

**PENGARUH AGING DAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN
TERHADAP LAJU KOROSI *PROPELLER* BERBAHAN
ALUMINIUM PADUAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau



OLEH:

HENDRA SETIAWAN KARO KARO
15.331.0534

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2020

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “Pengaruh *Aging* dan Variasi Kecepatan putaran Terhadap Laju Korosi *Propeller* Berbahan Aluminium Paduan” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dengan bimbingan dosen pembimbing dan belum pernah digunakan sebagai karya ilmiah pada perguruan tinggi atau lembaga manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka dibagian akhir skripsi ini.

Pekanbaru, September 2020

Hendra Setiawan Karo Karo
NPM: 15.331.0534

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA PERSONAL

Nama Lengkap : Hendra Setiawan Karo Karo
NPM : 153310534
Tempat/tanggal lahir : Namotongan, 11 Januari 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Emplasmen Sei Berlian, Desa Sinama
Nenek, kec. Tapung Hulu, kab. Kampar
Agama : Islam
Kebangsaan/Suku : Indonesia/Karo
Telp/Hp : 081237463136
Email : setiawan.k@student.uir.ac.id
Nama Orang Tua
a. Ayah : Poniman Karo Karo
b. Ibu : Murni

PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SDN 018 Emplasmen Sei Berlian
Sekolah Menengah Pertama : SMPN 002 Kasikan, Tapung Hulu
Sekolah Menengah Atas : SMK Hasanah Pekanbaru
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau

TUGAS AKHIR

Judul : Pengaruh *Aging* dan Variasi Kecepatan Putaran
Terhadap Laju Korosi *Propeller* Berbahan
Aluminium Paduan
Tempat Penelitian : Laboratorium Universitas Islam Riau
Tanggal Sidang Akhir : 2 September 2020

Pekanbaru, September 2020

Hendra Setiawan Karo Karo

153310534

HALAMAN PERSEMBAHAN



*Bacalah dengan menyebut nama Tuhanmu...!
Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah..
Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Mulia
Yang mengajar manusia dengan pena,
Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya (QS: Al-'Alaq 1-5)
Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan ? (QS: Ar-Rahman 13)
Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantarmu
dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat (QS : Al-Mujadilah 11)*

*Ya Allah,
Waktu yang sudah kujalani dengan jalan hidup yang sudah menjadi takdirku, sedih,
bahagia, dan bertemu orang-orang yang memberiku sejuta pengalaman bagiku, yang
telah memberi warna-warni kehidupanku. Kubersujud dihadapan Mu,
Engkau berikan aku kesempatan untuk bisa sampai
Di penghujung awal perjuanganku
Segala Puji bagi Mu ya Allah,*

Alhamdulillah..Alhamdulillah..Alhamdulillahirobbil'alamin..

Sujud syukurku kupersembahkan kepadamu Tuhan yang Maha Agung nan Maha Tinggi nan Maha Adil nan Maha Penyayang, atas takdir-Mu telah Engkau jadikan aku manusia yang senantiasa berpikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal bagiku untuk meraih cita-cita besarku.

Lantunan Al-fatihah beriring Shalawat dalam silahku merintih, menadahkan doa dalam syukur yang tiada terkira, terima kasihku untukmu. Kupersembahkan sebuah karya kecil ini untuk Pahlawan Terhebatku Ayahanda tercinta Poniman karokaro Ibunda terkasih Murni, yang tiada pernah hentinya selama ini memberiku semangat, doa, dorongan, nasehat dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan hingga aku selalu kuat menjalani setiap rintangan yang ada didepanku. Ayah,.. Ibu...terimalah bukti kecil ini sebagai kado keseriusanku untuk membalas semua pengorbananmu.. dalam hidupmu demi hidupku kalian ikhlas mengorbankan segala perasaan tanpa kenal lelah, dalam lapar berjuang separuh nyawa hingga segalanya. Maafkan anakmu Ayah, Ibu, masih saja ananda menyusahkanmu..

Dalam silah di lima waktu mulai fajar terbit hingga terbenam.. seraya tanganku menadah".. ya Allah ya Rahman ya Rahim... Terimakasih telah kau tempatkan aku diantara kedua malaikatmu yang setiap waktu ikhlas menjagaku,, mendidikku,, membimbingku dengan baik,, ya Allah berikanlah balasan setimpal syurga firdaus untuk mereka dan jauhkanlah mereka nanti dari panasnya sengat hawa api nerakamu..

*Untukmu Ayah (Poniman karokaro),,,Ibu (Murni)...Terimakasih....
I always loving you... (ttd. Anakmu)*

Kepada Adikku Hemilda Anggriani dan Herwin Hardiawan semoga sekolah nya lancar dan dapat melanjutkan pendidikan yang tinggi. Akhirnya, Abang bisa wisuda juga kan... doakan selalu Abangmu ini ya biar cepet sukses dan bisa membalas semuanya...Amin

... "i love you so much" ...

Dengan segala kerendahan hati, ku ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu, memberikan ilmu, motivasi, saran, maupun moril dan materil yang mungkin ucapan terima kasih ini tidak akan pernah cukup untuk membalasnya. Dr. Eng Muslim, ST., MT sebagai Dekan Fakultas Teknik beserta Kepada Bapak dan Ibu Dosen, terkhusus buat ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT, bapak Ir. Syawaldi, M.Sc, bapak Dr. Dedikarni, ST., M.Sc, bapak Dody Yulianto, ST., MT, bapak Eddy Elfiano, ST., M.Eng, bapak Ir. Irwan Anwar, MT, bapak Sehat Abdi Saragih, ST., MT, bapak Rafil Arizona, ST., M.Eng atas bimbingan dan semua ilmu yang telah diberikan.

Terimakasih ku ucapkan Kepada mereka yang sudah saya anggap sebagai keluarga bang Mas Effendi, ST, bang Novri Hariadi, ST, bang Solihin, ST, bang Engkus Kumiadi, ST Selaku pihak laboran yang telah memberi waktu kepada saya untuk dapat bergabung dalam tim asisten labor, Terima kasih kepada teman seperjuangan Teknik mesin angkatan 15 khususnya lek Samuel Alfon Riau Sata Tarigan, ST, wak Agus Syaputra, ST, mas Yudo Nugroho, ST, mas Jono, ST, bang Boy Chan Sinuraya, SP dan squad Engginering Gaming terimakasih sudah banyak membantu saya. Terimakasih sudah selalu ada disetiap keluh kesah saya.

Terimakasih untuk Sri Rehana, S.kep yang sudah bersedia mendengar keluh kesahku selama ini. Terimakasih atas doa, dukungan dan nasehat yang selalu diberikan untukku. Semoga apa yang diinginkan segera disegerakan. Amin..

"Hidupku terlalu berat untuk mengandalkan diri sendiri tanpa melibatkan bantuan Tuhan dan orang lain.

"Tak ada tempat terbaik untuk berkeluh kesah selain bersama sahabat-sahabat terbaik".

"Tanpamu teman aku tak pernah berarti, tanpamu teman aku bukan siapa-siapa yang takkan jadi apa-apa", buat sahabatku dan teman internal maupun eksternal di perantauan pekanbaru ini, Terutama Teknik Mesin angkatan 15 Khususnya Kelas A yang sama sama seperjuangan canda dan tawa yang begitu mengesankan. Terima kasih atas kerjasamanya dan kebersamaan kita selama ini nan indah kita lalui bersama, kalian adalah saudara dan saksi atas perjuanganku selama ini, suatu kebahagiaan bisa berjuang bersama kalian semoga kita diberi kesehatan serta dipermudah dalam menggapai cita-cita. Semoga perjuangan kita dibalas oleh Tuhan Yang Maha Esa dengan sesuatu yang indah.

Untuk ribuan tujuan yang harus dicapai, untuk jutaan impian yang akan dikejar, untuk sebuah pengharapan, agar hidup jauh lebih bermakna, hidup tanpa mimpi ibarat arus sungai. Mengalir tanpa tujuan. Teruslah belajar, berusaha, dan berdoa untuk menggapainya.

Jatuh berdiri lagi. Kalah mencoba lagi. Gagal Bangkit lagi.

Never give up!

Sampai Allah SWT berkata "Waktunya Pulang"

Hanya sebuah karya kecil dan untaian kata-kata ini yang dapat kupersembahkan kepada kalian semua,, Atas segala kekhilafan salah dan kekuranganku, kurendahkan hati serta diri menjabat tangan meminta beribu-ribu kata maaf tercurah.

Skripsi ini kupersembahkan.

"Hendra Setiawan Karokaro, ST"

PENGARUH AGING DAN VARIASI KECEPATAN PUTARAN TERHADAP LAJU KOROSI *PROPELLER* BERBAHAN ALUMINIUM PADUAN

Hendra Setiawan Karo Karo, Kurnia Hastuti

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution No. 133 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Email : setiawan.k@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Salah satu bahan baling-baling yang banyak digunakan adalah aluminium paduan. Kerusakan *propeller* yang terjadi di dominasi oleh terjadinya patah pada salah satu atau beberapa daunnya. Kerusakan berupa patahnya *propeller* tidak hanya disebabkan oleh beban kerja *propeller*, melainkan sebagai hasil akumulasi antara kerja *propeller* dan lingkungan kerjanya yang korosif. Salah satu cara meningkatkan sifat mekanis paduan aluminium adalah dengan perlakuan panas penuaan (*aging treatment*). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan laju korosi akibat pengaruh kecepatan putaran *propeller* dan *aging*. Pada penelitian ini material Al paduan di-*aging* pada temperatur 170°C selama 180 menit. Material tanpa *aging* dan hasil *aging* kemudian diuji korosi dengan metode celup pada variasi putaran *propeller* 800 rpm, 1000 rpm, 1200, dan 1500 rpm dengan waktu perendaman 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 168 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putaran *propeller* mempengaruhi laju korosi material. Spesimen yang diputar pada kecepatan 1500 rpm memiliki laju korosi 1,0084 mm/year untuk material tanpa *aging* dan 0,9447 mm/year untuk material dengan *aging*. Laju korosi ini lebih besar dibandingkan spesimen yang diputar pada kecepatan 800 rpm, 1000 rpm dan 1200 rpm. Laju korosi pada putaran 800 rpm adalah 0,6472 mm/year untuk material tanpa *aging* dan 0,5141 mm/year Untuk material dengan *aging*. *Aging* yang dilakukan pada material dapat menurunkan laju korosi dari 0,6472 mm/year menjadi 0,5141 mm/year pada putaran 800 rpm, 0,7913 mm/year Menjadi 0,6775 mm/year pada putaran 1000 rpm, 0,8805 mm/year menjadi 7438 mm/year Pada putaran 1200 rpm dan 1,0084 mm/year menjadi 0,9447 mm year pada putaran 1500 rpm. Pengamatan foto mikro menunjukkan bahwa jenis korosi yang terjadi adalah korosi kavitasi.

Kata kunci : *Propeller*, Aluminium, *Aging Treatment*, Laju Korosi

THE EFFECT OF AGING AND SPEED VARIATION ON PROPELLER CORROSION OF ALUMINUM ALLOYS MATERIAL

Hendra Setiawan Karo Karo, Kurnia Hastuti

**Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution No. 133 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru**

Email : setiawan.k@student.uir.ac.id

ABSTRACT

One of the most widely used propeller materials is aluminum alloy. Propeller damage that occurs is dominated by the occurrence of fractures in one or several of its leaves. Damage in the form of a broken propeller is not only caused by the propeller workload, but as a result of accumulation between the propeller work and its corrosive work environment. One way to improve the mechanical properties of aluminum alloys is by means of an aging heat treatment. This study aims to obtain the corrosion rate due to the influence of propeller rotation speed and aging. In this study, the Al alloy material was aged at 170 ° C for 180 minutes. Materials without aging and the results of aging were then tested for corrosion by the dip method at various propeller rotations of 800 rpm, 1000 rpm, 1200, and 1500 rpm with immersion time of 12 hours, 24 hours, 48 hours, and 168 hours. The results showed that the propeller rotation speed affected the corrosion rate of the material. Specimens rotated at 1500 rpm had a corrosion rate of 1.0084 mm / year for materials without aging and 0.9447 mm / year for materials with aging. This corrosion rate is greater than that of specimens rotated at speeds of 800 rpm, 1000 rpm and 1200 rpm. The corrosion rate at 800 rpm is 0.6472 mm / year for materials without aging and 0.5141 mm / year for materials with aging. Aging done on the material can reduce the corrosion rate from 0.6472 mm / year to 0.5141 mm / year at 800 rpm, 0.7913 mm / year to 0.6775 mm / year at 1000 rpm, 0.8805 mm / year to 7438 mm / year at 1200 rpm and 1.0084 mm / year to 0.9447 mm year at 1500 rpm. Micro photo observations show that the type of corrosion that occurs is cavitation corrosion.

Keywords: Propeller, Aluminum, Aging Treatment, Corrosion Rate

KATA PENGANTAR



Puji beserta syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, dengan judul “Pengaruh *Aging* dan variasi Kecepatan Putaran Terhadap Laju Korosi *Propeller* Berbahan Aluminium Paduan”.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa pula mengucapkan Terimakasih kepada Ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing serta memberikan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik, Kepala Program Studi beserta Sekretaris program studi Teknik Mesin, Dosen pengajar Teknik Mesin dan Karyawan Tata Usaha Fakultas Teknik serta teman-teman mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Islam Riau atas segala bantuan yang telah diberikan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada kedua Orang Tua yang telah memberikan semangat, motivasi, bantuan moril dan materil dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis telah berupaya semaksimal mungkin namun penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan saran serta kritik dari semua pihak demi kesempurnaan penulisan ini. Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat dijadikan pedoman dalam pengaplikasiannya.

Pekanbaru, September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI.....	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Aluminium	5
2.2 Klasifikasi Aluminium.....	6
2.2.1 Aluminium Murni	6
2.2.1 Aluminium Cor	7
2.3 <i>Propeller</i> Perahu	12
2.3.1 <i>Propeller</i> Aluminium Cor.....	13
2.4 Korosi.....	15
2.4.1 Jenis-Jenis Korosi.....	17
2.5 Perlakuan Panas	25
2.6 Komposisi Material <i>Propeller</i>	34
2.7 Laju Korosi	34
2.8 Korosi Pada Air Laut	38
2.9 Foto Mikro	39

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	41
3.2 Alat Dan Bahan	41
3.2.1 Alat	41
3.2.2 Bahan	46
3.3 Alat Uji Korosi	47
3.4 Prosedur Pengujian	48
3.4.1 Kehilangan Berat	50
3.4.2 Perhitungan Laju Korosi	52
3.5 Pengamatan Struktur Micro	53
3.6 Diagram Alir	54

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Laju Korosi	55
4.1.1 Kehilangan Berat	55
4.1.2 Perhitungan Laju Korosi	64
4.2 Pengujian Ph Air Laut	72
4.3 Pengamatan Pengujian Foto Mikro	73

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Propeller</i> Aluminium	13
Gambar 2.2. Kerusakan Pada <i>Propeller</i> Kapal	14
Gambar 2.3. Korosi Seragam	18
Gambar 2.4. Korosi Galvanis	19
Gambar 2.5. Korosi Celah	20
Gambar 2.6. Korosi Sumuran	20
Gambar 2.7. Korosi Retak Tegang	21
Gambar 2.8. Korosi Kavitasi	22
Gambar 2.9. Korosi Batas Butir	23
Gambar 2.10. Korosi Selektif	24
Gambar 2.11. Korosi Erosi	24
Gambar 2.12. Mekanisme proses <i>solution treatment</i>	27
Gambar 2.13. Skema proses perlakuan panas	31
Gambar 2.14. Pengaruh temperatur penuaan dengan kekerasan, temperatur penuaan lebih rendah (a) menghasilkan kekerasan lebih tinggi dari temperatur penuaan lebih tinggi (b)	33
Gambar 2.15. Alat Pengamatan Foto Mikro.....	40
Gambar 3.1. Gerinda potong.....	42
Gambar 3.2. Wadah Pembersih	42
Gambar 3.3. Jangka Sorong	43
Gambar 3.4. Timbangan Digital	43
Gambar 3.5. Dapur Pemanas	44

Gambar 3.6. Tang Penjempit	44
Gambar 3.7. Media Pendingin.....	45
Gambar 3.8. Dinamo Motor Listrik mini	45
Gambar 3.9. Tachometer	46
Gambar 3.10. Dimmer	46
Gambar 3.11. Spesimen Pengujian.....	47
Gambar 3.12. Sketsa Susunan Pengujian	48
Gambar 3.13. Sketsa Diagram Proses <i>Aging</i> Treatment	49
Gambar 3.14. Mikroskop Struktur Micro OLYMPUS	53
Gambar 3.15. Diagram Alir Pengujian.....	54
Gambar 4.1. Grafik Kehilangan Berat Terhadap Kecepatan Putaran.....	62
Gambar 4.2. Grafik Pengaruh <i>Aging</i> Terhadap Kehilangan Berat.....	63
Gambar 4.3. Grafik Laju Korosi Terhadap Kecepatan Putaran Berbeda	70
Gambar 4.4. Grafik Pengaruh <i>Aging</i> Terhadap Laju Korosi.....	71
Gambar 4.5. Hasil Pengukuran Ph air	73
Gambar 4.6. Hasil Pengamatan Foto Mikro Sebelum dan Sesudah Pengujian..	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kelarutan beberapa unsur Paduan di dalam Aluminium.....	10
Tabel 2.2. Sistem Penandaan IADS (International Alloy Designation System) untuk paduan aluminium	11
Tabel 2.3. Komposisi kimia Material <i>Propeller</i>	34
Tabel 2.4. Nilai Ketetapan (K) Tiap Laju Korosi Yang Diinginkan.....	36
Tabel 2.5. Unsur Pokok Dalam Media Air Laut	39
Tabel 3.1. Data Hasil Pengujian Korosi Pada <i>Propeller</i> Kapal	52
Tabel 4.1. Data hasil Pengujian Berat Awal (W_1) dan Berat akhir (W_2)	56
Tabel 4.2. Hasil kehilangan Berat Spesimen Setelah di Lakukan Pengujian...	60
Tabel 4.3. Nilai Laju Korosi Spesimen Setelah di Lakukan Pengujian	69

DAFTAR NOTASI

SYMBOL	NOTASI	SATUAN
CR	Corrosion Rate/Laju Korosi	mm/year
K	Konstanta (8.76×10^4)	-
W	Massa yang hilang	Gram
D	Massa Jenis Material Uji (8,4)	gram/cm ³
A	Luas Area Total	cm ²
T	Waktu Pengamatan	Jam
ΔW	Kehilangan Berat Material Uji	Gram
W_1	Berat Awal Material Uji	Gram
W_2	Berat Akhir Material Uji	Gram

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu jenis transportasi laut yang banyak digunakan adalah perahu. Salah satu penggerak perahu mekanis adalah *propeller*. *Propeller* berfungsi sebagai komponen mengubah momen torsi menjadi gaya dorong, dimana putaran dan gaya dorong yang dihasilkan baling-baling menyebabkan perahu dapat melaju.

Lingkungan kerja *propeller* salah satunya adalah air laut. Ketika baling-baling berputar maka pada kedua permukaan *propeller* mengalami kavitasi yang menyebabkan permukaan terkelupas dan terkikis. Kerusakan berupa patahnya *propeller* tidak hanya disebabkan oleh beban kerja *propeller*, melainkan sebagai hasil akumulasi antara kerja *propeller* dan lingkungan kerjanya yang korosif. Pada aplikasinya material *propeller* yang terendam dan berputar di air laut sangat memungkinkan untuk terjadi korosi.

Bentuk korosi kavitasi ini cenderung dialami lebih banyak oleh komponen-komponen yang mempunyai kecepatan tinggi dalam fluida seperti *propeller* (Napitupulu, 2000; Kiyoshi ishikawa dkk, 2011; Huda, 2011; dan Jahnabi B, 2017). Korosi merupakan suatu degradasi material dan menurunnya kualitas material akibat adanya reaksi elektrokimia yang dipengaruhi oleh lingkungan. Secara teoritis *propeller* yang berputar di air laut mengalami korosi kavitasi akibat dari gelembung oksigen yang pecah akan merusak lapisan film dan

material kecil yang bergerak bersama air mengikis permukaan logam. Kecepatan dari gerakan air sangat berpengaruh terhadap laju korosi (May Rista Andini, 2017).

Korosi pada *propeller* dapat mengakibatkan kerugian teknis seperti berkurangnya kecepatan kapal dan berkurang sifat mekanis material tersebut (Nova dan Nurul, 2012). Salah satu solusi yang dapat meningkatkan sifat mekanis paduan aluminium adalah dengan *aging*. Sementara itu akibat perlakuan panas yang tidak sesuai serangan korosi intergranular dapat menyerang logam atau paduannya, dan juga dapat mempengaruhi laju korosi dengan menrubah struktur mikro dari logam dan paduannya (Van Vlack, 1991). Oleh sebab itu perlakuan panas terhadap aluminium paduan harus dikerjakan dengan hati-hati.

Dari hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Huda (2011) menunjukan terjadi penurunan laju korosi pada temperatur 170°C dan waktu *aging* 180 menit. Pada penelitian tersebut uji korosi dilakukan dengan perendaman pada material yang diam. Tetapi karena aplikasinya *propeller* berputar dengan kecepatan tertentu maka perlu dilakukan penelitian untuk melihat laju korosi material pada kecepatan putaran berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang di tentukan adalah :

1. Bagaimana pengaruh *aging* terhadap laju korosi *propeller* berbahan aluminium paduan.
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putaran *propeller* terhadap laju korosi *propeller* berbahan aluminium paduan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk dapat menurunkan laju korosi pada perlakuan *aging*
2. Untuk mendapatkan pengaruh variasi kecepatan putaran *propeller* terhadap laju korosi.

1.4 Batasan Masalah

Penulis membatasi penelitian ini agar tidak menyimpang dari materi pembahasan, dimana pembahasan meliputi :

1. Penelitian menggunakan bahan material *propeller* perahu aluminium paduan Al Si
2. Penelitian menggunakan air laut sebagai media korosif.
3. Putaran yang digunakan 800, 1000 , 1200 , dan 1500 rpm
4. Temperatur *aging* yang digunakan 170°C dan waktu *aging* 180 menit.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas landasan teori yang diperoleh dari literatur untuk yang melandasi dan mendukung penelitian ini. Memberikan pemahaman singkat melalui penjelasan umum, uraian pengertian dan teori.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, dan prosedur dalam pembuatan serta pengujian untuk menganalisis data yang diperoleh.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini Berisikan hasil penelitian dan pembahasan serta analisa analisa dari hasil data yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas Kesimpulan dan saran berisikan simpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dapat mendukung pengembangan dalam penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium adalah logam berwarna putih keperakan yang lunak. Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai suatu logam oleh H.C. Oersted pada tahun 1955. Bijih bauksit merupakan bahan utama untuk pembuatan aluminium yang terdapat didalam batu-batu dalam kerak bumi. Didalam bebatuan tersebut aluminium masih berbentuk silikat dan komponen lain yang lebih kompleks, karena komponen aluminium yang begitu kompleks tersebut maka dibutuhkan penelitian lebih dari 60 tahun untuk menemukan cara yang ekonomis untuk membuat aluminium dari bijih bauksit (Surdia. T & Saito,S., 1995).

Aluminium merupakan logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium (Al) merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Aluminium biasa dipergunakan untuk peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lain. Untuk mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur seperti Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan unsur lain (Surdia, 1991).

Ketahanan korosi yang sangat baik oleh aluminium disebabkan oleh adanya lapisan oksida tipis yang menempel sangat kuat di permukaanya (Al_2O_3). Lapisan Al_2O_3 stabil pada lingkungan pH 4 s/d pH 9 (pasifasi). Sehingga lapisan tersebut dapat melindungi logam bagian dalam dari serangan korosi lanjutan,

namun aluminium dapat juga terkorosi dalam lingkungan yang agresif yaitu diluar kisaran pH tersebut terutama suasana asam dan basah (Siregar, 2010).

2.2 Klasifikasi Aluminium

Menurut penggolongan komposisinya aluminium terbagi atas dua kelompok, yaitu aluminium murni dan aluminium paduan. Aluminium adalah bahan campuran yang mempunyai sifat-sifat logam, terdiri dari dua atau lebih unsur-unsur, dan sebagai unsur utama campuran adalah logam. Proses manufakturnya pun tidak terlalu sulit. Aluminium mempunyai titik lebur $\pm 660^{\circ}\text{C}$ (Dewa, 2017).

2.2.1 Aluminium Murni

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat di tempa dengan penampilan luar yang bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Aluminium memiliki berat jenis 2,7 gram/cm^3 , kira-kira sepertiga dari berat jenis baja (7,83 gram/cm^3), tembaga (8,93 gram/cm^3).

Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain aluminium itu sendiri, Namun aluminium yang dijual di pasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, melainkan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pengecoran yang tidak sempurna. Umumnya, Aluminium murni yang dijual di pasaran adalah aluminium murni 99%.

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun akan terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium dipadukan dengan logam lain. Aluminium murni mempunyai beberapa kekurangan seperti memiliki sifat mampu cor dan mekanik kurang baik, sehingga jarang dipergunakan untuk kebutuhan teknik yang memerlukan ketelitian dan persyaratan kekuatan bahan yang tinggi.

2.2.2 Aluminium Cor

Saat ini aluminium tuang merupakan salah satu jenis paduan yang banyak dipakai dalam industri pengecoran. Aluminium diadaptasikan untuk berbagai macam metode pengecoran yang umumnya dipakai dan dapat dituang langsung kedalam cetakan logam yang terpasang pada mesin otomatis dengan volume yang besar.

Terdapat beberapa sifat dari aluminium tuang yang menunjang proses cor pada aluminium itu sendiri, yaitu sebagai berikut :

1. Fluiditas yang baik, sehingga mampu mengisi rongga-rongga cetakan yang tipis.
2. Temperatur lebur dan tuang yang rendah dibandingkan dengan material lain sehingga energi pemanasan dapat diminimalkan.
3. Siklus penuangan yang cukup cepat, dikarenakan perpindahan panas (konduktifitas panas) dari aluminium cair ke cetakan relatif cepat jadi produktifitas dapat ditingkatkan.

4. Kelarutan gas hidrogen dalam aluminium dapat di kontrol dengan proses yang baik.

Namun, selain sifat-sifat diatas, aluminium tuang juga memiliki sifat-sifat yang kurang menguntungkan, yaitu :

1. Mudah mengikat gas hidrogen dalam kondisi cair. Hal ini dapat menyebabkan cacat porositas pada produk pengecoran.
2. Berat jenis yang rendah memudahkan aluminium tercampur dengan pengotor oksida. Misalnya Al_2O_3 yang berat jenisnya (2.1 gr/mm^3) hampir sama dengan berat jenis air (2.3 gr/mm^3).

Hal tersebut dapat diatasi dengan cara-cara tertentu, seperti degassing, fluxing, dan pemilihan desain yang baik dalam proses penuangannya. Karena aluminium memiliki sifat mekanis yang rendah dalam bentuk murni, maka selalu ditambahkan unsur paduan dalam proses pengecorannya (Dedi I., 2008).

Jenis dan pengaruh unsur-unsur paduan terhadap perbaikan sifat aluminium antara lain:

1. Silikon (Si)

Tanpa paduan lainnya silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila bersama aluminium silikon akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah perlakuan panas, tetapi silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, selain itu juga mempunyai ketahanan koefisien panas yang rendah.

2. Tembaga (Cu)

Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasannya dan kekuatannya karena tembaga bisa memperhalus struktur butir dan akan

mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu tempa, keuletan yang baik dan mudah dibentuk.

3. Magnesium (Mg)

Dengan unsur magnesium pada aluminium akan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu las serta kekuatannya cukup.

4. Nikel (Ni)

Dengan unsur nikel aluminium dapat bekerja pada temperatur tinggi, misalnya piston dan silinder head untuk motor.

5. Mangan (Mn)

Dengan unsur mangan aluminium sangat mudah dibentuk, tahan korosi, sifat dan mampu lasnya baik.

6. Seng (Zn)

Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam presentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas, juga kemampuan mesin.

7. Ferro (Fe)

Penambahan ferro dimaksud untuk mengurangi penyusutan, tapi penambahan ferro (Fe) yang besar akan menyebabkan struktur perubahan butir yang kasar, namun hal ini dapat diperbaiki dengan Mg atau Cr.

8. Titanium (Ti)

Penambahan titanium pada aluminium dimaksud untuk mendapat struktur butir yang halus. Biasanya penambahan bersama-sama dengan Cr dalam presentase 0,1%, titanium juga dapat meningkatkan mampu mesin.

Unsur paduan yang ditambahkan ke dalam aluminium memiliki kelarutan yang berbeda-beda. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat kelarutan beberapa unsur paduan di dalam aluminium:

Tabel 2.1 Kelarutan beberapa unsur paduan di dalam aluminium

Unsur Paduan	Temperatur °C	Kelauratan Padat Maksimum pada Al,wt,%
Krom	660	0,77
Tembaga	550	5,67
Besi	655	0,052
Litium	600	4,0
Magnesium	450	14,9
Mangan	660	1,82
Nikel	640	0,05
Silikon	580	1,65
Titanium	665	1,0
Vanadium	665	0,6
Seng	380	82,8
Zirkonium	660	0,82

Dari unsur-unsur paduan di atas, terdapat lima unsur yang menjadi dasar paduan aluminium komersial, yakni seng, magnesium, tembaga, silikon dan mangan.

Secara umum aluminium paduan di bagi menjadi aluminium tuang (cast) dan aluminium tempa (wrought). Kedua kelas tersebut disusun berdasarkan standar Aluminium Association (AA). Khusus untuk jenis aluminium tuang,

sistem penamaan aluminium berdasarkan unsur paduan utama yang digunakan. Sistem tata nama ini menggunakan sistem digit 4 angka. Sistem penamaan AA ini hanya berlaku diwilayah Amerika Utara saja, untuk negara-negara lain penamaan disesuaikan standar yang berlaku dinegara tersebut.

Paduan aluminium diberi tanda dengan sistem penomoran seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.2. Nomor pertama menunjukkan unsur pepadu utama, dan nomor selanjutnya mengacu kepada komposisi spesifik paduan. Sistem penomoran IADS ini (International Alloy Designation System) telah banyak diadopsi oleh berbagai Negara.

Tabel 2.2 Sistem Penandaan IADS (International Alloy Designation System) untuk paduan aluminium.

Paduan Tempa :		
1xxx	Al murni komersial (>99% Al)	Tidak bisa di <i>aging</i>
2xxx	Al-Cu dan Al-Cu-Li	Bisa di <i>aging</i>
3xxx	Al-Mn	Tidak bisa di <i>aging</i>
4xxx	Al-Si dan Al-Mg-Si	Bisa di <i>aging</i> jika mengandung Mg
5xxx	Al-Mg	Tidak bisa di <i>aging</i>
6xxx	Al-Mg-Si	Bisa di <i>aging</i>
7xxx	Al-Mg-Zn	Bisa di <i>aging</i>
8xxx	Al-Li, Sn, Zr, B, Fe atau Cr	Sebagian besar bisa di <i>aging</i>
Paduan Cor :		
1xx	Al murni komersial	Tidak bisa di <i>aging</i>
2xx	Al-Cu	Bisa di <i>aging</i>
3xx	Al-Si-Cu atau Al-Mg-Si	beberapa bisa di <i>aging</i>
4xx	Al-Si	Tidak bisa di <i>aging</i>
5xx	Al-Mg	Tidak bisa di <i>aging</i>
7xx	Al-Mg-Zn	Bisa di <i>aging</i>
8xx	Al-Sn	Bisa di <i>aging</i>

Sumber : Hartarto (2017)

2.3 Propeller Perahu

Alat penggerak kapal mekanis adalah *propeller* (baling-baling), Baling-baling (*Propeller*) kapal adalah salah satu bagian kapal yang digerakkan oleh mesin, yang mempunyai fungsi untuk mendapatkan daya dorong bagi laju kapal. Dengan gaya dorong yang dihasilkan baling-baling ini, kapal dapat bergerak maju ataupun mundur. Pada kebanyakan kapal, baling-baling digerakkan oleh sebuah mesin dan *propeller* terpasang pada poros yang terhubung dengan mesin. Mesin yang biasa yang digunakan untuk menggerakkan adalah motor tempel yang memiliki kecepatan maksimal ± 4500 rpm.

Prinsip kerja dari baling-baling adalah seperti sekrup atau mur yang berputar dilaut. Jika kita memutar mur, maka mur akan berputar maju atau mundur sepanjang lintasan bautnya. Demikian juga yang terjadi dengan baling-baling yang berputar. Tetapi karena baling-baling terikat pada ujung poros yang berputar, posisi baling-baling menjadi tetap. Gaya dorong yang dihasilkan dari putaran mesin kapal disalurkan ke massa air yang mengelilingi baling-baling tersebut. Karena air tetap diam, maka gaya dorong yang dihasilkan baling-baling tersebut dikembalikan ke baling-baling tersebut atau terjadi gaya reaksi.

Gaya reaksi ini disalurkan sepanjang poros baling-baling dan menghasilkan gaya dorong bagi kapal sehingga, tergantung arah putaran baling-baling, kapal dapat bergerak maju ataupun mundur. Gaya reaksi yang mendorong poros baling-baling tidak bisa langsung menggerakkan kapal, karena gaya yang bersifat aksial ini hanya mendorong poros dan akan diterima oleh mesin kapal

yang memutar baling-baling. Dan Salah satu Material yang biasa di gunakan untuk pembuatan baling baling adalah Aluminium cor.

2.3.1 Propeler Aluminium Cor

Salah satu komponen perahu yang paling umum digunakan dalam menggerakkan perahu adalah propeler. Propeler umumnya terbuat dari material perunggu atau kuningan tetapi banyak juga yang terbuat dari material aluminium, biasanya digunakan untuk penggerak beberapa kapal kecil dan perahu nelayan. Propeler merupakan salah satu komponen mesin yang memegang peranan penting dalam konstruksi transportasi laut. Propeler mempunyai fungsi yang sangat besar, karena kecepatan perahu ditentukan oleh kondisi propeler (Kondo Yan dkk, 2012).



Gambar 2.1 Propeler aluminium

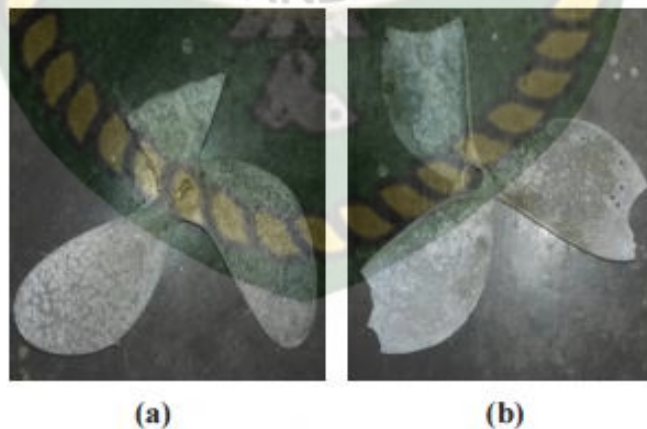
Sumber : Suyanto, Pramono, Wibowo (2018)

Beberapa permasalahan yang ada pada balinng-baling motor tempel adalah kekuatan dan ketahanan haus serta ketahanan korosi karena baling-baling kapal bekerja di lingkungan korosif. Karena digunakan di laut, ketika baling-baling berputar maka di kedua permukaan baling-baling kapal mengalami pembebanan yang menyebabkan permukaan terkelupas dan terkikis. Kerusakan berupa patahnya *propeller* pada kapal tidak hanya disebabkan oleh beban kerja *propeller*,

melainkan sebagai hasil akumulasi antara kerja *propeller* dan lingkungan kerjanya yang korosif. Pada aplikasinya material *propeller* (baling-baling) yang terendam dan berputar di air laut sangat memungkinkan untuk terjadi korosi.

Pada aplikasinya material *propeller* (baling-baling) yang terendam dan berputar di air laut sangat memungkinkan untuk terjadi korosi. Secara teoritis *propeller* (baling-baling) yang berputar di air laut mengalami korosi erosi akibat dari gelembung oksigen yang pecah akan merusak lapisan film dan material kecil yang bergerak bersama air mengikis permukaan logam. Kecepatan dari gerakan air sangat berpengaruh terhadap laju korosi, semakin cepat kecepatan semakin cepat laju korosi pada logam.

Korosi pada material baling baling kapal mengakibatkan kerugian teknis yang berkurangnya kecepatan kapal, menurunnya fatigue life, tensile strength dan berkurangnya sifat mekanis material lainnya (Nova dan Nurul, 2012), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kerusakan pada *propeller* kapal

Sumber : Suyanto, Syafaat (2018)

Pada *propeller* kapal nelayan adalah ketika fluida berupa air menerjang permukaan *propeller* semakin banyak, berkurangnya tekanan hidrodinamik

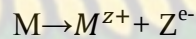
ditempat- tempat tertentu menyebabkan fluida menguap sehingga gelembung-gelembung terbentuk di permukaan *propeller*. Efek mekanik sama yang menyebabkan berkurangnya tekanan yang membuat gelembung-gelembung tadi pecah dengan gaya yang cukup besar. Jadi gaya ini lebih kuat dari batas elastisitas *propeller* maka permukaan *propeller* mengalami deformasi, akibatnya lapisan pelindung pecah dan memicu terjadinya korosi (Saifiul Huda, 2011). Sehingga Pada permukaan *propeller* yang kasar itu akan menjadi tempat yang lebih baik untuk membentuk gelembung-gelembung baru sehingga proses korosi semakin merajalela.

2.4 Korosi

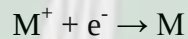
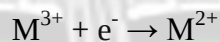
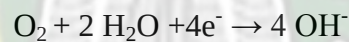
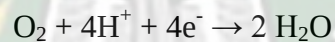
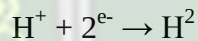
Korosi didefinisikan sebagai suatu proses degradasi material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat adanya proses reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungan (Jones, Denny A, 1992). Lingkungan yang dimaksud yang dapat mengakibatkan proses korosi adalah berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, dll. Menurut Kevin Jones (2013), proses perusakan material yang terjadi menyebabkan turunya kualitas material logam tersebut. Korosi yang terjadi pada benda logam merupakan sebuah hal yang akan selalu terjadi dan dapat dihindarkan. Korosi merupakan proses yang terjadi secara alami dan tidak akan bisa berhenti selama logam tersebut masih berada di lingkungan di lingkungan yang bersifat korosif.

Reaksi korosi dapat menghasilkan beberapa produk korosi seperti oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya atau biasa yang disebut karat. Pada proses korosi terjadi reaksi reduksi dan proses oksidasi dimana reaksi oksidasi

adalah reaksi yang menghasilkan pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai anoda. Reaksi oksidasi pada logam pada proses korosi adalah sebagai berikut (Fontana, Mars, 1987) :



Sedangkan reaksi reduksi adalah reaksi yang menghasilkan penangkapan elektron. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai katoda. Reaksi reduksi yang umum terjadi pada proses korosi adalah sebagai berikut :



Proses korosi dapat terjadi jika terdapat beberapa elemen komponen yang berinteraksi dalam reaksi tersebut, komponen tersebut diantaranya adalah :

1. Anoda, merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik dan reaksi oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron, dan senyawa logam tersebut ion berubah menjadi ion-ion bebas.
2. Katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron hasil dari anodik. Katoda dalam reaksi korosi dapat berupa lingkungan yang bervariasi diantaranya adalah atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam dll.

3. Reaksi diantara anoda dan katoda, dimana diantara anoda dan katoda harus terjadi kontak langsung agar terjadi proses korosi. Akibat yang terjadi antara anoda dan katoda maka reaksi spontan yang melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi akan dapat terjadi.
4. Elektrolit, merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik. Elektrolit dapat menghasilkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan electroequivalen force sehingga reaksi dapat berlangsung.

2.4.1 Jenis-Jenis Korosi

Terdapat beberapa jenis korosi yang sering terjadi pada aplikasi penggunaan material sehari-hari. Jenis korosi tersebut di pengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah lingkungan korosif, meknisme, material yang digunakan, geometri material yang digunakan, dan beberapa faktor lain. Berikut adalah beberpa jenis korosi yang terjadi pada aplikasi penggunaan meterial sehari-hari :

1. Korosi seragam (Uniform)
2. Korosi gulvanik
3. Korosi celah (crevice)
4. Korosi sumuran (pitting)
5. Corrosion Cracking (SCC)
6. Korosi kavitasi
7. Korosi intergranular
8. Selective leaching
9. Korosi erosi

Jenis-jenis korosi dapat diklasifikasikan menurut mekanisme terjadinya korosi, jenis-jenis tersebut antara lain :

1. Korosi seragam (Uniform)

Korosi ini adalah korosi yang terjadi secara serentak diseluruh permukaan logam, oleh karena itu pada logam yang mengalami korosi meratakan terjadi pengurangan dimensi yang relatif besar per satuan waktu. Kerugian langsung akibat korosi merata berupa kehilangan material konstruksi, keselamatan kerja dan pencemaran lingkungan akibat produk korosi dalam bentuk senyawa yang mencemarkan lingkungan. Gambar 2.3 menunjukan korosi seragam.



Gambar 2.3 korosi seragam (Roberge, 2000)

2. Korosi galvanik

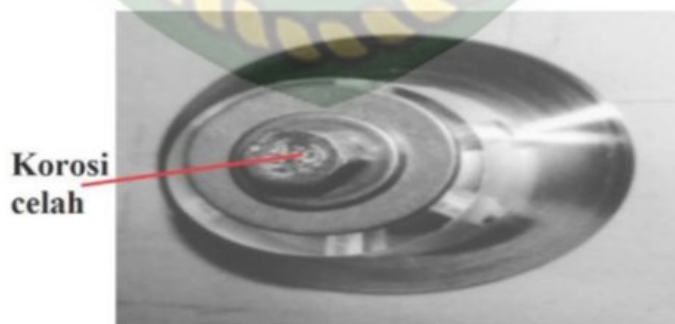
Korosi ini terjadi akibat dua logam atau lebih yang memiliki potensial reduksi berbeda dihubungkan atau terhubung. Pada korosi galvanik, material yang memiliki potensial reduksi yang lebih negatif menurut delta volta dan deret galvanik akan mengalami korosi yang lebih besar dibandingkan dengan yang potensial reduksinya lebih tinggi. Gambar 2.4 menunjukan korosi galvanik.



Gambar 2.4 Korosi galvanis (Roberge, 2003)

3. Korosi celah (crevice)

Adalah korosi lokal yang terjadi pada celah diantara dua komponen. Mekanisme awal terjadinya korosi celah ini diawali dengan terjadi korosi merata diluar dan didalam celah, sehingga terjadi oksidasi logam dan reduksi oksigen. Pada saat oksigen di dalam celah habis, sedangkan oksigen diluar celah masih banyak, akibatnya permukaan logam yng berhubungan dengan bagian luar menjadi katoda dan permukaan logam yang didalam celah menjadi anoda sehingga terbentuk celah yang terkorosi. Gambar 2.5 menunjukan korosi celah.



Gambar 2.5 korosi celah (Cramer dan Bernard, 2003)

4. Korosi sumuran (pitting)

Korosi sumuran merupakan salah satu jenis korosi yang terlokalisasi, korosi sumuran terjadi akibat lepasnya lapisan pasif pada daerah tertentu akibat terkena lingkungan korosif. Korosi sumuran sering terjadi pada logam seperti baja tahan karat maupun aluminium yang terkena lingkungan korosif air laut, dimana lingkungan air laut banyak mengandung Cl^- yang akan mudah menyerang lapisan pasif yang terbentuk pada material yang mengakibatkan rusaknya lapisan pasif tersebut. Pecahnya lapisan pasif mengakibatkan gas hidrogen dan oksigen mudah masuk dan mengkorosikan material tersebut. Gambar 2.6 menunjukkan korosi sumuran.



Gambar 2.6 korosi sumuran (Cramer dan Bernard, 2003)

5. Corrosion Cracking (SCC)

Korosi terjadi akibat adanya pengaruh lingkungan yang mengakibatkan patah getas pada material ulet yang menyebabkan terjadinya korosi seragam yang minimal. Jenis korosi ini diantaranya adalah Stress Corrosion Cracking (SCC), dimana korosi ini terjadi akibat adanya

interaksi antara beban tarik material yang dapat terkena korosi dan lingkungan yang korosif. Corrosion Fatigue Cracking (CFC) juga merupakan salah satu contoh Environmentally induced corrosion, dimana korosi tersebut terjadi karena adanya tegangan beban fatik pada suatu material lingkungan korosif. Hal ini sewaktu-waktu akan menyebabkan material tersebut akan terkena korosi pada satu titik yang menyebabkan crack yang menjalar. Gambar 2.7 menunjukkan korosi scc.



Gambar 2.7 Korosi Retak Tegang (Bardal, 2003)

6. Korosi Kavitasi

Kavitasi adalah fenomena mekanika fluida, yang terjadi setiap kali ada fluktuasi di bidang tekanan dan / atau kecepatan fluida. Oleh karena itu, daerah di mana kondisi aliran menyebabkan tekanan absolut dalam fluida turun di bawah tekanan uapnya, menyebabkan fluida mendidih bahkan pada suhu sekitar yang mengalami kavitasi. Ini menyebabkan gelembung uap kecil yang disebut "rongga" terbentuk di dalam cairan. Rongga-rongga ini meledak ketika tekanan di sekitarnya naik lagi. Dan menghasilkan gelombang kejut intensitas tinggi dan dampak jet, yang secara signifikan

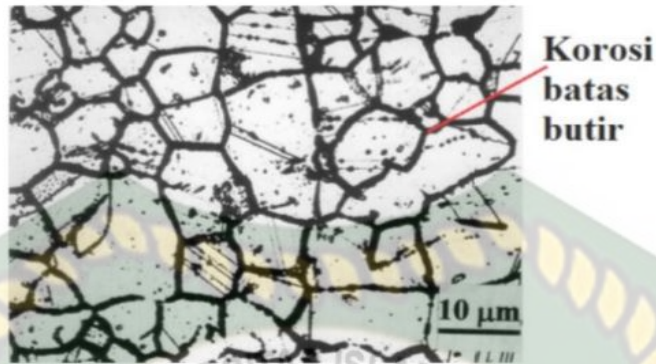
dapat mengikis permukaan material apa pun yang bersentuhan. Dan fenomena gelembung ini runtuh di permukaan material, menyebabkan korosi, disebut sebagai kavitasi (Jahnabi Basumatary, 2017). Karena terjadinya korosi pada bagian permukaan tersebut maka akan kehilangan masa dan menjadi takik, takik-takik tersebut akan bertambah dalam karena permukaan di dalam takik karena kecepatan yang tinggi dan proses kavitasi akan berlangsung berulang-ulang. Biasanya dihubungkan dengan variasi tekanan mendadak yang terkait dengan parameter hidrodinamik fluida, seperti pada baling-baling, bilah pengaduk dan bilah turbin. Gambar 2.7 menunjukkan korosi kavitasi.



Gambar 2.8 Korosi Kavitasi (Bardal, 2003)

7. Korosi intergranular

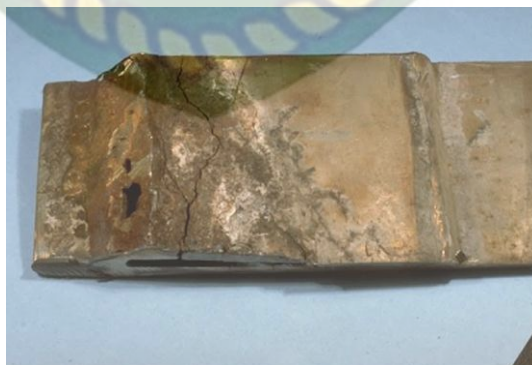
Adalah bentuk korosi yang terjadi pada paduan logam akibat terjadinya reaksi antar unsur logam tersebut di batas butirnya. Cara untuk mengurangi kerentanan paduan terhadap korosi batas butir adalah dengan cara perlakuan panas (Roberge, 2000). Gambar 2.8 menunjukkan korosi batas butir.



Gambar 2.9 Korosi Batas Butir (Budianto dkk., 2009)

8. Selective leaching

Adalah korosi yang terjadi pada paduan logam karena pelarutan salah satu unsur paduan yang lebih aktif, seperti yang biasa terjadi pada paduan tembaga-seng. Mekanisme terjadinya korosi Selective leaching diawali dengan terjadi pelarutan total terhadap semua unsur. Salah satu unsur paduan yang potensialnya lebih tinggi akan terdeposisi, sedangkan potensialnya yang lebih rendah akan larut ke elektrolit. Akibatnya terjadi keropos pada logam paduan tersebut.



Gambar 2.10 Korosi selektif pada logam kuningan (Sumber Tretheway, 1991)

9. Korosi erosi

Korosi yang terjadi karena adanya fluida korosif yang mengalir pada permukaan material. Fluida tersebut dapat berupa fluida liquid maupun gas dengan kecepatan tinggi. Karena kecepatan tinggi dari fluida korosif yang mengalir, terjadi efek kehausan mekanis atau abrasi. Sehingga permukaan lapisan pasif dan lapisan film pelindung akan terkikis, sehingga kemungkinan terjadinya korosi semakin besar. Gambar 2.11 menunjukkan korosi erosi.



Gambar 2.11 Korosi erosi (Roberge, 2000)

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer.

Perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan. Beberapa tujuan heat treatment menurut Rajan (1994) antara lain:

- a. Meningkatkan keuletan
- b. Menghilangkan internal stress
- c. Penyempurnaan ukuran butir
- d. Meningkatkan kekerasan atau kekuatan tarik dan mencapai perubahan komposisi kimia dari permukaan logam.

Keuntungan dari heat treatment menurut Rajan (1994) antara lain :

- a. Meningkatkan machineability
- b. Mengubah sifat magnetik
- c. modifikasi konduktivitas listrik
- d. Meningkatkan ketangguhan dan mengembangkan struktur rekristalisasi pada cold-worked metal.

Proses dalam melakukan heat treatment meliputi heating, holding, dan cooling. Adapun tujuan dari masing-masing proses yaitu :

1. Heating : proses pemanasan sampai temperatur tertentu dan dalam periode waktu. Tujuannya untuk memberikan kesempatan agar terjadinya perubahan struktur dari atom-atom dapat menyeluruh.

2. Holding : proses penahanan pemanasan pada temperatur tertentu, bertujuan untuk memberikan kesempatan agar terbentuk struktur yang teratur dan seragam sebelum proses pendinginan.
3. Cooling : proses pendinginan dengan kecepatan tertentu, bertujuan untuk mendapatkan struktur dan sifat fisik maupun sifat mekanis yang diinginkan.

Perlakuan panas pada aluminium paduan dilakukan dengan memanaskan sampai terjadi fase tunggal kemudian ditahan beberapa saat dan diteruskan dengan pendinginan cepat sehingga tidak sempat berubah ke fase lain. Jika bahan tadi dibiarkan untuk jangka waktu tertentu maka terjadilah proses penuaan (*aging*).

Perubahan akan terjadi berupa presipitasi (pengendapan) fase kedua yang dimulai dengan proses nukleasi dan timbulnya klaster atom yang menjadi awal dari percipitat. Precipitat ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Proses ini merupakan proses age hardening yang disebut *natural aging*. Jika setelah dilakukan pendinginan cepat kemudian dipanaskan lagi hingga dibawah temperatur solves (*solvus line*) kemudian ditahan dalam jangka waktu yang lama dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat diudara disebut proses penuaan buatan (*artificial aging*).

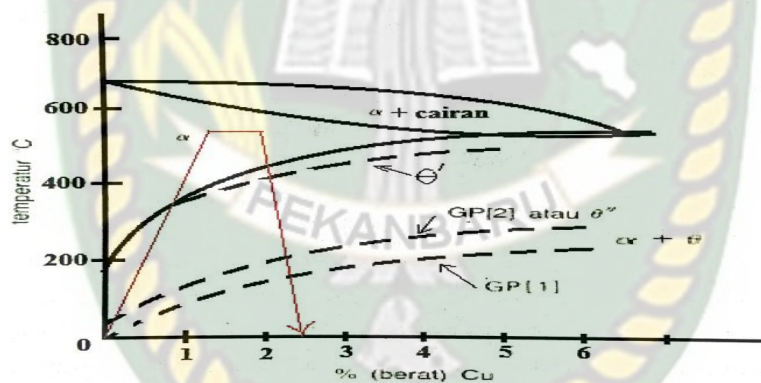
Bila *aging* temperatur terlalu tinggi dan *aging* time terlalu panjang maka partikel yang terjadi akan terlalu besar (sudah mikroskopik) sehingga afek penguatannya akan menurun bahkan menghilang sama sekali, dan ini dinamakan *over aged*.

Proses *precipitation hardening* atau *hardening* dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu :

1. Solution treatment

Yaitu memanaskan paduan hingga diatas solvus line. Pemanasan dengan tujuan melarutkan satu unsur paduan atau lebih dalam matriks aluminium dan membentuk satu fasa tanpa adanya peleburan. Proses ini menyebabkan pemisahan endapan paduan yang ada sebelumnya sehingga larut dan menghasilkan paduan yang homogen.

Berdasarkan Gambar 2.12 mekanisme proses solution treatment dilanjutkan dengan quenching, paduan berupa larutan homogen α pada temperatur tinggi bila didinginkan akan berubah fasa menjadi fasa kedua θ , kemudian fasa θ tersebut juga akan mengendap dan terjadi pengerasan kisi.



Gambar 2.12 Mekanisme proses solution treatment dilanjutkan dengan quenching

Sumber : Hartarto (2017)

2. Mendinginkan kembali dengan cepat (quenching)

Quenching adalah pencelupan cepat dilakukan untuk mencegah terjadinya pemisahan fasa kedua yang terjadi akibat dari proses solution treatment. Kecepatan pendinginan harus cukup cepat agar dapat mempertahankan atom yang larut dalam solid solution dan juga mempertahankan adanya vacancies (kekosongan atom) sebagai tempat difusi atom-atom membentuk klaster atom

pada saat penuaan. Bila quenching tidak dilakukan dengan cepat, maka akan terbentuk fasa lain intermetalik dan vacancies akan dapat terisi dengan atom lain sehingga proses difusi akan semakin sulit.

Setelah proses quenching, paduan akan bersifat super saturated solid solution (SSSS) α dimana terdapat atom-atom yang tidak stabil sehingga dapat dimanfaatkan untuk proses penuaan. Pada umumnya, setelah proses quenching, kekerasan akan meningkat drastis, karena pergerakan atom-atom tersebut secara atomic.

Arief M., (2012) Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan bermacam-macam. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain :

a. Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain.

Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut (Dugan, 1972; Hutchinson, 1975; Miller, 1992). Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni 0°C (32°F) – 100°C , air berwujud cair. Suhu 0°C merupakan titik beku (freezing point) dan suhu 100°C merupakan titik didih (boiling point) air. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika.

Air memerlukan panas yang tinggi dalam proses penguapan. Penguapan (evaporasi) adalah proses perubahan air menjadi uap air. Proses ini memerlukan energi panas dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan air untuk proses quenching agar dapat memberikan kekerasan yang maksimal pada benda uji.

b. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli, minyak bakar atau solar.

c. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara. Adapun pendinginan pada udara terbuka akan memberikan oksidasi oksigen terhadap proses pendinginan.

d. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendingin disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan meningkat zat arang. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin.

3. *Aging*

Aging adalah proses perlakuan panas yang dilakukan pada suatu bahan untuk meningkatkan sifat kekerasannya dengan cara mengkombinasikan antara pemanasan di atas suhu kamar dengan waktu pemanasan.

Aging dilakukan dengan menahannya pada suatu temperatur tertentu atau temperatur kamar (temperatur di bawah solvus line) untuk jangka waktu tertentu.

Aging/penuaan dapat dibagi menjadi dua yaitu :

1. Penuaan yang dilakukan dengan membiarkan larutan padat jenuh itu pada temperatur kamar selama beberapa waktu, dinamakan *natural aging* yaitu penuaan yang terjadi secara alamiah.
2. Penuaan dengan memanaskan kembali larutan padat jenuh itu ke suatu temperatur di bawah garis solvus dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat, dinamakan *artificial aging* (*aging* buatan atau *aging treatment*).

Berikut ini adalah contoh skema proses perlakuan panas kemudian dilanjutkan dengan *aging* terhadap paduan aluminium :



Gambar 2.13 Skema proses perlakuan panas

Sumber : Hartarto (2017)

Proses perlakuan panas dan *aging* dilakukan melalui metode pengerasan dengan terbentuk endapan (Precipitation hardening) yang secara garis besar ada 3 langkah yaitu : panas pelarutan, (solution heat treatment), pendinginan cepat (quenching) dan penuaan buatan (*artificial aging*) suharyanto.,dkk (2015).

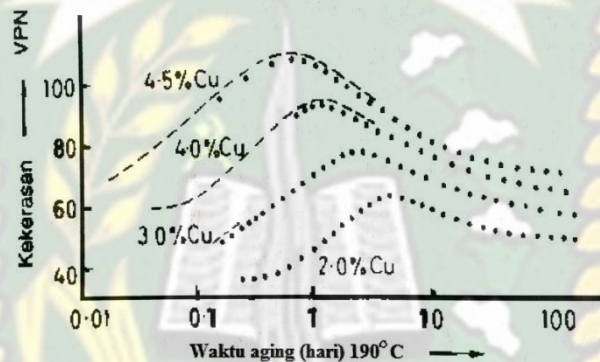
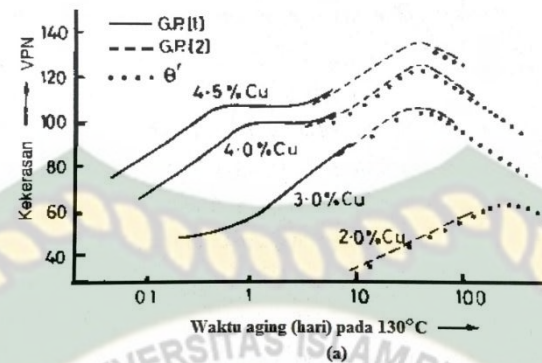
Pada proses *aging* terjadi proses presipitasi dari atom solution melalui nukleasi dan pertumbuhan butir dari atom solute menjadi nuclei presipitat. Pada

beberapa material, proses *aging* untuk mencapai kekuatan dan kekerasan maksimum dapat terjadi dalam kurun waktu yang lama.

Proses pembentukan endapan hasil dari pergerakan atom-atom pada SSSS akibat solution treatment dan quenching. Untuk memicu pergerakan atom-atom, dilakukan pemanasan pada paduan. Pada penuaan ini, presipitat akan mengalami dua hal, yaitu pengintian (nukleasi) dan pertumbuhan presipitat. Presipitat ini terjadi melalui proses nukleasi dari kluster atom dalam kisi yang berubah menjadi inti presipitat. Laju atom bernukleasi sebanding dengan laju migrasi atom yang semakin meningkat jika temperatur penuaan meningkat. Ketika temperatur penuaan meningkat maka laju pengintian akan menurun dan pertumbuhan presipitat akan meningkat. Namun, jika temperatur penuaan menurun, maka laju pengintian akan semakin meningkat dan pertumbuhan presipitat menurun.

Pada waktu penuaan, perubahan sifat pada material yang telah dicelup lebih jelas, khususnya sifat mekanik mengalami perubahan yang cukup berarti pada sifat yang peka stuktur seperti kekerasan, keuletan dan tegangan luluh. Pada penuaan, jika temperatur yang digunakan makin tinggi dari batas optimal, maka kekerasan akan semakin menurun. Sebagai contoh, hal ini dapat dilihat dari perbandingan grafik Gambar 2.8 pengaruh temperatur penuaan dengan kekerasan, temperatur penuaan lebih rendah.

- (a) Menghasilkan kekerasan lebih tinggi dari temperatur penuaan lebih tinggi
- (b) Dimana penuaan dengan temperatur 130°C menghasilkan rata-rata kekerasan tiap komposisi yang lebih tinggi dari penuaan dengan temperature 190°C .



Gambar 2.14 Pengaruh temperatur penuaan dengan kekerasan, temperatur penuaan lebih rendah (a) menghasilkan kekerasan lebih tinggi dari temperatur penuaan lebih tinggi (b).

Sumber : Hartarto(2017)

Jika temperatur penuaan tinggi, maka difusi atom akan meningkat, sehingga waktu untuk berpindah atom menjadi cepat. Energi bebas yang rendah dan energi aktivasi yang besar menyebabkan nukleasi sedikit hanya pada butir saja. Ketika dilanjutkan, panas yang tinggi akan memberikan kesempatan pada endapan untuk membentuk sebuah fasa yang butirnya besar sehingga energi permukaan dan regangan rendah, serta kekerasan rendah. Pada penuaan dengan temperatur rendah, nukleasi terbentuk dalam kristal atau butir, namun difusi yang lambat membutuhkan waktu yang lama untuk selesai sehingga lebih merata endapannya.

2.6. Komposisi Material *Propeller*

Untuk mengetahui komposisi material *Propeller* yang digunakan *propeller* diuji menggunakan mesin spektrum komposisi kimia optical emission spectrometer (OES). Adapun komposisi kimia material *propeller* dapat kita lihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Material *Propeller*

No	Unsur	Nilai %
1	Al	91,1109
2	Si	4,84029
3	Cu	1,34844
4	Zn	1,16933
5	Fe	0,80919
6	Mg	0,40787
7	Mn	0,11756
8	Pb	0,05845
9	Ni	0,05489
10	Cr	0,02289
11	Ti	0,02451
12	Sn	0,02289
13	SB	0,00849
14	Na	0,00021

Sumber : Budi hardianto (2020)

Dari tabel 2.3 diatas jika di lihat komposisi material tersebut jika dibandingkan dengan komposisi Aluminium standar ASM, maka komposisi material *propeller* yang di gunakan adalah Aluminium paduan serib 355.0 (Budi Hardianto,2020).

2.7. Laju Korosi

Laju korosi dapat diartikan sebagai banyak nya jumlah logam yang lepas dalam satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju penyerangan atau laju adalah kecepatan penembusan logam atau kehilangan berat persatuan luas tergantung

pada teknik pengukuran yang digunakan dan dinyatakan dalam satuan millimeter per year (mmpy). Menurut standart ASTM internasional (2005) pengukuran laju korosi dengan metode pengurangan berat dapat dihitung menggunakan persamaan (Baboian Robert, Nace Corrosion Engineer's Reference Book, 2002 : 111) :

$$CR (mmpy) = \frac{k \times w}{A \times t \times \rho}$$

Dimana,

- k = kontanta $8,76 \times 10^4$,
- w = massa yang hilang (g) ,
- ρ = massa jenis sampel uji (g/cm^3) ,
- D = luas penampang (cm^2) ,
- t = waktu pengujian (Hour)

Untuk mencari nilai kehilangan berat (W) dari logam yang telah terkorosi dengan cara melakukan kehilangan berat awal dan berat akhir atau dinyatakan dengan kehilangan berat. Mencari kehilangan berat dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

Dimana :

ΔW = kehilangan berat (gram)

W_1 = berat awal (gram)

W_2 = berat akhir setelah pengujian (gram)

Tabel 2.4 nilai ketetapan laju (K) tiap laju korosi yang diinginkan

Corrosion Rate Units Desired	Costanta (K) in Corrosion Rate Equation
Mils pear <i>year</i> (mpy)	3.45×10^6
Inches per <i>year</i> (ipy)	3.45×10^3
Inches per month (mm/y)	$2,87 \times 10^2$
Millimeters per <i>year</i> (mm/y)	8.76×10^4
Micrometers per <i>year</i> ($\mu\text{m/y}$)	8.76×10^7
Picometers per second (pm)	$2,78 \times 10^6$

Sumber : (Baboian Robert, Nace Corrosion Enginner's Reference Book, 2002 : 111)

Maka dengan demikian kita dapat memprediksi laju korosi atau corrosion rate yang terjadi pada suatu logam yang digunakan. Apabila terjadi kecepatan korosi yang tinggi maka logam tidak akan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu :

- 1) Kandungan gas dan padatan yang terlarut.
 - a. Oksigen (O_2)

Gas oksigen terlarut akan meningkatkan laju korosi pada material. Kelarutan dalam air merupakan fungsi dari temperatur, tekanan, dan kandungan asam klorida. Oksigen akan bereaksi dengan besi yang kemudian menghasilkan karat.

b. Karbondioksida (CO_2)

Karbon dioksida yang terlarut dalam air akan membentuk asam karbonat dan mengakibatkan pH pada air menurun sehingga tingkat korosifitas meningkat. Jenis korosi yang dihasilkan adalah berupa korosi pitting ataupun sumuran.

c. Klorida (Cl^-)

Klorida akan menyerang lapisan pelindung pada material yang mengakibatkan terjadinya korosi celah, korosi sumuran, dan pecahnya paduan.

d. Sulfat (SO_4)

Asam sulfat di dalam air akan berubah menjadi sulfida yang korosif.

2) Temperatur

Bertambahnya temperatur pada umumnya akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi meskipun kelarutan oksigen berkurang. Hal ini dikarenakan reaksi kimia akan meningkat pada temperatur yang lebih tinggi.

3) Derajat keasaman (pH)

Suatu lingkungan dikatakan asam jika $\text{pH} < 7$ dan basa jika $\text{pH} > 7$. Menurunnya pH mengakibatkan lingkungan akan bersifat asam dan kandungan hidrogennya meningkat.

Maka dengan demikian kita dapat memprediksi laju korosi atau corrosion rate yang terjadi pada suatu logam yang digunakan. Apabila terjadi kecepatan korosi yang tinggi maka logam tidak akan bertahan dalam jangka waktu yang

lama, maka perlu dilakukan pengendalian kecepatan korosi, dengan memberikan atau menggunakan perlindungan yang sesuai dengan jenis korosi yang terjadi pada logam, hal ini dilakukan agar material yang diinginkan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama dengan menghambat atau memperkecil kecepatan korosi yang terjadi.

2.8 Korosi pada media air laut

Korosi yang terjadi di lingkungan air laut didorong oleh faktor kadar-kadar gas dalam air (aerosols), hujan (rain), embun (dew), kondensasi (condensation), dan tingkat kelembaban (humidity) serta resistivitas.

Secara alami lingkungan air mengandung ion klorida (chloride ions) dengan kombinasi tingginya penguapan (moisture), unsur yang terkandung air laut dapat dilihat pada tabel 2.4 dan persentase oksigen tergantung yang juga turut memperparah korosi karena air laut, korosi air laut sangat tergantung pada :

- Kadar klorida
- pH
- Kadar oksigen
- Temperatur

Tabel 2.5 unsur pokok dalam media air laut

Anion	Part/Million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Chloride, Cl^-	18.980,00	535,30	998,90
Sulfate, SO_4^{2-}	2.649,00	55,10	139,40
Bicabonete, HCO_3^-	139,70	2,30	7,35
Bromine, Br^-	64,60	0,80	0,80
Fluoride, F^-	1,30	0,10	0,07
Boric Acid, H_3BO_3	26,00	-	1,37
Total		593,60	
Cation	Part/million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Soduim, Na^+	10.556,10	159,00	555,60
Magnesium, Mg^{2+}	1.272,00	104,60	66,95
Calcium, Ca^{2+}	400,10	20,00	21,06
Potassium, K^+	380,00	9,70	20,00
Strontium, Sr^{2+}	13,30	0,30	0,70
Total		593,60	

Sumber : Benjamin D, 2006

2.9 Foto Mikro

Pengujian foto mikro atau pengamatan metalografi merupakan suatu disiplin ilmu yang mempelajari metoda observasi, pemeriksaan, pengamatan atau pengujian dengan tujuan untuk menentukan hubungan antara struktur dengan sifat atau karakteristik dan perlakuan yang pernah dialami oleh logam, paduan dan

bahan bahan lainnya. Pada penelitian ini pengamatan metalografi digunakan untuk mengamati foto mikro yang terjadi pada logam kuningan sebagai material pada radiator sebelum dan sesudah dilakukan pengujian laju korosi. Adapun alat pengamatan metalografi bisa dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Alat Pengamatan Foto Mikro
(Sumber Laboratorium Teknik Mesin UIR)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dimulai dari persiapan material dan bahan, persiapan media korosi dan pengambilan data. Dari keseluruhan penelitian ini di laksanakan selama $\pm$ 2 bulan.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang di butuhkan dalam analisa pengaruh *aging* dan putaran terhadap laju korosi *propeller* kapal nelayan pada media air laut adalah sebagai berikut :

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan di dalam penelitian ini adalah :

- 1 Gerinda potong

Gerinda potong berfungsi untuk memotong spesimen. Seperti pada gambar

3.1



Gambar 3.1 gerinda

2. Wadah pembersihan

Wadah pembersihan berfungsi untuk menampung cairan pembersih kimia, tempat untuk merendam dan membersihkan material setelah dipotong menjadi spesimen . Dapat kita lihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Wadah pembersih

3. Jangka sorong

Pada penelitian ini jangka sorong di gunakan untuk mengukur dimensi specimen. Dapat kita lihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 jangka sorong

4. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah pengujian. Dapat kita lihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Timbangan digital

5. Dapur pemanas (muffle furnace)

Sebagai alat pemanas untuk proses solution treatment dan *aging* treatment.

Dapat kita lihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Dapur pemanas

6. Tang penjempit

Alat ini di gunakan untuk mengeluarkan spesimen dari dalam dapur pemanas. Seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 tang penjempit

7. Media pendingin

Pada saat proses solution treatment selesai, spesimen diberikan perlakuan quenching yaitu pendinginan cepat yang menggunakan media air. Dibawah ini merupakan gambar dari media air yang digunakan sebagai pendingin.



Gambar 3.7 media pendingin

8. Dinamo motor listrik

Digunakan untuk memutar baling-baling kapal. Seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 dinamo motor listrik

9. Tachometer

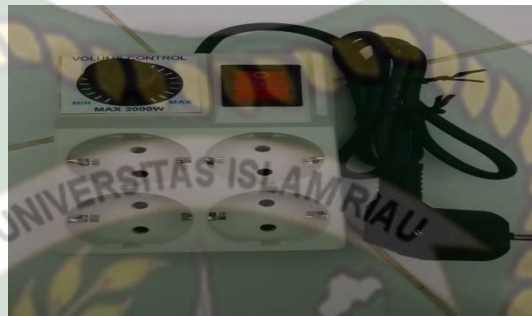
Digunakan untuk mengukur putaran mesin khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu. Seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Tachometer

10. Dimmer

Alat ini digunakan untuk mengatur kecepatan putaran. Seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Dimmer

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Baling-baling (*propeller*) kapal berbahan aluminium paduan yang sudah di potong di bentuk specimen dengan ukuran 7x2 cm dapat kita pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Spesimen pengujian

- Air

Digunakan sebagai media pendingin (quenching) pada proses *aging treatment*.

- Larutan NaOH dan aquades

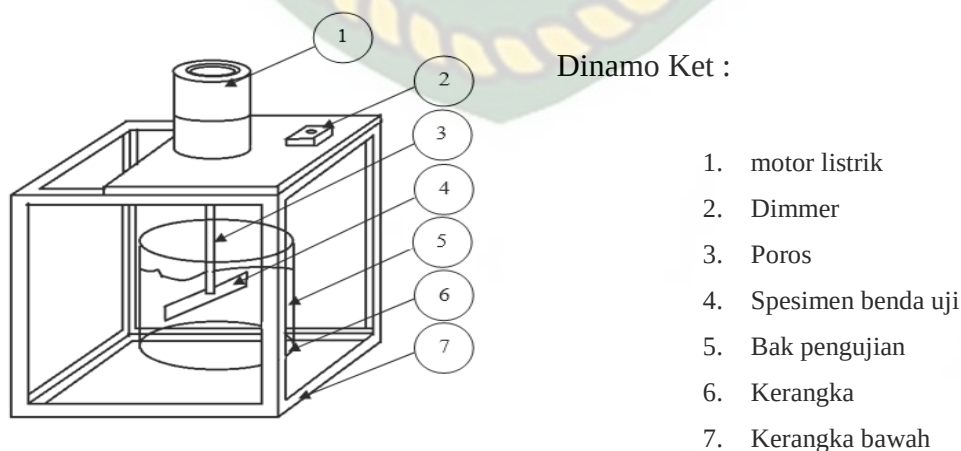
Digunakan sebagai pembersih untuk membersihkan spesimen uji.

- Air Laut

Digunakan sebagai media korosi pada proses laju korosi.

3.3 Alat Uji Korosi

Bak pengujian korosi terbuat dari kaca yang terletak di dalam kerangka dengan dimmer dan dinamo mini yang terletak diatasnya. Penelitian ini menggunakan 4 bak pengujian dan jumlah speimen yang diambil dari material *Propeller* perahu yang digunakan sebanyak 32 buah dengan ukuran spesimen 7 x 2 cm. Untuk memutar baling-baling kapal menggunakan dinamo motor listrik mini dengan putaran yang berbeda. Adapun susunan pengujian dapat kita lihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Sketsa susunan pengujian

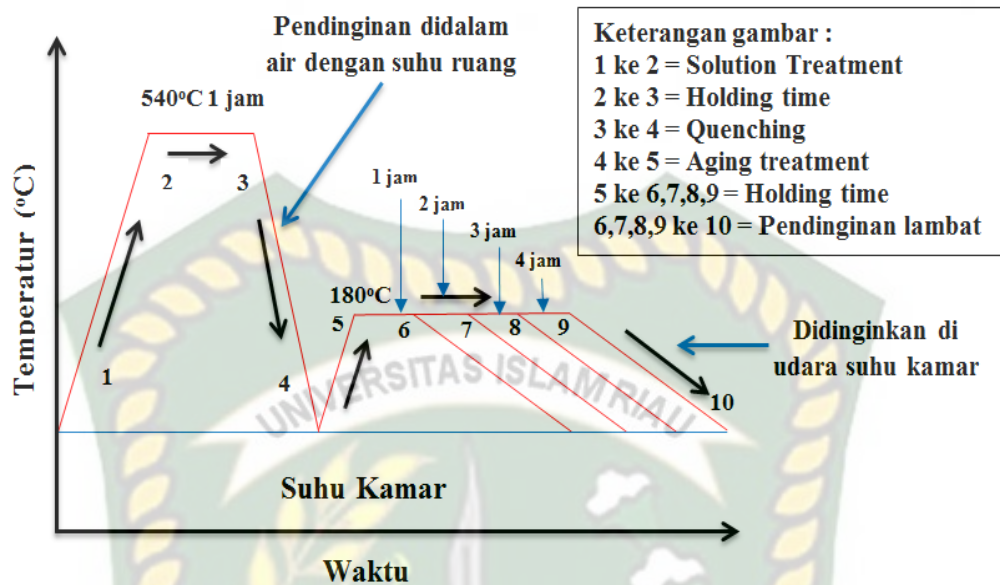
3.4 Prosedur Pengujian

Pada penelitian ini Material yang di uji adalah material awal dan material hasil *aging* pada temperatur 170 waktu 180 menit, dan uji celup di lakukan pada 4 putaran berbeda yaitu 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm,dan 1500 rpm dengan waktu 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 168 jam, Karena itu pengujian ini akan dibuat 32 spesimen.

Adapun prosedur pengujian pengaruh *aging* dan putaran pada laju korosi baling-baling (*propeller*) kapal pada media air laut adalah sebagai berikut :

1. Proses *aging* treatment
 - Spesimen uji yang sudah di potong sesuai ukuran yang sudah di tentukan dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan aquades. Kemudian lanjut ke proses *aging* treatment.
 - Masukkan spesimen ke dalam dapur pemanas dan lakukan solution treatment pada temperature 540°C selama 1 jam.
 - Lakukan pendinginan cepat dengann cara mencelupkan spesimen kedalam air yang telah disiapkan.
 - Set furnace pada temperatur 170°C. Apabila temperatur *aging* sudah tercapai, masukan spesimen dengan waktu tahan 180 menit.
 - Setelah pemanasan selesai biarkan spesimen didalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur ruang.

Proses dan skema gambar proses *aging* treatment dapat dilihat pada gamabar 3.13 di bawah ini.



Gambar 3.13 Skema diagram proses *aging treatment*

Dan proses perlakuan panas yang dilakukan pada material dikerjakan di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Riau.

2. Pengujian Laju Korosi
 - Masukan air laut kedalam bak pengujian.
 - Timbang berat awal spesimen yang sudah di potong dan bersihkan.
 - Kemudian spesimen dipasang pada alat uji dan disambung dengan dinamo motor listrik. Masukan spesimen kedalam bak pengujian hingga permukaan spesimen terendam seluruhnya.
 - Setelah itu hidupkan dinamo motor listrik sesuai dengan putaran dan waktu pengujian. Untuk pengujian ini akan menggunakan kecepatan putaran masing-masing 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1500 rpm dengan waktu perendaman 12 jam (pengujian 1), 24 jam (pengujian 2), 48 jam (pengujian 3), dan 168 jam (pengujian 4). Pengujian di lakukan

untuk kondisi putaran dan waktu tersebut untuk specimen tanpa *aging* maupun setelah *aging*.

- Setelah dilakukan pengujian dengan waktu yang sudah di tentukan, specimen di keluarkan dari bak pengujian, kemudian specimen di keringkan.
- Setelah specimen kering, specimen ditimbang beratnya, kemudian catat hasil penimbangan kedalam tabel lalu hitung laju korosi.

3.4.1 Kehilangan Berat

Sebelum melakukan proses pengujian, material tersebut akan di timbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat awal dari material. Dan pengambilan data berdasarkan kehilangan berat specimen dari specimen yang telah di rendam selama periode yang sudah ditentukan dengan cara melakukan penimbangan specimen untuk mengetahui berat yang hilang, sebelum penimbangan specimen terlebih dahulu dibersihkan. Pembersihan dilakukan dengan jalan mencelupkan specimen dalam larutan NaOH selama 5 menit, kemudian diangkat dan di celupkan dalam aquades selama 5 menit kemudian di keringkan, kemudian dilakukan penimbangan dan data dicatat dalam tabel 3.1.

Perhitungan kehilangan berat specimen dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

Dimana :

ΔW = kehilangan berat (gram)

W_1 = berat awal (gram)

W_2 = berat akhir setelah pengujian (gram)

3.4.2 Perhitungan Laju Korosi

Setelah data pengujian kehilangan berat spesimen di dapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan laju korosi untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada *propeller* berbahan aluminium paduan dengan rumus sebagai berikut :

$$CR \text{ (mmpy)} = \frac{k \times w}{A \times t \times \rho}$$

Dimana,

k = konstanta $8,76 \times 10^4$,

w = massa yang hilang (g) ,

ρ = massa jenis sampel uji (g/cm^3) ,

D = luas penampang (cm^2) ,

t = waktu pengujian (Hour)

Tabel 3.1 Data hasil pengujian laju korosi pada *propeller* Perahu

No Spesimen	Waktu Pengujian	W ₁	W ₂	Kehilangan Berat	Laju Korosi	Kecepatan Putaran (rpm)
		(gram)	(gram)	(gram)	(mm/y)	
A1	12 jam (Raw)					800
A2						1000
A3						1200
A4						1500
B1	12 jam (Aging)					800
B2						1000
B3						1200
B4						1500
C1	24 jam (Raw)					800
C2						1000
C3						1200
C4						1500
D1	24 jam (Aging)					800
D2						1000
D3						1200
D4						1500
E1	48 jam (Raw)					800
E2						1000
E3						1200
E4						1500
F1	48 jam (Aging)					800
F2						1000
F3						1200
F4						1500
G1	168 jam (Raw)					800
G2						1000
G3						1200
G4						1500
H1	168 jam (Aging)					800
H2						1000
H3						1200
H4						1500

3.5 Foto Mikro

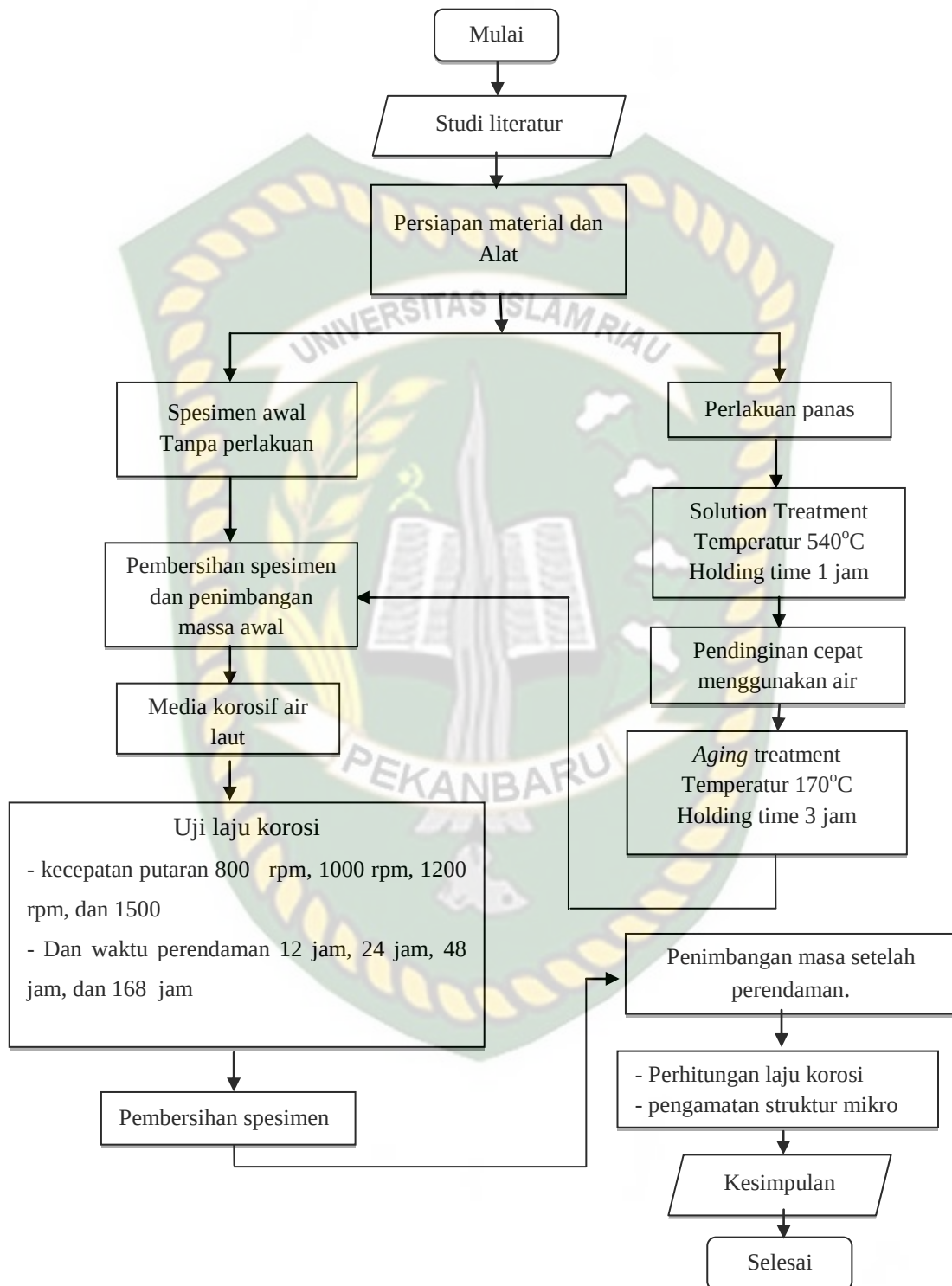
Adalah pengujian yang dilakukan guna untuk mengetahui struktur mikro dari setiap spesimen yang diuji dan sifat dari spesimen yang berkaitan dengan struktur micronya.



Gambar 3.14 Mikroskop Struktur Micro OLYMPUS

Alat untuk pengamatan micro struktur yang di gunakan adalah Mikroskop Struktur Micro OLYMPUS. Untuk pengamatan struktur micro akan di lakukan di laboratorium teknik mesin Universitas Islam Riau.

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.15 Diagram alir pengujian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *aging* dan variasi kecepatan putaran terhadap laju korosi *propeller* berbahan aluminium paduan. Temperatur *aging* yang digunakan adalah 170°C dengan waktu *aging* 180 menit. Penelitian ini menghasilkan data-data yang berupa angka dan tabel-tabel, grafik serta gambar pengamatan foto mikro.

4.1 Laju Korosi

4.1.1 Kehilangan Berat

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat. Spesimen yang ditimbang beratnya ada dua jenis yaitu spesimen *aging* dan spesimen yang tidak di *aging*. Sebelum menghitung laju korosi, terlebih dahulu dilakukan penimbangan Berat specimen. yaitu sebelum dilakukan perendaman dan diputar (W_1) dan setelah dilakukan perendaman pada putaran berbeda (W_2) lalu ditimbang dengan menggunakan timbangan digital untuk mengetahui laju korosi. Perbedaan berat spesimen adalah metode yang paling sering digunakan sebagai dasar untuk perhitungan laju korosi. Adapun semua data hasil dari pengujian kehilangan berat yang didapatkan pada saat pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data hasil pengujian berat awal (W_1) dan berat akhir (W_2)

No Spesimen	Waktu Pengujian	W_1	W_2	Kecepatan Putaran (rpm)
		(gram)	(gram)	
A1	12 jam (Raw)	14,4842	14,4831	800
A2		14,5972	14,5959	1000
A3		14,4785	14,4769	1200
A4		14,4851	14,4823	1500
B1	12 jam (Aging)	14,7880	14,7876	800
B2		14,5680	14,5673	1000
B3		14,6465	14,6455	1200
B4		14,5615	14,5598	1500
C1	24 jam (Raw)	14,6041	14,6022	800
C2		14,5817	14,5791	1000
C3		14,5540	14,5509	1200
C4		14,7103	14,7061	1500
D1	24 jam (Aging)	14,4624	14,4612	800
D2		14,3807	14,3790	1000
D3		14,5871	14,5849	1200
D4		14,5706	14,5675	1500
E1	48 jam (Raw)	14,6491	14,6457	800
E2		14,6518	14,6477	1000
E3		14,5872	14,5825	1200
E4		14,6476	14,6411	1500
F1	48 (Aging)	14,5409	14,5385	800
F2		14,6821	14,6791	1000
F3		14,5782	14,5745	1200
F4		14,5226	14,5171	1500
G1	168 jam (Raw)	14,6331	14,6258	800
G2		14,5558	14,5478	1000
G3		14,5713	14,5624	1200
G4		14,4370	14,4261	1500
H1	168 jam (Aging)	14,6816	14,6757	800
H2		14,5509	14,5441	1000
H3		14,5283	14,5206	1200
H4		14,4847	14,4752	1500

Tabel diatas adalah tabel berat awal dan berat akhir dari spesimen yang di uji korosinya. Dan pengujian laju korosinya dengan perendaman dan di putar dengan kecepatan berbeda. Pada pengujian laju korosi ini, media korosi yang digunakan adalah air laut dan spesimen yang digunakan ada dua jenis yaitu spesimen pada kondisi awal (tanpa *aging*) dan spesimen yang di *aging*. Spesimen yang di *aging*, temperatur yang digunakan adalah 170°C dengan waktu *aging* 180 menit. Metode perhitungan kehilangan berat dapat menggunakan persamaan rumus 2.6.

A. Bak Pengujian Raw material

a. Kehilangan berat spesimen A dengan lama waktu perendaman 12 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (A1)

$$\begin{aligned}
 \Delta W &= W_1 - W_2 \\
 &= (14,4842 \text{ gram} - 14,4831 \text{ gram}) \\
 &= 0,0011 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (A2)

$$\begin{aligned}
 \Delta W &= W_1 - W_2 \\
 &= (14,5972 \text{ gram} - 14,5959 \text{ gram}) \\
 &= 0,0013 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (A3)

$$\begin{aligned}
 \Delta W &= W_1 - W_2 \\
 &= (14,4785 \text{ gram} - 14,4769 \text{ gram}) \\
 &= 0,0016 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1500 rpm (A4)

$$\begin{aligned}
 \Delta W &= W_1 - W_2 \\
 &= (14,4851 \text{ gram} - 14,4823 \text{ gram}) \\
 &= 0,0023 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

b. Kehilangan berat spesimen C dengan waktu perendaman 24 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (C1)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,6041 \text{ gram} - 14,6032 \text{ gram}) \\ &= 0,0009 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (C2)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,5817 \text{ gram} - 14,5806 \text{ gram}) \\ &= 0,0011 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (C3)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,3540 \text{ gram} - 14,3523 \text{ gram}) \\ &= 0,0017 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1500 rpm (C4)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,7103 \text{ gram} - 14,7082 \text{ gram}) \\ &= 0,0021 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lakukan perhitungan yang sama untuk spesimen uji E dan G.

B. Bak pengujian *Aging* material

a. Kehilangan berat spesimen B dengan waktu perendaman 12 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (B1)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,7880 \text{ gram} - 14,7876 \text{ gram}) \\ &= 0,0004 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (B2)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,3680 \text{ gram} - 14,3675 \text{ gram}) \\ &= 0,0005 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (B3)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,6465 \text{ gram} - 14,6457 \text{ gram}) \\ &= 0,0008 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaram 1500 rpm (B4)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,3615 \text{ gram} - 14,3604 \text{ gram}) \\ &= 0,0011 \text{ gram}\end{aligned}$$

- b. Kehilangan berat spesimen D dengan waktu perendaman 24 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (D1)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,3624 \text{ gram} - 14,3618 \text{ gram}) \\ &= 0,0006 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (D2)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,3807 \text{ gram} - 14,3798 \text{ gram}) \\ &= 0,0009 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (D3)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,5871 \text{ gram} - 14,5857 \text{ gram}) \\ &= 0,0014 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1500 rpm (D4)

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (14,5706 \text{ gram} - 14,5688 \text{ gram}) \\ &= 0,0018 \text{ gram}\end{aligned}$$

Lakukan perhitungan yang sama untuk spesimen uji F dan H.

Dari semua hasil data perhitungan kehilangan berat specimen dapat dimasukkan kedalam Table 4.2. Kemudian dapat dibuat kedalam bentuk grafik

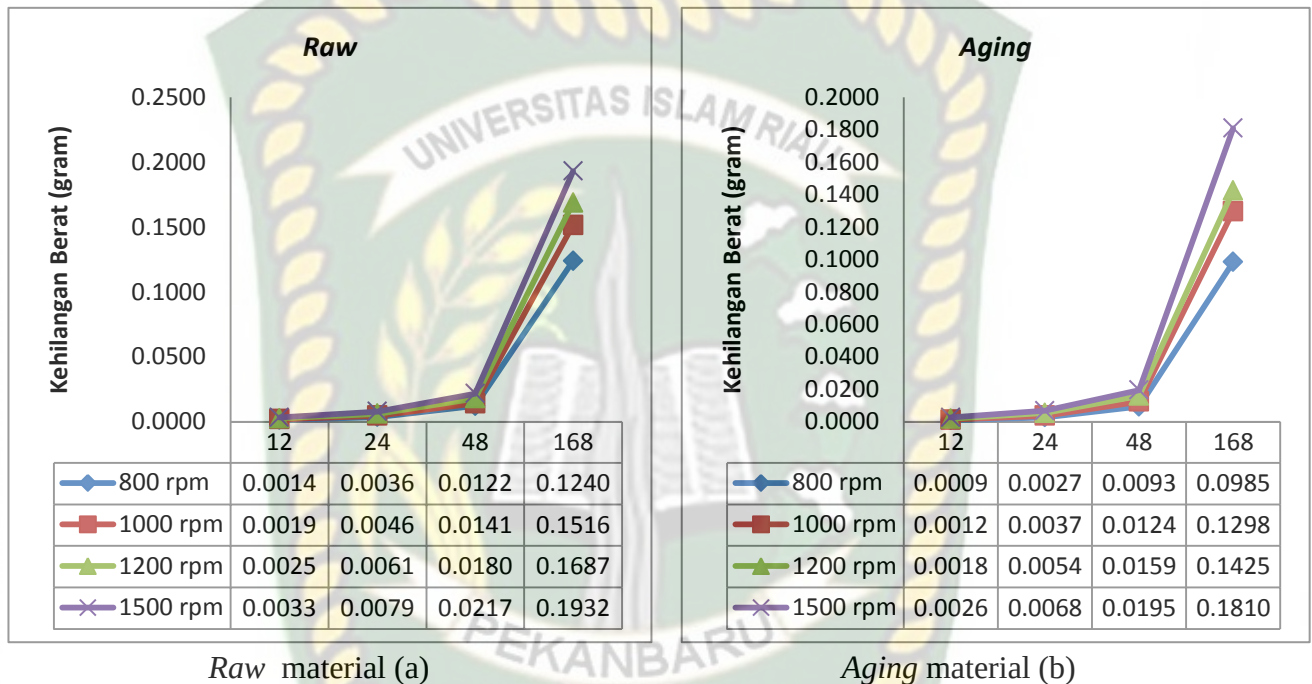
kehilangan berat terhadap lama waktu pengujian dengan kecepatan putaran berbeda.

Tabel.4.2 Hasil Kehilangan Berat Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian

No Spesimen	Waktu Pengujian	W ₁	W ₂	Kehilangan Berat	Kecepatan Putaran (rpm)
		(gram)	(gram)	(gram)	
A1	12 jam (Raw)	14,4842	14,4831	0,0011	800
A2		14,5972	14,5959	0,0013	1000
A3		14,4785	14,4769	0,0016	1200
A4		14,4851	14,4823	0,0023	1500
B1	12 jam (Aging)	14,7880	14,7876	0,0004	800
B2		14,5680	14,5673	0,0007	1000
B3		14,6465	14,6455	0,0010	1200
B4		14,5615	14,5598	0,0017	1500
C1	24 jam (Raw)	14,6041	14,6022	0,0019	800
C2		14,5817	14,5791	0,0026	1000
C3		14,5540	14,5509	0,0031	1200
C4		14,7103	14,7061	0,0042	1500
D1	24 jam (Aging)	14,4624	14,4612	0,0012	800
D2		14,3807	14,3790	0,0017	1000
D3		14,5871	14,5849	0,0022	1200
D4		14,5706	14,5675	0,0031	1500
E1	48 jam (Raw)	14,6491	14,6457	0,0034	800
E2		14,6518	14,6477	0,0041	1000
E3		14,5872	14,5825	0,0047	1200
E4		14,6476	14,6411	0,0065	1500
F1	48 jam (Aging)	14,5409	14,5385	0,0024	800
F2		14,6821	14,6791	0,0030	1000
F3		14,5782	14,5745	0,0037	1200
F4		14,5226	14,5171	0,0055	1500
G1	168 jam (Raw)	14,6331	14,6258	0,0073	800
G2		14,5558	14,5478	0,0080	1000
G3		14,5713	14,5624	0,0089	1200
G4		14,4370	14,4261	0,0109	1500
H1	168 jam (Aging)	14,6816	14,6757	0,0059	800
H2		14,5509	14,5441	0,0068	1000
H3		14,5283	14,5206	0,0077	1200
H4		14,4847	14,4752	0,0095	1500

Keterangan : A, C, E, G tidak di *aging* R (Raw) & B, D, F, H spesimen A (*Aging*)

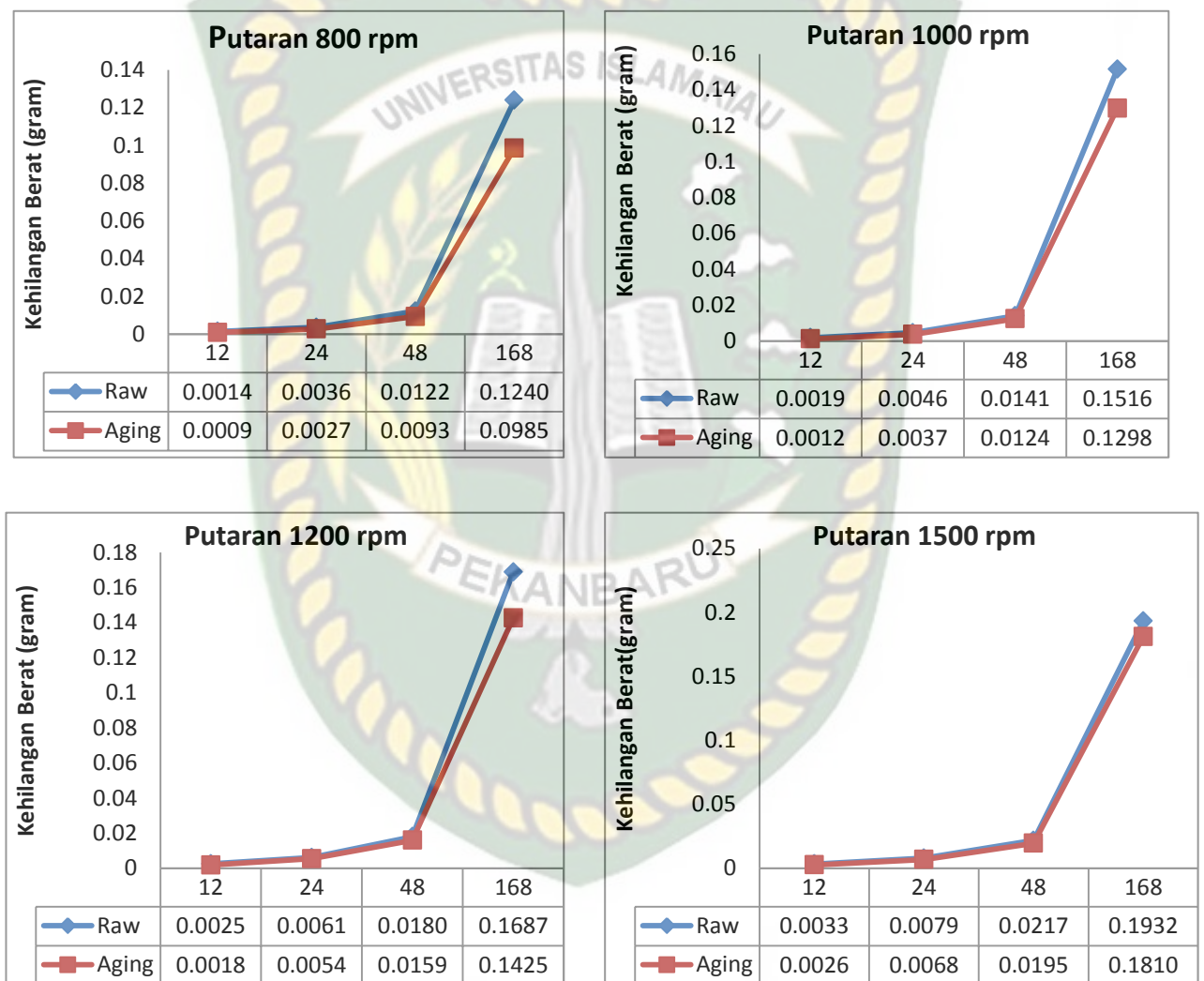
Grafik kehilangan berat spesimen material aluminium paduan setelah dilakukan pengujian terhadap kecepatan putaran berbeda dengan lama waktu pengujian 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 168 jam, dapat dilihat pada Gambar 4.1 (a) dan (b).



Gambar 4.1 Grafik kehilangan berat terhadap kecepatan putaran pada material (a) Raw material dan (b) aging material

Pada Gambar 4.1 spesimen yang di putar dengan kecepatan putaran 800 rpm dengan waktu perendaman 168 jam mengalami pengurangan berat 0,1240 gram pada raw material dan 0,0985 gram pada material yang di aging. pada spesimen yang diputar dengan kecepatan 1000 rpm dengan waktu perendaman 168 jam kehilangan berat yang terjadi adalah 0,1516 gram pada raw material dan 0,1298 gram pada material yang di aging. Kecepatan putaran 1200 rpm dengan waktu perendaman 168 jam menyebabkan material kehilangan berat sebesar 0,1687 gram pada raw material dan 0,1425 gram pada material yang di aging .

Untuk kehilangan berat sebesar 0,1932 gram pada *raw* material dan 0,1810 gram pada material yang di *aging* dialami material yang diputar pada kecepatan 1500 rpm dengan waktu perendaman 168 jam. Adapun pengaruh aging terhadap kehilangan berat dapat kita lihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh *aging* terhadap kehilangan berat

Pada Gambar grafik diatas terlihat bahwa bertambahnya waktu perendaman menyebabkan kehilaangan berat pada specimen juga semakin besar. Hal ini terjadi pada specimen yang mengalami *aging* maupun tanpa *aging*. Selain

itu, Gambar 4.3 juga memperlihatkan bahwa kecepatan putaran yang semakin besar mengakibatkan laju korosi juga meningkat. Pada spesimen tanpa perlakuan *aging* yang di putar dengan kecepatan putaran 1500 rpm dengan waktu perendaman 168 jam memiliki berat akhir spesimen adalah 0,1932 gram, sedangkan pada Gambar 4.2 spesimen yang diberi perlakuan *aging* dengan kecepatan putaran 1500 rpm dengan waktu perendaman 168 jam memiliki berat akhir spesimen adalah 0,1810 gram. Hal ini dikarenakan material yang berputar dengan kecepatan tinggi adanya berupa air yang menerjang permukaan material yang mengakibatkan pecahnya gelembung oksigen yang merusak lapisan pasif permukaan material dan dapat mengikis permukaan material tersebut, ini mempengaruhi proses terjadinya korosi dan kehilangan berat.

4.1.2 Perhitungan Laju Korosi

Setelah mendapatkan nilai kehilangan berat maka perhitungan laju korosi (corrosion rate) yang dialami oleh spesimen uji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4. Adapun persamaan rumus nya sebagai berikut: (Baboian Robert, Nace Corrosion Engineer's Reference Book, 2002 : 111)

$$CR(mm/y) = \frac{(K \times W)}{D \times T \times A}$$

Dimana :

- CR = Corrosion Rate atau laju korosi (mm/year)
- K = Konstanta untuk merubah satuan (8.76×10^4)
- W = ΔW = Berat yang hilang (gram)
- D = Massa jenis material aluminium (2,7 gram/cm³)
- T = Waktu exposure (jam)
- A = Luas area total (cm²)

Material *propeller* aluminium paduan yang dipotong sebagai spesimen uji dimana spesimen tersebut terendam dan berputar dalam media pengujian selama proses uji merendam berlangsung. Luas spesimen uji yang terendam memiliki dimensi sebagai berikut:

p = panjang (7cm), l = lebar (2 cm), dan t = tinggi (0,5 cm)

$$\begin{aligned}
 A &= 2 \times \{(p \times l) + (p \times t) + (l \times t)\} \\
 &= 2 \times \{(7\text{ cm} \times 2 \text{ cm}) + (7 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}) + (2 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm})\} \\
 &= 2 \times \{(14 \text{ cm}^2) + (3,5 \text{ cm}^2) + (1 \text{ cm}^2)\} \\
 &= 2 \times (18,5 \text{ cm}^2) \\
 &= 37 \text{ cm}^2 \\
 A &= 37 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

A. Bak Pengujian *Raw material*

a. Kehilangan berat spesimen A dengan lama waktu perendaman 12 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (A1)

$$\begin{aligned}
 \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0014 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1023 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (A2)

$$\begin{aligned}
 \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0019 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1388 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (A3)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0025 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1827 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1500 rpm (A4)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0033 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,2411 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- b. Kehilangan berat spesimen C dengan lama waktu perendaman 24 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (C1)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0036 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1315 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (C2)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0046 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1681 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (C3)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0061 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,2229 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1500 rpm (C4)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0079 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,2886 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

Lakukan perhitungan laju korosi yang sama untuk spesimen E dan G dengan putaran dan waktu pengujian yang sudah ditentukan.

B. Bak pengujian *aging* material

- a. Kehilangan berat spesimen B dengan lama waktu perendaman 12 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (B1)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0009 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,0658 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (B2)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0012 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,0877 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (B3)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0018 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1315 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1500 rpm (B4)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0026 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 12 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1900 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- b. Kehilangan berat spesimen D dengan lama waktu perendaman 24 jam

- Kecepatan putaran 800 rpm (D1)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0027 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,0986 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1000 rpm (D2)

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/y}) &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\
 &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0037 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\
 &= 0,1352 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1200 rpm (D3)

$$\begin{aligned} \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0054 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\ &= 0,1973 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

- Kecepatan putaran 1500 rpm (D4)

$$\begin{aligned} \text{CR(mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{D \times T \times A} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,0068 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3 \times 24 \text{ jam} \times 37 \text{ cm}^2} \\ &= 0,2484 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

Lakukan perhitungan laju korosi yang sama untuk spesimen F dan H dengan putaran dan waktu pengujian yang sudah ditentukan.

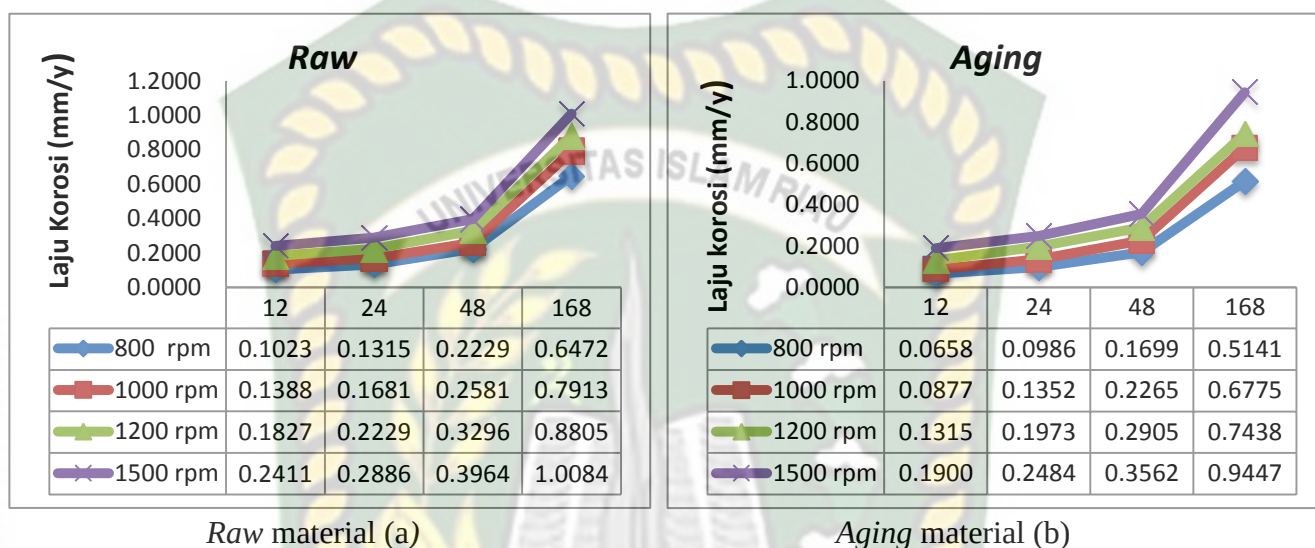
Dari semua hasil data perhitungan laju korosi diatas, nilai laju korosi yang terjadi pada setiap masing-masing spesimen pengujian dapat dimasukkan kedalam Table 4.3. Kemudian dapat dibuat kedalam bentuk grafik kehilangan berat terhadap lama waktu pengujian dengan kecepatan putaran berbeda.

Tabel 4.3 Nilai Laju Korosi Pada Setiap Spesimen Setelah dilakukan Pengujian

No Spesimen	Bak	Kehilangan Berat (Gram)	Waktu Pengujian	Kecepatan Putaran (rpm)	Laju Korosi (mm/year)
			(Jam)		
A1	12 jam (Raw)	0,0014	12	800	0,1023
A2		0,0019	12	1000	0,1388
A3		0,0025	12	1200	0,1827
A4		0,0033	12	1500	0,2411
B1	12 jam (Aging)	0,0009	12	800	0,0658
B2		0,0012	12	1000	0,0877
B3		0,0018	12	1200	0,1315
B4		0,0026	12	1500	0,1900
C1	24 jam (Raw)	0,0036	24	800	0,1315
C2		0,0046	24	1000	0,1681
C3		0,0061	24	1200	0,2229
C4		0,0079	24	1500	0,2886
D1	24 jam (Aging)	0,0027	24	800	0,0986
D2		0,0037	24	1000	0,1352
D3		0,0054	24	1200	0,1973
D4		0,0068	24	1500	0,2484
E1	48 jam (Raw)	0,0122	48	800	0,2229
E2		0,0141	48	1000	0,2581
E3		0,0180	48	1200	0,3296
E4		0,0217	48	1500	0,3964
F1	48 jam (Aging)	0,0093	48	800	0,1699
F2		0,0124	48	1000	0,2265
F3		0,0159	48	1200	0,2905
F4		0,0195	48	1500	0,3562
G1	168 jam (Raw)	0,1240	168	800	0,6472
G2		0,1516	168	1000	0,7913
G3		0,1687	168	1200	0,8805
G4		0,1932	168	1500	1,0084
H1	168 jam (Aging)	0,0985	168	800	0,5141
H2		0,1298	168	1000	0,6775
H3		0,1425	168	1200	0,7438
H4		0,1810	168	1500	0,9447

Keterangan : A, C, E, G tidak di aging R (Raw) & B, D, F, H spesimen A (Aging)

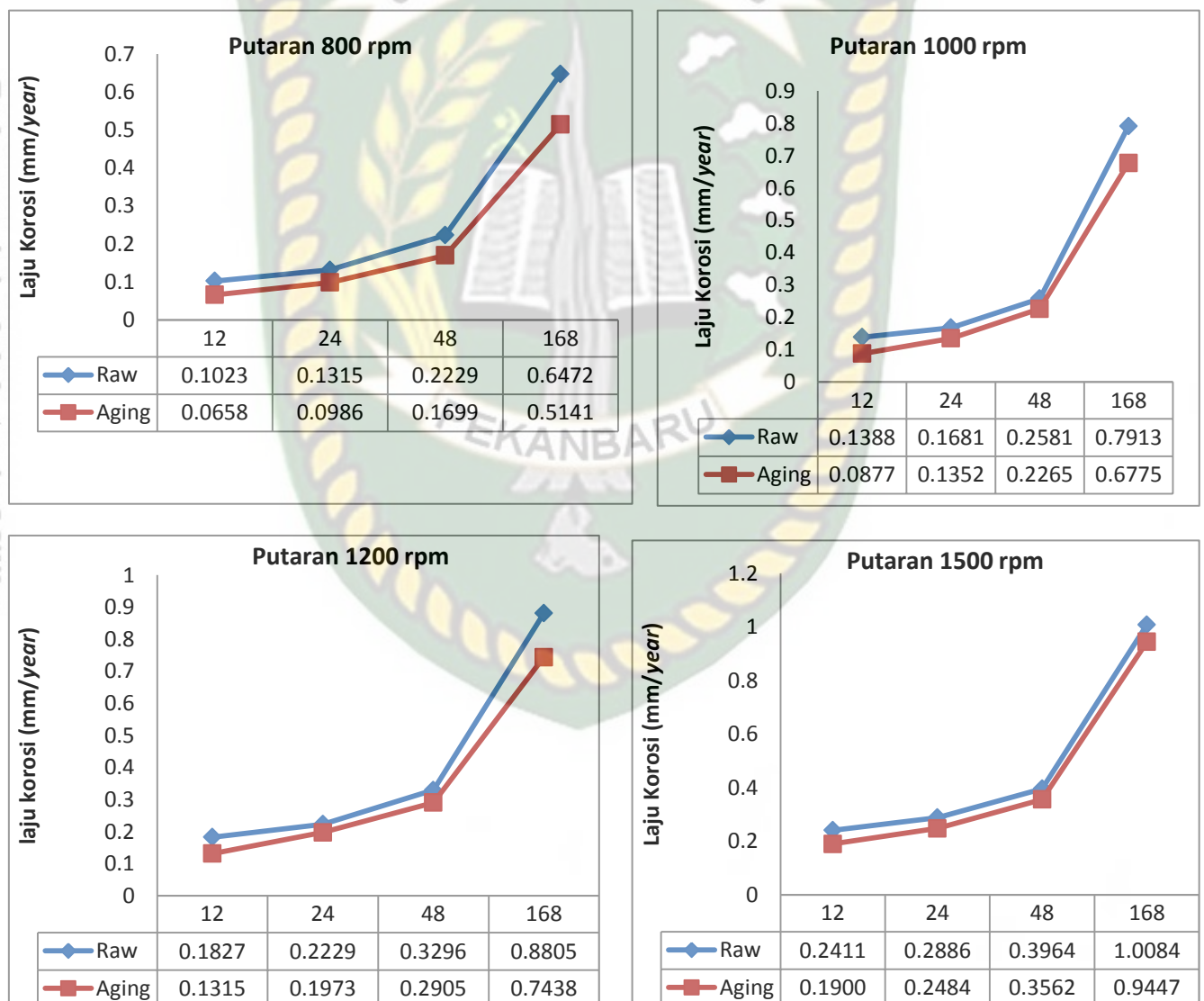
Grafik laju korosi material aluminium paduan setelah dilakukan pengujian terhadap waktu pengujian dengan kecepatan putaran berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Laju Korosi Terhadap variasi kecepatan putaran

Pada Gambar 4.3 diatas terlihat bahwa bertambahnya waktu perendaman menyebabkan laju korosi pada specimen juga semakin besar. Pada Gambar 4.3 specimen yang diputar dengan kecepatan 1500 rpm dengan waktu perendaman 168 jam memiliki laju korosi sebesar 1,0084 mm/y pada *raw* material dan 0,9447 mm/y pada material yang *di aging* . Sedangkan pada material yang di putar dengan kecepatan putaran 800 rpm dengan waktu perendaman 168 jam memiliki nilai laju korosi 0,6472 mm/y pada raw material dan 0,5141 mm/y pada material yang mengalami *aging*. Hal ini terjadi pada specimen yang mengalami *aging* maupun tanpa *aging*. Selain itu, Gambar 4.3 juga memperlihatkan bahwa kecepatan putaran yang semakin besar mengakibatkan laju korosi juga meningkat. Selain ion klorida (Cl^-) dan konduktivitas dalam air laut bisa menyebabkan logam

korosif, hal ini dikarenakan juga material yang berputar dengan kecepatan tinggi adanya berupa air yang menerjang permukaan material yang mengakibatkan pecahnya gelembung oksigen yang merusak lapisan pasif permukaan material dan dapat mengikis permukaan material tersebut, ini mempengaruhi proses terjadinya korosi. Adapun grafik pengaruh *aging* terhadap laju korosi dapat kita lihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh *aging* terhadap laju korosi

Gambar 4.4 diatas memperlihatkan adanya pengaruh *aging* terhadap laju korosi, dimana spesimen yang tidak diberi perlakuan *aging* akan mengalami laju korosi lebih besar dibanding material yang mengalami *aging*. Hal ini berlaku pada semua kecepatan. Pada specimen yang di putar dengan kecepatan putaran 1500 rpm dengan waktu perendaman 168 jam mengalami laju korosi 1,0084 mm/y pada raw material. Sedangkan pada specimen mengalami *aging* yang diputar dengan kecepatan 1500 rpm dengan waktu perendaman 168 jam laju korosi yang terjadi adalah 0,9447 mm/y. Hal ini karena selama proses aging adanya fasa intermetalik dan bertambahnya ukuran fasa yang diendapkan sehingga ini menyebabkan ketahanan korosi antar butir meningkat (A. Boag, 2011).

4.2 Pengujian Ph Air Laut

Pada bak pengujian laut yang akan berperan sebagai media korosif pada saat dilakukan pencelupan serta di putar dengan kecepatan berbeda pada material *propeller* berbahan aluminium paduan. Tingkat keasaman (Ph) dari air laut dapat menyebabkan terjadinya proses korosi pada material jenis logam. Air laut mengandung garam-garaman, kadar garam adalah banyaknya zat-zat terlarut dalam 1000 gram air laut. Ion klorida (Cl^-) dan juga konduktivitas air laut bisa menyebabkan logam sangat korosif. Semakin besar kadar garam maka semakin besar klorida dan konduktivitas yang terkandung sehingga mempercepat laju korosi (May rista andini, 2017). Oleh sebab itu tingkat keasaman dari air laut harus diperhatikan, tingkat keasaman dari air Laut ditentukan dengan kertas universal indicator.

Berdasarkan hasil pengecekan menggunakan kertas universal Indicator maka didapat tingkat keasaman (Ph) dari air gambut yaitu kisaran 7 sampai 8. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



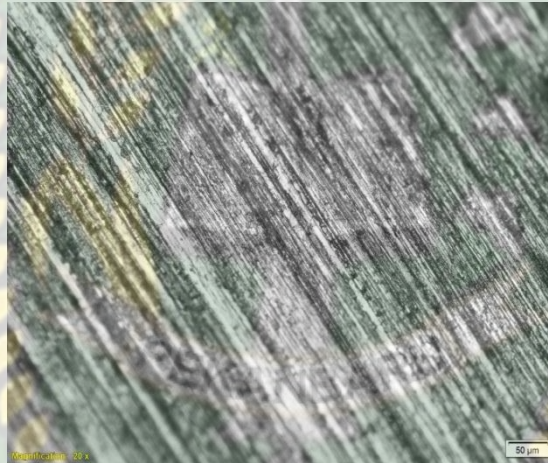
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran Ph Air laut Menggunakan Universal Indicator

4.3 Pengamatan Pengujian Foto Mikro

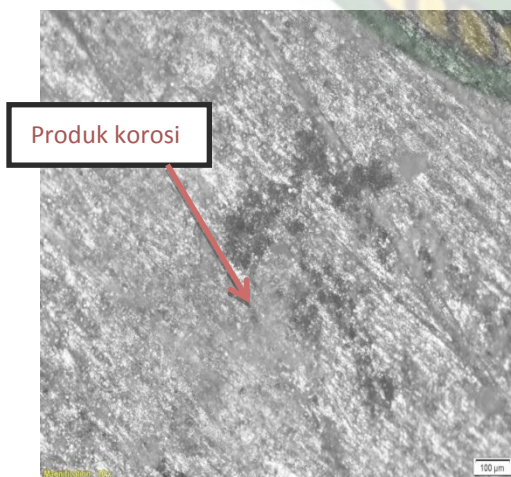
Jika logam dimasukkan ke dalam larutan elektrolit maka logam tersebut akan terlarut sehingga dapat melepaskan elektron. Akibatnya terjadi korosi pada permukaan logam yang sifatnya anodik. Perbedaan potensial ini dikarenakan komposisi kimia yang tidak sama pada masing-masing butir kristal atau perbedaan fase pada permukaan logam yang kontak dengan larutan elektrolit.

Untuk melihat struktur permukaan logam akibat serangan dari korosi dengan lama pengujian ± 55 hari pada media pengujian material yang tidak di *aging* dan di *aging* dengan pengujian perendaman serta di putar dengan kecepatan berbeda yaitu 800 rpm, 900 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm dapat dilakukan pengujian metalografi menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 10X didapat hasil gambar seperti dibawah ini:

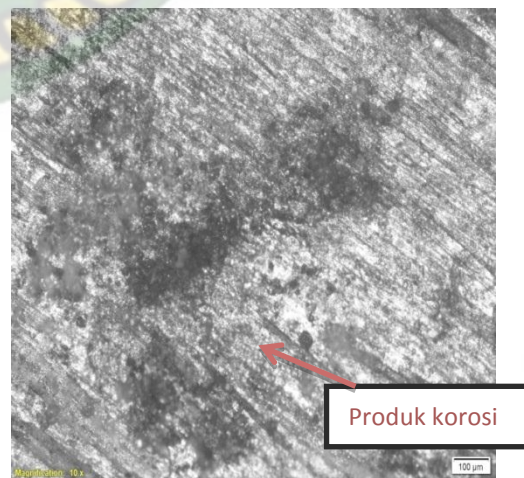
- Hasil uji foto mikro pada pengujian korosi dengan kecepatan putaran 800 rpm dan 1500 rpm



a. sebelum melakukan pengujian

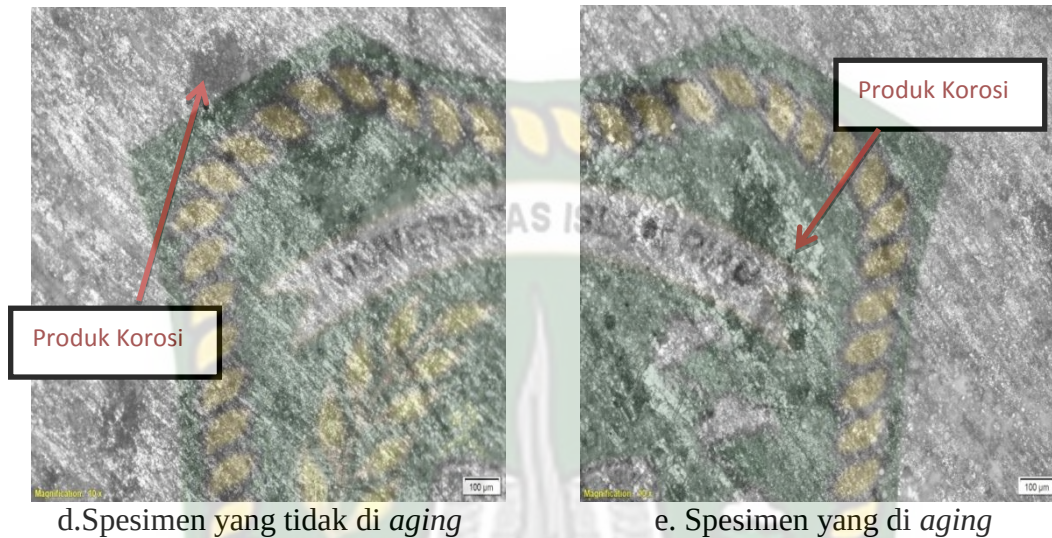


b. Pengujian pada putaran 800 rpm



c. Pengujian pada putaran 1500 rpm

- Hasil uji foto mikro pengujian laju korosi pada pesimen yang di *aging* dan tidak di *aging* (Raw)



Gambar 4.6 Hasil pengamatan foto mikro sebelum dan sesudah pengujian laju korosi

Berdasarkan dari gambar 4.6 terlihat ada perbedaan pada spesimen sebelum dan sesudah pengujian laju korosi dari hasil pengamatan foto mikro terdapat lubang yang mengumpul warna hitam menunjukan produk korosi yang terjadi pada spesimen. Pada kecepatan putaran 800 rpm terdapat terlihat produk korosi yang terjadi lebih sedikit dari pada kecepatan 1500 rpm yang memiliki produk korosi lebih banyak. Dan pada spesimen yang tidak di *aging* memiliki produk korosi lebih banyak di bandingkan dengan spesimen yang di *aging* . Hal ini sesuai dengan grafik kehilangan berat pada gambar grafik 4.2 dan dan gambar grafik 4.4 hasil perhitungan laju korosi yang menunjukan kecepatan putaran tinggi dan spesimen tanpa perlakuan *aging* memiliki kehilangan berat dan laju korosi lebih tinggi.

Dari hasil pengujian foto mikro juga dapat diketahui bahwa jenis korosi yang terjadi pada material *propeller* aluminium paduan adalah korosi kavitasi. Hal ini dikarenakan adanya bentuk rongga-rongga yang rapat pada permukaan material tersebut dan akan semakin dalam dengan bertambah kecepatan tersebut . Menurut penelitian Jahnabi Basumatary, 2017 kavitasi adalah fenomena yang sangat kompleks dan kerusakan lubang yang di akibatkannya biasanya muncul dengan peningkatan rpm. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (May R.A dan Dwi Heru S, 2017).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan dari hasil penelitian korosi pada material *propeller* aluminium paduan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Aging* yang di lakukan pada material *propeller* berbahan aluminium paduan secaram umum telah meningkatkan ketahanan korosi, pada material yang tidak di *aging* yang diputar 1500 rpm dengan waktu perendaman 168 jam memiliki nilai laju korosi 1,0084 mm/year dan pada material yang di *aging* memiliki nilai korosi 0,9447 mm/year.
2. Waktu perendaman dan kecepatan putaran berpengaruh terhadap laju korosi, pada putaran 1500 rpm waktu pengujian 12 jam memiliki nilai nilai laju korosi sebesar 0,2411 mm/year dan waktu pengujian 168 jam memiliki nilai laju korosi 1,0084 mm/year.
3. Kecepatan putaran berpengaruh terhadap laju korosi dimana semakin besar kecepatan semakin cepat laju korosi.
4. Jenis korosi yang terjadi pada material aluminium paduan sebagai material *propeller* berjenis korosi kavitasi karena terdapat rongga-ronga yang rapat pada permukaan material.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian diatas adapun saran yang di peroleh adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi temperatur *aging* dan waktu tahan yang lebih lama, sehingga dapat di ketahui ketahanan korosi dari suatu material.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai variabel lain seperti temperatur dan mikroba mikroorganisme terhadap laju korosi logam aluminium paduan..

DAFTAR PUSTAKA

- Andini, May Rista, dkk. 2017. Analisis Laju korosi logam Kuningan (*Brass*) Sebagai aplikasi Bahan Propeller Kapal. Univesitas Negeri surabaya, Indonesia.
- A.Boag; A. E, Hughes; A. M. Glenn; T. H. Muster; and D. McCulloch; 2011; “*Corrosion of AA204-T3 Part I: Localised corrosion of isolated IM particles*”; vol. 53; *Corros. Sci.*; pp. 17-26
- Dewa Hartarto. 2017. Pengaruh *aging treatment* terhadap sifat mekanis paduan aluminium 6061 [skripsi]. Riau: Universitas Islam Riau.
- Dedi I, 2008. *Pengaruh unsur Mn pada paduan Al- 12 wt%Si terhadap sifat fisik dan mekanik lapisan intermetalik pada fenomena DIE* [skripsi]. Jakarta: Universitas Indonesia
- Huda, dkk. 2011. *Pengaruh Artificial Aging Terhadap Laju Korosi Baling-Baling Kapal Berbahan Aluminium Paduan*. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta, Indonesia.
- Jones, Denny A, 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. New York : Macmillan Publishing Compony.
- Kevin Jones, Pattireuw, Fenje Abdul Rauf, dan Romels Cresano.2013. Analisis Laju Korosi Pada Baja Karbon Dengan Menggunakan Air Laut dan H₂SO₄. Teknik Mesin. Manado : Universitas Sam Ratulangi.
- Kondo, Y., Siahya, Y., & Leonard, J. (2012). Analisis Investasi Pada Industri Pengecoran Propeller Kapal. *Mekanikal*, 3(Propeller Display), 231–239.
- Mars Fontana. 1986. *Corossion Engineering*. Third Edition: Mc Graw-Hill Book Company.
- Murtiono, A. (2012). Pengaruh *Quenching* dan *Tempering* Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon seedang untuk mata Pisau Permanen Sawit.

- Nova Satria dan Nurul Misbah M. 2012. *Analisis Pengaruh Salinitas dan Suhu Air Laut Terhadap Laju Korosi Baja A36 pada Pengelasan SMAW*. Jurnal Teknik ITS VOL. 1, (Sept, 2012). ISSN: 2301-9271.
- Rajan T.V., C.P. Sharma dan Ashok Sharma,1994, *Heat Treatment Principles and Tecniques. Prentice-Hall of India*.
- Roberge, Pierre R.1999. *Handbook of Corrosion Enginerring*. USA: Mc Graw-Hill.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradya Paramita.
- Siregar, T. 2010. *Laju korosi dan Mekanisme inhibisi Aluminium Murni Menggunakan Kalium dan Kalsium Stearat*. Jurnal Kimia, 4 113-124. Diambil dari [https :// ojs.unud.ac.id/index.php/jchem/article/view/2816](https://ojs.unud.ac.id/index.php/jchem/article/view/2816).
- Surdia, Tata. 2000. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta : Pradya Paramita. .
- Suyanto dkk. 2018. *Pengaruh waktu aging terhadap sifat mekanis paduan aluminium cor A356 sebagai bahan propeller kapal*. Momentum. 14(1):33-38
- Tretheway, K.R., Chamberlian,J., *Korosi Untuk Mahasiswa Sains Dan Rekayasa*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
- Van Vlack, L. H., (1991), *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan logam)*, Edisi kelima. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.