

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PACK CHROMIZING*
PADA SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA SS400**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Iqbal Muhammad Firdaus
No. Mahasiswa : 20525104
NIRM : 2008280044

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrahmanirrahim, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima hukuman/ sanksi sesuai hukum yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 7 Januari 2025



Iqbal Muhammad Firdaus

20525104

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PACK CHROMIZING*
PADA SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA SS400

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

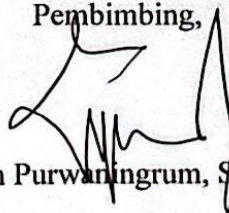
Nama : Iqbal Muhammad Firdaus

No. Mahasiswa : 20525104

NIRM : 2008280044

Yogyakarta, 7 Januari 2025

Pembimbing,



Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PACK CHROMIZING*
PADA SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA SS400**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Iqbal Muhammad Firdaus
No. Mahasiswa : 20525104
NIRM : 2008280044

Tim Penguji

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Ketua



Tanggal : 4/2/2025

Ir. Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng., IPP

Anggota I



Tanggal : 3/2/2025

Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.

Anggota II



Tanggal : 30/1/25

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah wa syukurillah alaa ni'matillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, serta hidayahnya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan maksimal. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada orang-orang baik yang membantu dengan ikhlas dan sepuh hati demi kelancaran penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.

Dengan tulisan ini penulis persembahkan kepada orang tua, adik, saudara-saudari penulis, dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik dari segi materi maupun moral, kasih sayang, dan ketulusan doa yang tak pernah berhenti. Berkat ketulusan hati dan perbuatan baik beliau semua Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan lancar dalam menempuh gelar Sarjana Teknik (ST) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Tulisan ini juga dipersembahkan dengan rasa hormat dan terima kasih kepada seluruh tenaga pendidik Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, khususnya Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan waktu luangnya dalam membimbing penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir. Dengan ketulusan dan pengorbanan beliau semua, berbagai ilmu dan pengetahuan yang tak ternilai dapat diperoleh.

Besar harapan penulis, semoga dengan keikhlasan hati dan perbuatan baik dalam membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir, semoga Allah SWT akan memberikan balasan yang terbaik dari apa yang sudah diperbuat dengan ikhlas. Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, semoga dapat memberikan pelajaran yang berharga dan penuh makna bagi penulis serta bermanfaat bagi siapapun, *Aamiin*.

HALAMAN MOTTO

“Ora ono jimat lan gaman kang luwih kramat sak liyane dungone wong tuwo”

“Obat dari tenangnya jiwa adalah menerima dan meyakini bahwa takdir tuhan itu
selalu baik”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunianya sehingga penulis dapat Menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *PACK CHROMIZING* PADA SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA SS400”**. Sholawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya, yang telah menuntun manusia menuju kehidupan yang lebih baik dan penuh makna.

Laporan Tugas Akhir ini ditulis sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan dalam menempuh gelar Sarjana Teknik (ST) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Dalam pengerjaan dan penyusunan hingga selesainya Laporan Tugas Akhir ini, tidak terlepas dari dukungan, semangat, dan bimbingan dari berbagai pihak terkait. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan dari segala hal tanpa henti.
3. Bapak Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan waktu luangnya dalam membimbing penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang telah mengajarkan penulis dan memberikan ilmunya dengan sepenuh hati kepada penulis.
6. Mas Nur Muhammad Syafi'i selaku laboran di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

7. Bapak Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T. selaku pembimbing dalam proses pengujian material di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada.
8. Milfin Aufatul Zainul Umam selaku teman seperjuangan dalam penelitian ini.
9. Teman - teman angkatan 2020 Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
10. Pihak yang selalu menanyakan “*kapan selesai?*”, “*kapan sidang?*” dan “*kapan wisuda?*”. Karena dengan pertanyaan tersebut menjadi semangat dan motivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak terkait yang telah membantu penulis dan tidak bisa penulis sebutkankan satu persatu.

Penulis menyadari bahwasanya dalam penyusunan laporan Laporan Tugas Akhir banyak kekurangan dan kesalahan sehingga masih belum sempurna, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT semata. Demikian, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Akhir kata, dengan segala doa dan harapan semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, terima kasih.

Wabillahi Taufiq wal Hidayah,

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *pack chromizing* pada sifat fisik dan mekanik baja SS400. Proses *Chromizing* menggunakan metode *pack cementation* dengan serbuk *chromium oxide* (Cr_2O_3) dan *ammonium chloride* (NH_4Cl). Parameter pemanasan menggunakan variasi temperatur 900°C, 1000°C, 1100°C dan *holding time* 6 jam yang disertai proses pendinginan melalui media minyak goreng bekas dan di dalam *furnace*. Proses *pack chromizing* menghasilkan warna hitam atau gelap pada permukaan spesimen yang disebabkan oleh pembentukan senyawa *chromium*. Hasil *pack chromizing* dengan variasi temperatur secara keseluruhan berhasil meningkatkan kandungan *chromium* baja SS400. Struktur mikro yang dihasilkan pada proses ini mengalami perubahan, peningkatan temperatur menyebabkan transformasi dari austenisasi menjadi *martensite* dan terjadi perbesaran batas butir. *Raw material* memiliki nilai kekerasan 147,76 VHN, sedangkan spesimen *pack chromizing* temperatur 900°C diperoleh 144,58 VHN, temperatur 1000°C 214,66 VHN, temperatur 1100°C 172,60 VHN serta 1000°C (*annealing*) 112,62 VHN. Hasil pengujian keausan menunjukkan nilai keausan *raw material* sebesar 0,000131 $mm^3/kg.m$ sedangkan spesimen *pack chromizing* temperatur 900°C diperoleh 0,000126 $mm^3/kg.m$, temperatur 1000°C 0,000116 $mm^3/kg.m$, temperatur 1100°C 0,000134 $mm^3/kg.m$ serta 1000°C (*annealing*) 0,000124 $mm^3/kg.m$. Hasil perbandingan tingkat ketahanan korosi menunjukkan *raw material* dan spesimen *pack chromizing* tergolong baik sekali (*Excellent*). Namun, secara keseluruhan proses *pack chromizing* dapat menurunkan laju korosi baja SS400 dibandingkan dengan *raw material* pada pengujian laju korosi selama 40 hari.

Kata kunci: *Chromium, Pack Chromizing, Baja SS400.*

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of variations in pack chromizing temperature on the physical and mechanical properties of SS400 steel. The chromizing process uses the pack cementation method with chromium oxide (Cr_2O_3) dan ammonium chloride (NH_4Cl). The heating parameters use temperature variations of 900°C , 1000°C , 1100°C and a holding time of 6 hours accompanied by a cooling process through used cooking oil media and in the furnace. The pack chromizing process produces a black or dark color on the surface of the specimen caused by the formation of chromium compounds. The results of pack chromizing with temperature variations as a whole succeeded in increasing the chromium content of SS400 steel. The microstructure produced in this process changes, increasing temperature causes transformation from austenitization to martensite and grain boundary enlargement occurs. The raw material has a hardness value of 147,76 VHN, while the pack chromizing specimen at a temperature of 900°C obtained 144,58 VHN, a temperature of 1000°C 214,66 VHN, a temperature of 1100°C 172.60 VHN and 1000°C (annealing) 112,62 VHN. The wear test results showed the raw material wear value of $0.000131 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ while the 900°C temperature pack chromizing specimen obtained $0,000126 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$, 1000°C temperature $0,000116 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$, 1100°C temperature $0,000134 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ and 1000°C (annealing) $0,000124 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$. The results of the comparison of corrosion resistance levels show that the raw material and chromizing pack specimens are classified as very good (Excellent). However, overall the pack chromizing process can reduce the corrosion rate of SS400 steel compared to raw material in a 40 day corrosion rate test.

Keywords: Chromium, Pack Chromizing, SS400 Steel.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar	vii
Abstra	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.3 <i>Pack Chromizing</i>	7
2.4 <i>Heat Treatment</i>	8
2.5 <i>Quenching</i>	10
2.6 Baja	11
2.6.1 Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>)	11
2.6.2 Baja Paduan (<i>Alloy Steel</i>)	12
2.7 Baja SS400	12
2.8 Pengujian Material	13
2.8.1 Pengujian Komposisi Kimia	14

2.8.2	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	14
2.8.3	Pengujian Metalografi	16
2.8.4	Pengujian Keausan	16
2.8.5	Pengujian Laju Korosi	17
Bab 3	MEtode Penelitian	19
3.1	Alur Penelitian	19
3.2	Peralatan dan Bahan.....	20
3.3	Pembuatan Spesimen	31
3.3.1	Persiapan Tabung (<i>Retort</i>).....	31
3.3.2	Pemotongan Spesimen.....	32
3.3.3	Proses Pengampelasan Spesimen	33
3.4	Proses <i>Pack Chromizing</i>	34
3.5	Proses Pengujian Komposisi Kimia.....	36
3.6	Proses Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	37
3.7	Proses Pengujian Metalografi	38
3.8	Proses Pengujian Keausan	40
3.9	Proses Pengujian Laju Korosi.....	41
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	43
4.1	Hasil <i>Pack Chromizing</i>	43
4.2	Hasil Pengujian Komposisi Kimia.....	44
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	47
4.4	Hasil Pengujian Metalografi	49
4.5	Hasil Pengujian Keausan	51
4.6	Hasil Pengujian Laju Korosi.....	53
Bab 5	Penutup.....	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
Daftar Pustaka	57
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2 - 1 Sifat - Sifat Mekanis Material SS400/ JIS G3101 (Sasmito dkk., 2019).....	13
Tabel 2 - 2 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Fontana, 1910)	18
Tabel 3 - 1 Alat - Alat yang Digunakan Penelitian	20
Tabel 3 - 2 Bahan - Bahan yang Digunakan Penelitian.....	28
Tabel 4 - 1 Hasil Proses <i>Pack Chromizing</i>	43
Tabel 4 - 2 Komposisi Kimia <i>Raw Material</i> Baja SS400 dan <i>Stainless Steel 304</i>	44
Tabel 4 - 3 Komposisi Kimia 900°C, 1000°C, 1100°C, dan 1000°C (<i>Annealing</i>)	45
Tabel 4 - 4 Hasil Penimbangan Spesimen Setiap 10 hari.....	53
Tabel 4 - 5 Nilai Laju Korosi Spesimen	54
Tabel 4 - 6 Tingkat Ketahanan Korosi	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 - 1 <i>Fe-C Phase Diagram</i> (Gandy, 2007).	9
Gambar 2 - 2 jenis - Jenis Metode Pengujian Kekerasan (Callister, 2001).....	15
Gambar 3 - 1 Tabung (<i>Retort</i>) <i>Pack Chromizing</i>	32
Gambar 3 - 2 Proses Pemotongan	33
Gambar 3 - 3 Hasil Pemotongan	33
Gambar 3 - 4 Proses Pengampelasan.....	34
Gambar 3 - 5 Hasil Pengampelasan.....	34
Gambar 3 - 6 Alur Proses <i>Pack Chromizing</i>	34
Gambar 3 - 7 Susunan <i>Pack Chromizing</i>	35
Gambar 3 - 8 Proses <i>Quenching</i>	36
Gambar 3 - 9 Proses <i>Annealing</i>	36
Gambar 3 - 10 Alur Pengujian Komposisi Kimia	37
Gambar 3 - 11 Hasil Spesimen Pengujian Komposisi Kimia.....	37
Gambar 3 - 12 Alur Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	38
Gambar 3 - 13 Proses Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	38
Gambar 3 - 14 Alur Pengujian Metalografi.....	38
Gambar 3 - 15 Proses Pengujian Metalografi.....	40
Gambar 3 - 16 Alur Pengujian Keausan.....	40
Gambar 3 - 17 Proses Pengujian Keausan.....	41
Gambar 3 - 18 Pengamatan dan Pengukuran Hasil Goresan.....	41
Gambar 3 - 19 Alur Pengujian Laju Korosi	41
Gambar 3 - 20 Proses Pengujian Laju Korosi	42
Gambar 4 - 1 Hasil Rata - Rata Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	48
Gambar 4 - 2 <i>Raw Material</i> Baja SS400	49
Gambar 4 - 3 900°C.....	50
Gambar 4 - 4 1000°C.....	50
Gambar 4 - 5 1100°C.....	51
Gambar 4 - 6 1000°C (<i>Annealing</i>).....	51
Gambar 4 - 7 Hasil Rata - Rata Pengujian Keausan Spesimen	52

DAFTAR NOTASI

<i>Fe</i>	= <i>Ferrous</i> (besi)
<i>C</i>	= <i>Carbon</i>
<i>Cr</i>	= <i>Chromium</i>
<i>Cr₂O₃</i>	= <i>Chromium oxide</i>
<i>NH₄Cl</i>	= <i>Ammonium chloride</i>
<i>VHN</i>	= <i>Vickers Hardness Number</i>
<i>P</i>	= Beban yang diberikan
<i>d²</i>	= Panjang diagonal rata - rata
<i>WS</i>	= Nilai keausan spesifik
<i>B</i>	= Tebal piringan pengaus
<i>b</i>	= Panjang keausan benda uji
<i>r</i>	= Jari - jari piringan benda pengausan
<i>Po</i>	= Beban yang digunakan
<i>Lo</i>	= Jarak tempuh proses pengausan
<i>CR</i>	= <i>Corrosion Rate</i>
<i>K</i>	= Konstanta ($8,76 \times 10^4$)
<i>W</i>	= Selisih massa benda uji
<i>W_o</i>	= Massa benda sebelum di uji
<i>W₁</i>	= Massa benda setelah di uji
<i>D</i>	= Massa jenis benda
<i>A</i>	= Luas permukaan benda uji
<i>T</i>	= Waktu perendaman

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja terbentuk dari perpaduan dua unsur antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi (Fe) sebagai unsur dasar dari baja dan karbon (C) adalah unsur paduannya. Baja menjadi material utama seperti pada pembangunan - pembangunan infrastruktur, mobil, kapal, kereta api, persenjataan, dan beberapa alat perkakas (Afandi dkk., 2015). Hal ini dikarenakan baja memiliki sifat kekuatan dan kekerasan tinggi atau biasa disebut dengan ketangguhan. Ketangguhan adalah kemampuan material dalam menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kegagalan atau banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu material (Adawiyah, 2015).

Jika dilihat pada proses pembuatan produk dibidang otomotif, maka secara umum kebutuhan akan penggunaan baja sangatlah meningkat. Banyak pemanfaatan baja yang sering digunakan sebagai material pada komponen kendaraan seperti mur, baut, rangka, roda gigi, dan komponen lainnya. Dimana pada beberapa komponen tersebut saling berinteraksi dengan komponen lain yang akan menimbulkan gesekan maupun getaran, sehingga produk dituntut untuk memiliki karakteristik yang baik. Selain itu, baja juga mempunyai peran penting dalam industri perkapalan. Seperti yang diketahui bahwa sebagian besar badan kapal terbuat dari material baja dan telah lama digunakan secara luas di dalam industri kapal sebagai komponen pelat utama pada badan maupun lambung kapal (Bayuseno, 2009). Disatu sisi selain memiliki karakteristik material yang baik pada pembuatan kapal, baja sangat rawan terhadap serangan korosi. Tidak hanya pada perkapalan saja, akan tetapi hal ini berlaku pada semua produk yang terbuat dari baja.

Meskipun demikian, suatu baja yang mempunyai keunggulan seperti keuletan, kekerasan, kekuatan, tahan korosi, dan tahan terhadap temperatur tinggi, biasanya membutuhkan biaya cukup mahal untuk membelinya (Saputra, 2023). Contohnya adalah baja tahan karat (*stainless steel*). Seiring

berkembangnya teknologi, untuk meningkatkan karakteristik baja dapat dilakukan dengan menggunakan teknik perlakuan permukaan. Ada beberapa metode yang digunakan dalam teknik perlakuan permukaan diantaranya, *electroplating*, *pack cementation*, *salt bath*, *plasma spraying*, *physical vapour deposition (PVD)*, *chemical vapour deposition (CVD)*, dan lain-lain. Namun sebagian dari metode tersebut membutuhkan peralatan yang lebih kompleks dan biaya yang relatif mahal sehingga sering menjadi pertimbangan. Berbeda dengan metode *pack cementation*, yang merupakan metode paling sederhana dengan biaya lebih murah dan memiliki ikatan antara lapisan dengan logam dasar sangat kuat. Hal ini dilakukan dengan menggunakan serbuk *chromium oxide* melalui proses *heat treatment* pada temperatur tinggi, sehingga disebut dengan *pack chromizing*. Pelapisan dengan menggunakan *chromium oxide* dapat menunjukkan kekerasan tinggi, gesekan rendah, ketahanan aus dan ketahanan korosi yang tinggi (Pang dkk., 2008).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sifat fisik dan mekanik material dapat dipengaruhi oleh parameter proses *pack chromizing*, seperti variasi temperatur, *holding time* dan metode pendinginan. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada penggunaan metode pendinginan, seperti pendinginan di dalam *furnace (annealing)* dan pendinginan terbuka (*normalizing*). Oleh sebab itu, pengembangan penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur *pack chromizing* serta penggunaan alternatif media pendingin menjadi penting.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis bermaksud untuk melakukan penelitian terkait pengaruh variasi temperatur *pack chromizing* pada sifat fisik dan mekanik baja SS400. Dengan memanfaatkan variasi temperatur yang disertai media pendinginan yang berbeda, diharapkan dapat diperoleh kondisi perlakuan terbaik yang mampu meningkatkan karakteristik material khususnya baja SS400.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi temperatur *pack chromizing* pada sifat fisik dan mekanik baja SS400.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu diberikan batasan masalah sebagai ruang lingkup pembahasan, sehingga pembahasan dapat terarah dan tidak menyimpang. Adapun batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Material atau spesimen yang digunakan adalah Baja SS400.
2. Proses *chromizing* menggunakan metode *pack cementation* dengan serbuk *chromium oxide* (Cr_2O_3) dan *ammonium chloride* (NH_4Cl) yang dilakukan dengan menggunakan mesin *Furnace WiseTherm* pada Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Proses *chromizing* dilakukan pada variasi temperatur (900°C, 1000°C, 1100°C) dengan *holding time* selama 6 jam, menggunakan media pendinginan minyak goreng bekas (*quenching*) dan di dalam *furnace* (*annealing*).
4. Pengujian yang dilakukan pada spesimen adalah pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan *vickers*, pengujian metalografi, pengujian keausan, dan pengujian laju korosi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *pack chromizing* pada sifat fisik dan mekanik baja SS400.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

1. Untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik pada baja SS400 dengan proses *pack chromizing* menggunakan berbagai variasi temperatur (900°C, 1000°C, 1100°C).
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *pack chromizing* pada sifat fisik dan mekanik baja SS400 dari beberapa hasil pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan *vickers*, pengujian metalografi, pengujian keausan, dan pengujian laju korosi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I. PENDAHULUAN

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

2. BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang tinjauan pustaka dan dasar teori atau informasi yang melandasi penelitian.

3. BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang alur penelitian, alat dan bahan, serta tahapan-tahapan proses penelitian yang dilakukan.

4. BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang pembahasan terkait hasil dan analisis yang diperoleh dari proses penelitian.

5. BAB V. PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil dan analisis pada proses penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Metode *pack cementation* meningkatkan ketahanan korosi dan aus pada baja T9 dan SPCC dengan membentuk lapisan seragam 10 μm . Penelitian (Liu dkk., 2022) menunjukkan kekerasan lapisan luar mencapai 1737,72 HV dan 1771,91 HV, sementara lapisan sekunder 1378,31 HV dan 448,52 HV. Lapisan *chrom* melindungi baja dari korosi setelah perendaman NaCl 35% selama 120 jam, serta meningkatkan ketahanan aus khususnya pada baja T9. Hasil penelitian mereka dapat menjadi referensi penting dalam memahami pengaruh perlakuan permukaan pada ketahanan material.

Disisi lain, penelitian yang dilakukan oleh (Najamudin & Prawoto, 2016) menekankan bahwa waktu penahanan selama 6 jam dengan temperatur 900°C, 1000°C dan 1100°C memberikan hasil optimal dalam hal ketebalan lapisan, kekerasan, dan keausan dibandingkan 4 dan 5 jam. Hal ini digunakan sebagai parameter dalam menentukan waktu penahanan pada metode *pack chromizing* yang penulis lakukan, sehingga membantu dalam merancang proses penelitian yang lebih efektif.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Dong dkk., 2019) membuktikan bahwa metode *pack chromizing* dapat meningkatkan ketahanan korosi SS316L dengan membentuk lapisan kromium difusi setebal 75 μm . Kandungan kromium tinggi (89,83%) dalam lapisan memberikan perlindungan yang lebih baik, terutama dalam lingkungan korosif seperti larutan NaCl. Penelitian tersebut digunakan untuk memahami mekanisme perlindungan lapisan kromium, terutama terkait stabilitas jangka panjang terhadap lingkungan korosif pada penelitian penulis.

Proses pendinginan berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik material. Menurut jurnal penelitian (Andreansyah dkk., 2024) menunjukkan bahwa suhu 900°C dengan media quenching air menghasilkan kekerasan tertinggi 490,08 VHN, sedangkan suhu 850°C dengan media oli menghasilkan kekerasan

terendah 199,58 VHN setelah *tempering* 180°C. (Priatama, 2014) menjelaskan Struktur mikro media air menghasilkan martensit, yang memberikan kekerasan tinggi tetapi rentan retak. Sebaliknya, media oli menghasilkan struktur ulet karena pendinginan lebih lambat. Hal ini menjadi pertimbangan dalam penelitian penulis untuk menentukan parameter proses *pack chromizing* agar menghasilkan lapisan keras yang tetap memiliki ketahanan terhadap keretakan.

Hasil penelitian (Putri dkk., 2021) menyampaikan dari hasil pengujian dan analisis data pengaruh variasi media *quenching* oli baru, oli bekas, dan minyak goreng bekas terhadap kekerasan baja S45C yang telah dilakukan proses *pack carburizing* dengan temperatur 870°C selama 45 menit. Didapatkan nilai kekerasan maksimal adalah 102,8 HRC pada media minyak goreng bekas, sedangkan nilai kekerasan minimum terjadi pada media oli baru dengan nilai 98,4 HRC. Dengan adanya proses pendinginan dengan media yang bervariasi tersebut, dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap kekerasan baja S45C. Hal ini menjadi referensi untuk pemilihan media pendinginan proses *pack chromizing* yang tepat untuk mencapai sifat material yang optimal.

2.2 Dasar Teori

Pelapisan *chrom* biasanya digunakan untuk mendapatkan permukaan material yang keras, tahan korosi, tahan gesekan, dan memberikan nilai estetika yang menarik. Akan tetapi nilai estetika tersebut dapat dipertimbangkan kembali sesuai dengan kebutuhan dan kegunaan material tersebut.

Secara umum, pelapisan permukaan material *chromium* dapat dilakukan dengan cara pelapisan *plating* dan pelapisan difusi atau *diffusion coating* (Sundari, 2019). Pelapisan *plating* yang dilakukan dengan menggunakan arus listrik, memiliki karakteristik yang menonjol yaitu sifat dekoratifnya. Tidak hanya untuk melapisi sebagai dekoratif saja tetapi juga dapat melapisi permukaan dengan lebih kuat berdasarkan kegunaannya (Sukrawan, 2016). Sedangkan pelapisan difusi dilakukan dengan proses perlakuan panas yang dapat meningkatkan karakteristik material.

Pengekroman (*Chromizing*) adalah proses perlindungan pada permukaan material dengan menggunakan senyawa pelapis yaitu *chromium* (Cr) yang

bertujuan untuk meningkatkan karakteristik dari sifat - sifat material yang diinginkan. *Chromium* yang digunakan memiliki daya rekat yang baik terhadap permukaan material, sehingga dapat menempel pada permukaan material dengan kuat. Daya rekat yang dimiliki oleh *chromium* sangat memiliki peran penting dalam proses pelapisan, tidak hanya memberikan perlindungan pada permukaan material saja, akan tetapi juga memiliki fungsi yang baik dalam jangka waktu yang panjang.

2.3 Pack Chromizing

Proses *chromizing* menggunakan metode *pack cementation* atau biasa disebut *pack chromizing* merupakan proses perlakuan lapisan permukaan material yang dilakukan dengan menggunakan pemanasan pada temperatur tinggi dan *chromium oxide* (Cr_2O_3) sebagai bahan utama untuk melapisi material yang akan dilapisi. *Chromium oxide* (Cr_2O_3) digunakan sebagai bahan utama dikarenakan mempunyai tingkat kestabilan pada temperatur yang tinggi untuk pembentukan lapisan *chromium* dan secara kimia bersifat *inert* yang memiliki kekuatan mekanik yang baik (Pang dkk., 2007). Atom - atom *chromium* yang digunakan akan berdifusi pada permukaan material dan menembus masuk pada bagian dalam material dasar, sehingga memerlukan proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Material yang memiliki tingkat kandungan karbon tinggi akan membentuk lapisan dengan senyawa *carbon dan chromium* (C, Cr), sedangkan material yang mengandung sedikit karbon atau *low carbon* akan membentuk lapisan dengan perpaduan senyawa *ferrous dan chromium* (Fe, Cr) (Romijarso, 2013). Hasil proses difusi dari perpaduan antara *carbon* dengan *chromium* yang menjadi satu akan membentuk *chromium carbide*, sehingga menjadikan permukaan luar material diselubungi oleh lapisan *chromium* dan semakin ke dalam pada permukaan material diisi dengan *chromium carbide* yang dapat menjadikan tingkat kekerasan material sangat tinggi. Unsur *carbon* (C) memiliki kecepatan difusi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan difusi *chromium* (Siregar, 2000). *Carbon* (C) mempunyai daya ikat yang besar terhadap *chromium* untuk

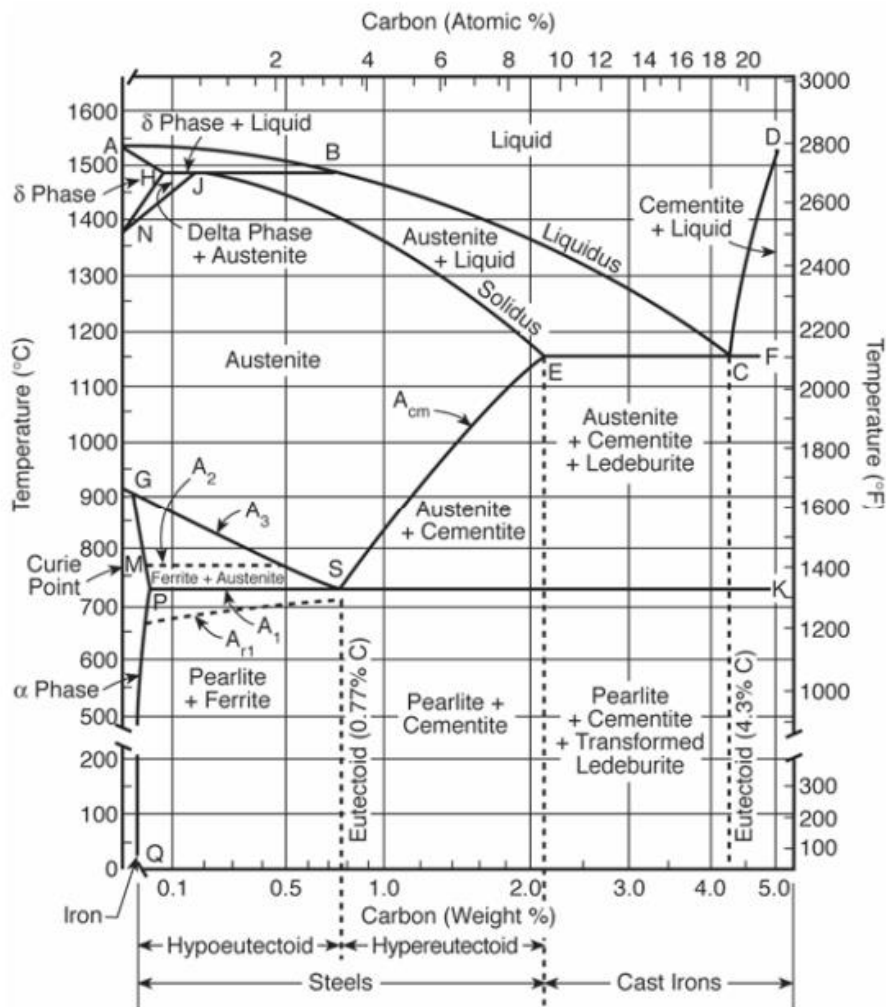
membentuk karbida, akan tetapi baja karbon rendah ketebalan lapisan akan semakin tipis.

Aktivitas *chromium* proses *pack chromizing* dapat dikontrol oleh *ammonium chloride* (NH_4Cl) atau garam halida yang dipertahankan dengan kisaran 2% - 5%, sehingga menimbulkan reaksi - reaksi kimia pada saat proses *pack chromizing* berlangsung, dapat diketahui jika kadar *ammonium chloride* (NH_4Cl) rendah maka akan mempengaruhi aktivitas *chromium* dalam pelapisan permukaan material. Selain itu aktivitas *chromium* juga berpengaruh pada temperatur, temperatur yang rendah dapat menurunkan kemampuan difusi *chromium* (Najamudin & Prawoto, 2016).

Dalam proses *pack chromizing* terdapat beberapa parameter penting yang digunakan sebagai dasar dalam prosesnya yaitu temperatur, waktu penahanan (*holding time*), dan laju pendinginan. Temperatur berperan dalam menentukan difusi *chrom* ke dalam permukaan material, sementara untuk waktu penahanan akan mempengaruhi ketebalan ataupun kedalaman lapisan *chrom* terhadap permukaan dan homogenitasnya. Selain itu, laju pendinginan berperan dalam mengatur struktur mikro dan sifat mekanik akhir dari material.

2.4 Heat Treatment

Heat Treatment merupakan salah satu teknik perlakuan permukaan dengan menggunakan panas untuk meningkatkan sifat - sifat material yang diinginkan dalam keadaan padat. Pemanasan material hingga suhu tertentu dapat memengaruhi struktur mikro, terutama ketika mencapai temperatur dimana austenit terbentuk. Austenit merupakan larutan padat karbon dalam baja yang muncul ketika material dipanaskan hingga suhu di atas atau pada daerah kritis. Proses perlakuan panas baja secara langsung didasarkan pada transformasi fase austenit dalam sistem Fe-C (*Ferrous-Carbon*). Selama perlakuan panas, perubahan austenit menjadi fase lain akan memengaruhi struktur mikro yang terbentuk, yang dapat menentukan sifat mekanik dan karakteristik material baja (Rifnaldi, 2019).



Gambar 2 - 1 Fe-C Phase Diagram (Gandy, 2007).

Proses ini bisa juga dikaitkan dengan dua perbandingan antara proses pemanasan dan juga pendinginan. Secara umum, proses *heat treatment* dibedakan menjadi dua yaitu proses pengerasan (*hardening*) dan proses pelunakan (*Softening*).

1. Proses pengerasan (*hardening*) merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan suatu material berdasarkan kebutuhannya disertai dengan proses pendinginan cepat (*quenching*) untuk membentuk struktur martensit. Biasanya juga dalam proses pengerasan material (*hardening*) dikombinasikan dengan proses *tempering*, dimana material dipanaskan kembali dengan suhu yang lebih rendah.
2. Proses pelunakan (*softening*) merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk menghasilkan struktur mikro yang *equilibrium*, seperti

perlakuan *annealing* (proses pendinginan lambat terhadap suhu ruang/tertutup) dan perlakuan *normalizing* (proses pendinginan biasa terhadap udara terbuka). Sifat material yang dihasilkan dari proses perlakuan ini adalah memiliki ketangguhan dan keuletan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *non-equilibrium* atau proses pengerasan (*hardening*) (Kusuma, 2017).

Dalam proses perlakuan panas (*heat treatment*) terdapat beberapa tahapan, masing masing memiliki peran penting dalam meningkatkan karakteristik dari material, diantaranya:

1. Proses pemanasan (*heating*) adalah langkah pertama dalam *heat treatment*, artinya material mulai dipanaskan dari temperatur ruang hingga mencapai temperatur yang sudah ditentukan.
2. Proses penahanan (*holding*) adalah proses lanjutan dari *heating* setelah mencapai temperatur yang ditentukan, material akan ditahan dengan suhu yang konstan.
3. Proses pendinginan (*cooling*) adalah langkah terakhir dari tahapan *heat treatment*, material yang sudah dipanaskan akan dilakukan proses pendinginan berdasarkan laju pendinginan yang ditentukan. Proses pendinginan dapat dilakukan dengan proses pendinginan cepat, normal maupun lambat.

2.5 Quenching

Quenching merupakan proses pendinginan cepat atau peredaman panas pada material baja yang telah dipanaskan pada kondisi temperatur *austenite*. Saat material baja dipanaskan pada hingga temperatur *austenite* dilanjutkan proses pendinginan cepat (*quenching*) maka struktur pada material baja akan berubah dari *austenite* menjadi *martensite*. Tujuan utama dalam proses pendinginan adalah untuk mencapai struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan yang diinginkan dengan meminimalkan tegangan sisa serta distorsi (Gandy, 2007b)

Keberhasilan proses pendinginan cepat (*quenching*) dapat dipengaruhi oleh media pendinginan itu sendiri terhadap sifat - sifat dari material tersebut. Dalam menentukan media *quenching* memiliki ketergantungan pada sifat mampu keras dari material baja, ketebalan, dan bentuk dari material yang akan dilakukan proses *quenching*. Adapun media *quenching* yang sering digunakan dapat

dibedakan menjadi dua yaitu gas dan cair (*liquid*), media *quenching* gas adalah argon, nitrogen, dan helium. Sedangkan media *quenching* cair terdiri dari air, minyak (*oil*), larutan garam atau *sodium chloride* (NaCl), dan larutan polimer (*aquos polymer solution*).

2.6 Baja

Baja merupakan material logam paduan yang memiliki komposisi utamanya adalah besi (Fe) dengan presentase 95% atau lebih. Selain besi (Fe) baja juga mengandung unsur karbon (C) yang dipadukan dengan unsur lainnya, yang masing - masing memiliki peran penting dalam menentukan sifat dan karakteristik suatu material. Jumlah presentase kandungan karbon memiliki variasi tersendiri yang ada di dalam baja tersebut, karbon berfungsi sebagai unsur penguat karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja, semakin meningkatnya kandungan karbon dalam baja maka akan semakin tinggi juga nilai kekerasan dan kekuatan yang didapat. Menurut komposisinya baja dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu baja karbon (*carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*) (Jordi dkk., 2017).

2.6.1 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon adalah material baja yang terdiri dari unsur besi (Fe) dan karbon (C) dengan sedikit mengandung elemen lain seperti *chromium* (Cr), *nickel* (N), *molybdenum* (Mo), *copper* (Cu), *vanadium* (V), *niobium* (Nb), *phosphorous* (P), dan *sulfur* (S) dan lainnya. Pada baja karbon, besi menjadi unsur utama dalam memberikan kekuatan dasar material, sedangkan karbon akan meningkatkan kekerasan dan kekuatannya. Berdasarkan tingkatan kandungan karbon yang dimiliki oleh material baja karbon dibagi menjadi tiga kategori, antara lain:

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja jenis ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0,30%. Kadar karbon yang rendah menjadikan material ini memiliki kekuatan rendah, perpanjangan (*elongation*) dan kemampuan lentur yang baik. Sehingga banyak dimanfaatkan dalam pembuatan berbagai produk seperti mur, baut, rangka dan lain lain.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Kandungan karbon yang dimiliki pada baja jenis ini sekitar 0,30% sampai 0,70%. Kandungan karbon pada baja ini memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon rendah. Biasanya dapat diaplikasikan pada rel kereta api, poros atau as, roda gigi dan sebagainya.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Dalam baja karbon tinggi terdapat kandungan karbon yang dimiliki sekitar 0,70% sampai 1,40% yang menyebabkan karakteristik dari baja ini memiliki tingkat kekerasan yang sangat tinggi, ketahanan panas dan gesekan yang baik sehingga banyak diaplikasikan pada gergaji, pisau, mata bor, mata pahat, dan lainnya (Syaifullah dkk., 2021).

2.6.2 Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan adalah jenis material baja yang diperkaya berbagai unsur tambahan seperti *chromium (Cr)*, *nickel (N)*, *molybdenum (Mo)*, *copper (Cu)*, *vanadium (V)*, *niobium (Nb)*, *phosphorous (P)*, dan *sulfur (S)* dan lainnya, yang memiliki komposisi dalam jumlah lebih banyak dibandingkan unsur utamanya yaitu besi (Fe) dan karbon (C). Unsur tambahan tersebut berfungsi untuk meningkatkan sifat karakteristik material berdasarkan kebutuhan yang diperlukan. Misalnya, penambahan kadar *chromium (Cr)* yang dapat membentuk lapisan oksida dan menjadikan material tersebut tahan terhadap serangan korosi maupun perlakuan lain. Menurut presentase paduannya, baja paduan dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu baja paduan rendah (jika elemen paduannya kurang dari 2,5%), baja paduan sedang (jika elemen paduannya 2,5% sampai 10%), baja paduan tinggi (jika elemen paduannya lebih dari 10%) (Zayadi dkk., 2022).

2.7 Baja SS400

Baja SS400 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah standar dari Jepang yang diatur oleh *Japanese Industrial Standard (JIS)*, dengan nomor spesifikasi material yaitu JIS G3101. Baja SS400 memiliki makna tersendiri, dimana “SS” adalah *structural steel* sedangkan “400” merujuk pada kekuatan

tarik minimum yang dimiliki baja ini yaitu 400 Mpa. Baja ini memiliki keberagaman dalam pengaplikasian struktural diberbagai sektor seperti konstruksi kapal dan konstruksi umum (Oktaviandy dkk., 2023). Selain itu, dalam pengaplikasian lain baja ini biasa digunakan pada industri konstruksi, kereta api, jembatan, dan lain-lain. Berikut sifat - sifat mekanis yang dimiliki material baja SS400 sebagai berikut.

Tabel 2 - 1 Sifat - Sifat Mekanis Material SS400 (Sasmito dkk., 2019)

SS400/ JIS G3101	Nilai
Modulus Young	207000 MPa
Modulus Geser	77000 MPa
Poison Ratio	0,3
Densitas	$7,85 \text{ E}^{-06} \text{ kg/mm}^3$
Kekuatan luluh	245 Mpa

2.8 Pengujian Material

Untuk menilai kualitas suatu material, dapat diperlukan dengan melakukan beberapa pengujian yang bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik yang dimiliki oleh material tersebut. Dalam pengujian material melibatkan beberapa metode pengujian yang digunakan untuk mendapatkan informasi data untuk dilakukan proses analisis dan mengevaluasi dari material tersebut. Hasil pengujian material sangat membantu dalam mengidentifikasi keamanan dan kelayakan suatu material yang akan digunakan guna mencegah kegagalan yang dapat mengakibatkan kerugian besar. Dalam pengujian material, ada dua metode pengujian yang dapat dilakukan berdasarkan perlakuan dalam pengujiannya yaitu *Destructive Test (DT)* dan *Non-Destructive Test (NDT)*.

1. *Destructive Test (DT)*

Destructive Test merupakan salah satu metode pengujian material yang dilakukan dengan merusak atau melukai benda kerja untuk mengetahui batas kekuatan dan sifat fisik serta mekanik yang dimilikinya. Selain itu tujuan lain dari metode pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa jauh material dalam menerima pembebanan maupun perlakuan lain yang diberikan hingga mengalami perubahan bentuk atau terdeformasi sehingga mengalami

kerusakan misalnya pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, pengujian laju korosi, pengujian tarik, pengujian tekan, pengujian impak dan lain-lain.

2. *Non-Destructive Test (NDT)*

Metode pengujian ini memiliki konsep yang justru berbanding terbalik dengan metode *destructive test*, jika dalam metode *destructive test* dilakukan dengan merusak suatu material uji maka metode *non-destructive test* dilakukan tanpa merusak material uji. Ada beberapa macam jenis pengujian *non-destructive test* yang dapat dilakukan pada logam, plastik, komposit, keramik untuk mengetahui retakan permukaan yang berongga, delaminasi, cacat pengelasan, dan semua jenis cacat yang dapat mengakibatkan kegagalan dini seperti *visual inspection*, *microscopy*, *radiography*, *dye penetrant*, *magnetic particle*, *ultrasonic*, *acoustic emission*, dan *eddy current* (Dwivedi dkk., 2018).

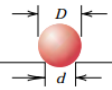

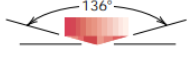

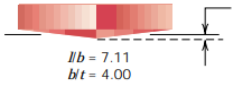

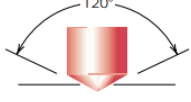



2.8.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia adalah salah satu proses pengujian yang memiliki tujuan untuk mengetahui unsur - unsur kimia maupun kandungan lain yang terdapat di dalam material, baik logam maupun non logam. Pengujian ini juga dilakukan untuk memastikan bahwa material yang digunakan mempunyai komposisi yang sesuai dengan standar atau spesifikasi tertentu agar dapat mencapai sifat fisik dan mekanik yang diinginkan.

2.8.2 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik yang mendasar pada material, menggambarkan kemampuan suatu material untuk bertahan terhadap deformasi plastis, goresan, atau penekanan. Kekerasan material secara umum didefinisikan sebagai kemampuan suatu material dalam menahan gaya eksternal tanpa mengalami deformasi plastis atau perubahan bentuk secara permanen. Kekerasan bukanlah suatu konstanta fisika yang tetap pada setiap material, nilai kekerasan suatu material dapat bervariasi dan tidak hanya berdasarkan sifat dasar material yang diuji, akan tetapi juga dipengaruhi oleh metode pengujiannya (Kumayasari & Sultoni, 2017). Ada beberapa jenis metode pengujian kekerasan yang

diklasifikasikan berdasarkan jejak indentornya yaitu metode *brinell*, metode *rockwell*, metode *knoop*, dan metode *vickers* ditunjukkan pada Gambar 2-2.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> Diamond cone $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres 	 	 	<ul style="list-style-type: none"> 60 kg 100 kg 150 kg Rockwell <ul style="list-style-type: none"> 15 kg 30 kg 45 kg Superficial Rockwell	

Gambar 2 - 2 jenis - Jenis Metode Pengujian Kekerasan (Callister, 2001)

Pada pengujian kekerasan metode *vickers*, indenter yang digunakan dalam penekanan suatu material berbentuk piramida intan. Indenter memiliki sudut puncak 136° diantara kedua sisi yang berhadapan, sehingga menghasilkan jejak indentasi berbentuk bujur sangkar pada permukaan yang diuji. Jejak indentasi hanya dapat dilihat dengan menggunakan *microscope*, dikarenakan hasil jejak indentasi yang sangat kecil sehingga tidak bisa dilihat dengan mata telanjang. Semakin keras suatu material yang diuji, maka semakin dangkal jejak indentasi yang dihasilkan pada permukaannya saat diberi beban oleh indenter (penekan). Sebaliknya, jika penekanan indenter pada suatu material menghasilkan jejak yang lebih dalam, maka menunjukkan bahwa material tersebut lebih lunak.

Adapun untuk mengetahui angka kekerasan *vickers* atau *Vickers Hardness Number (VHN)* dapat digunakan dengan menggunakan persamaan matematis sebagai berikut:

$$HV = \frac{(1,854) P}{d^2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

HV = *Hardness Vickers (VHN)*

P = Beban yang diberikan (*kg*)

d^2 = Panjang diagonal rata - rata (*mm*)

2.8.3 Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan salah satu ilmu yang digunakan untuk mengetahui karakteristik struktur mikro atau makro pada logam maupun paduannya yang berhubungan dengan sifat - sifat yang dimiliki logam tersebut, hal ini biasa disebut dengan pengujian mikro atau mikro struktur. Secara kuantitatif pengujian ini cukup penting karena dapat digunakan untuk menentukan fasa - fasa yang terbentuk, kekompakan struktur, ukuran butir, dan berbagai karakteristik lainnya (Malage dkk., 2015).

Struktur mikro merujuk pada detail terkecil yang ada di dalam suatu material, yang tidak dapat dilihat langsung oleh mata manusia tanpa bantuan alat khusus. Untuk mengamati struktur mikro dapat dilakukan dengan menggunakan alat seperti mikroskop cahaya, *microscope electron*, *microscope field emission* dan mikroskop sinar-X (Bhakti dkk., 2013). Analisis mikro struktur dalam penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi perubahan - perubahan fasa yang terjadi pada material baja yang sudah diberikan perlakuan panas (*heat treatment*) dengan variasi temperatur. Jenis struktur yang terbentuk dalam baja sangat ditentukan oleh komposisi kimianya serta metode perlakuan panas yang diterapkan. Struktur-struktur yang dapat muncul meliputi ferrit, perlit, bainit, martensit, sementit, dan berbagai jenis karbida lainnya.

2.8.4 Pengujian Keausan

Keausan sering sekali terjadi dan sulit untuk dihindari dalam aplikasi *engineering*. Secara umum, keausan dapat diartikan dengan hilangnya permukaan suatu material karena adanya interaksi mekanis dari dua permukaan yang bergerak dan saling bergesekan sehingga mengakibatkan material mengalami

pengikisan (Syahril & Anggara, 2022). Gesekan yang terjadi dalam proses keausan menghasilkan panas dan meningkatkan tegangan pada permukaan material, yang pada akhirnya menyebabkan partikel - partikel kecil dari material tersebut mengalami deformasi dan terlepas.

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui seberapa tahannya suatu material dengan adanya interaksi mekanis seperti gesekan, tekanan maupun gerakan relatif antara dua permukaan yang diberikan sehingga menjadikan volume atau massa material berkurang. Adapun untuk mengetahui tingkatan nilai keausan suatu material dapat dihitung berdasarkan rumus matematis sebagai berikut:

$$WS = \frac{B \times b^3}{8 \times r \times Po \times Lo} \quad (2.2)$$

Keterangan:

WS = Nilai keausan spesifik ($mm^3/kg.m$)

B = Tebal piringan pengaus (mm)

b = Panjang keausan benda uji (mm)

r = Jari – jari piringan pengausan (mm)

Po = Beban yang digunakan (kg)

Lo = Jarak tempuh proses pengausan (m)

2.8.5 Pengujian Laju Korosi

Korosi dalam kehidupan sehari-hari sering dikenal sebagai proses perkaratan yang dialami oleh besi maupun logam lainnya. Proses ini ditandai dengan adanya perubahan warna pada permukaan logam yang menimbulkan lapisan baru atau karat. Karat yang melapisi logam dapat terjadi karena hasil reaksi antara permukaan logam dengan oksigen serta elemen lain dari lingkungan sekitar yang dapat menjadikan kerusakan material logam tersebut. Kerusakan akibat korosi atau karat adalah masalah umum yang menyebabkan material mengalami degradasi sebagai hasil interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Hal ini tidak hanya merusak penampilan logam tetapi juga memperpendek umur pemakaiannya (Bayuseno, 2009).

Kecepatan terjadinya proses karat pada logam sering disebut sebagai laju korosi (*corrosion rate*). Laju korosi ini dapat dihitung metode *Weigh Loss* yang melibatkan pengukuran penurunan berat akibat adanya serangan korosi dengan waktu tertentu. Untuk mendapatkan nilai kehilangan berat akibat proses korosi dapat menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4), sedangkan untuk membandingkan nilai dari hasil perhitungan laju korosi dapat dilakukan berdasarkan Tabel 2-2.

$$CR = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \quad (2.3)$$

$$W = (W_0 - W_1) \quad (2.4)$$

Keterangan:

- CR = Corrosion Rate (*mmpy*)
 K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$)
 W = Selisih massa benda uji (gr)
 W_0 = Massa benda sebelum diuji (gr)
 W_1 = Massa benda setelah diuji (gr)
 D = Massa jenis benda (gr/cm^3)
 A = Luas permukaan benda uji (cm^2)

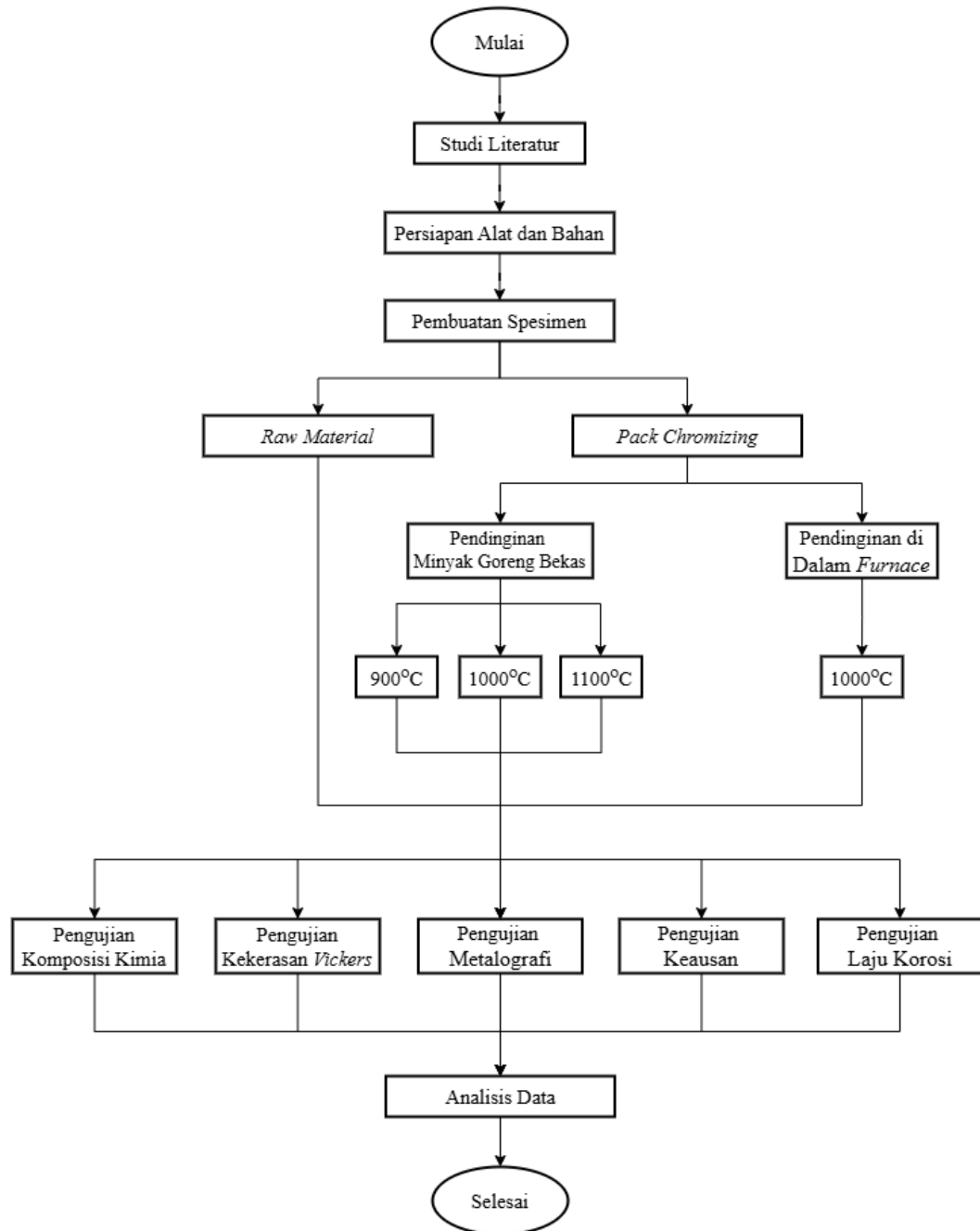
Tabel 2 - 2 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Fontana, 1910)

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	<i>mpy</i>	$\frac{mm}{yr}$	$\frac{\mu m}{yr}$	$\frac{nm}{hr}$	$\frac{pm}{sec}$
<i>Outstanding</i>	<1	<0.02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
<i>Fair</i>	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Adapun alur yang digunakan dalam proses penelitian *pack chromizing* adalah seperti pada Gambar 3.1.





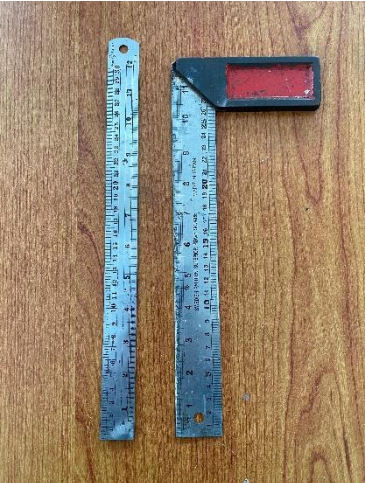


Gambar 3 - 1 Diagram Alur Penelitian




3.2 Peralatan dan Bahan




Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat berbagai alat dan bahan yang digunakan sebagai penunjang utama untuk mendukung jalannya proses penelitian pada Tabel 3 - 1 dan Tabel 3 - 2.




Tabel 3 - 1 Alat - Alat yang Digunakan Penelitian




No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
1.	Alat Pelindung Diri (APD)		Melindungi diri pada saat melakukan proses pemotongan spesimen dan <i>pack chromizing</i>
2.	Marker		Membuat garis atau tanda dalam proses pemotongan spesimen




No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
3.	Penggaris		<p>Mengukur dimensi spesimen yang akan dipotong</p>
4.	Mesin Gergaji Maktec		<p>Memotong benda kerja yang sudah dilakukan pengukuran</p>
5.	Kikir		<p>Menghaluskan permukaan yang tajam hasil pemotongan</p>




No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
6.	Ragum		Mencekam benda kerja saat melakukan pengikiran
7.	Mesin Grinding Plato		Menghaluskan spesimen secara merata
8.	Ampelas		Menghaluskan benda kerja sesuai dengan tingkat kekasarannya


No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
9.	Mesin <i>Furnace</i> <i>WiseTherm</i>		Melakukan pemanasan spesimen <i>pack</i> <i>chromizing</i>
10.	Tabung <i>(Retort)</i>		Wadah spesimen pada saat proses pemanasan
11.	Tang Panjang		Menjepit dan mengeluarkan spesimen dari mesin <i>furnace</i> <i>WiseTherm</i>

No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
12.	Baskom		Wadah proses <i>quenching</i>
13.	Sikat Kawat		Membersihkan kerak yang menempel pada mesin <i>furnace WiseTherm</i> dan tabung (<i>retort</i>)
14.	<i>Toolbox</i>		Membantu dalam proses <i>pack chromizing</i>

No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
15.	Gergaji Tangan		Untuk memotong spesimen pengujian ketebalan lapisan
16.	<i>Spectrometer Thermo Scientific</i>		Alat pengujian komposisi kimia
17.	<i>Olympus Optic Microscope</i>		Alat pengujian metalografi dan ketebalan lapisan




No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
18.	<i>Olympus Microhardness Vickers</i>	 A white and black microhardness testing machine with a digital display and a microscope-like structure for viewing the test results.	Alat pengujian kekerasan vickers
19.	<i>Universal Wear Tester</i>	 A large, industrial-grade metal machine with various rollers and a control panel, used for testing wear on materials.	Alat pengujian keausan
20.	<i>Stero Zoom Microscope</i>	 A binocular microscope with a large objective lens and a camera attachment, used for observing surface wear.	Pengamat hasil keausan permukaan

No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
21.	Gelas Ukur		Mengukur volume air laut yang digunakan pengujian laju korosi
22.	Gelas Plastik		Wadah untuk proses pengujian laju korosi
23.	Timbangan Digital		Menimbang komposisi serbuk <i>pack chromizing</i> dan berat spesimen pada proses pengujian laju korosi


No.	Nama Alat	Gambar	Kegunaan
24.	Laptop		Mengolah data

Tabel 3 - 2 Bahan - Bahan yang Digunakan Penelitian

No.	Nama Alat	Gambar
1.	Baja SS400	

No.	Nama Alat	Gambar
2.	<i>Chromium Oxide (Cr₂O₃)</i>	
3.	<i>Ammonium Chloride (NH₄Cl)</i>	
4.	Semen Tahan Api	

No.	Nama Alat	Gambar
5.	Minyak Goreng Bekas	
6.	<i>Autosol Metal Polish</i>	
7.	Asam Nitrat (HNO_3)	

No.	Nama Alat	Gambar
8.	Air Laut	

3.3 Pembuatan Spesimen

3.3.1 Persiapan Tabung (*Retort*)

Proses pembuatan tabung (*retort*) dibuat dengan menggunakan material *stainless steel* dengan diameter 60 mm, tebal 3,9 mm, dan tinggi 50 mm. selanjutnya pada bagian bawah dilakukan pengelasan dengan plat datar yang bertujuan sebagai alas dari tabung tersebut secara permanen. Kemudian diberikan penutup pada bagian atas tabung yang dapat dipasang dan dilepas dalam penyusunan komposisi serbuk *pack chromizing* beserta spesimennya. Alasan menggunakan wadah yang berbentuk tabung adalah untuk meminimalisir terjadinya kebocoran serbuk selama proses pemanasan, karena dengan wadah berbentuk tabung tersebut tidak memerlukan banyak sambungan pengelasan yang rentan terhadap kebocoran serbuk *pack chromizing*.



Gambar 3 - 1 Tabung (*Retort*) *Pack Chromizing*

3.3.2 Pemotongan Spesimen

Proses pemotongan spesimen baja SS400 dilakukan dengan menggunakan mesin gergaji potong *Maktec* di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Proses pemotongan dilakukan berdasarkan dimensi yang telah ditentukan untuk proses *pack chromizing*, yaitu 30 mm × 20 mm × 10 mm. Setelah proses pemotongan selesai, langkah berikutnya adalah pengikiran permukaan sisi spesimen. Pengikiran dilakukan secara manual menggunakan kikir logam dengan tujuan menghilangkan bagian - bagian tajam atau kasar pada tepi spesimen yang dihasilkan dari proses pemotongan. Jika masih terdapat sisi yang tajam akan mengganggu proses pengampelasan dan dapat menyebabkan robeknya kertas ampelas saat digunakan.



Gambar 3 - 2 Proses
Pemotongan



Gambar 3 - 3 Hasil
Pemotongan

3.3.3 Proses Pengampelasan Spesimen

Setelah spesimen baja SS400 selesai dipotong sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah proses pengampelasan. Proses ini sangat penting karena untuk meratakan hasil pemotongan spesimen yang tidak rata dan membersihkan permukaan spesimen dari berbagai kotoran yang menempel seperti karat, minyak, dan lainnya. Proses pengampelasan dilakukan menggunakan mesin *grinding Plato* yang tersedia di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Untuk mencapai permukaan spesimen yang halus, pengampelasan dilakukan secara bertahap menggunakan kertas ampelas berdasarkan dengan tingkat kekasaran yang semakin halus. Kertas ampelas yang digunakan dalam tahapan ini adalah 120, 320, 400, 600, 800, 1000, dan 1500. Dalam setiap tahapan pengampelasan, putaran mesin *grinding Plato* dapat diatur secara bergantian antara arah searah jarum jam (*Clockwise/ CW*) dan berlawanan arah jarum jam (*Counter-clockwise/ CCW*). Hal ini bertujuan untuk menghilangkan bekas goresan yang ditinggalkan oleh kertas ampelas sebelumnya. Spesimen yang bersih, halus, dan merata dapat memberikan pengaruh pada proses difusi *chromium* ke dalam spesimen.



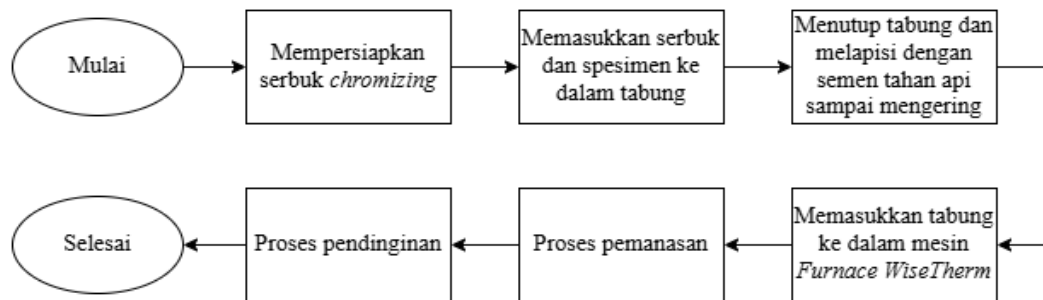
Gambar 3 - 4 Proses
Pengampelasan



Gambar 3 - 5 Hasil
Pengampelasan

3.4 Proses *Pack Chromizing*

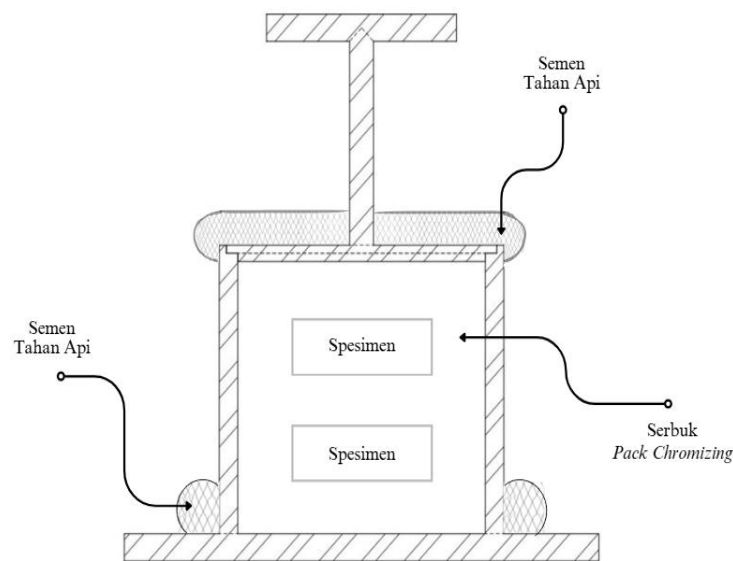
Proses perlakuan panas *pack chromizing* dilakukan dengan menggunakan mesin *furnace WiseTherm* yang ada di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Berikut alur proses *pack chromizing* dapat dilihat pada Gambar 3-6.



Gambar 3 - 6 Alur Proses *Pack Chromizing*

Pada Proses ini diawali dengan mempersiapkan komposisi serbuk *chromizing* yang terdiri dari *chromium oxide* dan *ammonium chloride* dengan perbandingan tertentu. Adapun perbandingan yang digunakan pada penelitian ini adalah *chromium oxide* (95%) : *ammonium chloride* (5%). Berdasarkan perbandingan tersebut didapatkan jumlah berat campuran serbuk yang digunakan adalah 95 gram, yang terdiri dari 90,25 gram *chromium oxide* dan 4,75 gram

ammonium chloride. Campuran serbuk tersebut harus diaduk terlebih dahulu sebelum digunakan, untuk memastikan komposisi kedua serbuk tersebut merata. Setelah campuran serbuk dipastikan merata, langkah selanjutnya adalah memasukkan ke dalam tabung bersama spesimen baja SS400. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menimbun spesimen menggunakan campuran serbuk tersebut secara padat yang dapat dilihat pada Gambar 3-7. Dalam sekali proses *pack chromizing* menggunakan spesimen yang berjumlah dua buah. Spesimen 1 untuk pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan *vickers*, pengujian metalografi, pengujian keausan. Sedangkan spesimen 2 digunakan untuk pengujian laju korosi.



Gambar 3 - 7 Susunan *Pack Chromizing*

Setelah serbuk dan spesimen tersusun di dalam tabung, tahapan selanjutnya adalah menutup tabung dan melapisi dengan semen tahan api. Pelapisan semen tahan api bertujuan untuk memberikan perlindungan pada daerah pengelasan agar lebih kuat terhadap suhu yang tinggi selama proses pemanasan berlangsung. Selain itu, semen ini digunakan untuk menutup beberapa celah antara tabung dengan tutupnya. Jika pelapisan semen sudah mengering, kemudian memasukkan tabung ke dalam mesin *furnace WiseTherm* untuk proses *pack chromizing*. Proses ini diawali dengan *heating* untuk memulai transformasi mikro struktur spesimen baja dengan temperatur yang ditentukan, Pada penelitian

ini temperatur yang digunakan sebagai parameter adalah 900°C, 1000°C, dan 1100°C, variasi temperatur tersebut dilakukan dalam sekali proses perlakuan panas. Setelah temperatur mencapai parameter yang telah ditentukan, maka dapat dilanjutkan dengan penahanan panas selama 6 jam. Waktu penahanan tersebut dipilih karena memiliki hasil yang optimal pada proses *pack chromizing* berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah mencapai waktu penahanan selama 6 jam, dilanjutkan proses pendinginan. Proses pendinginan ini dilakukan dengan dua metode yaitu proses pendinginan cepat (*quenching*) dan proses pendinginan di dalam *furnace* (*annealing*). Pada proses pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan minyak goreng bekas untuk spesimen dengan perlakuan panas 900°C, 1000°C, dan 1100°C. Sedangkan proses pendinginan di dalam *furnace* (*annealing*) hanya dilakukan satu spesimen dengan temperatur 1000°C. Kedua proses pendinginan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-8 dan Gambar 3-9.

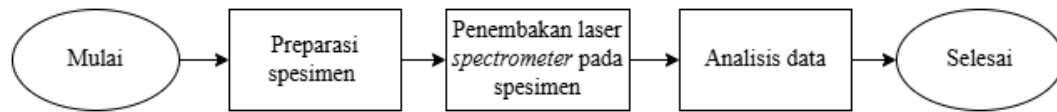


Gambar 3 - 8 Proses *Quenching* Gambar 3 - 9 Proses *Annealing*

3.5 Proses Pengujian Komposisi Kimia

Proses pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan alat *Spectrometer Thermo Scientific* di Laboratorium PT. ITOKOH CEPERINDO. Adapun spesimen yang dilakukan proses pengujian komposisi kimia adalah *raw material* baja SS400, spesimen *quenching* (900°C, 1000°C, dan 1100°C) serta

spesimen *annealing* (1000°C). Adapun alur pengujian dapat dilihat pada Gambar 3-10.



Gambar 3 - 10 Alur Pengujian Komposisi Kimia

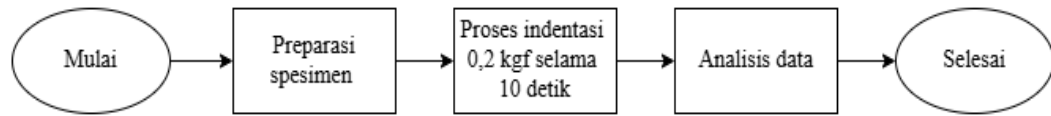


Gambar 3 - 11 Hasil Spesimen Pengujian Komposisi Kimia

3.6 Proses Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat *Olympus Microhardness Vickers* di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat kekerasan spesimen *raw material* dari baja SS400 dan spesimen hasil *pack chromizing*. Permukaan yang diuji merupakan permukaan yang sebelumnya telah digunakan untuk uji komposisi kimia, karena permukaan tersebut sudah melalui proses pengampelasan. Pada pengujian kekerasan, terdapat lima titik penekanan yang berbeda pada permukaan spesimen dengan beban 0,2 kgf. Beban tersebut diberikan melalui indenter piramida intan yang menekan permukaan spesimen selama 10 detik. Hasil penekanan tersebut meninggalkan jejak indenter yang berbentuk belah ketupat, kemudian diukur dengan perhitungan berdasarkan luas jejak indenter dan beban yang diterapkan berdasarkan persamaan rumus (2.1)

untuk menentukan tingkat kekerasannya. Adapun alur pengujian kekerasan *vickers* dapat dilihat pada Gambar 3-12.



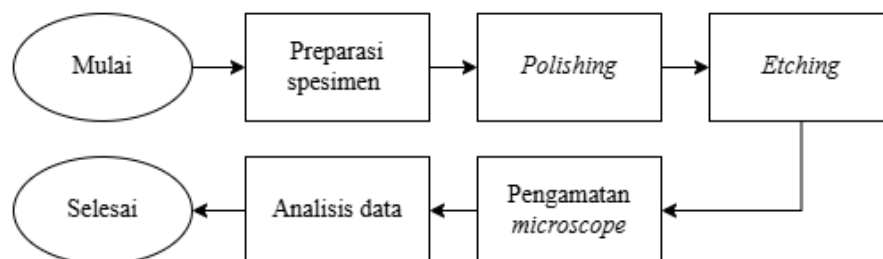
Gambar 3 - 12 Alur Pengujian Kekerasan *Vickers*



Gambar 3 - 13 Proses Pengujian Kekerasan *Vickers*

3.7 Proses Pengujian Metalografi

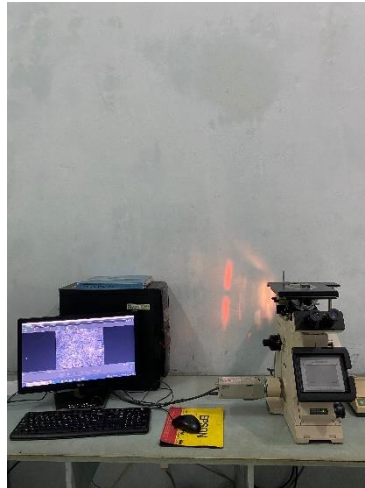
Pengujian metalografi digunakan untuk mengamati struktur mikro pada spesimen, baik yang telah mengalami perlakuan panas *pack chromizing* maupun spesimen dalam kondisi awal (*raw material*). Adapun alur pengujian dapat dilihat pada Gambar 3-14.



Gambar 3 - 14 Alur Pengujian Metalografi

Tahapan ini diawali dengan proses preparasi spesimen yang dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan mesin *grinding Plato*. Spesimen yang berupa *raw material* (tanpa perlakuan panas), pengampelasan dimulai dari tingkat kekasaran kertas ampelas yang paling tinggi yaitu 120 kemudian dilanjutkan secara bertahap dengan grit yang semakin halus yaitu grit 320, 400, 600, 800, 1000, dan 1500. Selama proses ini, arah putaran mesin *grinding Plato* diatur secara bergantian, searah jarum jam (*clockwise*) dan berlawanan arah jarum jam (*counter-clockwise*). Hal ini sama seperti yang dilakukan pada saat proses pengampelasan sebelum perlakuan panas *pack chromizing*. Sedangkan, untuk proses pengampelasan spesimen yang telah mengalami perlakuan panas *pack chromizing* sedikit berbeda. Pengampelasan dimulai dari grit 600, 1000, dan 1500 dikarenakan spesimen tersebut sudah melalui pengampelasan sebelum proses perlakuan panas. Jika pengampelasan dimulai dari grit yang lebih kasar atau dibawah grit 600, maka ada kemungkinan lapisan *chromium* hasil difusi pada permukaan spesimen akan terkikis lebih banyak.

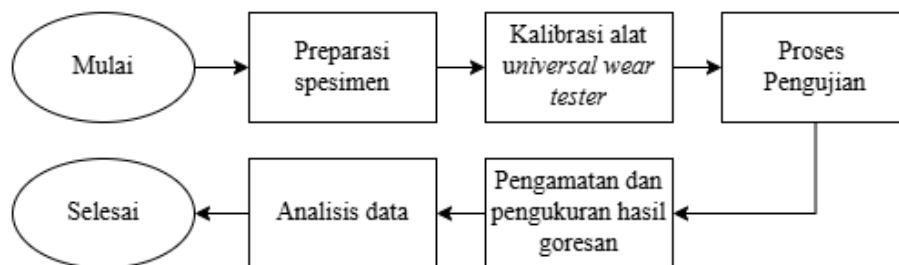
Setelah proses pengampelasan selesai, kemudian dilanjutkan proses *polishing* dengan menggunakan *autosol polish metal*. Proses *polishing* dilakukan secara manual dengan cara mengoleskan autosol pada permukaan spesimen dan digosok - gosokkan dengan menggunakan kain beludru. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan *scratch* (goresan) yang terjadi akibat pengampelasan sehingga permukaan menjadi halus dan mengkilap. Jika permukaan spesimen sudah selesai dipoles, tahap selanjutnya adalah proses pengetsaan (*etching*). Pengetsaan dilakukan selama 5-10 detik menggunakan larutan asam nitrat (HNO_3) dengan konsentrasi 2,5 persen yang digunakan untuk memunculkan batas butir (*grain boundary*) spesimen agar dapat terlihat jelas saat diamati pada mikroskop. Kemudian spesimen dicuci dengan menggunakan sabun atau *detergen* dan dikeringkan dengan alat *drayer*. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan alat *Olympus Optic Microscope* di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada dengan perbesaran lensa optik 200×.



Gambar 3 - 15 Proses Pengujian Metalografi

3.8 Proses Pengujian Keausan

Untuk mengetahui tingkat keausan dari spesimen *pack chromizing* dapat dilakukan dengan melakukan pengujian keausan. Pengujian keausan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada menggunakan alat *Universal Wear Tester* yang memanfaatkan prinsip gesekan antar permukaan spesimen. Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah 6,36 kg dengan jarak pengausan sejauh 15 meter, sehingga permukaan akan membentuk goresan yang dapat diamati oleh *Stero Zoom Microscope*. Nilai keausan dapat dihitung dengan persamaan (2.2). Adapun alur pengujian keausan dapat dilihat pada Gambar 3-16.



Gambar 3 - 16 Alur Pengujian Keausan



Gambar 3 - 17 Proses Pengujian Keausan



Gambar 3 - 18 Pengamatan dan Pengukuran Hasil Goresan

3.9 Proses Pengujian Laju Korosi

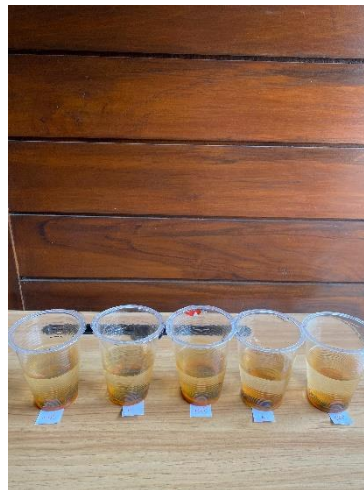
Pengujian laju korosi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui spesimen *raw material* dan hasil *chromizing* mengalami kerusakan akibat adanya reaksi kimia dengan lingkungannya. Pengujian ini dilakukan dengan menghitung penurunan massa spesimen setelah terjadinya korosi. Penurunan massa spesimen menjadi parameter utama dalam menentukan nilai laju korosi. Adapun alur pengujian dapat dilihat pada Gambar 3-19.



Gambar 3 - 19 Alur Pengujian Laju Korosi

Tahapan pengujian ini dimulai dengan menimbang spesimen terlebih dahulu untuk mengetahui massa awal spesimen. Kemudian spesimen dimasukkan ke dalam gelas plastik yang berisi air laut. Air laut yang digunakan diambil dari Pantai Parangtritis, Bantul, Yogyakarta.

Proses perendaman dilakukan selama 40 hari dengan kondisi spesimen terendam penuh dalam air laut, sehingga dapat memastikan terjadinya reaksi korosi pada spesimen. Air laut yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 100 ml. Untuk mengetahui perkembangan laju korosi, dapat dilakukan penimbangan massa spesimen setiap 10 hari. Pada setiap penimbangan, spesimen diambil dari gelas plastik yang berisi air laut. Hasil kehilangan massa dalam pengujian laju korosi ini dihitung dengan menggunakan persamaan rumus (2.3) dan (2.4) yang mempertimbangkan massa awal, massa akhir, waktu pengujian, dan luas permukaan. Sedangkan untuk membandingkan nilai dari hasil perhitungan laju korosi dilakukan berdasarkan Tabel 2-2.



Gambar 3 - 20 Proses Pengujian Laju Korosi

BAB 4





HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini terdapat beberapa jenis pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *pack chromizing* terhadap sifat fisik dan mekanik baja SS400.

4.1 Hasil *Pack Chromizing*

Dari hasil proses *pack chromizing* menghasilkan beberapa spesimen yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 - 1 Hasil Proses *Pack Chromizing*

			
900°C	1000°C	1100°C	1000°C Annealing

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa secara keseluruhan spesimen setelah mengalami *proses pack chromizing* terjadi perubahan warna pada permukaannya yaitu berwarna hitam. Warna hitam yang terlihat pada permukaan setelah proses *pack chromizing* disebabkan oleh pembentukan senyawa *chromium* atau lapisan difusi yang kaya *chromium* pada permukaan. Proses ini melibatkan reaksi kimia *chromium* yang menghasilkan lapisan pelindung dengan karakteristik warna gelap.

Namun spesimen yang mengalami proses *quenching*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4-1 terjadi pengelupasan permukaan. Proses *quenching* akan menurunkan suhu panas yang sangat cepat menyebabkan tegangan termal pada lapisan, sehingga permukaan lapisan terkelupas. Selain itu media minyak goreng bekas ini memiliki kontaminasi sisa - sisa makanan dari hasil

penggorengan yang dapat menempel dan mempengaruhi pada permukaan. Sebaliknya, Jika dibandingkan dengan spesimen yang dilakukan pendinginan di dalam *furnace* secara perlahan (*annealing*). Hasil yang didapatkan dari proses tersebut adalah permukaan lebih halus dan rata tanpa adanya sedikit pengelupasan yang terjadi pada permukaannya.

4.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Berikut beberapa hasil spesimen yang telah dilakukan pengujian komposisi kimia di Laboratorium PT. ITOKOH CEPERINDO.

Tabel 4 - 2 Komposisi Kimia *Raw Material* Baja SS400 dan *Stainless Steel 304*

<i>Raw Material</i>		<i>Stainless Steel 304</i>	
Unsur	Kandungan (%)	Unsur	Kandungan (%)
Fe	98,8709	Fe	71,8838
S	0,0141	S	0,0060
Al	0,0398	Al	0,0071
C	0,1572	C	0,0329
Ni	0,0146	Ni	8,0336
Nb	0,0004	Nb	0,0100
Si	0,0114	Si	0,3965
Cr	0,0231	Cr	18,2291
V	0,0000	V	0,1148
Mn	0,8137	Mn	0,8979
Mo	-0,0013	Mo	0,0085
W	0,0001	W	0,0001
P	0,0134	P	0,0630
Cu	0,0183	Cu	0,0590
Ti	0,0014	Ti	0,0019
N	0,0108	N	0,0137
B	0,0002	B	0,0006
Pb	0,0006	Pb	0,0027
Sb	0,0008	Sb	0,0038
Ca	0,0000	Ca	0,0010
Mg	0,0001	Mg	0,0093
Zn	0,0019	Zn	0,0001
Co	0,0028	Co	0,2591

Kadar *chromium* yang dimiliki baja SS400 sebelum dilakukan proses *pack chromizing* sebesar 0,0231%. Nilai tersebut mengidentifikasi bahwa baja

SS400 tidak tergolong baja tahan karat (*stainless steel*), karena kadar *chromium* pada baja tersebut dibawah batas minimal untuk klasifikasi *stainless steel* yaitu sekitar 10,5%. Sebaliknya, kadar *chromium stainless steel* memiliki nilai yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan baja SS400 tanpa *pack chromizing*. *Raw material* baja SS400 digunakan sebagai acuan dasar dalam penelitian ini untuk membandingkan dengan spesimen yang telah dilakukan *pack chromizing*. Sedangkan *stainless steel* 304 hanya digunakan untuk membandingkan kadar *chromium* dengan baja SS400 tanpa perlakuan *pack chromizing*.

Tabel 4 - 3 Komposisi Kimia 900°C, 1000°C, 1100°C, dan 1000°C (*Annealing*)

900°C		1000°C		1100°C		1000°C (<i>Annealing</i>)	
Unsur	Kandungan (%)	Unsur	Kandungan (%)	Unsur	Kandungan (%)	Unsur	Kandungan (%)
Fe	98,8674	Fe	97,7835	Fe	98,6025	Fe	97,8649
S	0,0494	S	0,0430	S	0,0932	S	0,1364
Al	0,0379	Al	0,0396	Al	0,0375	Al	0,0387
C	0,0503	C	0,0409	C	0,0248	C	0,0669
Ni	0,0355	Ni	0,0298	Ni	0,1230	Ni	0,4878
Nb	-0,0002	Nb	0,0013	Nb	-0,0004	Nb	0,0012
Si	0,0112	Si	0,0112	Si	0,0092	Si	0,0082
Cr	0,0467	Cr	1,2229	Cr	0,2334	Cr	0,5268
V	0,0002	V	0,0007	V	0,0001	V	0,0004
Mn	0,7394	Mn	0,7311	Mn	0,7212	Mn	0,6708
Mo	-0,0008	Mo	-0,0004	Mo	-0,0010	Mo	-0,0005
W	0,0001	W	0,0001	W	0,0001	W	0,0001
P	0,0161	P	0,0145	P	0,0155	P	0,0152
Cu	0,0218	Cu	0,0246	Cu	0,0392	Cu	0,0668
Ti	0,0013	Ti	0,0012	Ti	0,0012	Ti	0,0014
N	0,1070	N	0,0343	N	0,0791	N	0,0329
B	0,0003	B	0,0003	B	0,0005	B	0,0008
Pb	0,0010	Pb	0,0011	Pb	0,0002	Pb	0,0006
Sb	0,0003	Sb	0,0019	Sb	0,0001	Sb	0,0023
Ca	-0,0003	Ca	-0,0001	Ca	-0,0004	Ca	0,0001
Mg	0,0001	Mg	0,0002	Mg	0,0001	Mg	0,0001
Zn	0,0019	Zn	0,0011	Zn	0,0015	Zn	0,0010
Co	0,0078	Co	0,0106	Co	0,0159	Co	0,0669

Berdasarkan hasil proses *pack chromizing* yang ditunjukkan pada Tabel 4-3 terlihat bahwa spesimen baja SS400 mengalami peningkatan kadar *chromium*

dibandingkan dengan sebelum proses perlakuan atau *raw material*. Hal ini menunjukkan bahwa proses *pack chromizing* berhasil meningkatkan kadar *chromium* pada spesimen baja SS400 yang berpotensi meningkatkan sifat dan karakteristik material.

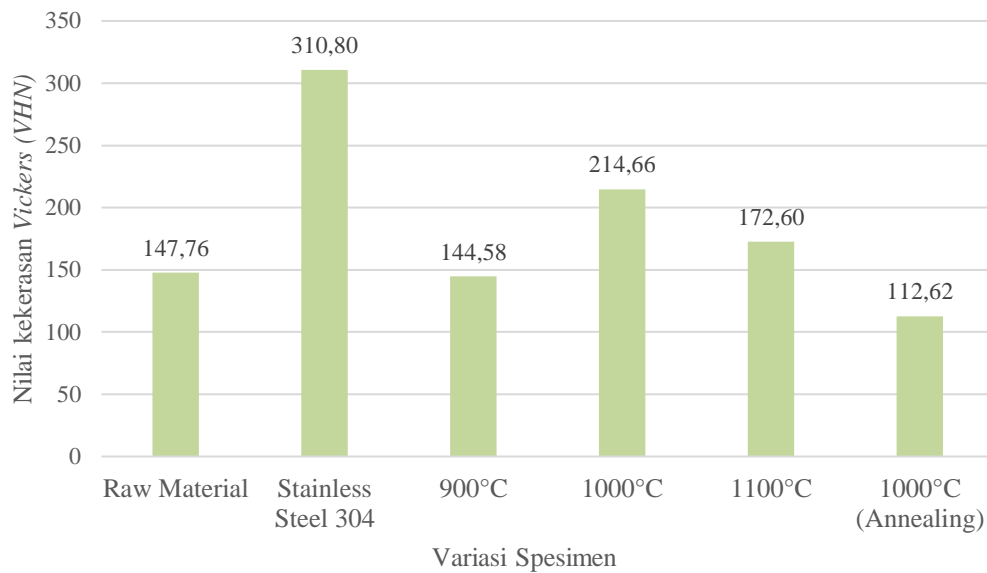
Pada proses *pack chromizing* dengan variasi temperatur, kadar *chromium* tertinggi tercatat pada spesimen yang diproses dengan menggunakan temperatur 1000°C yaitu sebesar 1,2229%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa temperatur 1000°C merupakan kondisi yang optimal untuk difusi *chromium* ke dalam permukaan baja SS400 jika dibandingkan dengan spesimen lainnya. Sebaliknya, kadar *chromium* terendah tercatat pada spesimen dengan temperatur 900°C yang hanya 0,0467%. Selain itu, spesimen proses *pack chromizing* pada temperatur 1100°C menunjukkan kadar *chromium* sebesar 0,2334%, dimana hasil tersebut lebih tinggi dari pada 900°C akan tetapi masih lebih rendah jika dibandingkan pada temperatur 1000°C. Sedangkan pada spesimen dengan proses pendinginan di dalam *furnace (annealing)* temperatur 1000°C kadar *chromium* berada dibawah dari 1000°C dengan proses *quenching* sebesar 0,5268%, namun tetap berada diatas kadar *chromium* spesimen *pack chromizing* dengan temperatur 900°C dan 1100°C.

Rendahnya kadar *chromium* yang ada pada spesimen baja SS400 dengan temperatur tertentu disebabkan oleh proses difusi serbuk *chromium* yang kurang optimal dalam menembus permukaan baja SS400. Difusi merupakan proses perlakuan panas dimana atom - atom dari serbuk *chromium* (pembawa) berpindah dan menembus masuk ke dalam permukaan baja melalui celah - celah atau pori - pori pada struktur spesimen. Pada temperatur yang lebih rendah, panas yang dihasilkan tidak cukup untuk mendukung pergerakan atom - atom *chromium* secara efektif, sehingga mengakibatkan jumlah atom - atom yang mampu terdifusi ke dalam permukaan baja menjadi sangat terbatas. Semakin tinggi temperatur yang digunakan dalam proses *pack chromizing* juga berpengaruh pada hasil difusi *chromium*. Pada temperatur 1100°C pergerakan *chromium* menjadi terlalu cepat sehingga distribusi *chromium* yang terjadi pada permukaan baja SS400 tidak merata, dari hasil tersebut menyebabkan lapisan *chromium* kurang homogen.

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Berdasarkan proses pengujian kekerasan *vickers* dengan menggunakan alat *Olympus Microhardness Vickers* di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, didapatkan nilai kekerasan *vickers* yang dihasilkan dari pengukuran bekas jejak indentasi pada piramida intan 136° berbentuk belah ketupat dengan beban 0,2kgf. Untuk mendapatkan VHN (*Vickers Hardness Number*) dapat menggunakan persamaan rumus (2.1). Berikut salah satu contoh perhitungan spesimen *raw material* baja SS400 yang berada pada titik pengujian pertama.

$$\begin{aligned} HV &= \frac{(1,854) P}{d^2} \\ &= \frac{(1,854) 0,2}{\left(\frac{163,34 + 162,44}{2}\right)^2} \\ &= \frac{0,3708}{(162,89)^2} \\ &= 139,8 \text{ VHN} \end{aligned}$$



Gambar 4 - 1 Hasil Rata - Rata Pengujian Kekerasan *Vickers*

Nilai kekerasan *vickers* dari proses *pack chromizing* menunjukkan perbandingan yang signifikan berdasarkan parameter variasi temperatur yang digunakan. *Raw material* digunakan sebagai pembanding awal spesimen dengan spesimen perlakuan *pack chromizing* yang memiliki nilai sebesar 147,76 VHN. Kekerasan tertinggi spesimen *pack chromizing* terjadi pada temperatur 1000°C yaitu 214,66 VHN, karena pembentukan lapisan *chromium carbide* yang padat dan seragam. Lapisan ini memberikan perlindungan maksimal terhadap deformasi plastis, sehingga meningkatkan kekerasan secara signifikan. Tingginya nilai kekerasan tersebut berbanding terbalik dengan spesimen perlakuan *annealing* meskipun menggunakan temperatur sama yang hanya menghasilkan kekerasan 112,62 VHN. Perbedaan ini terjadi karena *annealing* merupakan proses perlakuan panas dengan pendinginan lambat (di dalam *furnace*) pada spesimen *pack chromizing* yang dapat melunakkan spesimen.

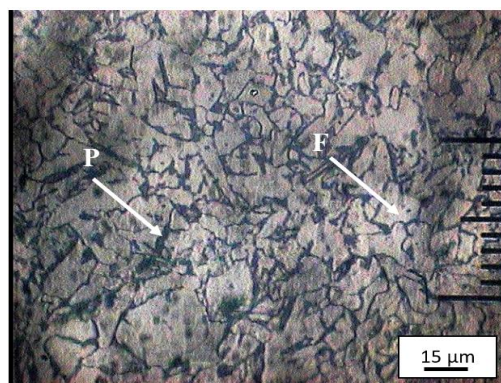
Jika temperatur dinaikkan menjadi 1100°C terjadi penurunan kekerasan pada spesimen *pack chromizing* dengan nilai 172,60 VHN. Semakin tinggi temperatur yang digunakan, struktur material akan mengalami rekristalisasi atau pertumbuhan butir yang sangat besar sehingga dapat mengurangi kekerasan pada spesimen. Akan tetapi jika temperatur diturunkan pada 900°C, spesimen kembali mengalami penurunan tingkat kekerasan yaitu 144,58 VHN. Penurunan

kekerasan pada temperatur tersebut dikarenakan terjadi ketidakstabilan temperatur pada alat *furnace WiseTherm* akibat mati listrik saat proses pemanasan. Maka dari itu stabilitas temperatur selama proses pemanasan sangatlah penting dalam membentuk lapisan yang keras pada spesimen.

Secara keseluruhan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil proses pengujian *vickers*, menunjukkan bahwa menggunakan temperatur 1000°C nilai kekerasan spesimen *pack chromizing* lebih optimal dibandingkan spesimen dengan variasi temperatur lain dan *raw material*. Semakin kecil jejak indentasi yang dihasilkan, maka tingkat kekerasan spesimen tersebut akan semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat dari hasil proses indentasi yang terdapat pada lampiran. Hasil ini juga berbanding lurus dengan hasil penelitian sebelumnya, dengan waktu penahanan 6 jam kekerasan spesimen *pack chromizing* tertinggi diperoleh 1000°C.

4.4 Hasil Pengujian Metalografi

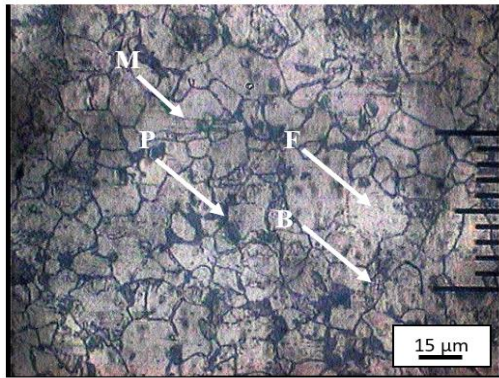
Setelah dilakukan pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan alat *Olympus Optic Microscope* di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada dengan perbesaran lensa optik 200×, didapatkan hasil sebagai berikut.



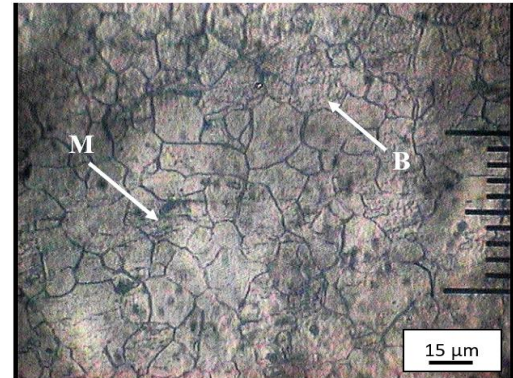
Gambar 4 - 2 *Raw Material* Baja SS400

Proses perlakuan panas yang dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur tertentu akan menghasilkan perubahan fasa yang ada pada baja SS400. Struktur pada spesimen *raw material* yang dapat dilihat pada Gambar 4-2

terdapat *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* memiliki karakteristik berwarna putih dan bersifat lunak. Sedangkan *pearlite* memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan *ferrite* dengan warna hitam, namun *pearlite* yang terdapat pada baja SS400 dengan presentase karbon yang rendah sangat sedikit.



Gambar 4 - 3 900°C



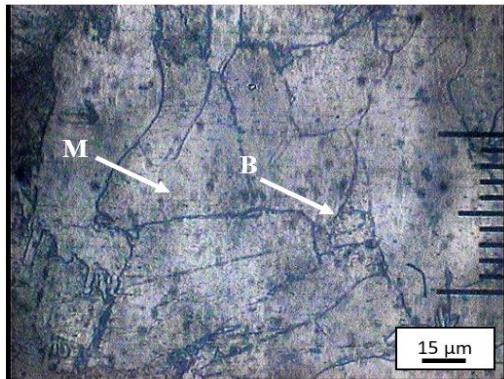
Gambar 4 - 4 1000°C

Pada proses pemanasan 900°C baja SS400, austenisasi belum sepenuhnya maksimal karena masih mendekati batas bawah daerah *austenite* pada baja karbon rendah. Pada suhu ini, struktur keras *martensite* belum sepenuhnya terbentuk sehingga membuat sebagian besar struktur kembali ke *ferrite* dan *pearlite* setelah *quenching*.

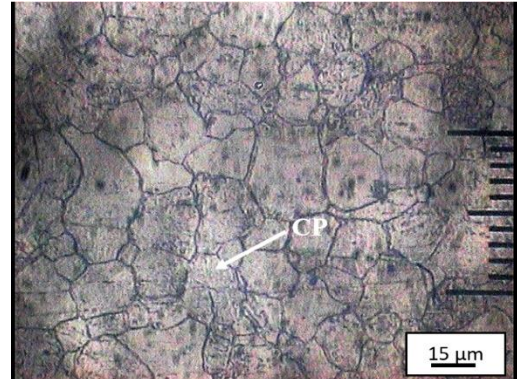
Pada suhu 1000°C, transformasi *austenite* lebih maksimal dibandingkan dengan 900°C dan menghasilkan *austenite* lebih merata. Perubahan yang terjadi setelah dilakukan perlakuan panas adalah terdapat campuran sedikit bainit dan *martensite*. Kandungan *martensite* pada spesimen ini lebih banyak dari pemanasan dengan temperatur yang lebih rendah, sedangkan terbentuknya struktur bainit dikarenakan proses pendinginan dengan minyak goreng bekas. Sedangkan pada perlakuan *annealing* dengan suhu yang sama yaitu 1000°C seperti Gambar 4-6 juga mempengaruhi spesimen. Selama pendinginan yang dilakukan di dalam *furnace*, *austenite* akan berubah menjadi *coarse pearlite* yang sangat lunak dibandingkan *raw material*.

Pada Gambar 4-5 juga menunjukkan adanya perubahan struktur pada spesimen dengan temperatur 1100°C. Suhu tersebut jumlah karbon yang terlarut dalam *austenite* lebih maksimal karena suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat

difusi karbon dan membentuk *martensite*. Semakin tinggi variasi temperatur yang digunakan menyebabkan batas butir spesimen menjadi lebih besar, sehingga akan mempengaruhi karakteristik spesimen tersebut.



Gambar 4 - 5 1100°C

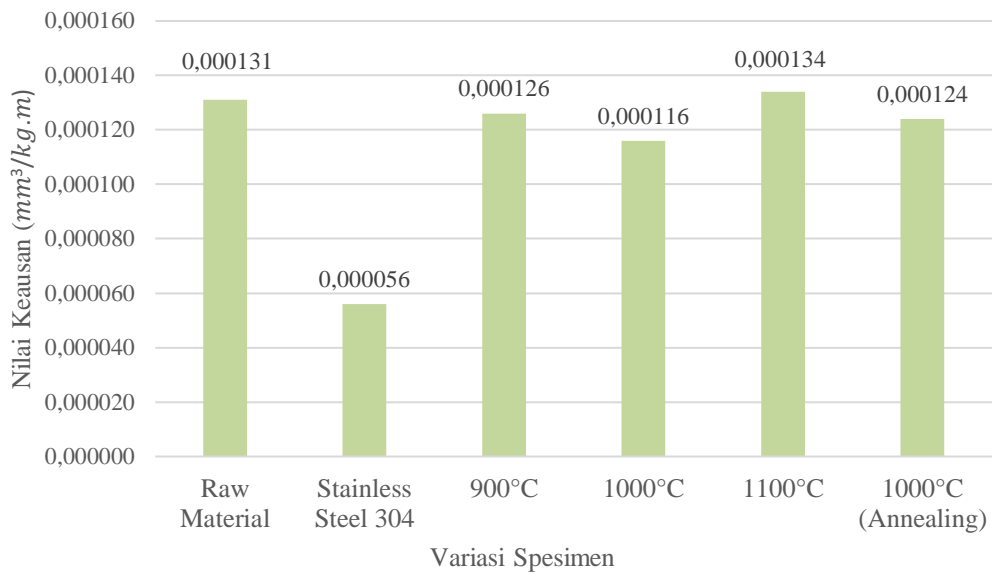


Gambar 4 - 6 1000°C (*Annealing*)

4.5 Hasil Pengujian Keausan

Berdasarkan proses pengujian keausan menggunakan metode *Oghosi* dengan alat *Universal Wear Tester* di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gajah Mada, didapatkan nilai keausan yang dihasilkan dari goresan permukaan spesimen dengan jarak pengaus 15meter dan beban yang diberikan adalah 6,36 kg. Hasil tersebut dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan pada persamaan rumus (2.2). Berikut salah satu contoh hasil perhitungan pada spesimen *raw material* baja SS400 pada pengujian titik pertama.

$$\begin{aligned}
 WS &= \frac{B \times b^3}{8 \times r \times Po \times Lo} \\
 &= \frac{3,45 \times (0,67)^3}{8 \times 13,6 \times 6,36 \times 15} \\
 &= 0,00010 \text{ mm}^3/\text{kg.m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4 - 7 Hasil Rata - Rata Pengujian Keausan Spesimen

Hasil kalkulasi nilai rata - rata dari proses pengujian keausan baja SS400 menunjukkan bahwa spesimen *pack chromizing* dengan temperatur 1000°C memiliki tingkat keausan yang sangat rendah dibandingkan dengan spesimen lainnya sebesar 0,000116 $mm^3/kg.m$. Semakin rendah nilai yang didapatkan dari hasil pengujian, maka akan semakin baik spesimen tersebut terhadap ketahanan aus. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan padat yang kaya *chromium* saat proses pemanasan, yang mampu melindungi permukaan baja dari gesekan. Spesimen dengan perlakuan *annealing* temperatur 1000°C memiliki nilai keausan 0,000124 $mm^3/kg.m$, sedikit lebih tinggi dari pada spesimen 1000°C *quenching* dikarenakan proses *annealing* tidak menciptakan permukaan sekeras yang dihasilkan oleh *pack chromizing* dengan *quenching*.

Pada spesimen *pack chromizing* dengan temperatur 900°C nilai keausan sebesar 0,000126 $mm^3/kg.m$. Dari nilai tersebut dapat dipastikan bahwa spesimen 900°C memiliki tingkat keausan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen 1000°C dan 1000°C (*annealing*) namun tetap lebih tinggi *raw material*. Sedangkan spesimen 1100°C memiliki nilai keausan tertinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya. Meningkatnya nilai keausan tersebut dikarenakan struktur mikro yang dimiliki spesimen tersebut mengalami perbesaran butir dan *martensite* yang mendominasi akibat proses perlakuan panas menghasilkan

struktur yang keras namun rapuh/ getas, sehingga spesimen mudah mengalami keausan. Berdasarkan hasil tersebut jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, tingkat keausan spesimen hasil proses *pack chromizing* memiliki kesamaan, nilai tertinggi diperoleh 1100°C dan terendah pada temperatur 1000°C.

4.6 Hasil Pengujian Laju Korosi

Hasil pengujian laju korosi yang dilakukan terhadap spesimen *raw material* dan *pack chromizing* baja SS400 selama 40 hari dengan media air laut dihasilkan data sebagai berikut.

Tabel 4 - 4 Hasil Penimbangan Spesimen Setiap 10 hari

Spesimen	Massa Awal (gram)	Penimbangan 10 hari ke- (gram)			
		1	2	3	4
<i>Raw Material</i>	39,53	39,48	39,47	39,39	39,37
<i>Stainless Steel 304</i>	49.85	49.85	49.85	49.85	49.85
900°C	44,23	44,19	44,16	44,14	44,10
1000°C	43,53	43,53	43,53	43,48	43,47
1100°C	44,40	44,40	44,39	44,35	44,30
1000°C (<i>Annealing</i>)	41,27	41,27	41,27	41,21	41,18

Dari hasil penimbangan massa yang ditunjukkan pada Tabel 4-4 dapat dihitung menggunakan persamaan (2-3) untuk mengetahui tingkat laju korosi yang terjadi. Berikut salah satu contoh perhitungan pada spesimen *raw material* pada penimbangan 10 hari pertama.

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{K \times W}{D \times A \times T} \\
 &= \frac{(8,76 \times 10^4) \times 0,05}{7,85 \times 20,13 \times 240} \\
 &= 0,115 \text{ mmpy}
 \end{aligned}$$

Tabel 4 - 5 Nilai Laju Korosi Spesimen

Spesimen	Corrosion Rate 10 hari ke- (mmpy)				Average
	1	2	3	4	
<i>Raw Material</i>	0,115	0,023	0,184	0,046	0,092
<i>Stainless Steel 304</i>	0	0	0	0	0
900°C	0,086	0,064	0,043	0,086	0,070
1000°C	0	0	0,107	0,021	0,032
1100°C	0	0,021	0,085	0,106	0,053
1000°C (<i>Annealing</i>)	0	0	0,111	0,066	0,044

Berdasarkan hasil perhitungan, spesimen *pack chromizing* pada temperatur 1000°C menunjukkan nilai laju korosi terendah sebesar 0,032 mmpy. Rendahnya nilai laju korosi yang dihasilkan menandakan bahwa spesimen tersebut tahan terhadap serangan korosi. Peningkatan ketahanan korosi memiliki korelasi dengan kandungan *chromium* yang dihasilkan dari proses *pack chromizing*. Hal ini berbanding lurus dengan penelitian (Dong dkk., 2019) semakin tinggi nilai ketahanan korosi pada spesimen, maka semakin banyak kandungan *chromium* yang terdapat pada spesimen tersebut. Jika dilihat Tabel 4-6, *raw material* dan spesimen *pack chromizing* dengan pengujian laju korosi selama 40 hari memiliki tingkat ketahanan korosi baik sekali (*Excellent*). Fenomena yang terjadi akibat adanya pengujian laju korosi menunjukkan bahwa baja SS400 dengan *pack chromizing* dapat meningkatkan ketahanan korosi pada aplikasi lingkungan korosif dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan.

Tabel 4 - 6 Tingkat Ketahanan Korosi

Relative Corrosion Resistance	Standart (mmpy)	Corrosion Rate (mmpy)					
		Raw Material	Stainless Steel304	900°C	1000°C	1100°C	1000°C (<i>Annealing</i>)
<i>Outstanding</i>	<0.02		0				
<i>Excellent</i>	0.02-0.1	0,092		0,070	0,032	0,053	0,044
<i>Good</i>	0.1-0.5						
<i>Fair</i>	0.5-1						
<i>Poor</i>	1-5						
<i>Unacceptable</i>	5+						

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, bahwa variasi temperatur pada proses *pack chromizing* mempengaruhi sifat fisik dan mekanik baja SS400. Kandungan *chromium* spesimen *pack chromizing* mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan raw material yang hanya 0,0231%, sedangkan presentase tertinggi terjadi pada 1000°C sebesar 1,2229%. Struktur mikro yang dihasilkan pada proses ini mengalami perubahan, adanya peningkatan temperatur menyebabkan transformasi dari austenisasi menjadi *martensite* dan terjadi perbesaran batas butir. *Raw material* memiliki kekerasan 147,76 VHN, peningkatan kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 1000°C sebesar 214,66 VHN, namun mengalami penurunan 112,62 VHN pada spesimen yang diberi perlakuan *annealing*. Pada pengujian keausan, tingkat keausan terendah diperoleh spesimen temperatur 1000°C sebesar 0,000116 $mm^3/kg.m$, nilai tersebut diperoleh akibat adanya penurunan tingkat keausan 11,45% dari *raw material*. Selain itu, dalam pengujian laju korosi nilai tertinggi terjadi pada *raw material* 0,092 *mmpy*. Secara keseluruhan dari hasil pengujian laju korosi spesimen *pack chromizing* mengalami penurunan laju korosi, dengan nilai terendah 0,032 *mmpy* pada spesimen 1000°C yang menurunkan laju korosi 65,22% dari *raw material*.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, ada beberapa saran dari penulis untuk mendukung penelitian lebih lanjut, diantaranya:

1. Spesimen *pack chromizing* dapat diperbanyak, sehingga dalam proses pengujian tidak mengalami keterbatasan spesimen.
2. Penggunaan serbuk *pack chromizing* sebaiknya digunakan sekali pakai dalam proses pemanasan (*heat treatment*).

3. Perlunya penambahan pengujian dengan menggunakan SEM (*Scanning Electronic Microscope*) untuk mengetahui tingkat ketebalan lapisan yang terjadi akibat proses *pack chromizing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R. (2015). Pengaruh Beda Media Pendingin pada Proses Hardening Terhadap Kekerasan Baja Pegas Daun. *Poros Teknik*, 7(1), 1–53.
- Afandi, Y. K., Arief, I. S., & Hakim, J. A. R. (2015). Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1).
- Andreansyah, M., Anjani, R. D., & Naubnome, V. (2024). Pengaruh Proses Heat Treatment (Quenching dan Tempering) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah. *Jurnal Serambi Engineering*, IX, 7864–7872.
- Bayuseno, A. P. (2009). Analisa Laju Korosi pada Baja untuk Material Kapal dengan dan Tanpa Perlindungan Cat. *Rotasi*, 11(3).
- Bhakti, D. G., Haryadi, G. D., & Umardani, Y. (2013). Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Hasil Las Titik dan Brazing untuk Industri Rumahan. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 1(2). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Callister, W. D. (2001). *Fundamentals of materials science and engineering: An interactive etext*. Wiley.
- Dong, Z., Zhou, T., Liu, J., Zhang, X., Shen, B., Hu, W., & Liu, L. (2019). Effects of pack chromizing on the microstructure and anticorrosion properties of 316L stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 366, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.03.022>
- Dwivedi, S. K., Vishwakarma, M., & Soni, Prof. A. (2018). Advances and Researches on Non Destructive Testing: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3690–3698. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.620>
- Fontana, M. G. (1910). *Corrosion Engineering* (Third Edition). McGraw-Hill Book Company.
- Gandy, D. (2007). Carbon Steel Handbook 世界碳钢手册. *Electric Power Research Institute (EPRI)*, 1–172.

- Jordi, M., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro*, 5(1).
- Kumayasari, M. F., & Sultoni, A. I. (2017). Studi Uji kekerasan Rockwell Superficial vs Micro Vickers. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2(2). <https://doi.org/10.36048/jtpii.v2i2.789>
- Kusuma, M. H. (2017). Effect of Quenching-Partitioning Time on Mechanical Properties and Microstructure of AISI 51B60 and AISI 9260 Scrap-Steels. *Mechanical Engineering Department Faculty of Industrial Engineering Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*. https://repository.its.ac.id/45889/7/2115105013-Undergraduate_Theses.pdf
- Liu, S., Yang, J., Liang, X., Sun, Y., Zhao, X., & Cai, Z. (2022). Investigation of the Preparation, Corrosion Inhibition, and Wear Resistance of the Chromized Layer on the Surfaces of T9 and SPCC Steels. *Materials*, 15(22), 7902. <https://doi.org/10.3390/ma15227902>
- Malage, A., Rege, P. P., & Rathod, M. J. (2015). Automatic quantitative analysis of microstructure of ductile cast iron using digital image processing. *Metallurgical and Materials Engineering*, 21(3), 155–166. <https://doi.org/10.30544/77>
- Najamudin, N., & Prawoto, B. (2016). Peningkatan Kualitas Kekuatan Bahan Plat Dinding Corong Tuang (Hopper) Melalui Proses Chromizing Untuk Meningkatkan Jumlah Produksi Batu Bara. *Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Univesitas Bandar Lampung*, 2, 1–66.
- Oktaviandy, N. R., Kardiman, K., & Hanifi, R. (2023). Effect of Preheat Temperature Variation with Cooling Media on Mechanical Properties in Welding SS400 Steel. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 17(2), 130. <https://doi.org/10.24853/sintek.17.2.130-142>
- Pang, X., Gao, K., Luo, F., Yang, H., Qiao, L., Wang, Y., & Volinsky, A. A. (2008). Annealing effects on microstructure and mechanical properties of


- chromium oxide coatings. *Thin Solid Films*, 516(15), 4685–4689.
<https://doi.org/10.1016/j.tsf.2007.08.083>
- Pang, X., Gao, K., Yang, H., Qiao, L., Wang, Y., & Volinsky, A. A. (2007). Interfacial Microstructure of Chromium Oxide Coatings. *Advanced Engineering Materials*, 9(7), 594–599.
<https://doi.org/10.1002/adem.200700057>
- Priatama, A. A. (2014). Pengaruh Temperatur Quench Terhadap Laju Korosi dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja Keylos 50. *Jurnal Nosel*, 3(1).
- Putri, F., Effendi, S., Sampurno, R. D., & Gumay, M. F. (2021). Pengaruh Quenching Media Pendingin Minyak Goreng Bekas terhadap Kekerasan Baja S45C yang Telah di Pack Carburizing. *Jurnal Austenit*, 13(2).
- Rifnaldi, R. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas Hardening dan Tempering terhadap Kekerasan (Hardness) Baja AISI 1045. *Ranah Research*, 1(4).
- Romijarso, T. B. (2013). Perbandingan Kekerasan dan Ketahanan Abrasi Proses Pelapisan Kromisasi, Boronisasi, dan Vanadisasi pada Besi Cor Kelabu. *Majalah Metalurgi*, 28(3), 167–176.
- Saputra, E. B. (2023). *Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan pada Baja Karbon Sedang St60. 1.*
<https://doi.org/10.38035/jgit.v1i1>
- Sasmito, A., Soemardi, T. P., Setyono, H., & Farid, A. R. (2019). Analisa Kerusakan dan Perancangan Tambahan Konstruksi Penguat untuk Peningkatan Kekuatan Batang Lintang dengan Trial and Error Menggunakan Metoda Elemen Hingga. *Material Komponen dan Konstruksi*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.29122/mkk.v13i1.1654>
- Siregar, A. (2000). Pengaruh Struktur Mikro Lapisan Chromized Pada Baja 42CrM04 Terhadap Kelakuan Fatik. *Fakultas Teknik Medan Area*, 64 Halaman.
- Sukrawan, Y. (2016). Analisis Variasi Waktu Proses Hard Chrome terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan pada Besi Cor Kelabu. *Torsi*, 1(1).
- Sundari, E. (2019). Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan pada Chromizing Baja ST 37. *Jurnal Austenit*, 11(2).

- Syahril, A., & Anggara, M. (2022). Analisis Laju Keausan dan Umur Pakai Material High Chrome Pada Segment Tire Grinding Roll Vertical Roller Mill Atox Mill 57.5 di PT XYZ. *JURNAL FLYWHEEL*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.36040/flywheel.v13i1.4742>
- Syaifullah, M., Subhan, M., & Juanda, J. (2021). Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST 60. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(8), 1555–1569. <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i8.292>
- Zayadi, A., Sungkono, Masyhudi, & T, E. S. (2022). Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja s45c Pasca Quenching pada 950°C dan Tempering 500°C. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 7(1). <https://doi.org/10.35894/jtk.v7i1.53>


LAMPIRAN

1. Pengujian Komposisi Kimia


a. Raw Material Baja SS400



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : SAMPLE RW EAJA
 CUSTOMER : Sdr. IQEAL MILFIN
 FURNACE : CI0357B01/14
 OPERATOR : FIYAN
 DATE / TIME : 03-SEP-2024 09:53:01
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

By:  Date: 03/24/2024

	Fe*	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98,8515	0,0141	0,0395	0,1632	0,0173	0,0002	0,0117
2	98,8903	0,0141	0,0401	0,1512	0,0113	0,0004	0,0110
AVG	98,8709	0,0141	0,0398	0,1572	0,0146	0,0004	0,0114
<i>SD</i>	<i>0,02744</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,00042</i>	<i>0,00844</i>	<i>0,00383</i>	<i>0,00002</i>	<i>0,00050</i>
<i>SD%</i>	<i>0,03</i>	<i>0,04</i>	<i>1,05</i>	<i>5,37</i>	<i>26,31</i>	<i>9,91</i>	<i>4,35</i>

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0,0285	0,0001	0,8176	-0,0012	0,0001	0,0142	0,0185
2	0,0178	-0,0000	0,8098	-0,0014	0,0001	0,0144	0,0182
AVG	0,0231	0,0000	0,8137	-0,0013	0,0001	0,0143	0,0183
<i>SD</i>	<i>0,00756</i>	<i>0,00009</i>	<i>0,00552</i>	<i>0,00016</i>	<i>0,00000</i>	<i>0,00013</i>	<i>0,00026</i>
<i>SD%</i>	<i>32,68</i>	<i>253,04</i>	<i>0,68</i>	<i>11,99</i>	<i>0,00</i>	<i>0,92</i>	<i>1,41</i>

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0,0014	0,0103	0,0002	0,0003	0,0011	-0,0000	0,0001
2	0,0014	0,0103	0,0002	0,0004	0,0005	-0,0000	0,0001
AVG	0,0014	0,0103	0,0002	0,0003	0,0008	-0,0000	0,0001
<i>SD</i>	<i>0,00004</i>	<i>0,00000</i>	<i>0,00002</i>	<i>0,00031</i>	<i>0,00043</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,00000</i>
<i>SD%</i>	<i>3,13</i>	<i>0,01</i>	<i>11,95</i>	<i>50,18</i>	<i>52,19</i>	<i>25,78</i>	<i>0,00</i>

	Zn	Co
1	0,0019	0,0029
2	0,0019	0,0027
AVG	0,0019	0,0028
<i>SD</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,00014</i>
<i>SD%</i>	<i>0,53</i>	<i>5,02</i>

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417
 Jawa Tengah - Indonesia
 Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213
JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motoyu, Kawaguchi City, Saitama, Japan
 Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

b. *Stainless Steel 304*



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : SAMPLE RW 33
 CUSTOMER : Sdr. IQBAL MILFAN
 FURNACE : CI0357B01/13
 OPERATOR : FIYAN
 DATE / TIME : 03-SEP-2024 09:49:21
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE



	Fe%	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	71,8867	0,0061	0,0067	0,0335	8,0330	0,0100	0,3957
2	71,8803	0,0060	0,0076	0,0323	8,0342	0,0099	0,3972
AVG	71,8838	0,0060	0,0071	0,0329	8,0336	0,0100	0,3965
<i>SD</i>	<i>0,00406</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,00064</i>	<i>0,00086</i>	<i>0,00085</i>	<i>0,00003</i>	<i>0,00108</i>
<i>SD%</i>	<i>0,01</i>	<i>0,19</i>	<i>9,01</i>	<i>2,61</i>	<i>0,01</i>	<i>0,27</i>	<i>0,27</i>

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	18,2316	0,1146	0,8970	0,0085	0,0001	0,0361	0,0591
2	18,2267	0,1150	0,8989	0,0084	0,0001	0,0358	0,0590
AVG	18,2291	0,1148	0,8979	0,0085	0,0001	0,0360	0,0590
<i>SD</i>	<i>0,00343</i>	<i>0,00033</i>	<i>0,00129</i>	<i>0,00006</i>	<i>0,00000</i>	<i>0,00026</i>	<i>0,00011</i>
<i>SD%</i>	<i>0,02</i>	<i>0,29</i>	<i>0,14</i>	<i>0,76</i>	<i>0,00</i>	<i>0,72</i>	<i>0,18</i>

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0,0018	0,0107	0,0006	0,0026	0,0037	0,0009	0,0093
2	0,0019	0,0167	0,0006	0,0029	0,0038	0,0010	0,0093
AVG	0,0019	0,0137	0,0006	0,0027	0,0038	0,0010	0,0093
<i>SD</i>	<i>0,00002</i>	<i>0,00425</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,00020</i>	<i>0,00006</i>	<i>0,00010</i>	<i>0,00005</i>
<i>SD%</i>	<i>0,83</i>	<i>31,09</i>	<i>1,05</i>	<i>7,34</i>	<i>1,58</i>	<i>10,27</i>	<i>0,54</i>

	Zn	Co
1	0,0001	0,2593
2	0,0001	0,2589
AVG	0,0001	0,2591
<i>SD</i>	<i>0,00000</i>	<i>0,00026</i>
<i>SD%</i>	<i>0,00</i>	<i>0,10</i>

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417
 Jawa Tengah - Indonesia

Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213

JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan

Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

c. Spesimen Pack Chromizing 900°C



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : BAJA S3400 900C
 CUSTOMER : Sdr. Iqbal dan Milfin
 FURNACE : CK1405A01/30
 OPERATOR : FIYAN
 DATE / TIME : 14-NOV-2024 15:44:43
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

QC PASSED
 By: *[Signature]* Date: 14/11/24

	Fe%	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98,8692	0,0697	0,0379	0,0404	0,0159	-0,0002	0,0111
2	98,8715	0,0291	0,0378	0,0602	0,0552	-0,0002	0,0114
AVG	98,8674	0,0494	0,0379	0,0503	0,0355	-0,0002	0,0112
SD	0,00537	0,02871	0,00002	0,01398	0,02794	0,00009	0,00018
SD%	0,01	58,14	0,06	27,78	78,94	41,98	1,56
	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0,0729	0,0003	0,7293	-0,0007	0,0001	0,0163	0,0241
2	0,0205	0,0002	0,7494	-0,0009	0,0001	0,0160	0,0194
AVG	0,0467	0,0002	0,7394	-0,0008	0,0001	0,0161	0,0218
SD	0,03707	0,00007	0,01422	0,00010	0,00000	0,00017	0,00330
SD%	79,97	52,16	1,92	12,16	0,00	1,08	15,18
	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Hg
1	0,0013	0,1002	0,0003	0,0010	0,0002	-0,0003	0,0001
2	0,0013	0,1137	0,0002	0,0010	0,0003	-0,0003	0,0001
AVG	0,0013	0,1070	0,0003	0,0010	0,0003	-0,0003	0,0001
SD	0,00000	0,00952	0,00010	0,00006	0,00005	0,00000	0,00000
SD%	0,05	9,90	41,25	5,66	19,19	1,08	0,00
	Zn	Co					
1	0,0019	0,0089					
2	0,0020	0,0067					
AVG	0,0019	0,0078					
SD	0,00005	0,00154					
SD%	2,70	19,84					

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417

Jawa Tengah - Indonesia

Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213

CS Dipindai dengan *[QR]*
 JAPAN OFFICE

: 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan

Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

d. Spesimen Pack Chromizing 1000°C



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : BAJA 33400 1000C
 CUSTOMER : Sdr. Iqbal Muhammad Firdaus
 FURNACE : CJ1615E01/10
 OPERATOR : SRI LANJAR
 DATE / TIME : 16-OCT-2024 14:42:58
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

By: *[Signature]* Date: 16/10/24

	Fe%	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98.0752	0.0256	0.0402	0.0259	0.0253	0.0012	0.0112
2	97.4918	0.0504	0.0391	0.0559	0.0342	0.0013	0.0112
AVG	97.7835	0.0430	0.0396	0.0409	0.0298	0.0013	0.0112
<i>SD</i>	<i>0.41253</i>	<i>0.01047</i>	<i>0.00077</i>	<i>0.02122</i>	<i>0.00624</i>	<i>0.00004</i>	<i>0.00003</i>
<i>SD%</i>	<i>0.42</i>	<i>24.34</i>	<i>1.94</i>	<i>51.83</i>	<i>20.97</i>	<i>2.93</i>	<i>0.29</i>

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.9462	0.0006	0.7461	-0.0006	0.0001	0.0144	0.0233
2	1.4995	0.0008	0.7141	-0.0003	0.0001	0.0147	0.0260
AVG	1.2229	0.0007	0.7311	-0.0004	0.0001	0.0145	0.0246
<i>SD</i>	<i>0.39123</i>	<i>0.00016</i>	<i>0.02400</i>	<i>0.00020</i>	<i>0.00000</i>	<i>0.00022</i>	<i>0.00155</i>
<i>SD%</i>	<i>31.99</i>	<i>23.27</i>	<i>3.29</i>	<i>44.85</i>	<i>0.00</i>	<i>1.49</i>	<i>7.52</i>

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0013	0.0316	0.0003	0.0013	0.0019	-0.0001	0.0001
2	0.0012	0.0369	0.0003	0.0010	0.0019	-0.0001	0.0004
AVG	0.0012	0.0343	0.0003	0.0011	0.0019	-0.0001	0.0002
<i>SD</i>	<i>0.00005</i>	<i>0.00376</i>	<i>0.00004</i>	<i>0.00017</i>	<i>0.00007</i>	<i>0.00001</i>	<i>0.00019</i>
<i>SD%</i>	<i>4.18</i>	<i>10.98</i>	<i>11.55</i>	<i>14.48</i>	<i>3.49</i>	<i>4.60</i>	<i>78.86</i>

	En	Co
1	0.0012	0.0086
2	0.0009	0.0125
AVG	0.0011	0.0106
<i>SD</i>	<i>0.00026</i>	<i>0.00276</i>
<i>SD%</i>	<i>24.30</i>	<i>26.14</i>

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417

Jawa Tengah - Indonesia

Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213

: 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan

Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

CS Dipindai dengan
JAPAN OFFICE

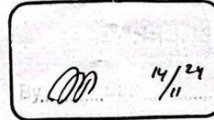
e. Spesimen Pack Chromizing 1100°C



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : BAJA 33400 1100C
 CUSTOMER : Sdr. Iqbal dan Milfin
 FURNACE : CK1405A01/30
 OPERATOR : FIYAN
 DATE / TIME : 14-NOV-2024 15:41:33
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE



	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98,5223	0,1058	0,0378	0,0254	0,1439	-0,0004	0,0089
2	98,6827	0,0806	0,0371	0,0242	0,1021	-0,0004	0,0094
AVG	98,6025	0,0932	0,0375	0,0248	0,1230	-0,0004	0,0092
SD	0,11341	0,01779	0,00054	0,00085	0,02959	0,00004	0,00032
SD%	0,12	19,09	1,45	3,44	24,05	9,65	3,50

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0,2761	0,0002	0,7172	-0,0009	0,0001	0,0156	0,0434
2	0,1907	0,0001	0,7252	-0,0012	0,0001	0,0153	0,0350
AVG	0,2334	0,0001	0,7212	-0,0010	0,0001	0,0155	0,0392
SD	0,06040	0,00008	0,00565	0,00018	0,00000	0,00025	0,00594
SD%	25,88	71,18	0,78	16,92	0,00	1,68	15,15

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0,0012	0,0789	0,0006	0,0003	0,0001	-0,0004	0,0001
2	0,0012	0,0793	0,0004	0,0000	0,0001	-0,0004	0,0001
AVG	0,0012	0,0791	0,0005	0,0002	0,0001	-0,0004	0,0001
SD	0,00002	0,00027	0,00011	0,00019	0,00000	0,00001	0,00000
SD%	1,56	0,34	23,45	112,28	0,00	1,97	0,00

	Zn	Co
1	0,0015	0,0184
2	0,0016	0,0133
AVG	0,0015	0,0159
SD	0,00003	0,00356
SD%	4,95	22,45

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417
 Jawa Tengah - Indonesia

Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213
 JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan
 Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

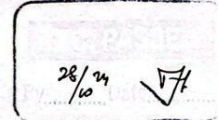
f. Spesimen Pack Chromizing 1000°C (Annealing)



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : BAJA 33 400 (1000 C)
 CUSTOMER : IQBAL / MILFIN
 FURNACE : CJ2840B01/46
 OPERATOR : SRI LANJAR
 DATE / TIME : 28-OCT-2024 11:16:42
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE



	Fe%	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	97,7957	0,1367	0,0389	0,0721	0,5119	0,0013	0,0079
2	97,9341	0,1362	0,0385	0,0613	0,4637	0,0011	0,0085
AVG	97,8649	0,1364	0,0387	0,0669	0,4878	0,0012	0,0082
<i>SD</i>	<i>0,09790</i>	<i>0,00039</i>	<i>0,00029</i>	<i>0,00722</i>	<i>0,03406</i>	<i>0,00013</i>	<i>0,00042</i>
<i>SD%</i>	<i>0,10</i>	<i>0,28</i>	<i>0,74</i>	<i>10,79</i>	<i>6,98</i>	<i>10,59</i>	<i>5,12</i>

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0,5630	0,0004	0,6634	-0,0004	0,0001	0,0148	0,0701
2	0,4906	0,0003	0,6781	-0,0006	0,0001	0,0155	0,0635
AVG	0,5268	0,0004	0,6708	-0,0005	0,0001	0,0152	0,0668
<i>SD</i>	<i>0,05121</i>	<i>0,00003</i>	<i>0,01039</i>	<i>0,00014</i>	<i>0,00000</i>	<i>0,00050</i>	<i>0,00466</i>
<i>SD%</i>	<i>9,72</i>	<i>22,48</i>	<i>1,55</i>	<i>27,61</i>	<i>0,00</i>	<i>3,32</i>	<i>6,98</i>

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0,0014	0,0359	0,0009	0,0009	0,0024	0,0001	0,0001
2	0,0013	0,0300	0,0008	0,0003	0,0023	0,0002	0,0001
AVG	0,0014	0,0329	0,0008	0,0006	0,0023	0,0001	0,0001
<i>SD</i>	<i>0,00003</i>	<i>0,00413</i>	<i>0,00005</i>	<i>0,00047</i>	<i>0,00010</i>	<i>0,00003</i>	<i>0,00000</i>
<i>SD%</i>	<i>2,43</i>	<i>12,58</i>	<i>6,27</i>	<i>77,24</i>	<i>4,28</i>	<i>73,96</i>	<i>0,00</i>

	Zn	Co
1	0,0009	0,0706
2	0,0010	0,0632
AVG	0,0010	0,0669
<i>SD</i>	<i>0,00007</i>	<i>0,00526</i>
<i>SD%</i>	<i>7,10</i>	<i>7,86</i>

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417
 Jawa Tengah - Indonesia

JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan
 Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213
 Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

2. Pengujian Kekerasan

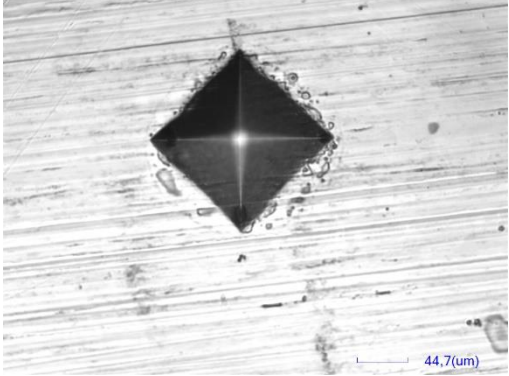
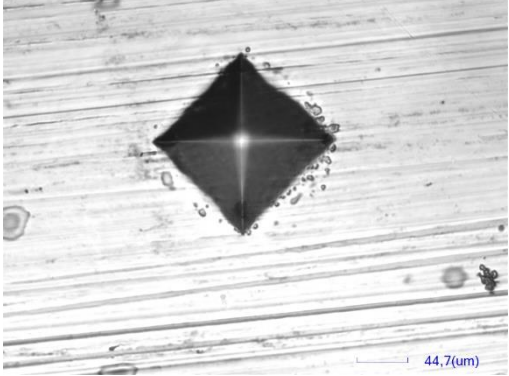

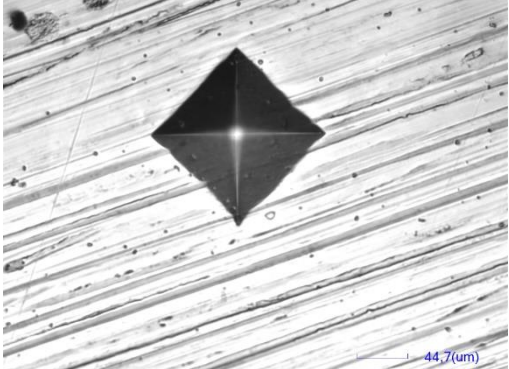
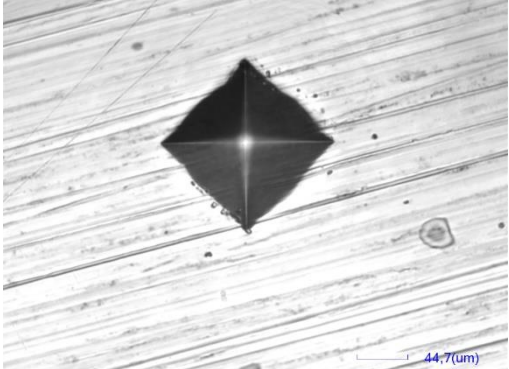
a. *Raw Material* Baja SS400

Report

Sample Name	<i>Raw Material</i>	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2024/10/24
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
5	158,30	139,80	147,76	42,91	6,55	25,44	7,52

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Convett type	Convett value	Qualified
1	163,34	162,44	162,89	HV0.2	139,8	HV	139,8	YES
2	162,44	160,20	161,32	HV0.2	142,5	HV	142,5	YES
3	157,52	160,20	158,86	HV0.2	147,0	HV	147,0	YES
4	155,28	157,97	156,62	HV0.2	151,2	HV	151,2	YES
5	153,49	152,60	153,04	HV0.2	158,3	HV	158,3	YES

	
139,8	142,5
	
147,0	151,2
	
158,3	


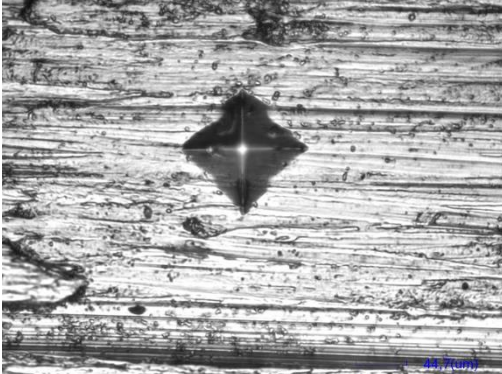
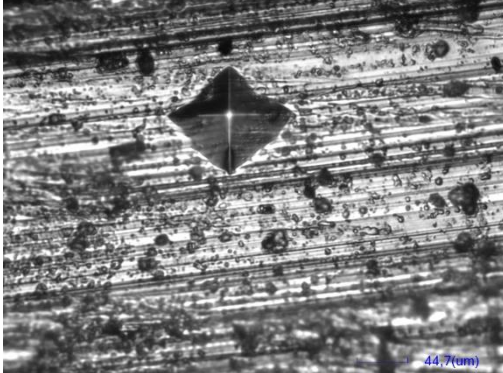
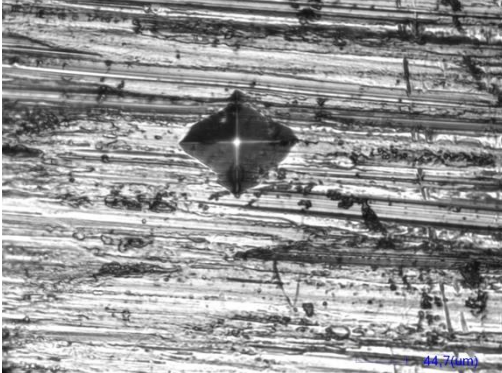
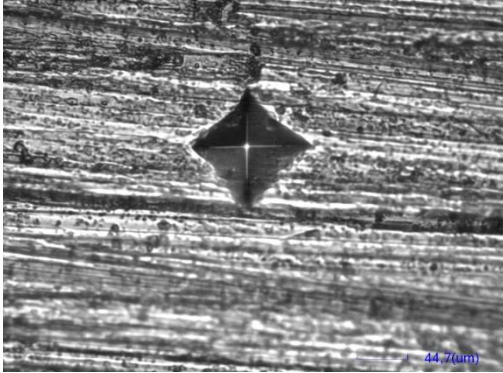
b. *Stainless Steel 304*

Report

Sample Name	<i>Stainless Steel 304</i>	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2024/12/20
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
5	353,20	254,10	310,80	1278,25	35,75	4,66	2,90

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Convet type	Convet value	Qualified
1	113,22	128,43	120,82	HV0.2	254,1	HV	254,1	YES
2	113,66	111,87	112,77	HV0.2	291,7	HV	291,7	YES
3	111,43	96,66	104,04	HV0.2	342,6	HV	342,6	YES
4	107,85	97,11	102,48	HV0.2	353,2	HV	353,2	YES
5	108,74	109,19	108,96	HV0.2	312,4	HV	312,4	YES

 <p>44,7(um)</p>	 <p>44,7(um)</p>
<p>254,1</p>	<p>291,7</p>
 <p>44,7(um)</p>	 <p>44,7(um)</p>
<p>342,6</p>	<p>353,2</p>
 <p>44,7(um)</p>	
<p>312,4</p>	


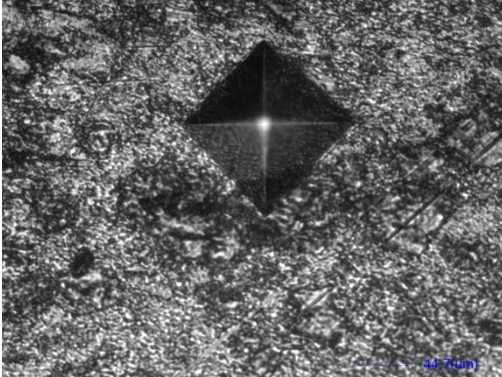
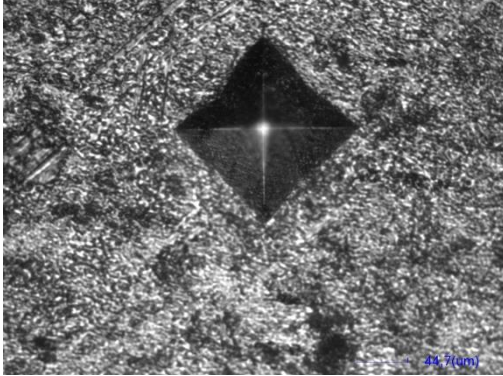
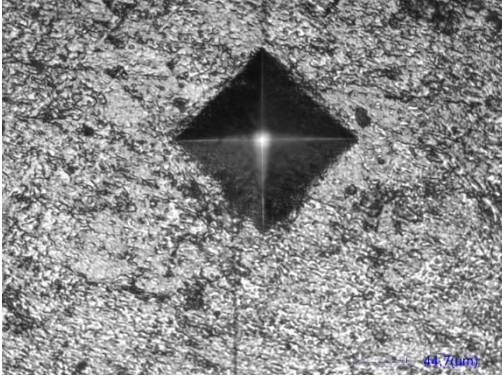

d. Spesimen Pack Chromizing 900°C

Report

Sample Name	Temperatur 900°C	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2024/11/21
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
5	152,10	141,30	144,58	15,96	4,00	41,72	12,06

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Convett type	Convett value	Qualified
1	161,10	162,89	161,99	HV0.2	141,3	HV	141,3	YES
2	153,94	158,41	156,18	HV0.2	152,1	HV	152,1	YES
3	161,55	162,44	161,99	HV0.2	141,3	HV	141,3	YES
4	158,41	163,34	160,87	HV0.2	143,3	HV	143,3	YES
5	157,97	161,99	159,98	HV0.2	144,9	HV	144,9	YES

	
141,3	152,1
	
141,3	143,3
	
144,9	

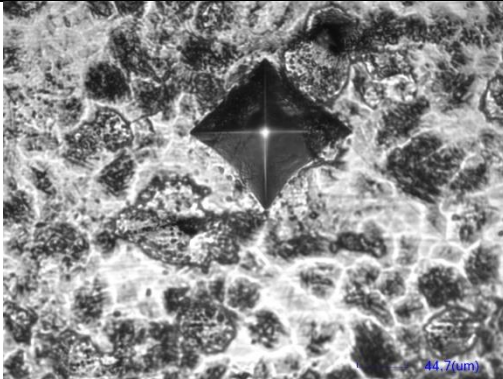
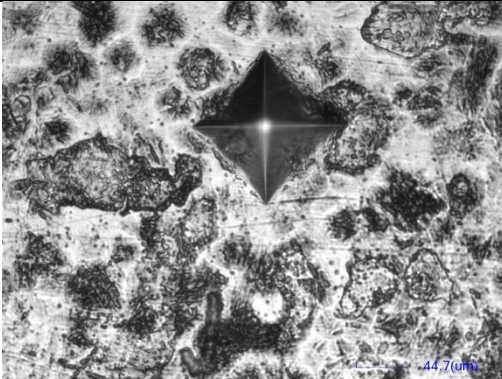
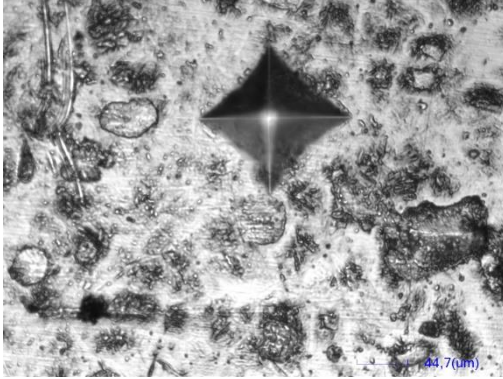
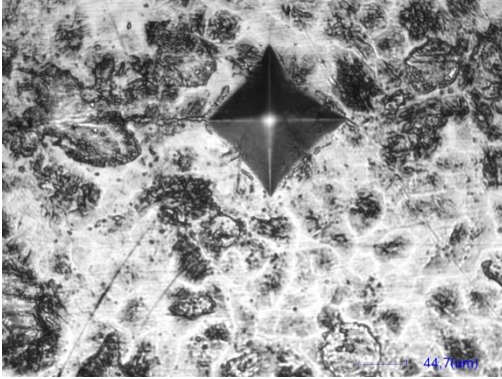
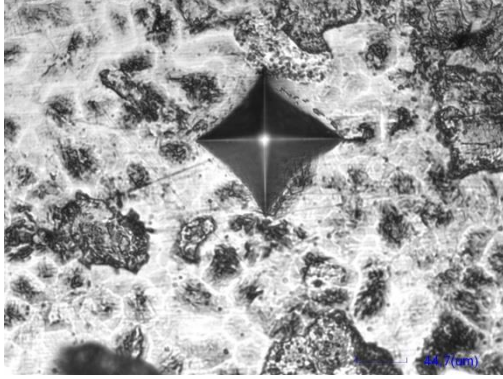
e. *Spesimen Pack Chromizing 1000°C*

Report

Sample Name	Temperatur 1000°C	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2024/10/24
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
5	226,40	195,20	214,66	110,14	10,49	15,88	6,82

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Convett type	Convett value	Qualified
1	139,17	136,49	137,83	HV0.2	195,2	HV	195,2	YES
2	132,46	130,22	131,34	HV0.2	215,0	HV	215,0	YES
3	127,98	127,98	127,98	HV0.2	226,4	HV	226,4	YES
4	130,22	129,33	129,77	HV0.2	220,2	HV	220,2	YES
5	132,91	128,88	130,89	HV0.2	216,5	HV	216,5	YES

	
195,2	215,0
	
226,4	220,2
	
216,5	

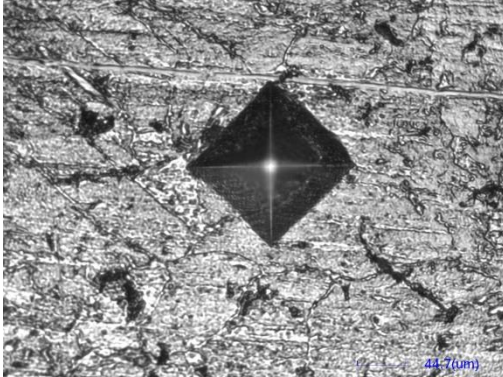

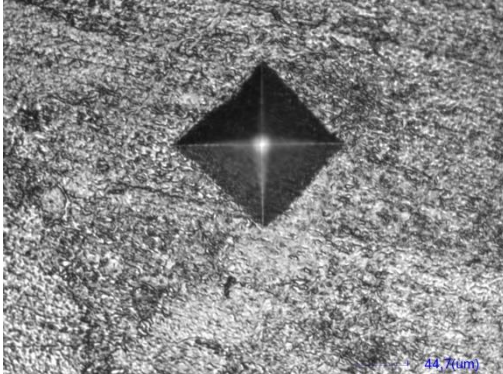
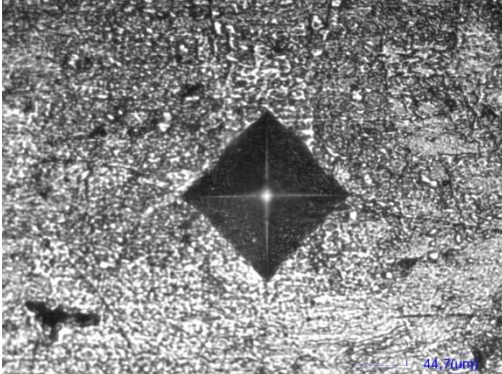

f. *Spesimen Pack Chromizing 1100°C*

Report

Sample Name	Temperatur 1100°C	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2024/11/21
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
5	183,70	161,60	172,60	60,72	7,79	21,39	7,38

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Convett type	Convett value	Qualified
1	148,57	145,88	147,23	HV0.2	171,1	HV	171,1	YES
2	153,94	149,02	151,48	HV0.2	161,6	HV	161,6	YES
3	144,09	144,09	144,09	HV0.2	178,6	HV	178,6	YES
4	145,88	151,25	148,57	HV0.2	168,0	HV	168,0	YES
5	143,65	140,51	142,08	HV0.2	183,7	HV	183,7	YES

	
171,1	161,6
	
178,6	168,0
	
183,7	



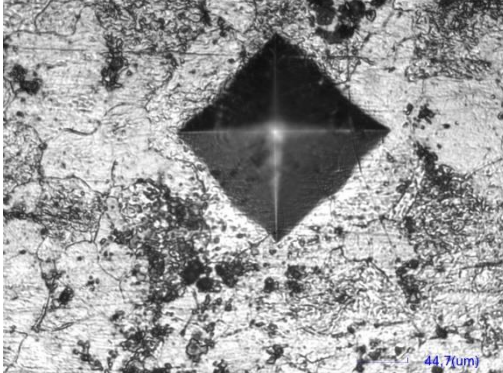
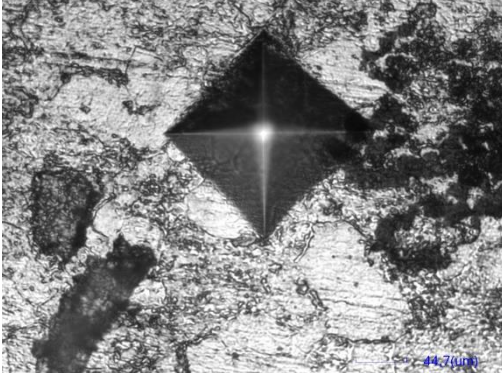

g. Spesimen Pack Chromizing 1000°C (Annealing)

Report

Sample Name	1000°C (annealing)	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2025/10/29
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10


Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
5	119,60	108,80	112,62	17,15	4,14	40,25	9,07

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Conv type	Conv value	Qualified
1	183,03	186,16	184,59	HV0.2	108,8	HV	108,8	YES
2	175,42	183,92	179,67	HV0.2	114,9	HV	114,9	YES
3	186,61	182,58	184,59	HV0.2	108,8	HV	108,8	YES
4	185,26	180,34	182,80	HV0.2	111,0	HV	111,0	YES
5	174,08	178,10	176,09	HV0.2	119,6	HV	119,6	YES

	
108,8	114,9
	
108,8	111,0
	
119,6	

3. Pengujian Keausan

- a. (1) 900°C ; (2) 1000°C ; (3) 1100°C ; (4) 1000°C *Annealing* ; (5) *Raw Material*.



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA


HASIL PENGUJIAN KEAUSAN

Variasi Spesimen	Titik Uji	Tebal Disc (B;mm)	Jari-jari Disc (r;mm)	Panjang Wear (b;mm)	Volume Tergores (W;mm ³)	Keausan (Ws; mm ³ /kg.m)	Keausan rata-rata (Ws; mm ³ /kg.m)
1	1	3.45	13.6	0.69	0.00705	0.00011	0.000126
	2	3.45	13.6	0.80	0.01082	0.00017	
	3	3.45	13.6	0.67	0.00626	0.00010	
2	1	3.45	13.6	0.75	0.00880	0.00014	0.000116
	2	3.45	13.6	0.67	0.00626	0.00010	
	3	3.45	13.6	0.69	0.00705	0.00011	
3	1	3.45	13.6	0.72	0.00789	0.00012	0.000134
	2	3.45	13.6	0.75	0.00880	0.00014	
	3	3.45	13.6	0.75	0.00880	0.00014	
4	1	3.45	13.6	0.75	0.00880	0.00014	0.000124
	2	3.45	13.6	0.72	0.00789	0.00012	
	3	3.45	13.6	0.69	0.00705	0.00011	
5	1	3.45	13.6	0.67	0.00626	0.00010	0.000131
	2	3.45	13.6	0.72	0.00789	0.00012	
	3	3.45	13.6	0.80	0.01082	0.00017	
6	1	3.45	13.6	0.75	0.00880	0.00014	0.000140
	2	3.45	13.6	0.69	0.00705	0.00011	
	3	3.45	13.6	0.80	0.01082	0.00017	
7	1	3.45	13.6	0.72	0.00789	0.00012	0.000139
	2	3.45	13.6	0.85	0.01314	0.00021	
	3	3.45	13.6	0.64	0.00554	0.00009	

Lembar asli tidak untuk digandakan

1. Pengujian dilakukan tanggal 2 Desember 2024
2. Pengujian menggunakan universal wear
3. Jarak pengausan 15 m, Beban pengujian 6,36 kg

Yogyakarta 2 Desember 2024
 Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T
 NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

CS Dipindai dengan CamScanner

b. *Stainless Steel 304*



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN KEAUSAN

Variasi Spesimen	Titik Uji	Tebal Disc (B;mm)	Jari-jari Disc (r;mm)	Panjang Wear (b;mm)	Volume Tergores (W;mm ³)	Keausan (Ws; mm ³ /kg.m)	Keausan rata-rata (Ws; mm ³ /kg.m)
1	1	3.45	13.6	0.56	0.00371	0.00006	0.000056
	2	3.45	13.6	0.51	0.00275	0.00004	
	3	3.45	13.6	0.59	0.00427	0.00007	

1. Pengujian dilakukan tanggal 14 Januari 2025
2. Pengujian menggunakan universal wear
3. Jarak pengausan 15 m, Beban pengujian 6.36 kg

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Yogyakarta, 14 Januari 2025
Star Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisis

Yogyakarta

Laboratorium Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Dr. Henik Darusetyana, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002



Dipindai dengan CamScanner

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281