k 1.1

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	0.30	197.61	654.56	1.41	560.39	2.77	5.53

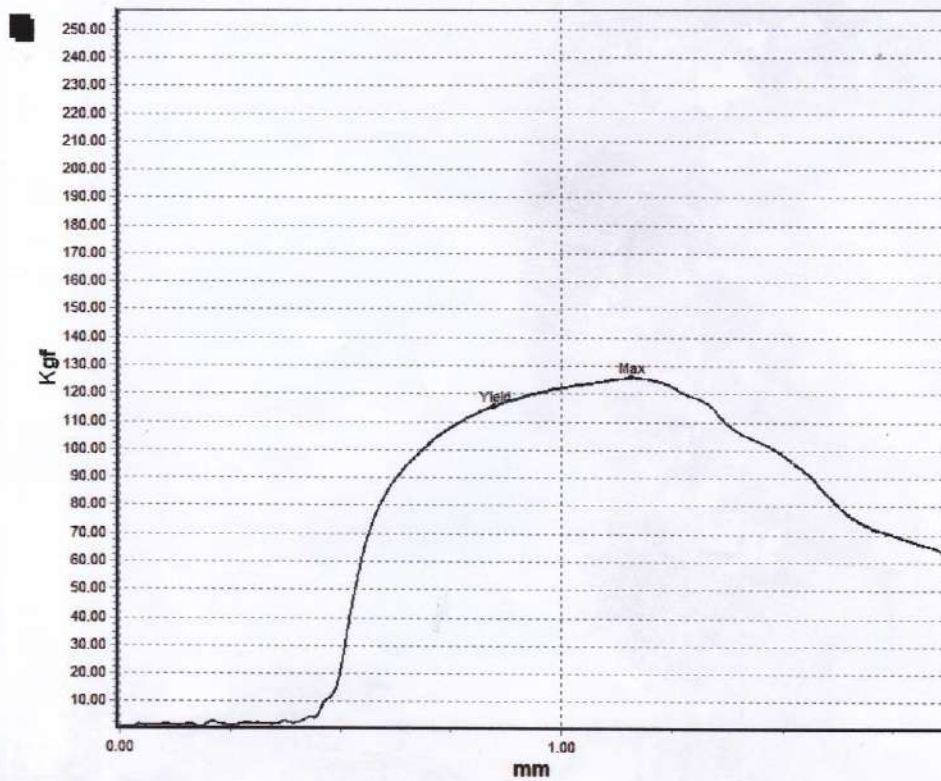


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: k 1.2

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
	0,29	125,94	431	0,96	394,96	1,87	3,74

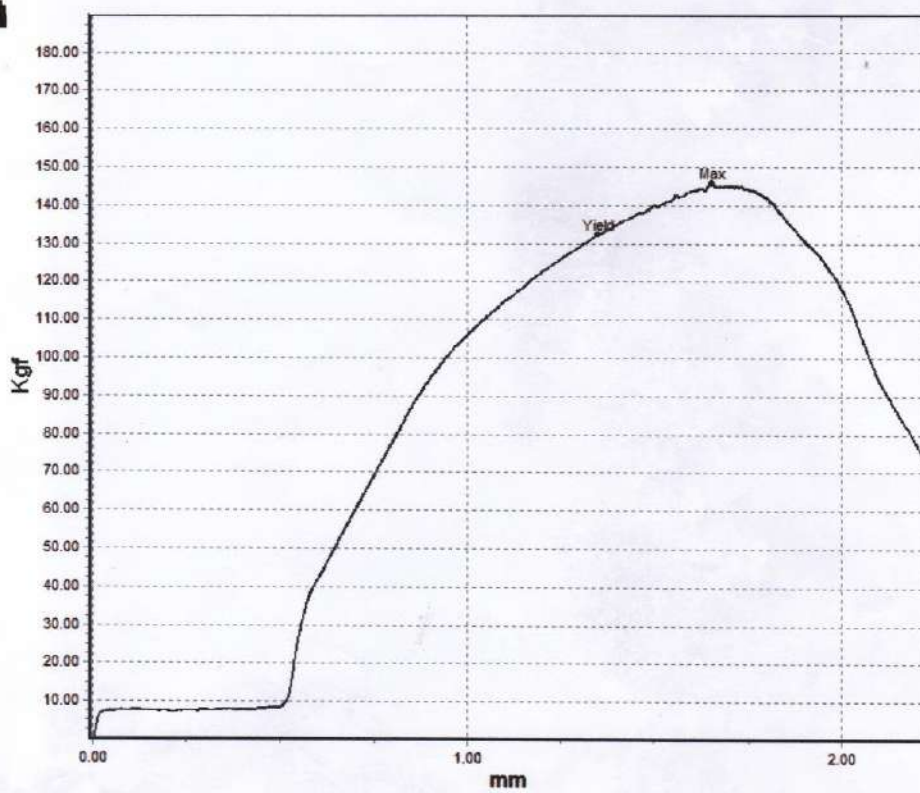


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: k 1.3

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	0.30	145.83	483.04	1.10	437.70	2.22	4.44

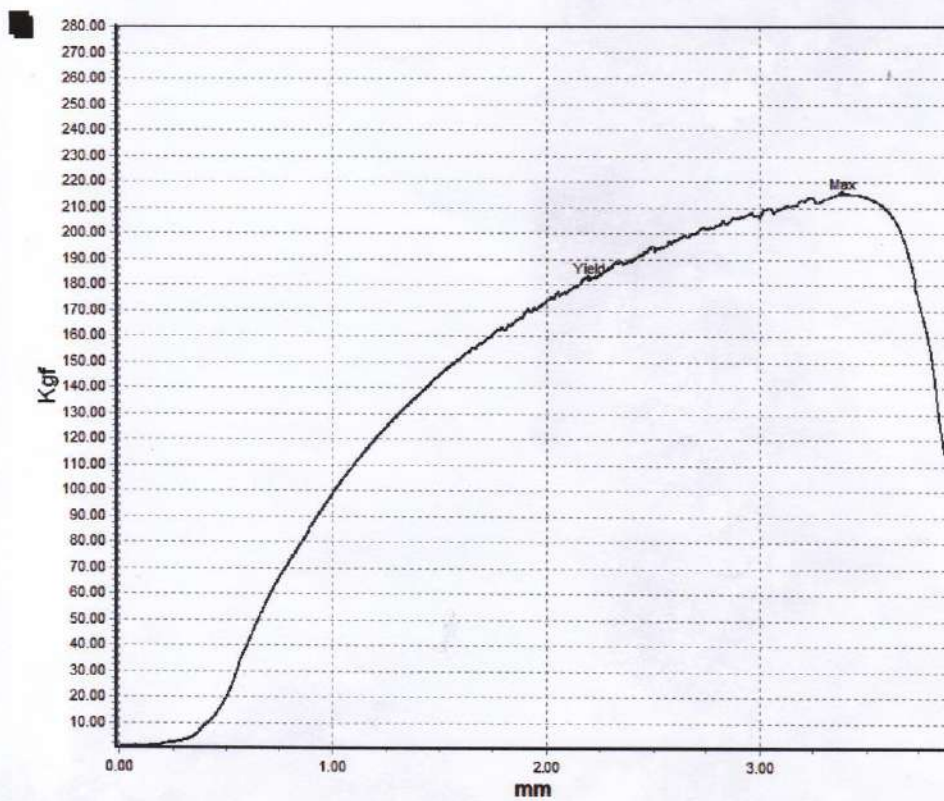


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: k 1.4

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	29.71	215.44	7.25	1.53	6.14	3.88	7.77

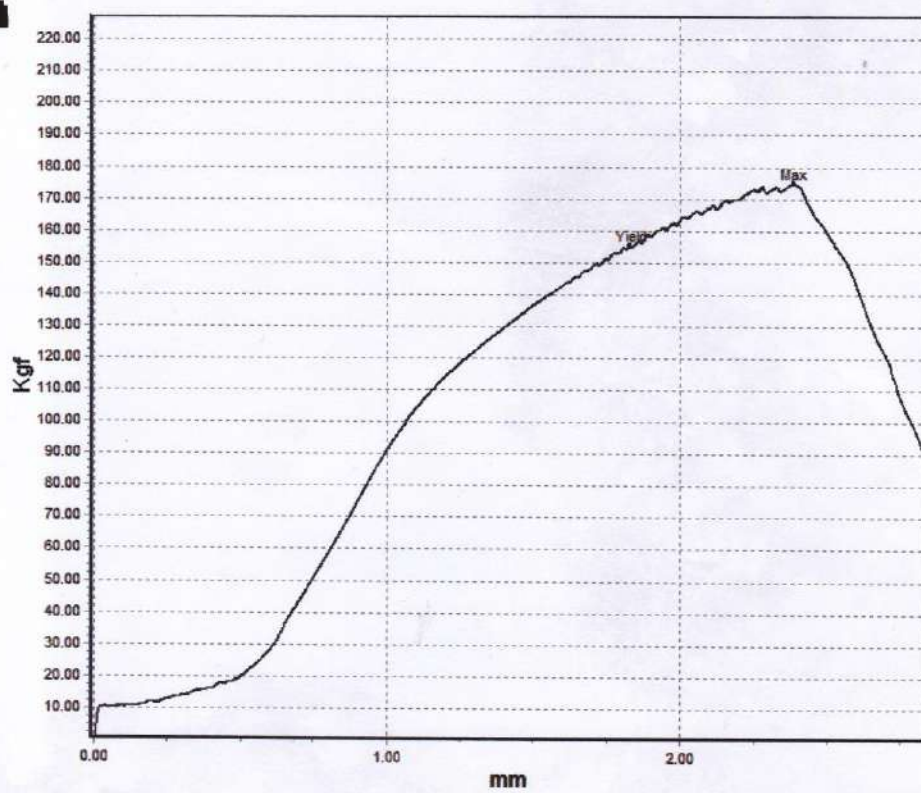


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: K 2.1

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	30.19	174.75	5.79	1.30	5.14	2.84	5.67



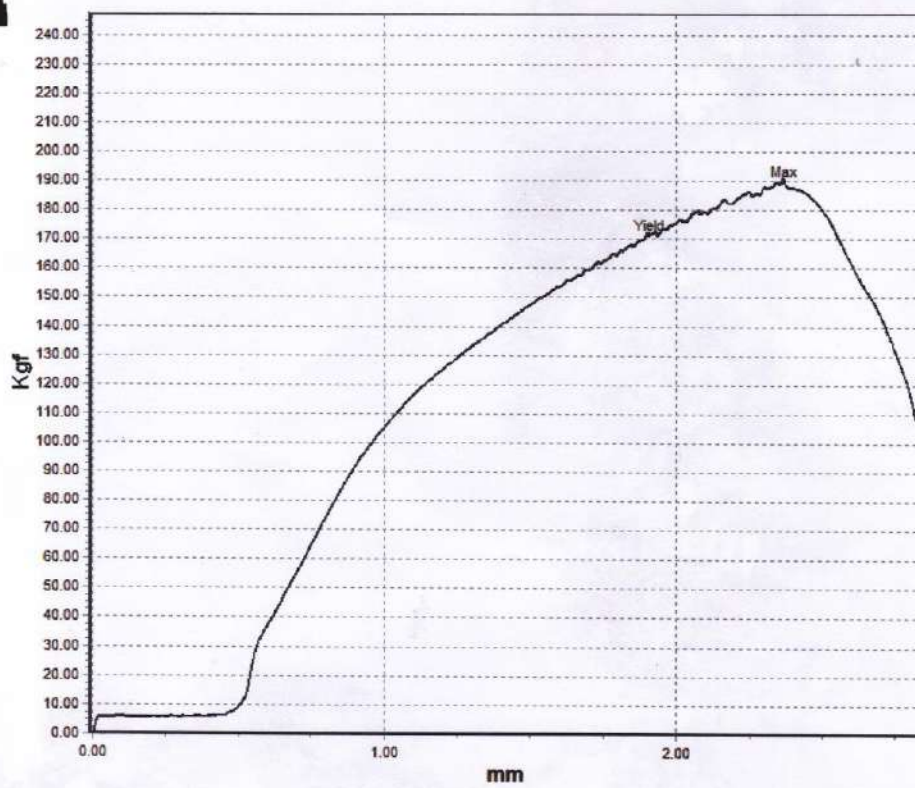
Universitas Sanata Dharma

Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: K 2.2

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	29.22	190.05	6.50	1.44	5.86	2.83	5.67

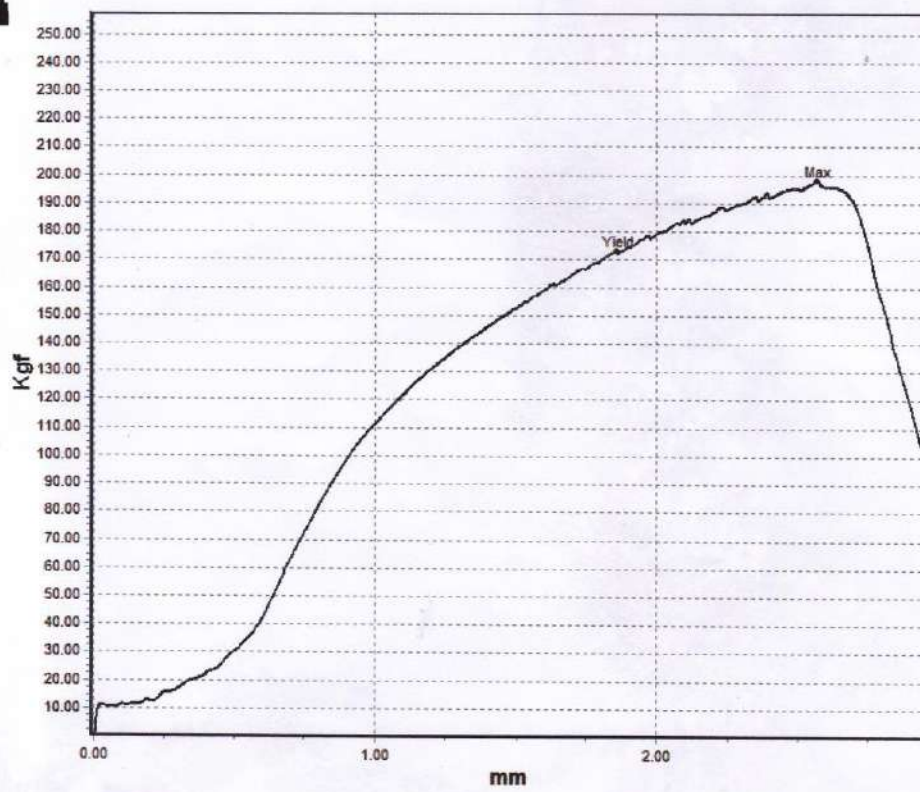


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: K 2.3

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	30.19	197.95	6.56	1.44	5.72	2.95	5.90

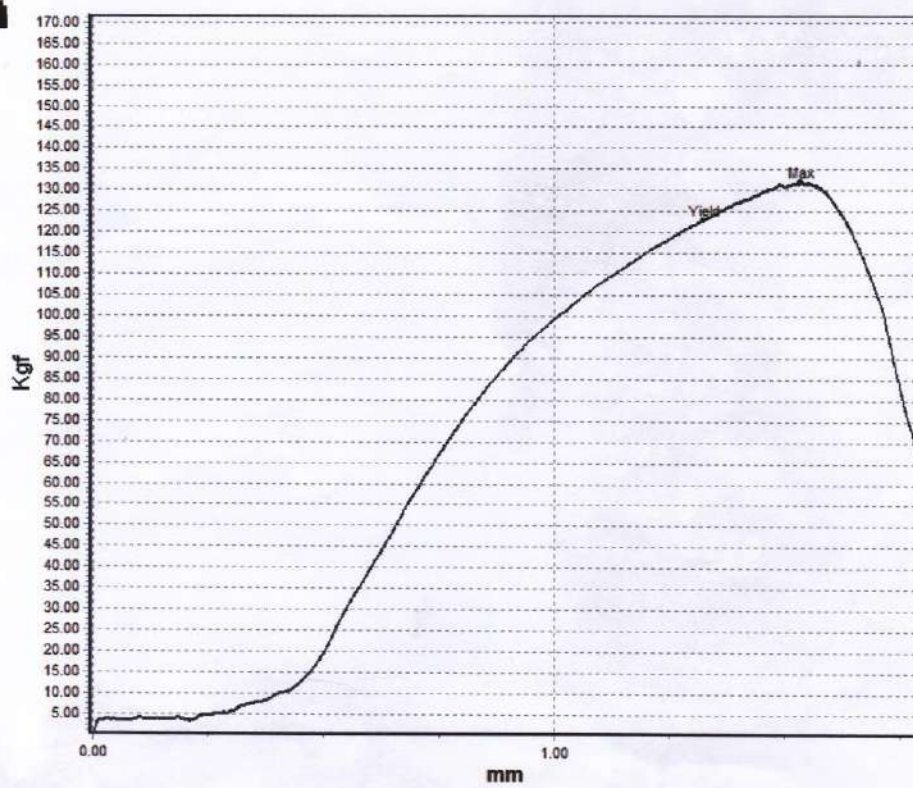


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/24/2019
Material Name: K 2.4

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	30.19	131.92	4.37	1.03	4.07	1.79	3.57

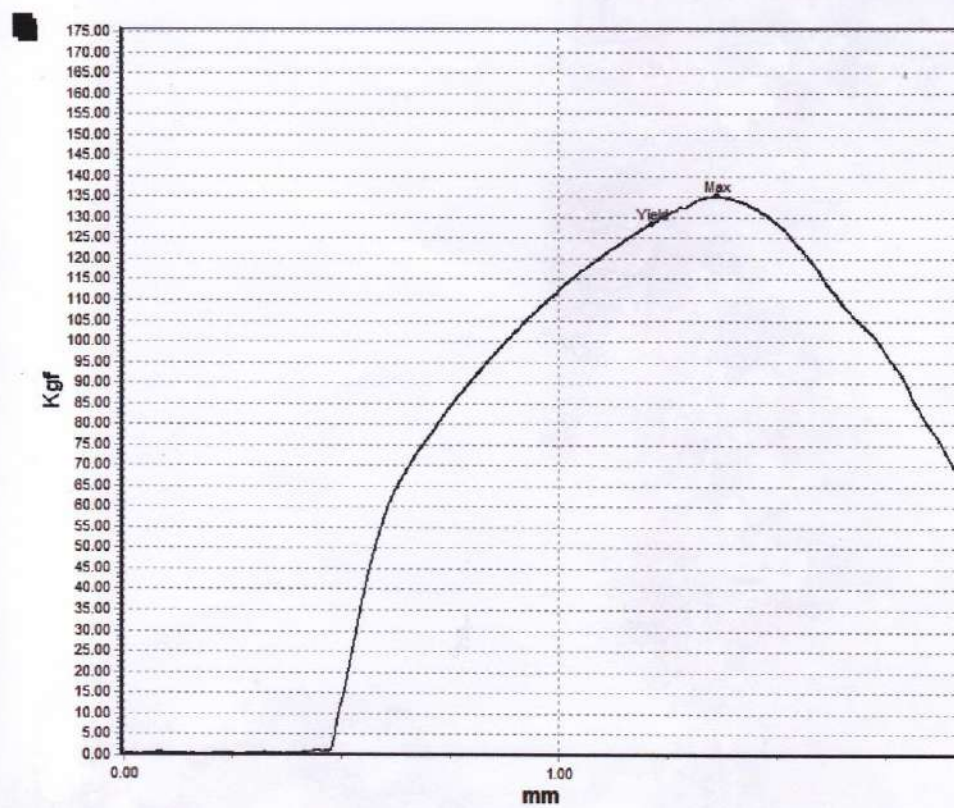


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/25/2019
Material Name: K 3.1

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	30.19	135.11	4.48	1.07	4.25	1.92	3.84

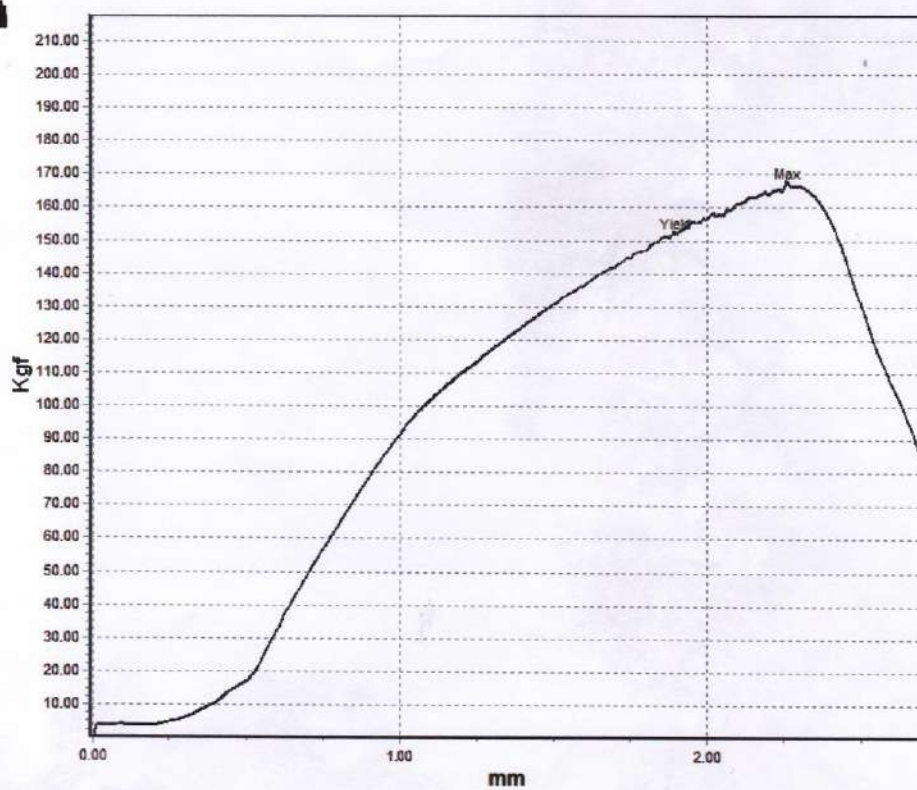


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/25/2019
Material Name: K 3.2

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	30.19	167.34	5.54	1.28	5.05	2.70	5.40

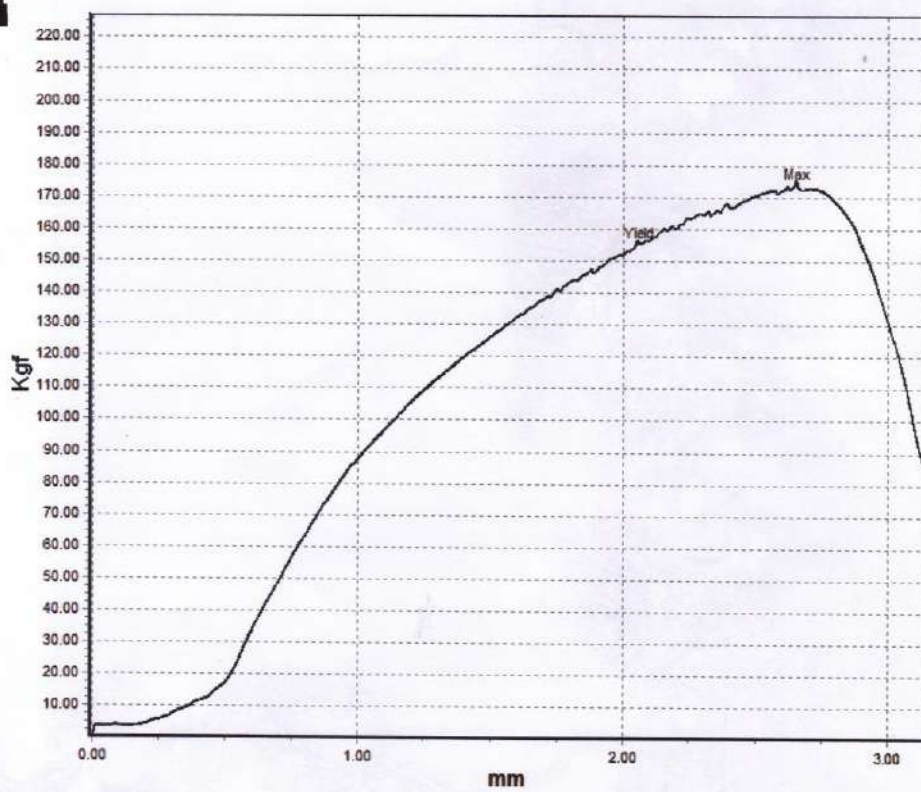


Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/25/2019
Material Name: K 3.3

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	30.19	174.45	5.78	1.30	5.16	3.13	6.26



Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman

Test Name: Break test
Speed: 5.00

Test Date: 7/25/2019
Material Name: K 3.4

	Area (mm ²)	Maximum Force (Kgf)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Yield Force (Kgf/mm)	Yield Stress (Kgf/mm ²)	Displacement (mm)	Elongation (%)
1	29.71	156.25	5.26	1.16	4.68	2.24	4.47

