



universitas
MALIKUSSALEH

TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK ARANG AKTIF
AMPAS KOPI TERHADAP PERMUKAAN *STAINLESS STEEL*
304 DENGAN VARIASI TEMPERATUR MENGGUNAKAN
*PROSES PACK CARBURIZING***

**Diajukan sebagai syarat yang diperlukan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Disusun Oleh:

**DINDA NATASYA
190120079**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
LHOKSEUMAWE
2023**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinda Natasya

Nim : 190120079

Jurusan/Prodi/Bidang: Teknik Mesin / Material Teknik

Dengan ini menyatakan skripsi yang berjudul Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Aktif Ampas Kopi Terhadap Permukaan *Stainless Steel* 304 Dengan Variasi Temperatur Menggunakan Proses *Pack Carburizing* hasil kerja tulisan saya sendiri didampingi dosen pembimbing bukan hasil plagiat dari karya ilmiah orang lain. Tidak dapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari sumber lain yang saya kutip tanpa saya sebut sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan plagiarisme.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika di ternyata terbukti bahwa skripsi yang saya tulis adalah plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku, dan saya bertanggung jawab secara mandiri tidak ada sangkut pautnya dengan Dosen Pembimbing dan kelembagaan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Lhokseumawe, 27 Desember 2023
Penulis

Dinda natasya
NIM.190120079

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Judul Tugas Akhir (skripsi) : Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Aktif Ampas
Kopi Terhadap Permukaan *Stainless Steel* 304
Dengan Variasi Temperatur Menggunakan Proses
Pack Carburizing

Nama Mahasiswa : Dinda Natasya
Nim : 190120079
Jurusan/Prodi/Bidang : Teknik Mesin / Material Teknik
Tanggal Sidang : 22 Desember 2023

Lhokseumawe, 27 Desember 2023

Menyetujui,
Pembimbing Utama

Menyetujui,
Pembimbing Pendamping

Reza Putra, S.T., M.Eng
Nip. 197806292005011004

Abdul Rahman, S.T., M.Eng
Nip. 196811202003121001

Penguji Utama

Penguji Pendamping

Muhammad, S.T., M.Eng
Nip. 197307012005011002

Nurul Islami, S.T., M.Sc
Nip. 198209282023211011

Mengetahui

Ketua Program studi Teknik Mesin,

Abdul Rahman, S.T., M.Eng
Nip. 196811202003121001

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Berdasarkan hasil ujian Sidang Tugas Akhir Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh pada tanggal 22 Desember 2023 dengan ini dinyatakan telah memenuhi persyaratan akademik:

Judul Tugas Akhir (Skripsi) : Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Aktif Ampas Kopi Terhadap Permukaan *Stainless Steel* 304 Dengan Variasi Temperatur Menggunakan Proses *Pack Carburizing*
Nama Mahasiswa : Dinda Natasya
NIM : 190120079
Tempat/Tanggal Lahir : Langsa, 4 Maret 2021
Program Studi/Bidang : Teknik Mesin/Teknik Material
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama : Reza Putra, S.T., M.Eng
Pembimbing Pendamping : Abdul Rahman, S.T., M.Eng.
Ketua Penguji : Muhammad, S.T., M.Eng
Anggota Penguji : Nurul Islami, S.T., M.Sc.

Lhokseumawe, 27 Desember 2023
Penulis,

Dinda Natasya
NIM 190120079

Menyetujui:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Reza Putra, S.T., M.Eng
NIP 197307012005011002

Abdul Rahman, S.T., M.Eng.
NIP 196811202003121001

Mengetahui:

Ketua Jurusan,

Ketua Program Studi,

Asnawi, S.T., M.Sc.
NIP 198002272006041010

Abdul Rahman, S.T., M.Eng.
NIP 196811202003121001

LEMBAR PERSEMBAHAN

BISMILLAHIRRAHMANIRRAHIM

“Barang siapa yang menempuh jalan untuk menuntut ilmu (belajar) maka Allah mudahkan jalannya menuju Surga”

(HR.Muslim)

ALHAMDULILLAH Saya Ucapkan Dengan Rasa Syukur Saya Kepada Allah Yang Maha Esa, Saya Diberi Kesempatan Untuk Menuntut Ilmu Di Bangku Kuliah Hingga selesai.

Sebuah karya yang sangat sederhana ini tulus kupersembahkan kepada:

Ayahanda dan Ibunda tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih dan sayangnya serta do'a yang selalu dipanjatkan kepada Allah SWT. untuk kebaikan dan kesuksesan anak-anaknya.

Kepada abang dan kakak yang selalu menjadi support system sekaligus berperan sebagai sahabat yang tidak pernah meninggalkan.

Sahabatku:

Buat teman-teman ku terkhusus teman-teman Teknik mesin 2019, abang-abang senior juga adik-adik junior yang selalu memberi motivasi, nasihat, dukungan moral serta moril yang membuatku selalu semangat dan pantang menyerah dalam setiap permasalahanku.

Dosen pembimbing tugas akhir:

Kepada Bpk Reza Putra, S.T., M.Eng yang sudah sangat banyak membantu saya baik dalam penulisan tugas akhir ataupun dalam permasalahan akademik di Jurusan Teknik Mesin UNIMAL.

Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang Menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah, Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan qalam. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya

(Al Alaq ayat 1-5)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir (skripsi) ini. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan alam, Nabi besar Muhammad *Shalallahu 'Alaihi Wa Sallam*, yang syafa'atnya sama-sama kita harapkan terlebih-lebih di yaumul akhir kelak. Alhamdulillah penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan gelar sarjana S-1 dengan judul "**Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Aktif Ampas Kopi Terhadap Permukaan *Stainless Steel 304* dengan Variasi Temperatur Menggunakan Proses *Pack Carburizing***". Yang merupakan salah satu syarat yang harus diselesaikan oleh setiap mahasiswa Teknik Mesin agar dapat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Malikussaleh.

Maka pada kesempatan kali ini dengan tulus dan kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua Orang Tua, ayahanda Muhammad Nur Iska dan ibunda Fauziah yang tidak terbalas kasih sayangnya, serta kedua abang saya Jeffry Satria dan Muslem juga kedua kakak saya Ulfah Mauliza dan Mutia Samsir. Rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis tujukan kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Dr. Herman Fithra, S.T., M.T., IPM., ASEAN, Eng selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Asnawi S.T., M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Malikussaleh.
4. Bapak Nurul Islami, S.T., M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan Dosen Penguji Pendamping.

5. Bapak Abdul Rahman, S.T., M.Eng. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan Dosen Pembimbing Pendamping.
6. Bapak Alchalil, S.T., M.T, selaku Kepala Laboratorium Bidang Konversi Energi dan Kontruksi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
7. Alm.Bapak Zulfahmi, S.T., M.T, selaku Kepala Laboratorium Bidang Manufaktur dan Bahan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
8. Bapak Edy Yusuf, S.T., M.Eng selaku Pembimbing Akademik.
9. Bapak Reza Putra, S.T., M.Eng selaku Pembimbing Utama.
10. Bapak Muhammad, S.T., M.Eng selaku Penguji Utama.
11. Seluruh Dosen dan Staf pengajar serta administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Malikussaleh.
12. Seluruh teman-teman yang telah mendukung dan membantu dalam memecahkan masalah-masalah yang penulis hadapi selama penulisan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwasanya tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritikan dan saran dari pembaca agar penulisan kedepannya lebih baik lagi. Semoga tugas akhir ini juga bisa menjadi salah satu referensi ilmu khususnya di lingkungan Universitas Malikussaleh dan umumnya untuk seluruh masyarakat.

Lhokseumawe, 22 Desember 2023

Penulis

Dinda Natasya
NIM: 190120079

ABSTRAK

Carburizing merupakan proses perlakuan pada baja yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan karbon pada permukaan baja supaya meningkatkan kekerasan dan lebih tahan aus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan arang aktif dari ampas kopi terhadap sifat mekanis baja SS 304. Metode yang digunakan untuk perlakuan adalah *pack carburizing* dengan variasi temperatur 750°C, 775°C dan 800°C. Hasil penelitian ini menunjukkan Penambahan arang aktif ampas kopi pada proses *pack carburizing* menggunakan variasi temperatur dan pendinginan dengan oli dapat meningkatkan kekerasan pada SS 304. Semakin tinggi temperatur yang digunakan maka semakin meningkat kekerasan permukaan material dikarenakan semakin banyak atom-atom yang berdifusi kedalam material. Kekerasan yang di dapat pada temperatur 750°C adalah 71,3 HRC, pada temperatur 775°C mendapatkan kekerasan rata-rata 87 HRC dan yang paling tinggi pada temperatur 800°C yaitu mendapatkan kekerasan 96,1 HRC. Maka terjadi peningkatan kekerasan pada matrial sebanyak 143%. Pengamatan struktur mikro pada SS 304 setelah proses *pack carburizing* menunjukkan keseragaman *pearlite* dan *cementite* dipermukaan benda uji, dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kadar karbon dipermukaan baja SS 304 sehingga dapat meningkatkan kekerasan pada material.

Kata kunci: *pack carburizing*, SS 304, ampas kopi, struktur mikro

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL TUGAS AKHIR (SKRIPSI)	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN	ii
LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.2 <i>Stainless Steel</i>	7
2.2.1 Sifat fisik <i>Stainless Steel</i>	7
2.2.2 Keuntungan baja <i>Stainless Steel</i>	8
2.2.3 Jenis-jenis <i>Stainless Steel</i>	9
2.2.1 Kandungan atom / unsur dan ikatannya	12
2.3 Klasifikasi <i>Stainless Steel 304</i>	13
2.4 Kopi	14
2.4.1 Limbah buah kopi	15
2.5 Karbon Aktif	16

2.6	Sifat Adsorpsi Karbon Aktif	17
2.7	Proses Pembuatan Arang	18
2.8	Faktor – Faktor yang mempengaruhi Adsorpsi	19
2.9	Barium Carbonat	20
2.10	<i>Pre – Combustion Chamber</i>	21
2.11	Perlakuan Panas	23
2.12	<i>Carbuizing</i>	23
2.13	<i> Holding Time</i>	25
2.14	<i>Quenching</i> (Pendinginan Cepat)	26
2.15	Diagram Fasa	27
2.16	Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)	29
2.17	Diagram TTT (Time Temperature Transformations)	29
2.18	Uji Struktur Mikro (metallography)	31
2.19	Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	32
BAB III METODE PENELITIAN		36
3.1	Tempat dan Waktu	36
3.1.1	Tempat	36
3.1.2	Waktu	36
3.2	Bahan dan Alat	37
3.2.1	Bahan	37
3.2.2	Alat	37
3.3	Variabel penelitian	40
3.4	Prosedur penelitian	40
3.4.1	Studi literatur	40
3.4.2	Pemotongan spesimen uji	40
3.4.3	Aktivasi karbon	40
3.4.4	Perlakuan panas	41
3.5	Pengujian spesimen	41
3.5.1	Uji kekerasan	41
3.5.2	Uji mikro	41
3.6	Diagram Alir	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Pengujian Kekerasan	43
4.1.1 Kekerasan <i>Raw Material</i>	44
4.1.2 Kekerasan Temperatur 750°C	44
4.1.3 Kekerasan Temperatur 775°C	45
4.1.4 Kekerasan Temperatur 800°C	46
4.2 Hasil Pengujian <i>Metallography</i>	49
4.2.1 Struktur Mikro <i>Raw Material</i>	49
4.2.2 Struktur Mikro Pada Temperatur 750°C	50
4.2.3 Struktur Mikro Pada Temperatur 775°C	50
4.2.4 Struktur Mikro Pada Temperatur 800°C	51
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja <i>system</i> injeksi dan pengapian	22
Gambar 2.2 komponen-komponen <i>Pre-chamber Valve</i>	23
Gambar 2.3 Proses <i>Pack Carburizing</i>	24
Gambar 2.4 Diagram Fasa	27
Gambar 2.5 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)	29
Gambar 2.6 Diagram TTT Baja <i>Hipouetectoid</i>	31
Gambar 2.7 Diagram TTT Baja <i>eutectoid</i>	31
Gambar 3.1 <i>Furnace</i>	37
Gambar 3.2 Gerinda	38
Gambar 3.3 Mikroskop <i>optic</i>	38
Gambar 3.4 <i>Stopwacth</i>	38
Gambar 3.5 Jangka sorong	39
Gambar 3.6 Wadah penampung oli	39
Gambar 3.7 Alat uji kekerasan	39
Gambar 3.8 Diagram alir	42
Gambar 4.1 Material Sebelum Perlakuan <i>Pack Carburizing</i>	43
Gambar 4.2 Material Setelah Perlakuan <i>Pack Carburizing</i>	44
Gambar 4.3 Grafik Nilai Rata-rata Spesimen Pada Temperatur 750°C	45
Gambar 4.4 Grafik Nilai Rata-rata Spesimen Pada Temperatur 775°C	46
Gambar 4.5 Grafik Nilai Rata-rata Spesimen Pada Temperatur 800°C	47
Gambar 4.6 grafik HRC rata-rata temperatur 750°C, 775°C dan 800°C	49
Gambar 4.7 Struktur <i>Raw Material</i>	49
Gambar 4.8 Struktur Mikro Temperatur 750°C	50
Gambar 4.9 Struktur Mikro Temperatur 775°C	51
Gambar 4.10 Struktur Mikro Temperatur 800°C	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia <i>Stainless Steel</i> 304	14
Tabel 2.2 Komposisi kimia ampas kopi	14
Tabel 2.3 Syarat mutu karbon aktif	15
Tabel 2.4 Uji kekerasan <i>Rockwell C</i>	34
Tabel 2.5 Tabel Skala Kekerasan <i>Rockwell</i>	35
Tabel 3.1 Perencanaan dan jadwal penelitian	36
Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian	37
Tabel 4.1 Nilai Kekerasan Rata-Rata Pada Temperatur 750°C	45
Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Rata-Rata Pada Temperatur 775°C	46
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Rata-Rata Pada Temperatur 800°C	47
Tabel 4.4 Nilai Rata-Rata Kekerasan Dengan Temperatur 750°C, 775°C Dan 800°C	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kedalaman Uji Kekerasan Akibat Beban Uji

Lampiran 2. Surat Penunjukan Pembimbing Tugas Akhir

Lampiran 3. Kartu Kegiatan Konsultasi Tugas Akhir

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

Lampiran 5. Sertifikat Material *Stainless Steel 304*

Lampiran 6. Sertifikat TOEFL

Lampiran 7. Bukti Submit Jurnal

Lampiran 8. *Curriculum Vitae*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi, logam merupakan bahan dasar vital untuk industri. Semua segmen kehidupan, mulai dari peralatan rumah, transportasi, generator pembangkit listrik, kerangka gedung, jembatan hingga peralatan tempur. Akibat dari pemakaian, menyebabkan struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar berupa gesekan sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Namun dalam kehidupan kita saat ini listrik sangat dibutuhkan oleh masyarakat, dimana listrik tersebut disalurkan dari generator pembangkit listrik.

Generator merupakan komponen penting dalam pembangkit energi listrik. Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik yang memutarinya. Namun pada suatu sistem dalam pembangkitan energi listrik, terdapat kemungkinan-kemungkinan terjadi gangguan pada generator yang dapat menyebabkan generator mengalami kerusakan. Salah satu gangguan yang dapat terjadi yaitu pada *Precombustion Chamber*.

(Laoonual dan Jungjai, 2015) *Precombustion Chamber* merupakan ruang pembakaran *indirect* yang desainnya paling sederhana. Bahan bakar diinjeksikan secara bertahap seluruhnya kedalam kamar muka. Dari sebagian kecil bahan bakar yang diinjeksikan akan bereaksi dengan oksigen. Karena tersedia panas yang mencapai titik nyala, maka campuran tersebut akhirnya terbakar. Hasil pembakaran awal tersebut menghasilkan pemanasan terhadap bahan bakar yang belum terbakar hingga membantu proses penguapan, tekanan yang lebih tinggi dikamar muka yang dimanfaatkan untuk mendorong sebagian besar bahan bakar yang lain masuk keruang pembakaran utama di atas piston. Proses inilah yang dimaksudkan dengan *self injection*. Proses ini menghasilkan kecepatan bahan bakar yang lebih tinggi dan telah melalui pemanasan. Begitu masuk keruang bakar utama, maka bahan bakar terbakar, dan inilah pembakaran yang sebenarnya. Bila

diperhatikan berarti terjadi kenaikan tekanan di dalam secara bertahap, sehingga getaran mesin dapat dikurangi.

Pada *Precombustion Chamber* juga terdapat *valve* dimana *valve* tersebut memiliki fungsi yang sama seperti pada ruang pembakaran utama yaitu untuk melakukan pembakaran yang harus di salurkan ke dalam ruang bakar utama, maka terjadi banyak gesekan pada *valve* sehingga memiliki besar kemungkinan untuk terjadi keausan, *valve* bisa membesar sehingga ruang pembakaran tidak bisa bekerja dan *valve* juga bisa susut, apabila *valve* susut maka oli akan tumpah ke *Precombustion Chamber*. Pada kasus seperti itu dimana baja masih bisa susut dan membesar bahkan bisa terjadi kebengkokan maka perlu dilakukan penambahan karbon pada baja supaya lebih tahan aus dan ulet sehingga masa pengoperasian bisa dilakukan lebih lama. Penambahan karbon pada baja bisa dilakukan berbagai macam cara salah satunya perlakuan panas (*carburizing*).

Carburizing merupakan proses perlakuan pada baja yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan karbon pada permukaan baja agar permukaan baja tersebut menjadi keras dan tahan terhadap gesekan. Karburisasi dilakukan pada temperatur relatif tinggi tujuannya untuk meningkatkan laju difusi karbon, karena cepat atau lambatnya laju peningkatan kadar karbon didalam benda kerja dipengaruhi oleh temperatur. Selain itu, jenis kelarutan karbon didalam benda kerja juga mempengaruhi laju peningkatan kadar karbon. Sedangkan besar kecilnya kelarutan karbon didalam logam tergantung pada temperatur karburisasi. (Irwan, 2018).

Ada beberapa proses *carburizing* yaitu, *pack carburizing*, *liquid carburizing* dan gas *carburizing*, pada penelitian ini saya menggunakan metode *pack carburizing* karena menurut penelitian metode *pack carburizing* merupakan metode yang paling mudah dibandingkan *liquid carburizing* dan gas *carburizing*.

Pack Carburizing merupakan proses penambahan unsur karbon (C) ke dalam logam khususnya pada bagian permukaan bahan dimana unsur karbon ini didapat dari bahan-bahan yang mengandung karbon sehingga kekerasan logam dapat meningkat. Pengerasan permukaan pada logam dapat dilakukan dengan menambahkan unsur-unsur tertentu ke logam dasar tersebut seperti karbon,

kalsium karbonat, nitrogen, dan yang lainnya. Untuk mempercepat proses maka ditambahkan barium karbonat (BaCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3) atau natrium karbonat (NaCO_3) sebagai *energizer* yang bersama-sama material dimasukkan ke dalam kotak kedap udara untuk dipanaskan pada dapur pemanas pada temperatur *carburizing*. (Sujita, 2016).

Karbon yang digunakan pada penelitian ini yaitu karbon dari ampas kopi, melihat dari sisi penghasilan kopi yang sangat banyak didunia dan masyarakat Indonesia juga sangat menggemari minuman kopi maka ampas kopi bisa didapatkan dengan mudah di Indonesia. Manfaat kopi juga sangat banyak diantaranya berfungsi sebagai pembuatan produk kecantikan dan komoditi makanan dan minuman yang sangat penting didunia. Ada sekitar 60 negara sebagai penghasil kopi di dunia dan Indonesia menempati urutan keempat sebagai penghasil kopi terbanyak di dunia dengan produksi pertahunnya mencapai 686.763 ton.

Dalam proses pengolahan buah kopi menjadi suatu bahan makanan yang akan dikonsumsi seperti minuman kopi, bagian buah yang diambil adalah biji kopinya. Seperti yang kita ketahui bahwa Indonesia merupakan salah satu penghasil kopi terbesar di dunia. Hingga saat ini limbah industri kopi masih sangat kurang pemanfaatannya sehingga pemanfaatan limbah kopi memiliki potensi yang cukup besar, khususnya untuk limbah kulit kopi dan ampas kopi. Ampas kopi dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Hal ini dapat dilihat dari kandungan karbon ampas kopi yang cukup besar yaitu 47,8-58,9 % massa. (Ismah, 2022).

Kopi sudah menjadi salah satu minuman favorit bagi masyarakat Aceh. Karena banyaknya warung kopi yang dapat ditemukan, maka banyak juga penghasil biji kopi yang dihasilkan. Diperkirakan. Ampas kopi bagi kebanyakan orang adalah sampah, sehingga kurang dimanfaatkan. Padahal, ampas kopi memiliki banyak manfaat sebagai pupuk, kecantikan, bio-oil, arang aktif, dan lain sebagainya. Ampas kopi termasuk salah satu biomassa yang dapat dijadikan arang aktif dan memiliki kandungan karbon yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang tersebut, maka dapat di rumuskan beberapa masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan arang aktif ampas kopi untuk meningkatkan kekerasan pada *stainless steel* 304?
2. Bagaimana struktur mikro pada *stainless steel* 304 setelah *pack carburizing* menggunakan arang aktif ampas kopi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian adalah:

1. Untuk meningkatkan kekerasan permukaan material sehingga menjadi lebih tahan aus.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan arang aktif ampas kopi pada proses *pack carburizing* terhadap sifat fisis (struktur mikro) dan mekanis (uji kekerasan).

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian, manfaat yang didapatkan antara lain:

1. Mahasiswa dapat mengetahui proses perlakuan panas pada *stainless steel* 304.
2. Mahasiswa dapat mengetahui manfaat penambahan karbon pada *stainless steel* 304.
3. Mahasiswa dapat mengetahui manfaat Ampas Kopi.

1.5 Batasan Masalah

Agar pengujian yang dilakukan tidak terlalu melebar dari permasalahan yang ingin dicari pemecahannya, maka ditentukan batasan permasalahan. Adapun batasan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan merupakan *stainless steel* 304.
2. Temperatur yang digunakan 750, 775, dan 800°C.
3. Media yang digunakan pada penelitian ini yaitu ampas kopi.

4. Penelitian ini hanya sebatas pembelajaran bagi peneliti dan hanya di bahas di lingkup Universitas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

(Kurniawan, 2019) melakukan penelitian pengaruh variasi media arang tempurung kelapa, tongkol jagung dan kayu jati pada metode *pack carburizing* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja SS400 yang diaplikasikan pada mata cangkul, material yang digunakan baja SS400 dengan ukuran 100 mm x 50 mm x 2 mm, dimasukkan dalam *container* yang terisi campuran kalsium *carbonat* (CaCO_3) dan media arang dan dipanaskan dengan *muffle furnace* suhu 950°C , *holding time* 2 jam dan *quenching* dengan media air. Hasil berpengaruh pada kekerasan dan struktur mikro baja SS400, dan lebih dominan menggunakan variasi media arang tempurung kelapa sebesar 861 HV dan yang terendah adalah media arang tongkol jagung sebesar 669,6 HV sedangkan media arang kayu jati sebesar 838,1 HV.

(Sujita, 2016) meneliti pengaruh penggunaan arang tongkol, jagung dan serbuk cangkang kerang Mutiara sebagai media *carburizer* pada proses *pack carburizing* terhadap struktur mikro dan uji kekerasan. Pada penelitian ini Spesimen dilakukan perlakuan panas pada temperature 910°C , 930°C , 950°C dengan penahanan waktu selama 90, dan 150 menit. Kemudian dilakukan Uji kekerasan *Vickers*, pengujian foto struktur mikro dan uji komposisi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi rata-rata pada penambahan 20% serbuk cangkang di peroleh sebesar $262,47 \text{ kg/mm}^2$ dan kekerasan material awal diperoleh sebesar $144,08 \text{ kg/mm}^2$. Dari hasil pengamatan struktur mikro dan uji komposisi diketahui bahwa terjadi pengerasan permukaan karena difusi karbon kedalam baja karbon rendah.

(Sundari dan Fahlevi, 2018) meneliti tentang pengaruh *pack carburizing* terhadap sifat mekanis *sproket* imitasi sepeda motor menggunakan arang kayu selam dan serbuk cangkang remis sebagai katalisator dengan tujuan menganalisa peningkatan sifat mekanik *sproket* imitasi setelah dilakukan proses *pack*

carburizing dan membandingkan dengan *sproket* original. Variasi temperatur yang di gunakan 850°C dan 900°C dengan penahanan waktu 1 jam. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian komposisi kimia dan kekerasan metode *rockwell*. Hasil yang diperoleh yaitu peningkatan nilai kekerasan meningkat 43,07%.

2.2 *Stainless Steel*

(Azwaruddin dan Rizal, 2018) Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi (Ferum). Tentunya harus dibedakan mekanisme *protective layer* ini dibandingkan baja yang dilindungi dengan *coating* (misal Seng dan Cadmium) ataupun cat. Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan *Stainless Steel* adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Komposisi ini membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap Krom yang terjadi secara spontan.

2.2.1 Sifat fisik *Stainless Steel*

Stainless Steel juga dikenal dengan nama lain seperti CRES atau baja tahan korosi, baja Inox. Komponen *stainless steel* adalah Besi, Krom, Karbon, Nikel, *Molibdenum* dan sejumlah kecil logam lainnya. Komponen ini hadir dalam proporsi yang bervariasi dalam varietas yang berbeda. Dalam *Stainless Steel*, kandungan Krom tidak boleh kurang dari 11%. Beberapa sifat fisik penting dari *Stainless Steel* tercantum di bawah ini:

1. *Stainless Steel* adalah zat keras dan kuat.
2. *Stainless Steel* bukan konduktor yang baik (panas dan listrik).
3. *Stainless Steel* memiliki kekuatan ulet tinggi. Ini berarti dapat dengan mudah dibentuk atau bengkok atau digambar dalam bentuk kabel.
4. Sebagian varietas dari *stainless steel* memiliki permeabilitas magnetis. Mereka sangat tertarik terhadap magnet
5. Tahan terhadap korosi.
6. Tidak bisa teroksidasi dengan mudah.

7. *Stainless Steel* dapat mempertahankan ujung tombak untuk suatu jangka waktu yang panjang. Bahkan pada suhu yang sangat tinggi, *Stainless Steel* mampu mempertahankan kekuatan dan tahanan terhadap oksidasi dan korosi.
8. Pada *temperature cryogenic*, *Stainless* bisa tetap sulit berubah

2.2.2 Keuntungan baja *Stainless Steel*

Ada beberapa keuntungan baja *Stainless Steel*

1. Daya Tahan Korosi

Semua baja *Stainless* mempunyai daya tahan yang tinggi terhadap korosi. Angka-angka logam campuran yang rendah menahan korosi pada kondisi-kondisi ruang hampa, angka-angka campuran logam yang tinggi dapat menahan korosi pada kebanyakan asam, larutan alkalin, dan lingkungan-lingkungan yang menghasilkan klorida, bahkan pada suhu dan tekanan yang dinaikkan.

2. Daya Tahan Suhu Rendah dan Tinggi

Beberapa angka akan menahan penskalaan dan pengaturan daya yang tinggi pada suhu-suhu yang sangat tinggi, sementara yang lain menunjukkan pengecualian kekerasan pada suhu-suhu *cryogenic*

3. Kemudahan dalam pembuatan

Mayoritas baja-baja *Stainless* dapat dipotong, dilas, dibentuk, dimesinkan, dan dibuat dengan mudah.

4. Daya sifat-sifat kekerasan yang dibentuk profil

Logam dengan temperatur induksi dari kebanyakan baja-baja *stainless* dapat digunakan dalam merancang mengurangi ketebalan bahan dan mengurangi berat dan biaya. Baja-baja *Stainless* mungkin diperlakukan panas untuk membua komponen.

5. Pertimbangan Estetika.

Baja-baja *Stainless* tersedia pada kebanyakan lapisan-lapisan penutup permukaan. Baja *stainless* ini diatur dengan mudah dan sederhana menghasilkan kualitas yang tinggi, penampilannya yang menyenangkan dan memberikan nilai jual yang tinggi terhadap sebuah produk.

6. Sifat-sifat Higienis

Mampu membersihkan baja-baja *Stainless* menjadikan pilihan-pilihan utama di rumah sakit, didapur dalam proses farmasi dan dalam proses pemasakan atau pematangan suatu makanan.

7. Karakteristik Jalan Kehidupan

Baja *stainless* adalah jenis baja yang pemeliharaannya mudah dan tahan lama. Baja *stainless* merupakan pilihan yang sedikit mahal jika dibandingkan dengan baja lain dalam biaya jalan kehidupan.

Klasifikasi:

1. 12-14% Kromium (Cr), dimana sifat mekanik bajanya sangat tergantung dari kandungan unsur Karbon (C).
2. Baja dengan pengerasan lanjut, 10-12% Kromium (Cr), 0.12% Karbon (C) dengan sedikit tambahan unsur-unsur Mo, V, Nb, Ni dengan kekuatan tekanan mencapai 927 Mpa dipergunakan untuk bilah turbin gas.
3. Baja Kromium tinggi, 17% Cr, 2,5% Ni. Memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi. Dipergunakan untuk poros pompa, katup dan *fitting* yang bekerja pada tekanan dan temperatur tinggi tetapi tidak cocok untuk kondisi asam.

2.2.3 Jenis-jenis *Stainless Steel*

Meskipun seluruh kategori SS didasarkan pada kandungan krom (Cr), namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat SS sesuai aplikasinya. Kategori SS tidak halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metalurginya. Menurut sifat kimia dari *stainless steel* lima golongan utama SS.

1. *Austenitic Stainless Steel*

Austenitic SS mengandung sedikitnya 16% Krom dan 6% Nikel (grade standar untuk 304), sampai ke *grade Super Austenitic* SS seperti 904L (dengan kadar Krom dan Nikel lebih tinggi serta unsur tambahan Mo sampai 6%). *Molybdenum* (Mo), *Titanium* (Ti) atau *Copper* (Co) berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap temperatur serta korosi. *Austenitic* cocok

juga untuk aplikasi *temperature* rendah disebabkan unsur Nikel membuat SS tidak menjadi rapuh pada *temperature* rendah.

Sifat-sifat Dasar Baja *Austenitic*

- a. Daya tahan korosi yang sangat bagus dalam asam organik, industri, dan lingkungan laut.
- b. Kemampuan las yang sangat bagus (semua proses)
- c. Kemampuan untuk membentuk material dan sifat kenyal yang sangat bagus
- d. Sifat-sifat suhu tingginya bagus dan suhu rendahnya sangat bagus (kekerasan tinggi pada semua suhu)
- e. Tidak mengandung magnet (jika dikuatkan)
- f. Dapat dikeraskan hanya dengan dibentuk profil logam dengan temperatur dingin (logam-logam campuran ini tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas) Pemakaian Umum
- g. Alat pengatur cahaya *floppy disk* komputer
- h. Per kunci *keyboard* komputer
- i. Bak cuci dapur
- j. Alat pemrosesan makanan
- k. Aplikasi kearsitekan

2. *Ferritic Stainless Steel*

Kelompok logam campuran ini biasanya hanya mengandung *Kromium*, dengan keseimbangan kebanyakan Fe. Logam-logam campuran ini merupakan baja-baja *stainless kromium* yang sederhana dengan kandungan *Kromium* 10,5-18% seperti *grade* 430 dan 409. Jenis *Ferritic* agak sedikit kurang mempunyai sifat kenyal daripada jenis *austenitic*. Ketahanan korosi tidak begitu istimewa dan relatif lebih sulit di fabrikasi / *machining*. Tetapi kekurangan ini telah diperbaiki pada *grade* 434 dan 444 dan secara khusus pada *grade* 3Cr12.

Sifat-sifat Dasar Baja *Ferritic*

- a. Cukup untuk peningkatan daya tahan korosi yang bagus dengan kandungan *Chromium*

- b. Tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dan selalu digunakan dalam magnet yang dikuatkan
- c. Kemampuan mengelasnya sedikit
- d. Kemampuan membentuknya tidak sebagus *austenitic*
- e. Pemakaian Umum
- f. Pusat *floppy disk* komputer
- g. *Trim automotive*
- h. Alat pembuangan uap *automotive*
- i. Alat *colliery*
- j. Tangki air panas

3. *Martensitic Stainless Steel*

SS jenis ini memiliki unsur utama Krom (masih lebih sedikit jika dibanding *Ferritic SS*) dan kadar karbon relatif tinggi (0,1-1,2%) misal grade 410 dan 416. *Grade 431* memiliki Krom sampai 16% tetapi mikrostrukturnya masih *martensitic* disebabkan hanya memiliki Nikel 2%. Merupakan baja pertama yang dikembangkan secara komersial (sebagai cutlery).

Sifat-sifat Dasar Baja *Martensitic*

- a. Daya tahan korosinya sedang
- b. Dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dan oleh karena itu tingkat kekerasan dan daya tahannya tinggi
- c. Kemampuan mengelasnya kurang
- d. Bersifat *magnetic* Pemakaian Umum
- e. Mata pisau
- f. Alat-alat bedah
- g. Tangkai / batang
- h. Kumparan
- i. Peniti

4. *Duplex Stainless Steel*

Disebut *Duplex* dikarenakan kandungan Nikel tidak cukup untuk menghasilkan susunan *austenitic* secara penuh dan hasil kombinasi susunan

ferritic dan *austenitic*. *Duplex* SS seperti 2304 dan 2205 (dua angka pertama menyatakan persentase Krom dan dua angka terakhir menyatakan persentase Nikel) memiliki bentuk mikrostruktur campuran *austenitic* dan *ferritic*. *Duplex ferritic-austenitic* memiliki kombinasi sifat tahan korosi dan temperatur relatif tinggi atau secara khusus tahan terhadap *Stress Corrosion Cracking*. Meskipun kemampuan *Stress Corrosion Cracking*-nya tidak sebaik *ferritic* SS tetapi ketangguhannya jauh lebih baik jika dibandingkan dengan *ferritic* SS dan lebih buruk dibanding *austenitic* SS. Sementara kekuatannya lebih baik dibanding *austenitic* SS (yang di annealing) kira-kira 2 kali lipat. Sebagai tambahan, *Duplex* SS ketahanan korosinya sedikit lebih baik dibanding 304 dan 316 tetapi ketahanan terhadap *pitting corrosion* jauh lebih baik dibanding 316. Ketangguhannya *Duplex* SS akan menurun pada temperatur dibawah -50°C dan diatas 300°C . Kebanyakan baja *Duplex* mengandung Mo dalam jarak 2,5% - 4%.

Sifat-sifat Dasar Baja *Duplex*

- a. Daya tahan yang tinggi untuk menekan keretakan korosi
- b. Daya tahan yang dinaikkan pada serangan ion Klorida Perenggangan dan kuat luluh yang lebih tinggi dari baja-baja *austenitic* dan *ferritic*
- c. Kemampuan peleburan, kemampuan membentuk yang baik Pemakaian Umum Penerapan di laut, terutama sekali pada suhu-suhu yang dinaikkan dengan rendah (eksplorasi gas lepas pantai) Instalasi penghilangan zat garam / rasa asin Perubah panas Instalasi petro kimia.

2.2.1 Kandungan atom / unsur dan ikatannya

(Azwaruddin dan Rizal, 2018) Baja *Stainless* merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja *Stainless* mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Daya tahan *Stainless Steel* terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) Krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif, Kromium (III) Oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu Oksigen.

Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *Passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada Aluminium dan Titanium.

Pada dasarnya untuk membuat besi yang tahan terhadap karat, Krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting. Untuk mendapatkan besi yang lebih baik lagi, diantaranya dilakukan penambahan beberapa zat-zat berikut; Penambahan Molibdenum (Mo) bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi pitting di lingkungan Klorida dan korosi celah unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil Karbida (Titanium atau Niobium) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi.

Penambahan Kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida (Cr_2O_3) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Penambahan Nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Unsur Aluminium (Al) meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi.

2.3 Klasifikasi *Stainless Steel* 304

Tipe 304 yaitu tipe *Stainless Steel* yang sangat sering digunakan terutama dalam industri makanan karena merupakan jenis *Stainless Steel Food Grade*. Sering dikenal sebagai 18-8 *stainless* karena memiliki kandungan 18 persen Kromium dan 8 persen nikel, *Stainless Steel* 304 mudah untuk dibentuk, dilas dan memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi bahkan pada suhu yang sangat rendah. *Stainless Steel* 304 umum dipergunakan dalam industri makanan, untuk penyeduhan, pemrosesan susu, pembuatan anggur, dan dalam jalur pipa, panci, proses fermentasi serta tempat penyimpanan bahan baku. Kemampuannya antara lain dapat menahan korosi yang disebabkan oleh berbagai macam zat kimia dari buah-buahan, daging dan susu, selain itu juga umum digunakan sebagai *wastafel*, meja, tempat minum, kulkas, kompor, dan berbagai jenis alat perkakas serta

peralatan memasak (Sumarji, 2011). Dapat dilihat tabel Komposisi Kimia *Stainless Steel 304* pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Stainless Steel 304* (Ghadeer, dkk 2021)

Komposisi Kimia		
Elemen	Min %	Max %
C	-	0.07
Mn	-	2.00
P	-	0.045
S	-	0.03
Si	-	0.75
Cr	17.50	18.0
Ni	8.00	9.0
fe	BAL	

2.4 Kopi

(Sitani, dkk 2020) Sejak tahun 2020 permintaan komoditas kopi mulai meningkat, baik lokal maupun internasional. Indonesia termasuk salah satu produsen kopi terbesar di dunia, dengan ekspor kopi Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Ada sekitar 60 negara sebagai penghasil kopi di dunia dan Indonesia menempati urutan keempat sebagai penghasil kopi terbanyak di dunia dengan produksi pertahunnya mencapai 686.763 ton. Di Kabupaten Aceh Tengah mencapai 47.854 ha, dengan jumlah produksi kopi rata-rata sebesar 49.861,42 ton/ tahun. (Nurmalita dkk, 2022) Namun, negara ini tetap saja mengimpor karbon aktif padahal bahan bakunya bisa mudah didapat di dalam negeri. Karbon dapat diolah dari pertanian, biomassa perkebunan, dan limbah industri seperti limbah abu terbang batubara. Salah satu sumber produksi yang potensial diaktifkan karbon adalah kopi tanaman limbah. Masyarakat umumnya memanfaatkan limbah kulit kopi sebagai campuran hewan memberi makan Dan tambahan pupuk untuk sayur-mayur tanaman-tanaman. Sementara itu, di dalam dalam beberapa kasus tidak digunakan dan berpotensi mencemari sekitarnya lingkungan. Itu isi dari fenolik senyawa, tanin, kafein, Dan klorogenik asam yang membatasi penggunaan dalam pakan ternak karena sifat anti-nutrisinya. Oleh karena itu, teknologi adalah diperlukan ke memanfaatkan kopi kulit limbah ke dalam sesuatu lagi berguna, satu dari yang adalah diaktifkan karbon bahan itu Bisa

menjadi digunakan sebagai sebuah penyerap untuk gas atau cairan. Ini bahan dulu diketahui ke memiliki tinggi hidrogen penyimpanan kapasitas jatuh tempo nya berpori struktur mikro Dan tinggi spesifik permukaan daerah yang adalah bahkan lebih tinggi dibandingkan itu kapasitas penyimpanan hidrogen grafit dan karbon nanotube bahan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif berasal dari biomassa berpotensi menjadi adsorben untuk dehumidifikasi dalam sistem pengeringan energi surya. Hal ini menandakan tanaman kopi limbah Bisa menjadi digunakan sebagai sumber dari diaktifkan karbon mentah bahan.

2.4.1 Limbah buah kopi

(Rahardjo, 2012) Dari hasil perkebunan ataupun hasil panen buah kopi yang melimpah, maka kulit kopi yang dihasilkan juga akan semakin banyak, hal ini akan menjadi masalah bagi masyarakat karena melimpahnya limbah kopi, dikarenakan hanya sebagian kecil kulit kopi yang akan dijadikan pupuk organik untuk kebutuhan pekebunan kopi itu sendiri, adapun beberapa sisa dari buah kopi yang dianggap sampah/limbah antara lain:

1. Kulit kopi

Kulit kopi adalah bagian dari buah kopi yang memiliki tekstur lembut bila sudah matang, kulit ini berwarna hijau jika masih mentah dan berubah warna merah jika sudah matang, kulit ini akan dipisahkan dari biji dan biji akan masuk ke proses selanjutnya, sedangkan kulit kopi akan dibuang atau dimanfaatkan sebagai pupuk organik ataupun makan ternak.

2. Sekam kopi (kulit tanduk)

Sekam kopi ataupun kulit tanduk adalah bagian kedua dari kulit kopi, bagian ini terbilang memiliki tekstur yang lebih keras dibandingkan kulit luar pada kopi. Setelah kulit kopi dibuang makan biji kopi akan memasuki mesin pemisah untk di pisahkan dengan kulit tanduk, biasanya bagian kulit tanduk ini akan berakhir di penggilingan pemisah kopi dan akan dibakar begitu saja.

3. Ampas Kopi

(Ismah, 2022) Ampas kopi merupakan limbah berasal dari proses penyeduhan kopi bubuk. Limbah dari ampas kopi sering dianggap sebagai produk hasil samping yang kurang dimanfaatkan secara maksimal. Ampas kopi

mengandung karbohidrat, kafein, mineral. Komponen terbanyak pada ampas kopi yang mencapai 47,8-58,9% karbon. karbon aktif berasal dari biomassa berpotensi menjadi adsorben untuk dehumidifikasi dalam sistem pengeringan energi surya. Hal ini menandakan tanaman kopi limbah Bisa menjadi digunakan sebagai A sumber dari diaktifkan karbon mentah bahan Ekstrak ampas kopi memiliki kandungan senyawa fenolik yaitu asam klorogenat dan kafein. Komponen yang terkandung dalam ampas kopi disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komponen ampas Kopi (Saputri dkk, 2023)

Komponen	Jumlah (%)
Karbon	47,8-58,9 %
Nitrogen	1,9-2,3 %
Protein	6,7-13,6 %
Abu	0,43-1,6 %
Selulosa	8,6 %

2.5 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan padatan yang berpori dimana mengandung karbon sekitar 85% - 95%. Bahan-bahan yang mengandung karbon dapat menghasilkan karbon aktif dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi sehingga pori-pori pada karbon aktif tersebut dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Karbon aktif dapat ditingkatkan daya adsorpsinya melalui proses aktivasi, dimana pada proses ini terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas, dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yaitu sebagai penghilang warna, penghilang rasa, penghilang bau, pemurni dalam industri, proses pemurnian air baik dalam proses produksi air minum maupun dalam penanganan limbah (Idrus dan Rosita, 2013). Syarat mutu karbon aktif menurut SNI No. 06-3730- 1995 disajikan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Syarat Mutu Karbon Aktif (SNI-1995)

No	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Bilangan yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Max 15	Max 25
2	Kadar air	%	Max 4,5	Max 15
3	Kadar abu	%	Max 2,5	Max 10
4	Daya serap larutan I	mg/gram	Min 750	Min 750
5	Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65

2.6 Sifat Adsorpsi Karbon Aktif

Sifat adsorpsi yang khas dari karbon aktif secara signifikan dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsi, dimana oksigen yang paling dominan membentuk gugus fungsional seperti karbonil dan hidroksil. Karbon aktif biasanya terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan kovalen, dengan demikian permukaan karbon aktif bersifat non polar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga adalah faktor yang penting karena struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, sebab semakin kecil pori-pori karbon aktif maka luas permukaan semakin besar. Daya adsorpsi dapat ditentukan dengan luas permukaan partikel dan kemampuan adsorpsinya akan semakin baik jika dilakukan aktivasi dengan menggunakan aktivator bahan kimia ataupun dapat melalui pemanasan dengan suhu tinggi (Wirawan, 2012). Bahan kimia yang dipergunakan dalam proses aktivasi yaitu bahan yang akan menempel pada permukaan karbon aktif. Bahan kimia tersebut antara lain garam seperti zink klorida ($ZnCl_2$), natrium karbonat (Na_2CO_3), natrium hidroksida ($NaOH$), kalsium klorida ($CaCl_2$), natrium klorida ($NaCl$), serta bahan kimia yang bersifat asam seperti asam klorida (HCl), asam posphat (H_3PO_4), asam hipoklorit ($HClO$), kalium hidroksida (KOH), dan natrium hidroksida ($NaOH$) dan lain sebagainya. Sebelum ditambahkan bahan kimia sebagai aktivator, karbon tersebut masih belum dapat disebut sebagai karbon aktif. Kualitas karbon aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan baku, bahan pengaktifan dan cara pembuatannya. Untuk menaikkan aktivasi daya adsorpsi arang banyak digunakan bahan kimia sebagai aktivator (Sani, 2011).

2.7 Proses Pembuatan Arang

Secara umum pembuatan karbon aktif berlangsung tiga tahap yaitu (Irianty dan Rozana, 2010):

1. Proses dehidrasi Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku tersebut pada suhu 105 - 170 °C selama 18 - 24 jam dengan tujuan untuk menguapkan seluruh kandungan air pada bahan baku.
2. Proses karbonisasi Proses ini adalah untuk memisahkan bahan non karbon yang terperangkap dalam bahan baku, sehingga sebagian besar yang tersisa dari bahan adalah karbon. Proses karbonisasi ini dilakukan pada suhu 450 - 750 °C. Selain bahan non karbon, sebagian karbon akan ikut menguap karena bahan nonkarbon terikat pada rantai karbon, yaitu berupa CO (karbon monoksida), CO₂ (karbon dioksida) maupun hidrokarbon ringan yang berupa gas.
3. Proses aktivasi Pada proses karbonisasi, daya adsorpsi karbon tergolong masih rendah Karena masih terdapat residu yang menutupi permukaan pori dan pembentukan pori-pori belum sempurna. Maka dari itu, perlu dilakukan proses aktivasi untuk meningkatkan luas permukaan dan daya adsorpsi karbon aktif. Pada proses ini terjadi pelepasan hidrokarbon dan senyawa organik yang melekat pada karbon tersebut. Ada dua cara dalam melakukan proses aktivasi yaitu:
 - a. Aktivasi fisika Proses aktivasi ini dilakukan dengan mengalirkan aktivator dalam reaktor pada suhu tinggi. Aktivasi dengan uap air biasanya dilakukan pada suhu 750 - 900°C dan aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) dilakukan pada suhu 850-1100°C. Namun aktivasi dengan CO₂ (karbon dioksida) jarang dilakukan karena reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermis yang merupakan proses perpindahan kalor dari sistem ke lingkungan. Hal tersebut menyebabkan proses aktivasi sulit untuk dikontrol karena suhu yang digunakan sangat tinggi.
 - b. Aktivasi kimia Proses aktivasi ini dilakukan dengan cara merendam bahan baku pada bahan kimia seperti asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO₃), asam fosfat (H₃PO₄), sianida (CN), kalsium hidroksida (Ca (OH) 2), kalsium klorida (CaCl₂), kalsium fosfat (Ca (PO₄)₂), natrium hidroksida

(NaOH), kalium hidroksida (KOH), natrium sulfat (Na_2SO_4), zink klorida (ZnCl_2) dan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebelum proses karbonisasi. Lama perendaman dilakukan dengan waktu 12-24 jam yang kemudian ditiriskan.

2.8 Faktor – Faktor yang mempengaruhi Adsorpsi

Menurut (Sembiring dan Sinaga, 2003) terdapat 5 faktor yang dapat mempengaruhi daya serap dari karbon aktif sebagai berikut:

1. Sifat Adsorben

Arang aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen. Dengan demikian, permukaan arang aktif bersifat non polar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor yang penting diperhatikan. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori arang aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi, dianjurkan agar menggunakan arang aktif yang telah dihaluskan dan jumlah atau dosis arang aktif yang digunakan juga diperhatikan.

2. Sifat Serapan

Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh arang aktif, tetapi kemampuannya untuk mengadsorpsi berbeda untuk masing-masing senyawa. Adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul serapan dari struktur yang sama, seperti dalam deret homolog. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, struktur rantai dari senyawa serapan.

3. Temperatur

Dalam pemakaian arang aktif dianjurkan untuk menyelidiki temperatur pada saat berlangsungnya proses. Karena tidak ada peraturan umum yang bias diberikan mengenai temperatur yang digunakan dalam adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak

mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

4. pH (Derajat Keasaman)

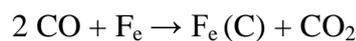
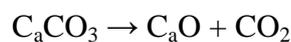
Untuk asam-asam organik adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan, yaitu dengan penambahan asam-asam mineral. Ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Sebaliknya bila pH asam organik dinaikkan yaitu dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang sebagai akibat terbentuknya garam.

5. Waktu Kontak

Bila arang aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah arang yang digunakan. Selain ditentukan oleh dosis arang aktif, pengadukan juga mempengaruhi waktu singgung. Pengadukan dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel arang aktif untuk bersinggungan dengan senyawa serapan. Untuk larutan yang mempunyai viskositas tinggi, dibutuhkan waktu singgung yang lebih lama.

2.9 Barium Carbonat

(Bathony, 2016) Barium karbonat (BaCO_3) berfungsi sebagai *energizer decomposes* dengan reaksi sebagai berikut:



Barium karbonat (BaCO_3) terurai akibat energi panas. Karbon dioksidasi hasil penguraian tersebut bereaksi dengan karbon dalam arang membentuk karbon monoksida (CO) dan selanjutnya terjadi proses difusi karbon dengan besi (Fe).

Gas CO₂ sisa hasil reaksi difusi akan segera bereaksi kembali dengan unsur C dari arang dan kembali membentuk CO. Proses reaksi ini berlangsung terus menerus.

Proses pengarbonan (*carburizing*) merupakan proses *thermo-chemical* yang dilakukan dengan cara memanaskan spesimen pada suhu austenitnya dalam ruang yang mengandung serbuk karbon. Pengarbonan ini bertujuan untuk menaikkan kadar karbon pada lapisan permukaan baja sehingga diperoleh baja yang memiliki permukaan keras.

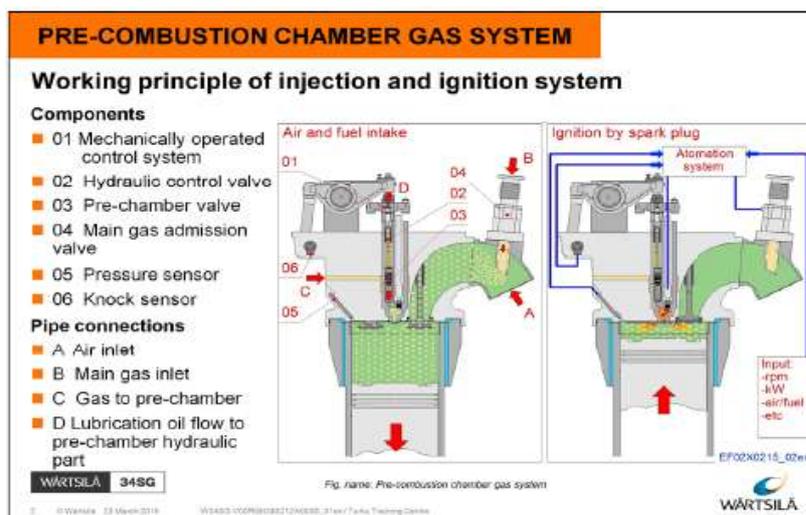
2.10 Pre – Combustion Chamber

(Laoonual dan Jungjai, 2015) *Precombustion Chamber* merupakan ruang pembakaran *indirect* yang desainnya paling sederhana. Bahan bakar diinjeksikan secara bertahap seluruhnya kedalam kamar muka. Dari sebagian kecil bahan bakar yang diinjeksikan akan bereaksi dengan oksigen. Karena tersedia panas yang mencapai titik nyala, maka campuran tersebut akhirnya terbakar. Hasil pembakaran awal tersebut menghasilkan pemanasan terhadap bahan bakar yang belum terbakar hingga membantu proses penguapan, tekanan yang lebih tinggi dikamar muka yang dimanfaatkan untuk mendorong sebagian besar bahan bakar yang lain masuk keruang pembakaran utama di atas piston. Proses inilah yang dimaksudkan dengan *self injection*. Proses ini menghasilkan kecepatan bahan bakar yang lebih tinggi dan telah melalui pemanasan. Begitu masuk keruang bakar utama, maka bahan bakar terbakar, dan inilah pembakaran yang sebenarnya. Bila diperhatikan berarti terjadi kenaikan tekanan di dalam secara bertahap, sehingga getaran mesin dapat dikurangi.

Konsep pembakarannya merupakan gas yang dicampur dengan udara sebelum katup masuk. Rasio udara dan gas didalam silinder terlalu rendah untuk meniru pengapian yang benar tanpa ruang awal. Periode asupan gas juga dimasukkan kedalam ruang awal kecil dimana campuran gas lebih kaya dibandingkan dengan gas didalam silinder. Pada akhir fase kompresi campuran gas dan udara di *prechamber* dinyalakan oleh busi api dari nosel *prechamber* menyulut campuran gas dan udara diseluruh silinder pembakaran berlangsung cepat. Setelah fase kerja silinder dikosongkan dari knalpot dan proses pembakaran

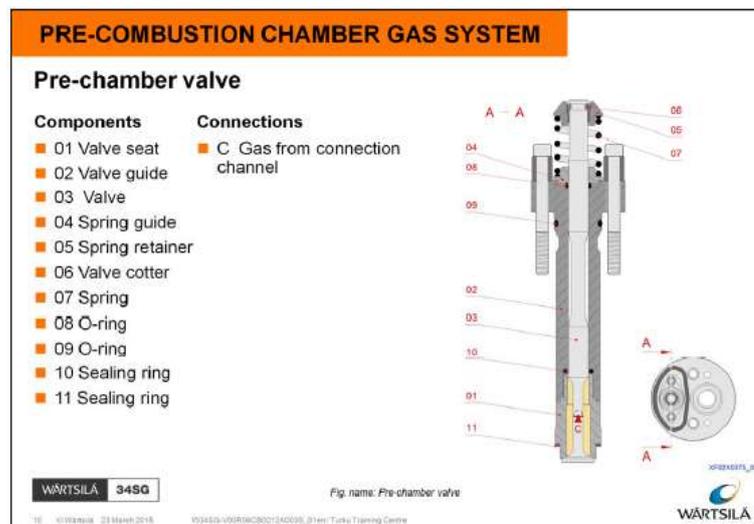
dimulai Kembali. Pembakaran dua tahap ini menghasilkan NO_x rendah dan tidak ada emisi partikulat, efisiensi termal juga lebih baik karena rasio kompresi yang lebih tinggi tercapai (Wartsila, 2022).

Mesin gas otto yang dinyalakan dengan percikan api, bekerja sesuai dengan konsep pembakaran ramping. Dalam mesin gas pembakaran kurus campuran udara dan bahan bakar didalam silinder digabungkan. Ada lebih banyak udara yang dibutuhkan untuk pembakaran. Untuk menstabilkan pengapian dan pembakaran campuran. Campuran yang lebih kaya memulai pembakaran melalui ruang awal. Pengapian diawali oleh busi yang terletak di ruang awal, memberikan sumber pengapian berenergi tinggi untuk pengisian bahan bakar utama didalam silinder. Dapat dilihat prinsip kerja sistem injeksi dan pengapian pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Prinsip kerja *system* injeksi dan pengapian (Wartsila, 2022)

Salah satu komponen yang terdapat pada *pre-combustion chamber* adalah *pre-chamber valve*. *Pre-chamber valve* yang dioperasikan secara mekanis dan hidrolis membuka dan menutup aliran gas ke *pre-chamber* dengan kontrol *camshaft* dengan konstruksi *push rod* dan *rocker arm*. Bagian perakitan katup pra ruang ditekan bersama antara katup dan penahan pegas katup. Dapat dilihat komponen-komponen *pre-chamber valve* pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 komponen-komponen *Pre-chamber Valve*
(Wartsila, 2022)

2.11 Perlakuan Panas

(Daryus, 2009) Proses perlakuan panas (Heat Treatment) adalah proses mengubah sifat logam dengan mengubah struktur mikronya melalui pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan atau tanpa merubah komposisi kimia logam penyusunnya. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan maupun sebagian dari logam. Ada beberapa macam perlakuan panas diantaranya *Annealing*, *Tempering*, *Normalizing*, *Hardening* dan *Nitriding*.

2.12 Carbuizing

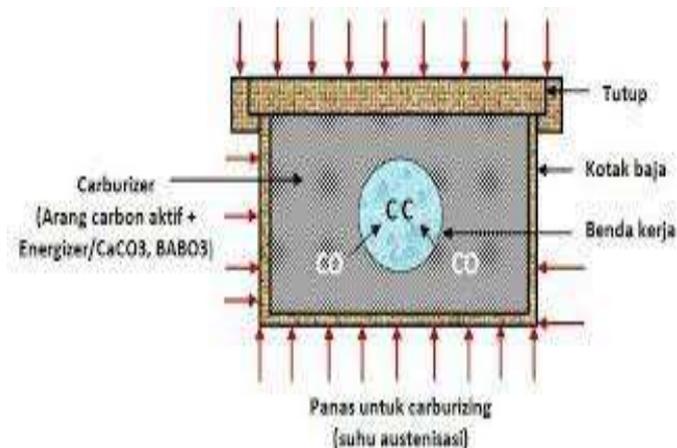
Proses karburasi merupakan proses perlakuan pada baja yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan karbon pada permukaan baja agar permukaan baja tersebut menjadi keras dan tahan terhadap gesekan. Karburisasi dilakukan pada temperatur relatif tinggi tujuannya untuk meningkatkan laju difusi karbon, karena cepat atau lambatnya laju peningkatan kadar karbon didalam benda kerja dipengaruhi oleh temperatur. Selain itu, jenis kelarutan karbon didalam benda kerja juga mempengaruhi laju peningkatan kadar karbon. Sedangkan besar

kecilnya kelarutan karbon didalam logam tergantung pada temperatur karburisasi (Irwan, 2018).

Ada beberapa jenis proses *carburizing*

1. *Pack Carburizing* (Karburasi padat)

Pack Carburizing merupakan proses penambahan unsur karbon (C) ke dalam logam khususnya pada bagian permukaan bahan dimana unsur karbon ini didapat dari bahan-bahan yang mengandung karbon sehingga kekerasan logam dapat meningkat. Pengerasan permukaan pada logam dapat dilakukan dengan menambahkan unsur-unsur tertentu ke logam dasar tersebut seperti karbon, kalsium karbonat, nitrogen, dan yang lainnya. Untuk mempercepat proses maka ditambahkan barium karbonat (BaCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3) atau natrium karbonat (NaCO_3) sebagai *energizer* yang bersama-sama material dimasukkan ke dalam kotak kedap udara untuk dipanaskan pada dapur pemanas pada temperatur *carburizing*. (Sujita, 2016) Dapat dilihat proses *Pack Carburizing* pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Proses *Pack Carburizing*

2. *Liquid Carburizing* (karburasi Cair)

Liquid Carburizing adalah karburasi yang dilakukan dalam rendaman garam cair yang mengandung 20% - 50% natrium sianida, bersama dengan sebanyak 40 persen natrium karbonat, dan berbagai jumlah natrium atau barium klorida. Campuran sianida dipanaskan dalam pot besi hingga suhu 870°C hingga 950°C dan direndam dalam waktu sekitar lima menit lebih

sesuai dengan kedalaman wadah yang diperlukan. Karburasi terjadi karena dekomposisi natrium sianida pada permukaan baja. Atom karbon dan nitrogen dilepaskan, jadi pengerasan sianida disebabkan oleh penyerapan nitrogen dan juga karbon. (Ii, 2015)

3. *Gas Carburizing* (karburasi gas)

Gas Carburizing dilakukan di tungku bertumpuk pada temperatur 900°C selama tiga jam atau lebih di atmosfer yang mengandung gas yang akan menyimpan atom karbon di permukaan komponen. Gas-gas yang umumnya digunakan adalah hidrokarbon metana (gas alam) dan propana (produk sampingan dari produksi minyak bumi). Ini harus dari kemurnian tinggi, jika tidak jelaga berminyak dapat disimpan pada benda kerja. Hidrokarbon biasanya dicampur dengan gas pembawa (umumnya campuran nitrogen, hidrogen dan karbon monoksida) yang memungkinkan sirkulasi gas yang lebih baik dan karenanya keseragaman perlakuan yang lebih besar (Ii, 2015).

2.13 *Holding Time*

(Prabowo, 2019) *Holding time* adalah suatu proses mempertahankan suhu pada waktu tertentu sehingga temperaturnya merata dan perubahan strukturnya terjadi secara merata pula. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenite, difusi karbon dan unsur paduannya. Baja perlu ditahan pada suhu austenite untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen austenite.

Waktu penahanan sangat berpengaruh pada saat transformasi karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen selain itu waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan.

Beberapa pedoman pemakaian waktu tahan (*holding time*) pada proses *heat treatment* pada baja sebagai berikut:

- a. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, waktu tahan sekitar 5 - 15 menit.
- b. Baja konstruksi dari baja paduan menengah, waktu tahan 15 - 20 menit.
- c. *Low carbon steel*, waktu tahan 10 - 30 menit.
- d. *High alloy chrome steel*, waktu tahan 10 - 60 menit.
- e. *High speed steel*, waktu tahan beberapa menit saja dikarenakan temperatur pemanasannya sudah sangat tinggi, 1200°C - 1300°C.

2.14 *Quenching* (Pendinginan Cepat)

(Aghadiati, 2017) *Quenching* adalah salah satu proses perlakuan panas yang paling penting dan banyak digunakan dalam proses manufaktur di industri baja. Meskipun *quenching* dapat memperbaiki sifat mekanik baja, di sisi lain akan menimbulkan tegangan-tegangan internal yang dapat menyebabkan perubahan bentuk dan ukuran sehingga dapat menimbulkan keretakan. Tujuan utama *quenching* adalah untuk meningkatkan kekerasan baja, sedangkan faktor utama dalam proses *quenching* adalah untuk mengatur laju pendinginan baja. Jika laju pendinginan terlalu lambat, baja akan menjadi lebih rapuh dan kekerasannya menurun. Jika laju pendinginan terlalu cepat, distorsi dan retakan pada logam akan terjadi. Ada 3 cara *quenching* yaitu:

- a. Pendinginan langsung (Direct Quenching)

Direct quenching adalah pendinginan secara langsung dari media karburasi. Efek yang timbul adalah kemungkinan adanya pengelupasan pada benda kerja. Pada pendinginan langsung ini diperoleh permukaan benda kerja yang getas.

- b. Pendinginan tunggal (Single Quenching)

Pendingin tunggal adalah pemanasan dan pendinginan dari benda kerja setelah benda kerja tersebut di karburasi dan telah didinginkan pada suhu kamar. Tujuan dari metode ini adalah untuk memperbaiki difusisitas dari atom-atom karbon, dan agar gradien komposisi lebih halus.

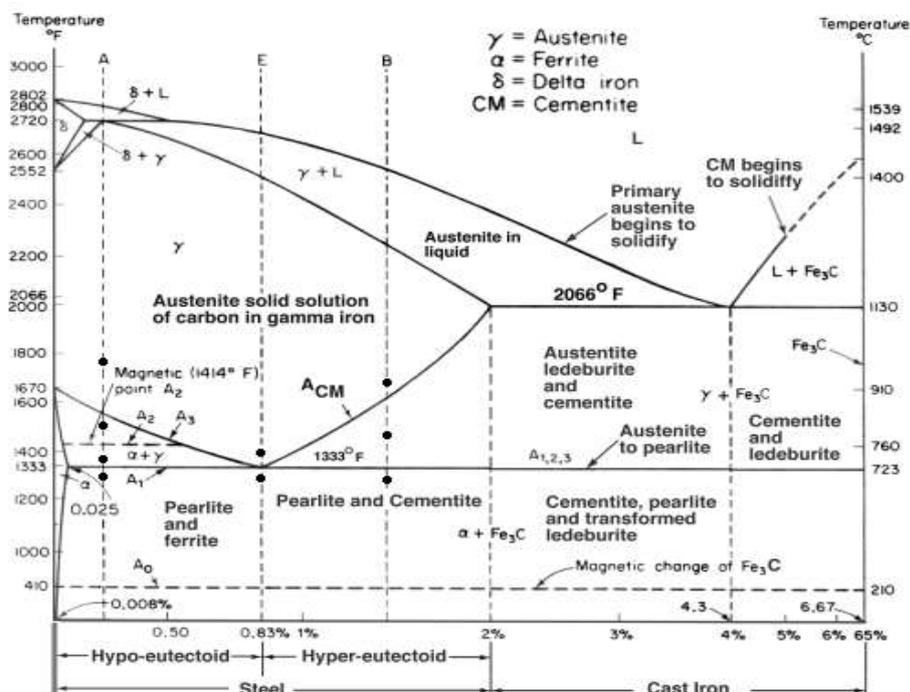
- c. *Double Quenching*

Double quenching adalah proses pendinginan atau pengerasan pada benda kerja yang telah di karburasi dan didinginkan pada temperatur kamar

kemudian dipanaskan lagi diluar kotak karbon pada temperatur kamar lalu dipanaskan kembali pada temperatur *austenite* dan baru didinginkan cepat. Tujuan dari metode ini untuk mendapatkan butir struktur yang lebih halus.

2.15 Diagram Fasa

Diagram fasa merupakan hubungan antara temperatur tempat terjadinya perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon, Fungsi diagram fasa adalah untuk memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai setiap proses perlakuan panas baik itu proses *annealing*, *normalizing* ataupun pengerasan. Baja merupakan paduan besi dengan kandungan karbon maksimal sekitar 1,7%, paduan besi diatas 1,7% disebut dengan *cast iron*. Perlakuan panas bertujuan untuk merubah struktur mikro dan merubah sifat mekanik dari baja sesuai yang diinginkan. Sifat mekanik dapat diperoleh dengan cara pemanasan dan pendinginan pada kondisi temperatur tertentu (Prapaska, 2020). Dapat dilihat diagram fasa pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Diagram Fasa

Fasa- fasa yang terdapat dalam Fe-Fe₃C adalah sebagai berikut:

a. Besi

Besi merupakan larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal besi bcc, besi memiliki konstanta kisi yang lebih besar dibandingkan α . Kelarutan karbon maksimum dalam δ adalah 0,09% pada suhu 1465° C.

b. Ferit

Ferit merupakan larutan padat internitas karbon dalam struktur kristal bcc besi. Dalam diagram fasa kelarutan karbon maksimum adalah α adalah 0,02% pada suhu 723° C. Kelarutan karbon dalam ferit menurun menjadi 0,005% pada suhu 0° C.

c. Perlit

Perlit merupakan *eutectoid mixture* dari sementit dan ferit, mengandung 0,8% C, terbentuk pada suhu 723° C.

d. Austenit

Austenit merupakan larutan padat intertisi karbon didalam struktur kristal fcc besi. Kelarutan karbon dalam austenit lebih besar dalam ferit. Kelarutan karbon maksimum dalam *austenite* lebih besar dari ferit. Kelarutan karbon maksimum dalam *austenite* adalah 2% pada suhu 1148°C dan menurun menjadi 0,8% C pada suhu 723°C, tidak stabil pada suhu kamar.

e. *Ledeburite*

Fasa ini merupakan suatu *eutectic mixture* dari austenit dan sementit, mengandung 4,3%C, terbentuk pada suhu 1130°C.

f. *Lower critical temperature* (temperatur kritis bawah)

Pada diagram Fe-Fe₃C tampak berupa garis mendatar pada suhu 723° C. Pada suhu ini terjadi reaksi *eutectoid* dimana *austenite* menjadi ferit dan sementit.

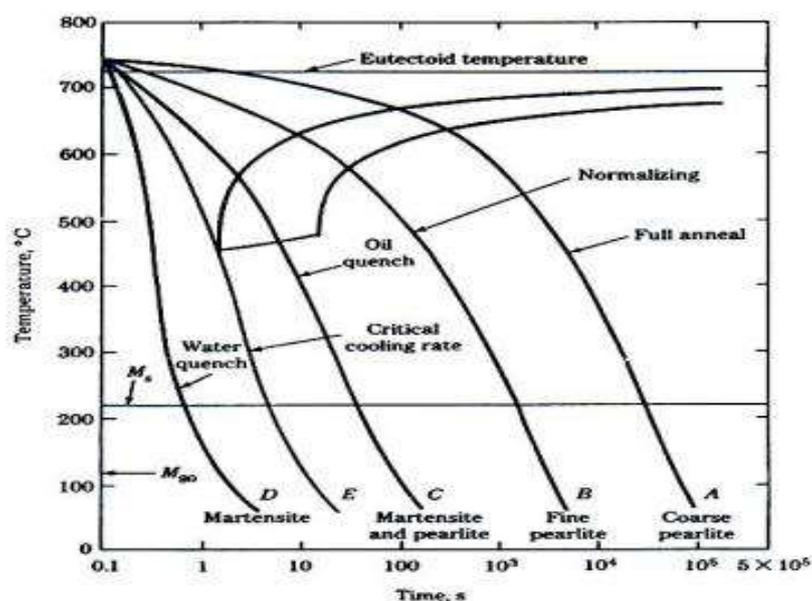
g. Sementit

Sementit merupakan campuran logam dengan karbon. Limit kelarutannya diabaikan, komposisi karbon 6,67% dan 93,3% Fe. Sementit merupakan senyawa keras, getas dan berkekuatan rendah.

2.16 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)

Saat kondisi perlakuan panas sebenarnya, transformasi umumnya tidak terjadi saat kondisi isothermal tetapi terjadi saat kondisi pendinginan yang terus menerus (Continuous Cooling).

Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation) menjelaskan bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti bahwa waktu pendinginan dari temperature *austenite* turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran *ferrite-pearlite-bainit-martensit*, *ferrite-bainit-martensit*, kemudian kemudian ke fasa bainit- martensit dan akhirnya pada kepeaan pendinginan yang tertinggi sekali membentuk fasa martensit (Nugroho dkk, 2019). Proses ini dapat kita lihat pada diagram CCT (Continuous Cooling Transformation) yang ditampilkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)

2.17 Diagram TTT (Time Temperature Transformations)

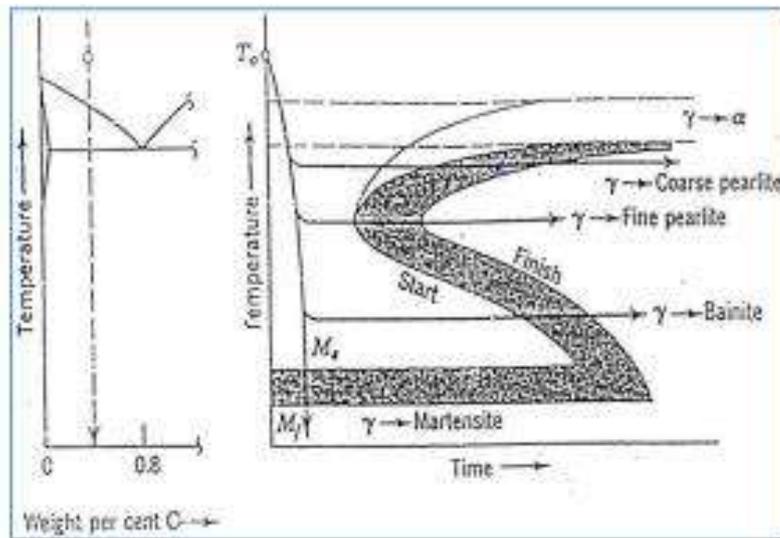
Untuk mendapatkan material dengan sifat- sifat yang diinginkan dapat dilakukan melalui pemanasan dan pendinginan. Tujuannya dilakukan pemanasan dan pendinginan adalah untuk mengubah struktur mikro dari material sehingga membentuk fasa martensit yang memiliki sifat keras. Pemanasan biasanya

dilakukan mencapai suhu *austenite* yaitu kurang lebih 770° C, sehingga perlit berubah menjadi *austenite* yang saling homogen karena memiliki cukup karbon. Pada temperatur yang lebih tinggi ferit menjadi austenit karena atom karbon difusi kedalam ferit tersebut. Untuk pengerasan baja, pendinginan dilakukan dengan cepat melalui pencelupan kedalam air, minyak ataupun jenis bahan pendingin lainnya sehingga atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit tidak sempat membentuk sementit dan ferit akibatnya *austenite* menjadi sangat keras yang disebut martensit.

Pada baja setelah terjadi *austenite* dan ferit kadar karbonnya akan menjadi semakin tinggi sesuai dengan penurunan temperatur dan akan membentuk *hipoeutektoid*. Pada saat pemanasan ataupun pendinginan difusi atom karbon memerlukan waktu yang cukup. Laju difusi pada saat pemanasan ditentukan oleh unsur unsur paduannya dan pada saat pendinginan cepat *austenite* yang berbutir akan mempunyai banyak martensit.

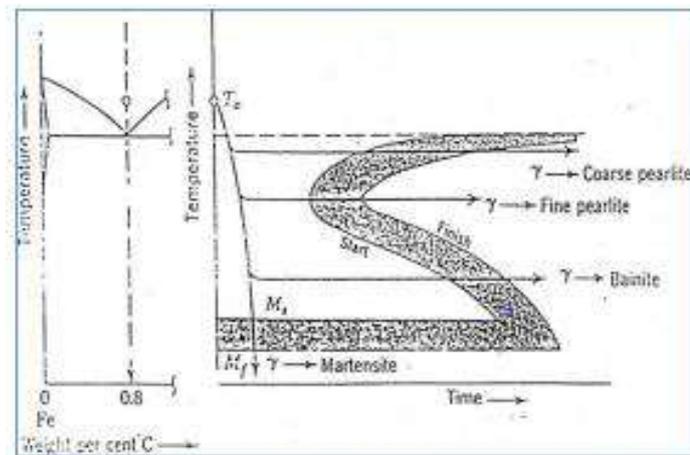
Fase kristal dan besarnya butir yang terjadi membentuk sifat baja. Apabila ferit dan sementit di dalam perlit berbutir besar, maka baja tersebut semakin lunak sebagai akibat dari pendinginan lambat. Sebaliknya baja akan semakin keras apabila memiliki perlit berbutir halus yang diperoleh pada pendinginan cepat. Baja dengan komposisi paduan alumunium, vanadium, titanium, dan zirkonim akan cenderung memiliki kristal berbutir halus.

Diagram TTT dipengaruhi oleh kadar karbonnya, semakin besar kadar karbonnya maka semakin bergeser kekanan. Apabila baja dipanaskan sampai mencair suhu *austenite*, pendinginan akan berlangsung terus menerus tidak isothermal walaupun didinginkan dengan berbagai media pendingin. Untuk menentukan laju reaksi perubahan fasa yang terjadi dapat diperoleh dari diagram TTT. Diagram TTT untuk baja dengan kandungan karbon di bawah dari 0,8% (*hipoeutectoid*) di tampilkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram TTT Baja *Hipoeutectoid* (Nugroho dkk, 2019)

Adapun diagram TTT untuk baja dengan kandungan karbon sebesar 0,8% (eutectoid) yang ditampilkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagram TTT Baja *eutectoid* (Nugroho dkk, 2019)

2.18 Uji Struktur Mikro (metallography)

(Mohrni dan Kembaren, 2013) Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya: mikroskop cahaya, mikroskop *electron*, *microscope field ion*, *microscope field emission*, dan mikroskop sinar-X. Adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui struktur mikro yang terdapat pada spesimen dan mengetahui serta membandingkan perubahan struktur mikro yang terjadi pada pelat yang telah menerima pembentukan.
2. Mengamati perubahan struktur mikro akibat proses yang dilakukan dan ditujukan untuk mengontrol kualitas bahan.
3. Memperkirakan sifat bahan jika perbandingannya telah diketahui.

Pada dasarnya pengamatan *metallography* adalah mengamati perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan specimen maka sinar tersebut akan di pantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Apabila permukaan semakin tidak rata maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul kedalam mikroskop, akibatnya warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Pengamatan *metallography* ini bertujuan untuk:

- a. Mengamati struktur mikro dari logam.
- b. Mengamati bentuk butiran.
- c. Menentukan ukuran butir.
- d. Mengamati kemungkinan adanya cacat mikro.
- e. Mengamati kemungkinan adanya impuritas.

Berdasarkan informasi dari pengamatan maka dapat diperkirakan jenis logam yang di amati dan komposisi kimianya dalam hal ini kadar karbonnya dengan melihat tipe struktur mikronya dan dapat di perkirakan sifat mekaniknya dan proses pengerjaan apa yang telah dialami oleh logam tersebut.

2.19 Uji Kekerasan Rockwell

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap indentasi/penetrasi permanen akibat beban dinamis atau statis. Beberapa definisi kekerasan lainnya yaitu energi yang diserap pada beban *impack* (kekerasan pantul), ketahanan terhadap goresan (kekerasan goresan), ketahanan terhadap abrasi (kekerasan abrasi) dan ketahanan terhadap pemotongan pengeboran

(mampu mesin). Hasil pengujian kekerasan tidak dapat diaplikasikan langsung dalam mendesain suatu konstruksi seperti halnya hasil pengujian Tarik. Namun demikian angka kekerasan material merupakan salah satu sifat mekanik yang penting dalam memilih suatu material. Pengujian kekerasan banyak dilakukan karena proses pengujian yang relatif sederhana dibandingkan dengan proses pengujian material lainnya. Dengan pengujian kekerasan dapat diketahui homogenitas suatu bahan akibat suatu proses pembentukan dingin, pengelasan, *heat treatment*, *case hardening* dan sebagainya.

(Haryadi, 2014) Pada pengujian kekerasan *Rockwell* diukur kedalaman pembedahan (t) penekan. Sebagai penekan pada baja yang dikeraskan digunakan sebuah kerucut intan. Untuk menyeimbangkan ketidakrataan yang diakibatkan oleh permukaan yang tidak bersih, maka kerucut intan ditekankan keatas bidang uji, pertama dengan beban pendahuluan 10 kg. setelah ini, beban ditingkatkan menjadi 150 kg sehingga tercapai kedalaman pembedahan terbesar. Sebagai ukuran digunakan kedalaman pembedahan menetap t dalam mm yang ditinggalkan beban tambahan. Sebagai satuan untuk ukuran t berlaku $e = t$ dalam 0,002 mm. pengujian kekerasan rockwell sebagai cara yang paling cocok untuk pengujian bahan yang keras, semakin keras bahan yang diuji maka semakin dangkal masuknya penekan. Jika semakin lunak bahan yang diuji maka semakin dalam masuknya penekan. Nilai kekerasan dapat dibaca setelah beban utama dilepaskan, Dimana beban awal masih menekan bahan. Skala nilai kekerasan *Rockwell* ditentukan oleh *Rockwell* sebagai berikut:

HRC = 100 untuk kedalaman penetrasi 0 mm,

HRC = 0 untuk kedalaman penetrasi 0,2 mm, dan

HRF = 130 untuk kedalaman penetrasi 0 mm.

Pengujian *Rockwell C* memiliki simbol dan satuan yang dapat mempermudah peneliti untuk memahami pengujian kekerasan yang dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Uji Kekerasan *Rockwell C*

Simbol	Arti	Satuan
-	Sudut lancip kerucut <i>diamond</i> (=120°)	0
-	Radius ujung kerucut <i>diamond</i> (= 0,2 mm)	mm
F ₀	Beban uji di awal (= 98,1 N)	N
F ₁	Beban uji utama (= 1337,4 N)	N
F	Beban uji total (+1471,5 N)	N
E ₂	Dalamnya luka tekan akibat uji awal	mm
E _g	Dalamnya luka tekan akibat beban uji utama	mm
E	Dalamnya luka tekan permanen jika beban utama F ₁ dihilangkan	mm

Adapun rumus kekerasan *rockwell* sebagai berikut:

$$HRC = 100 - \frac{E}{0,002} \quad (2.1)$$

Pada skala *Rockwell*, jarak 0,2 mm dibagi menjadi 100 bagian yang setara dengan 0,002 mm per bagian. Nilai kekerasan pada skala *Rockwell* diindikasikan dengan HRA, C, D = 100-e dan HRF = 130-e, di mana e merupakan kedalaman penetrasi yang dinyatakan dalam satuan 0,002 mm, jadi $e = tb / 0,002$. Oleh karena itu, e dapat dihitung dengan membagi kedalaman penetrasi (tb) dengan 0,002. Sebagai contoh, untuk nilai kekerasan 60 HRC, kedalaman penetrasi (tb) dapat dihitung dengan rumus $(100-60) \times 0,002 = 0,08$ mm, sedangkan untuk HRF, kedalaman penetrasi (tb) dapat dihitung dengan rumus $(130-60) \times 0,002 = 0,14$ mm. Rumus ini digunakan untuk menentukan tingkat kekerasan pada skala *Rockwell* dengan rumus

HRC = 100 - tb / 0,002 untuk *Rockwell* A, C, dan D, serta

HRB = 130 - tb / 0,002 untuk *Rockwell* selain A, C, dan D.

Spesifikasi uji Kekerasan *rockwell* dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Tabel Skala Kekerasan *Rockwell*

skala	Beban Mayor (Kgf)	Tipe indentor	Tipe material uji
A	60	1/16" bola, intan kerucut	Sangat keras, tungsten, karbida
B	100	1/16" bola	Kekerasan sedang, baja karbon rendah dan sedang, kuningan, perunggu
C	150	Intan kerucut	Baja keras, Paduan yang dikeraskan, baja hasil tempering
D	100	1/8" bola	Besi cor, Paduan aluminium, magnesium, hasil <i>annealing</i>
E	100	Intan kerucut	Baja kawakan
F	60	1/16" bola	Kuningan hasil <i>annealing</i> dan tembaga
G	150	1/8" bola	Tembaga, berilium, fosfor, perunggu
H	60	1/8" bola	Pelat aluminium, timah
K	150	1/4" bola	Besi cor, Paduan aluminium, timah
L	60	1/4" bola	Plastik, logam lunak
M	100	1/4" bola	Plastik, logam lunak
R	60	1/2" bola	Plastik, logam lunak
S	100	1/2" bola	Plastik, logam lunak
V	150	1/2" bola	Plastik, logam lunak

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Metode penelitian ini merupakan Langkah-langkah yang dilakukan pada saat proses penelitian sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar dan pada saat penelitian berlangsung.

3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Material Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Pemilihan lokasi tersebut dikarenakan fasilitas yang tersedia pada tempat tersebut dapat memperlancar pelaksanaan proses penelitian.

3.1.2 Waktu

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan mulai dari Juni 2023 sampai dengan Desember 2023. Adapun perencanaan jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Perencanaan dan Jadwal Penelitian

Rencana Kegiatan	Waktu (Bulan)					
	1	2	3	4	5	6
Studi Literatur						
Pembuatan proposal						
Seminar proposal penelitian						
Tahapan Penelitian dan Pengujian						
Analisa Data Dan Hasil						
Penulisan Skripsi & Bimbingan						
Seminar Hasil dan sidang akhir						

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Dibawah merupakan bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian, dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian

NO	BAHAN
1.	<i>Stainless steel 304</i>
2.	Arang ampas kopi
3.	Barium karbonat (BaCO_3)
4.	Oli
5.	Cairan etsa HNO_3 dan HCL
6.	Kertas pasir

3.2.2 Alat

Alat alat di bawah ini digunakan untuk memperlancar penelelitian

1. *Furnace*

digunakan untuk melakukan pemanasan proses *carburizing*. *Furnace* terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Furnace*

2. Gerinda

Gerinda digunakan untuk proses pemotongan logam secara *abrasive* melalui gesekan antara material *abrasive* dengan benda kerja/ logam. Dapat dilihat gambar gerinda pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Gerinda

3. Mikroskop *optic*

Mikroskop *optic* digunakan untuk melakukan pengamatan struktur mikro dari spesimen uji. Dapat dilihat gambar mikroskop *optic* pada Gambar 3.3

Gambar 3.3 Mikroskop *optic*

4. *Stopwath*

Stopwath digunakan untuk menghitung variasi waktu *quenching*. Dapat dilihat contoh *stopwatch* pada Gambar 3.4

Gambar 3.4 *Stopwath*

5. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur Ketebalan, diameter dalam, diameter luar dan mengukur kedalaman suatu benda. Dapat dilihat jangka sorong pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Jangka Sorong

6. Wadah penampung oli

Wadah penampung oli digunakan Untuk penampungan massa oli untuk media pendingin. Dapat dilihat wadah penampung oli pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Wadah Penampung Oli

7. Alat uji kekerasan

Alat uji kekerasan digunakan untuk mengukur nilai kekerasan atau kekakuan suatu material. Nilai kekerasan tersebut didapat dengan menekan indentor ke permukaan benda uji. Dapat dilihat alat uji kekerasan pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Alat Uji Kekerasan

3.3 Variabel penelitian

Variabel yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian kali ini antara lain sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas Dalam penelitian ini adalah proses perlakuan panas yang diberikan adalah *pack carburizing*.

2. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah pengujian *metallography* dan uji kekerasan *rockwell stainless steel 304* sebelum dan sesudah mengalami proses *pack carburizing* dengan temperatur 750°C, 775°C dan 800°C menggunakan arang ampas kopi dan campuran katalis BaCO₃ dan waktu tahan (Holding time) yang diberikan selama 60 menit, serta didinginkan (Quenching) menggunakan oli.

3.4 Prosedur penelitian

Adapun prosedur penelitian yaitu:

3.4.1 Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan dengan cara mencari dan mempelajari buku-buku, jurnal, dan tugas akhir alumni ataupun dari institut lain yang berkaitan dengan rumusan masalah yang digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3.4.2 Pemotongan spesimen uji

Sebelum dilakukannya pengujian *metallography* dan uji kekerasan, *stainless steel 304* terlebih dahulu dilakukan pemotongan sesuai ukuran spesimen uji. Pemotongan dilakukan dengan mesin gerinda potong dan dihaluskan menggunakan gerinda atau kertas amplas. Untuk spesimen uji memiliki ukuran maksimal berdiameter 25 mm dengan ketebalan 15 mm.

3.4.3 Aktivasi karbon

Prosedur pembuatan arang aktif ampas kopi dimulai dengan mencuci ampas kopi hingga bersih dan menjemur dibawah sinar matahari selama 2 x 24 jam, ampas kopi yang telah dikeringkan dimasukkan kedalam oven untuk dikeringkan

Kembali selama 24 jam dengan temperatur 105°C. Langkah selanjutnya yaitu ampas kopi dibakar sampai menjadi arang, kemudian di giling sampai halus dan disaring menggunakan ayakan dengan ukuran 100 mesh. Dan Langkah terakhir karbon di aktivasi dengan larutan *barium carbonat* (BaCO_3) selama 2 x 24 jam.

3.4.4 Perlakuan panas

Perlakuan panas pada penelitian ini menggunakan metode proses *pack carburizing*. Langkah utama yang harus di siapkan yaitu spesimen uji, dapur pemanas, karbon aktif dan media pendingin. Selanjutnya benda uji dipanaskan pada temperatur 750°C, 775°C dan 800°C menggunakan *furnace* dengan waktu tahan (holding time) 60 menit dan kemudian dilakukan pendinginan menggunakan oli.

3.5 Pengujian spesimen

Pada penelitian ini pengujian spesimen yang dilakukan adalah uji kekerasan dan uji *metallography*

3.5.1 Uji kekerasan

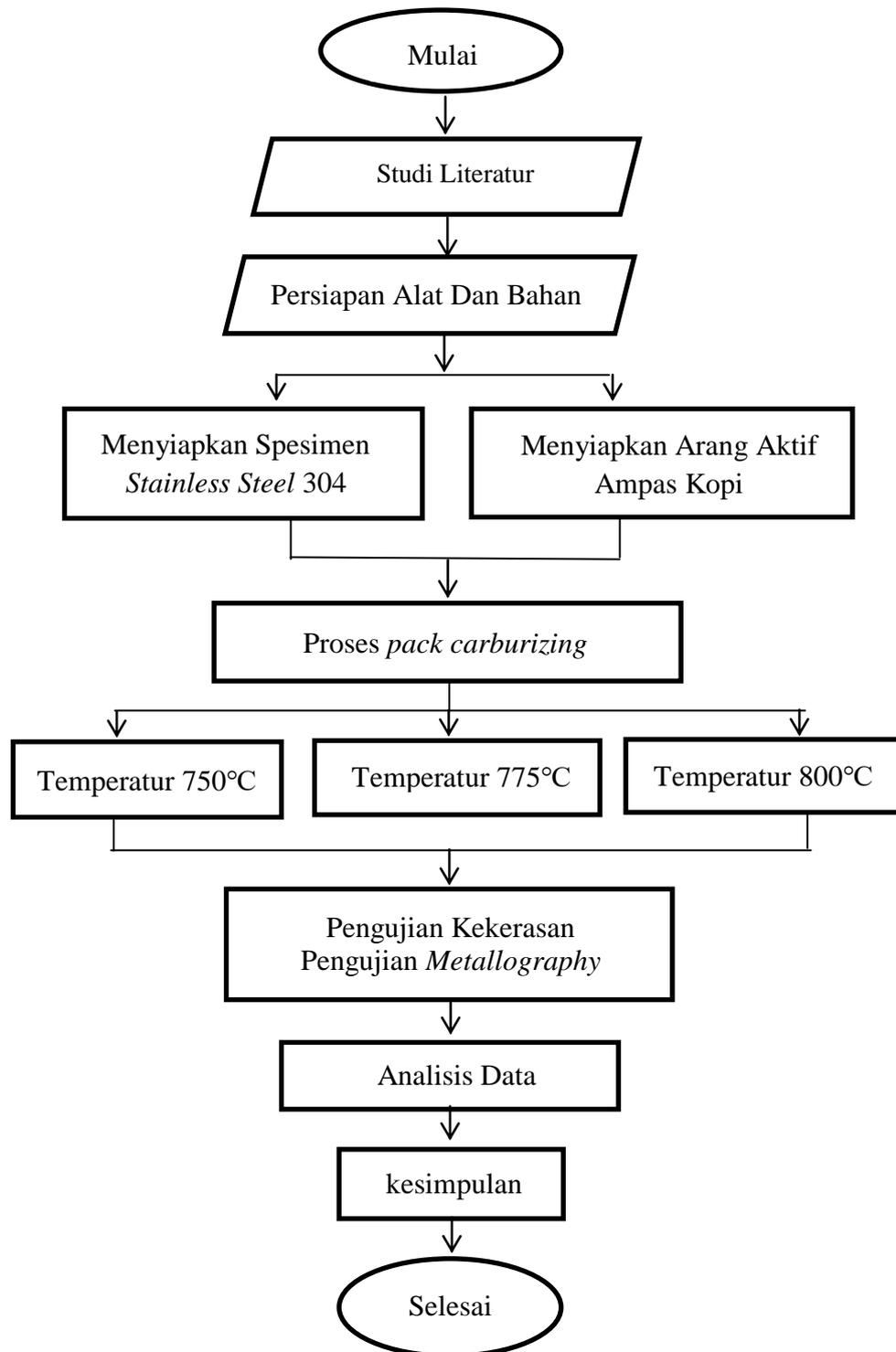
Setelah melewati proses perlakuan panas, spesimen di uji kekerasannya menggunakan metode pengujian *hardness rockwell*, tujuan pengujian ini untuk mengetahui perbedaan kekerasan permukaan material sebelum dan setelah penambahan karbon pada proses *pack carburizing*.

3.5.2 Uji mikro

Setelah melalui proses karburasi dan uji kekerasan benda uji dilakukan pengaplasan dan pengetsaan menggunakan HNO_3 dan HCl untuk diamati struktur mikronya menggunakan mikroskop optik dengan tujuan untuk dapat melihat perubahan struktur pada permukaan material.

3.6 Diagram Alir

Adapun untuk diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Diagram Alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

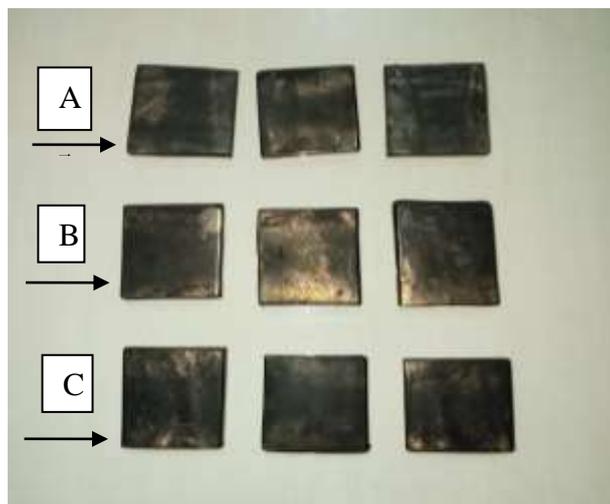
4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil dari proses perlakuan panas menggunakan metode *pack carburizing* dengan penambahan serbuk arang aktif ampas kopi terhadap *permukaan stainless steel 304* tidak mempengaruhi perubahan secara visual. Uji kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode *rockwell* (skala c) dengan pembebanan 1,471 N, waktu pembebanan minor 10-15 detik dan memakai indentor kerucut intan dengan sudut puncak 120° pada *stainless steel 304* yang telah dilakukan proses perlakuan panas metode *pack carburizing* dengan temperatur 750°C, 775°C dan 800°C. Dapat dilihat material sebelum perlakuan *pack carburizing* pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Material Sebelum Perlakuan *Pack Carburizing*

Dan material setelah perlakuan *pack carburizing* dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Material Setelah Proses *Pack Carburizing*

Pada Gambar 4.2 adalah gambar material setelah proses *pack carburizing*, pada tanda panah A yaitu gambar material setelah perlakuan *pack carburizing* pada temperatur 750°C , sedangkan pada tanda panah B adalah gambar material setelah perlakuan *pack carburizing* pada temperatur 775°C , dan pada tanda panah C adalah gambar material setelah perlakuan *pack carburizing* pada temperatur 800°C .

4.1.1 Kekerasan *Raw Material*

Nilai kekerasan pada *raw material* di perlukan untuk menjadi perbandingan antara kekerasan *raw material* dan kekerasan material setelah di lakukan proses *pack carburizing*. Kekerasan yang diuji pada 6 titik permukaan material mendapatkan nilai yaitu 67 HRC, 70 HRC, 65 HRC, 67 HRC, 70 HRC, dan 64 HRC. HRC rata-rata yang didapatkan paada *raw material* yaitu 67,1 HRC. Nilai HRC rata-rata ini akan digunakan sebagai perbandingan pada material yang telah melakukan proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur.

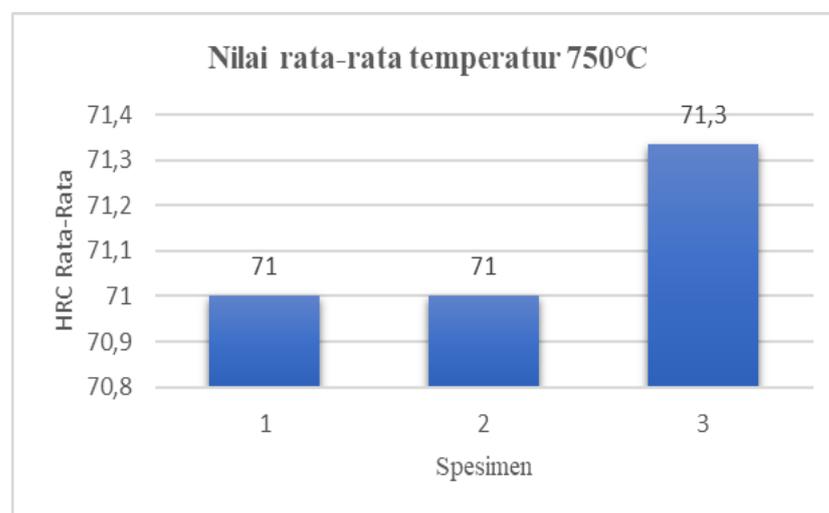
4.1.2 Kekerasan Temperatur 750°C

Nilai kekerasan material pada proses *pack carburizing* dengan temperatur 750°C dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Nilai Kekerasan Rata-Rata Pada Temperatur 750°C

No	Spesimen 1 (HRC)	Spesimen 2 (HRC)	Spesimen 3 (HRC)
1.	73	73	70
2.	70	71	71
3.	70	69	73
Nilai rata-rata	71 HRC	71 HRC	71,3 HRC

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 hasil proses perlakuan *pack carburizing* menggunakan arang aktif ampas kopi pada temperatur 750°C dengan pendinginan cepat menggunakan oli didapatkan nilai rata-rata pada spesimen 1 yaitu 71 HRC, pada spesimen 2 yaitu 71 HRC dan pada spesimen 3 yaitu 71,1 HRC. Peningkatan kekerasan pada material setelah perlakuan *pack carburizing* menggunakan temperatur 750°C terjadi karna penambahan karbon yang berdifusi ke dalam material. Dapat dilihat juga grafik nilai rata-rata spesimen yang menggunakan temperatur 750°C pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Nilai Rata-rata Spesimen Pada Temperatur 750°C

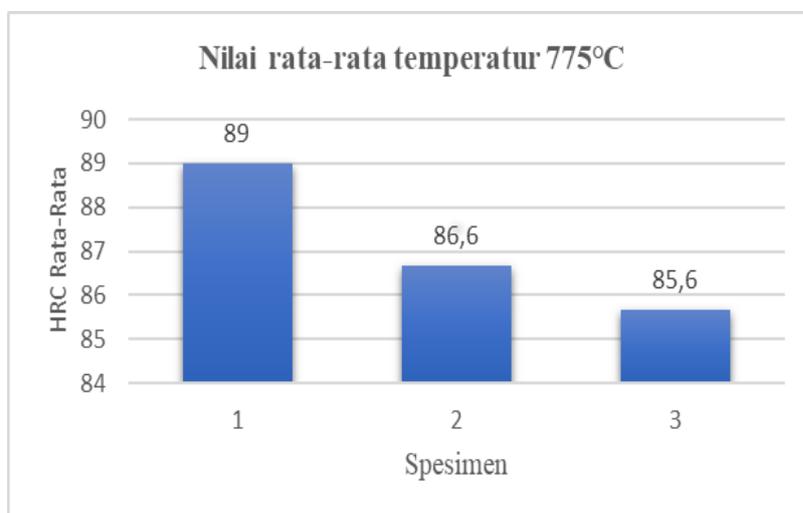
4.1.3 Kekerasan Temperatur 775°C

Nilai kekerasan material pada proses *pack carburizing* dengan temperatur 775°C dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Rata-Rata Pada Temperatur 775°C

No	Spesimen 1 (HRC)	Spesimen 2 (HRC)	Spesimen 3 (HRC)
1.	88	88	88
2.	84	88	85
3.	95	84	84
Nilai rata-rata	89 HRC	86,6 HRC	85,6 HRC

Dari hasil perlakuan *pack carburizing* menggunakan arang aktif ampas kopi pada temperatur 775°C dengan pendinginan cepat menggunakan oli mendapatkan nilai rata-rata pada spesimen 1 yaitu 89 HRC, pada spesimen 2 yaitu 86,6 HRC dan pada spesimen 3 yaitu 85,6 HRC. Selama proses karburasi atom-atom akan berdifusi ke dalam baja sehingga kandungan karbon pada baja semakin bertambah maka bertambah pula kekerasan pada permukaan baja. Dapat dilihat juga grafik nilai rata-rata spesimen yang menggunakan temperatur 775°C pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Nilai Rata-rata Spesimen Pada Temperatur 775°C

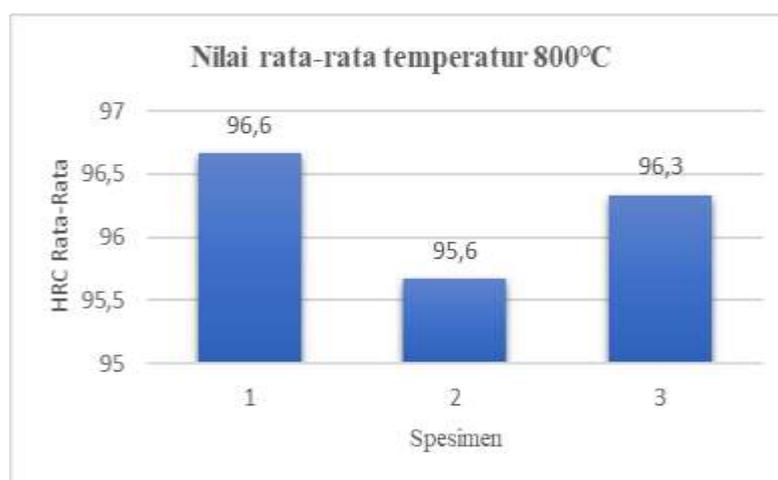
4.1.4 Kekerasan Temperatur 800°C

Nilai kekerasan material pada proses *pack carburizing* dengan temperatur 800°C dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Rata-Rata Pada Temperatur 800°C

No	Spesimen 1 (HRC)	Spesimen 2 (HRC)	Spesimen 3 (HRC)
1.	97	97	97
2.	98	95	95
3.	95	95	97
Nilai rata-rata	96,6 HRC	95,6 HRC	96,3 HRC

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat hasil nilai kekerasan yang di dapatkan dengan perlakuan *pack carburizing* menggunakan arang aktif ampas kopi pada temperatur 800°C dengan pendinginan cepat menggunakan oli pada spesimen 1 yaitu 96,6 HRC, pada spesimen 2 mendapatkan nilai 95,6 HRC dan pada spesimen 3 mendapat nilai yaitu 96,3 HRC. Maka terjadi peningkatan nilai kekerasan material dibandingkan dengan *raw material* dan material dengan perlakuan yang menggunakan temperatur 750°C dan 775°C. Semakin tinggi temperatur yang digunakan saat proses *pack carburizing* maka semakin tinggi kekerasan yang di dapat pada permukaan baja dikarenakan semakin tinggi temperatur yang digunakan maka semakin banyak atom-atom yang berdifusi kedalam permukaan baja. Dapat dilihat grafik nilai rata-rata spesimen yang menggunakan temperatur 800°C pada Gambar 4.5



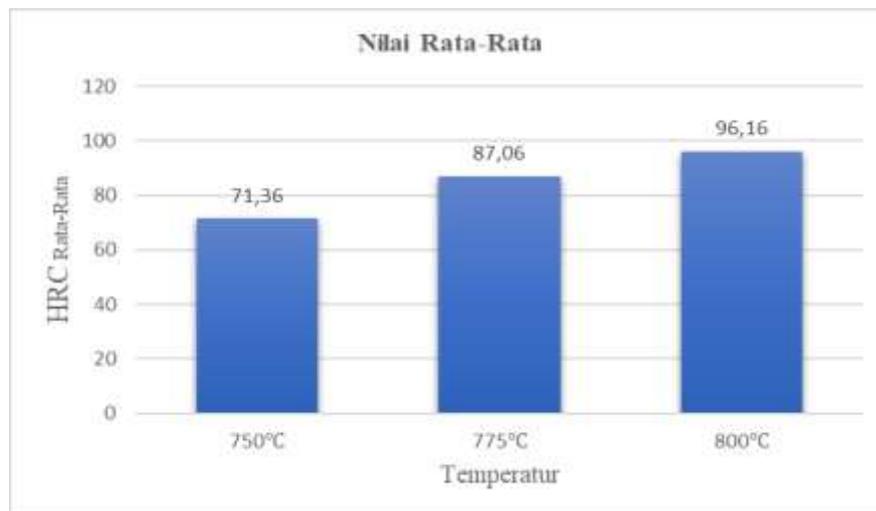
Gambar 4.5 Grafik Nilai Rata-rata Spesimen Pada Temperatur 800°C

Dapat dilihat hubungan nilai rata-rata kekerasan material dari semua variasi temperature yaitu 750°C, 775°C dan 800°C pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai Rata-Rata Kekerasan Dengan Temperatur Temperatur 750°C, 775°C Dan 800°C

Temperatur	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	HRC rata-rata
750°C	71 HRC	71 HRC	71,3 HRC	71,3 HRC
775°C	89 HRC	86,6 HRC	85,6 HRC	87 HRC
800°C	96,6 HRC	95,6 HRC	96,3 HRC	96,1 HRC

Dari hasil penelitian didapatkan nilai rata-rata dari variasi temperatur 750°C sebanyak 71,3 HRC dan pada variasi temperatur 775°C mendapatkan nilai rata-rata yaitu 87 HRC dan pada variasi temperatur 800°C mendapatkan nilai rata-rata yaitu 96,1 HRC. Semakin tinggi temperatur yang digunakan pada proses *pack carburizing* maka semakin tinggi kekerasan pada permukaan material yang disebabkan semakin banyak atom-atom karbon yang berdifusi ke dalam material. Kekerasan yang didapatkan pada permukaan material dikarenakan penambahan karbon aktif, dimana karbon merupakan unsur kimia yang mempengaruhi kekerasan pada baja. Menurut (Andryansyah dkk, 2017) bahwa peningkatan kekerasan *stainless steel* 304 tidak mungkin dilakukan dengan proses perlakuan panas karena *stainless steel* merupakan material *austenitic* yang tidak berpengaruh apa-apa jika diberikan proses perlakuan panas dalam jangkauan kadar karbon pada kondisi stabil. perubahan drastis dalam sifat dapat dicapai melalui perlakuan panas yang menghambat atau mempercepat terjadinya keseimbangan tersebut. Dengan pendinginan cepat (*quenching*) tidak ada waktu yang cukup bagi *austenite* untuk berubah menjadi *pearlite*, *ferrit*, dan cementit, sebaliknya menyebabkan *austenite* berubah menjadi martensit. Namun pada penelitian ini peningkatan kekerasan dikarenakan adanya penambahan karbon aktif melalui proses *pack carburizing*. Dapat dilihat grafik hubungan rata-rata HRC dengan variasi temperatur 750°C, 775°C dan 800°C pada Gambar 4.6



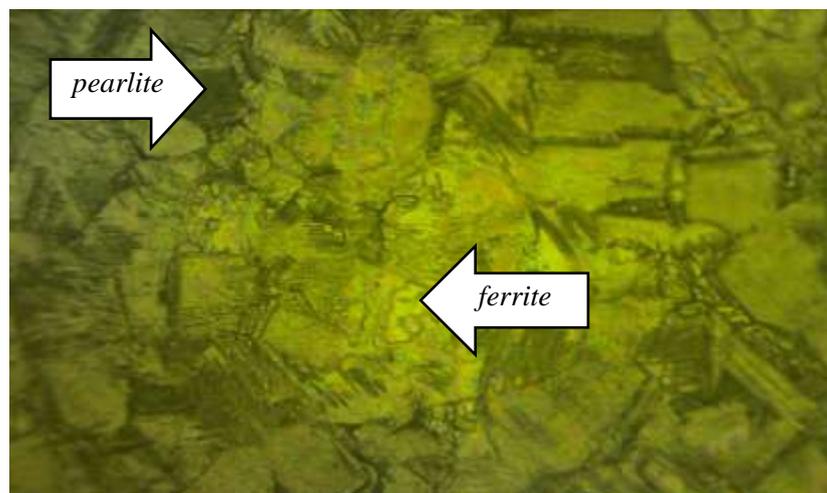
Gambar 4.6 Grafik HRC Rata-rata Temperatur 750°C, 775°C dan 800°C

4.2 Hasil Pengujian *Metallography*

Pengamatan struktur mikro ini bertujuan sebagai perbandingan struktur mikro pada *raw material* dan material setelah proses *pack carburizing*. Pembesaran yang digunakan yaitu pembesaran 80 x. pengambilan foto struktur mikro pada bagian tepi mendekati Tengah. Hasil struktur mikro menunjukkan bahwasanya banyak berubahnya sel butiran BCC (body centered cubic) yang termasuk kedalam fasa ferrit yaitu ruang atom relatif lebih rapat.

4.2.1 Struktur Mikro *Raw Material*

Dapat dilihat foto struktur mikro pada *raw material* pada Gambar 4.7

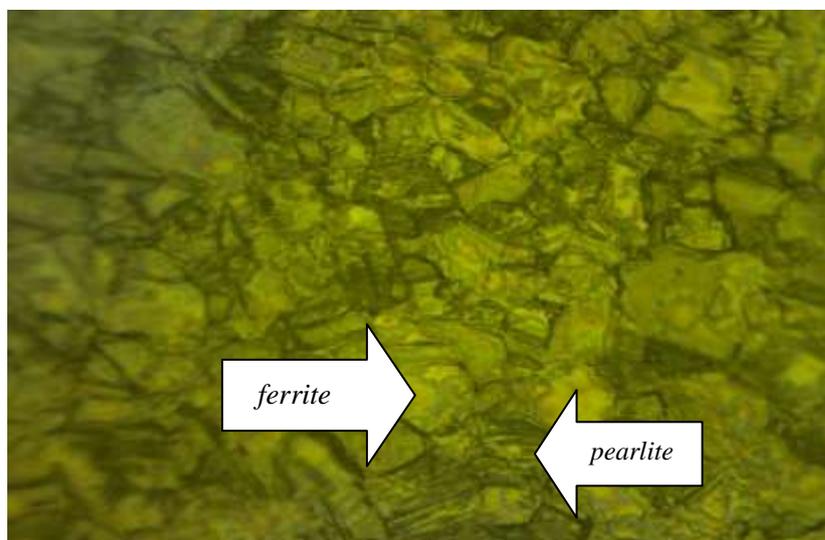


Gambar 4.7 Struktur *Raw Material*

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dari *raw material*. Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa material tanpa perlakuan memiliki dua fasa yaitu *ferrite* dan *pearlite*. Kedua fasa tersebut merupakan fasa-fasa umum yang terdapat pada baja. Namun kandungan fasa *ferrite* dan *pearlite* pada material ini hampir sama jumlahnya.

4.2.2 Struktur Mikro Pada Temperatur 750°C

Adapun hasil yang diperoleh dari struktur mikro dengan perlakuan *pack carburizing* pada temperatur 750°C dapat dilihat pada Gambar 4.8

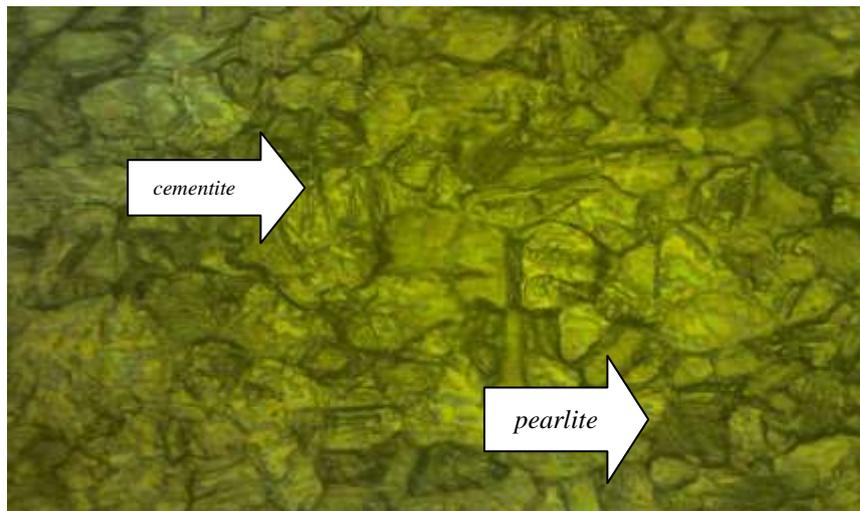


Gambar 4.8 Struktur Mikro Temperatur 750°C

Gambar 4.8 menunjukkan struktur mikro yang kadar karbonnya bertambah setelah proses perlakuan *pack carburizing* dibandingkan dengan struktur mikro pada material tanpa perlakuan. Struktur mikro material pada perlakuan *pack carburizing* dengan variasi temperatur 750°C masih mengandung *ferrite* dan *pearlite*, yang dimana *ferrite* itu sendiri yang berwarna lebih terang dan *pearlite* yang bergaris-garis seperti cangkang kerang atau mutiara.

4.2.3 Struktur Mikro Pada Temperatur 775°C

Hasil yang diperoleh dari struktur mikro pada temperatur 775°C dapat dilihat pada Gambar 4.9

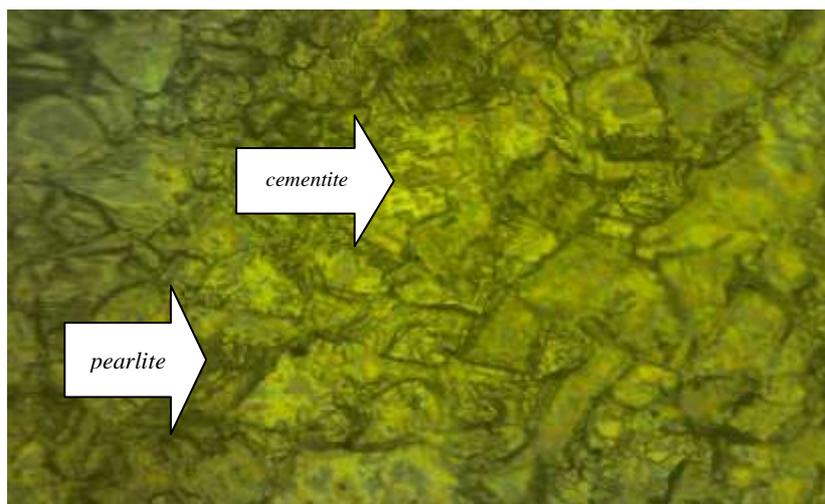


Gambar 4.9 Struktur Mikro Temperatur 775°C

Setelah mengalami perlakuan *pack carburizing* dengan variasi temperatur 775°C pada Gambar 4.9 terlihat masih ada fasa *pearlite* yang terkandung didalamnya dan juga fasa *cementite* yang berwarna kekuningan yang membatasi butiran-butiran pada atom.

4.2.4 Struktur Mikro Pada Temperatur 800°C

Adapun hasil yang diperoleh dari struktur mikro pada temperatur 800°C dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Struktur Mikro Temperatur 800°C

Pada Gambar 4.10 terlihat struktur mikro material setelah perlakuan *pack carburizing* pada variasi temperatur 800°C dengan fasa *pearlite* dan *cementite*.

Fasa *pearlite* terdiri dari campuran khusus dari dua fasa dan terbentuk sewaktu *austenite* dengan komposisi *eutoctoid* bertransformasi menjadi ferit dan karbida besi secara bersamaan. Adapun fasa *cementite* yang berwarna kekuningan lebih terang ini yang dikarenakan pendinginan yang tidak terlalu cepat setelah proses karburasi yang membuat susunan atom tidak rapat masi ada pembatas. Adanya fasa *cementite* ini tetap membuat baja menjadi semakin keras dan getas.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan arang aktif ampas kopi pada proses *pack carburizing* menggunakan variasi temperatur dan pendinginan dengan oli dapat meningkatkan kekerasan pada *stainless steel* 304. Kekerasan yang berubah pada permukaan *stainless steel* 304 adalah bagian dari sifat mekanik material. Semakin tinggi temperatur yang digunakan maka semakin meningkat kekerasan permukaan material dikarenakan semakin banyak atom-atom yang berdifusi kedalam material. Kekerasan yang di dapat pada temperatur 750°C adalah 71,3 HRC, pada temperatur 775°C mendapatkan kekerasan rata-rata 87 HRC dan yang paling tinggi pada temperatur 800°C yaitu mendapatkan kekerasan 96,1 HRC.
2. Pengamatan struktur mikro pada *stainless steel* 304 setelah proses *pack carburizing* menunjukkan bahwa terdapat struktur-struktur yang membuat material semakin keras seperti *pearlite* dan *cementite*, maka semakin tinggi temperatur semakin padat karbon yang terkandung didalamnya dan semakin keras permukaan material.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan lebih jelas sebaiknya peneliti menambahkan variasi *holding time*.
2. Perlunya melakukan perawatan pada alat uji kekerasan agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghadiati (2017). "Tinjauan Pustaka". Convention Center Di Kota Tegal.
- Andryansyah, Mudi H, Arismunandar PS, Darlis, Dwijo M, Deswandri, Geni R. Sunaryo (2017). "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Austenitic Stainless Steel Ss304". Badan Tenaga Nuklir Nasional Indonesia, Tangerang Selatan.
- Azwaruddin dan Mohammad Rizal. (2018). "Perancangan Mesin Pembuat Panci Menggunakan Hidrolik". University of Muhammadiyah Malang.
- Bathony F.R (2016). "Efek Persentase Barium Karbonat Dengan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kekerasan Baja Karbon Aisi 2015". Universitas Kristen Indonesia Toraja.
- Daryus. (2009). "Pengaruh Heat Treatment Pada Sifat Logam". Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri.
- Farhan, Bukhari, Hamdani, Ilyas Y, dan Zuhaimi (2021). "Pengaruh Temperatur Pemanasan (Austenisasi) Perlakuan Panas Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja St 60". Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Ghadeer, Edrees E, Mahmood A Hmood, dan Yahya A Salman. (2021). "Study of the Structural Properties and Microscopic Hardness of a Carburized Stainless Steel Alloy". Department of physics, College of Science, University of Mosul.
- Haryadi, Gunawan Dwi. (2014). "Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460". Universitas Diponegoro Malang.
- Idrus dan Rosita. (2013). "Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa". Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Iriyanti dan Rozanna. (2010). "Pembuatan Arang Aktif dari Arang Sisa Pembuatan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit dengan Metode Aktifasi Kimia-Fisika". Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Irwan, Yusril. (2018). "Meningkatkan Kekerasan Permukaan Sparepart Lokal Kendaraan Bermotor Dengan Cara Karburasi Cair Karburasi". Institut Teknologi Nasional-Bandung.

- Ismah, Zata. (2022). "Pemanfaatan Arang Aktif Dari Ampas Kopi Dan Sekam Padi Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb)". Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-raniry.
- Kurniawan, okta. (2019). "Pengaruh Variasi Media Arang Tempurung Kelapa, Tongkol Jagung, Dan Kayu Jati Pada Metode Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Ss400". Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Laonual, Yossapong, dan S Jugjai. (2015). "Design of Constant Volume Combustion Chamber with Pre-Combustion". International Conference on Mechanical Engineering.
- Ii, (2015). "Pengaruh Waktu Tahan Proses Pack Carburizing pada Baja Karbon Rendah dengan menggunakan Calcium Carbonat dan Arang Tempurung Kelapa ditinjau dari Kekerasan". Universitas Muhammadiyah Malang.
- Mohruni dan Kembaren. (2013). "Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Kuat Arus Dengan Elektroda E6013". Jurnal Rekayasa Mesin, Universitas Sriwijaya.
- Najiyati, Sri dan Danarti. (2001). "Budidaya Kopi Dan Penangan Pasca Panen". Penebar Swadaya. Jakarta.
- Nugroho Eko, Handono S. D, Asroni, dan Wahidin. (2019). "Pengaruh Temperatur Dan Media Pendingin Pada Proses *Heat Treatment* Baja AISI 1025 Terhadap Kekerasan Dan laju Korosi". Universitas Muhammadiyah Metro.
- Nurmalita N, Raudhatul R, Zulkarnain J, Syahrin N, dan Adi S. (2022). "The Physical and Chemical Properties Of Activated Nanocarbon Produced From Robusta (*Coffea Canephora*) Coffee Pulp Under Slow Pyrolysis Method". Coffee Science, Universitas Syiah Kuala dan Universitas Malikussaleh.
- Prabowo, Aryo aji. (2019). "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan Bending Baja Aisi 1010". Universitas Negeri Semarang.
- Prapaska (2020). "Pengaruh Karburisasi Padat Dan Quenching pada suhu 800° C Dengan Waktu Penahanan 4,6,8 Jam Menggunakan Media Arang Batok Kelapa Dan Kulit Telur Sebagai Katalisator Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah". Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Rahardjo, Pudji. (2012). "Kopi budidaya dan pengolahan kopi arabika dan robusta". Penebar Swadaya Grup, Jakarta.
- Sani. (2011). "Pembuatan Karbon Aktif dari Tanah Gambut". Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Jawa Timur.

- Saputri A.P, Ayu P dan Dodi Satriawan. (2023). "Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Kopi Robusta dan Tempurung Kelapa dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida". Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap.
- Sembiring dan Sinaga. (2003). " Arang Aktif Pengenalanya dan Proses Pembuatannya". Universitas Sumatera Utara.
- Sitanini, Ayu, Agus Sutanto, dan Irene Kartika Eka Wijayanti. (2020). "Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Volume Ekspor Kopi Indonesia Ke Jepang" Magister Agribisnis Universitas Jenderal Soedirman.
- SNI. (1995). "Arang Aktif Teknis. Badan Standar Nasional" SNI 06-3730-1995: Jakarta
- Sujita, (2016). " Proses Pack Carburizing dengan Media Carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Sumarji. (2011). "Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 Dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu Dan Ph" Universitas Jember.
- Sundari, Ella dan Fahlevi, R. (2018). "Mekanis Sprocket Imitasi Sepeda Motor Menggunakan Katalisator" Jurusan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wartsila Corporation. (2022). "Wartsila Land & Sea Academy".
- Wirawan, T. (2012). "Adsorpsi Fenol oleh Arang Aktif dari Tempurung Biji Jarak Pagar" Universitas Mulawarman, Samarinda.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kedalaman Uji Kekerasan Akibat Beban Uji

$$HRC = 100 - \frac{E}{0,002}$$

Raw Material $67,1 = 100 - \frac{E}{0,002}$

Maka,

$$E = (100 - 67,1) \times 0,002 = 0,0658 \text{ mm}$$

Temperatur 750°C $71,3 = 100 - \frac{E}{0,002}$

Maka,

$$E = (100 - 71,3) \times 0,002 = 0,0574 \text{ mm}$$

Temperatur 775°C $87 = 100 - \frac{E}{0,002}$

Maka,

$$E = (100 - 87) \times 0,002 = 0,026 \text{ mm}$$

Temperatur 800°C $96,1 = 100 - \frac{E}{0,002}$

Maka,

$$E = (100 - 96,1) \times 0,002 = 0,0078 \text{ mm}$$

Lampiran 2. Surat Penunjuk Pembimbing Tugas Akhir

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)
Telepon (0645) 41373-40915 Faks: 0645-44450
Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email: ft@unimal.ac.id

SURAT PENUNJUKAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
Nomor : 219/UN45.L1/KM.00.00/2023

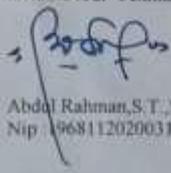
Sehubungan dengan kegiatan pelaksanaan Tugas Akhir mahasiswa atas :

Nama	: Dinda Natasya
Nim	: 190120079
Usulan Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Aktif Ampas Kopi Terhadap Permukaan Stainless Steel 304 dengan Variasi Temperatur Menggunakan Proses Pack Carburizing
Pada Semester	: Genap
Tahun Akademik	: 2022/2023

Dengan ini menunjukkan Bapak Reza Putra, S.T., M. Eng NIP. 197806292005011004 Sebagai pembimbing Utama dan Bapak Abdul Rahman, S.T., M. Eng NIP. 196811202003121001 Sebagai pembimbing Pendamping Tugas Akhir mahasiswa tersebut diatas. Berdasarkan surat tugas ini, proses bimbingan terhadap mahasiswa tersebut ditetapkan, dan akan ditetapkan kembali melalui Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik.

Demikian surat ini dikeluarkan dan untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Lhokseumawe, 26 Juni 2023
Ketua Prodi Teknik Mesin


Abdul Rahman, S.T., M. Eng
Nip : 196811202003121001

Tembusan :

- Dosen Pembimbing
- Administrasi Prodi
- Mahasiswa Bersangkutan

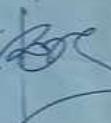
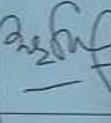
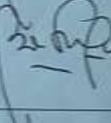
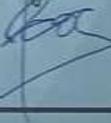
Lampiran 3. Kartu Kegiatan Konsultasi Tugas Akhir



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
 UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN – PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
 Jl. Batam, Blang Pulo, Maza Sata- Lhokseumawe – Aceh (24352)
 Tel. (0645)41373-40915, Faks. (0645)44450
 website: <https://bm.unimal.ac.id>, e-mail: teknik.mesin@unimal.ac.id

KARTU KEGIATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

A. Identitas Mahasiswa		Kode Form		
Nama	Dinda Natasya	JTM.03/TGA		
NIM	190120019			
Konsentrasi Bidang (KDK)	Material			
Dosen Pembimbing I	Reza Putra, S.T., M.Eng			
Dosen Pembimbing II	Abdul Rahman, S.T., M.Eng			

No	Hari/ Tanggal	Materi Bimbingan	Koreksi dan Arahan	Tanda Tangan Pembimbing
	10 Mei 2023	Konsultasi judul	Selesaikan laporan dan Penderaan TGA	
	17 Mei 2023		kecuali Penulisan TGA	
	24 Mei 2023		Parafkan Penulisan	
	31 / Mei 2023	Revisi Bab..	- Parafkan lampirannya di buku dan Tambah ke Revisinya sebelum di Dokter Postate.	
	7 / 2023 / 6	Revisi di parafkan Revisi di lampir	- Leprepi Pengantar 4a ke dalam buku - Sub Dpt. & semirink	
	28 / 2023 / Agustus	Konsultasi tentang Penelitian	- Bimbingan Revisi	



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN - PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
Jl. Batun, Hlang Pulo, Muara Sani- Lhokseumawe - Aceh (24352)
Tel. (0643)41373-40915, Faks. (0643)44430
website: <https://tu.unimal.ac.id>, e-mail: info@kemessio.unimal.ac.id

Kartu Kegiatan Konsultasi Tugas Akhir				Form JTM.03/TGA
No	Hari/ Tanggal	Materi Bimbingan	Konkret dan Arahkan	Tanda Tangan Pembimbing
	10 / ²⁰²³ Desember	Konsultasi Hasil Penelitian	- Legenda Pondsiran Laporan	
	17 / ²⁰²³ 10	konsultasi BAB IV	- Menda pangsiran Struktur Miro	
	18 / ²⁰²³ 10	konsultasi BAB IV dan BAB V	- Legenda Lampiran - Bent Absah	
	24 / ²⁰²³ 10	konsultasi BAB V	Tambahan fungsian Hasil Struktur Miro	
	31 / ²⁰²³ 10	konsultasi BAB IV	Ganti Grafik dan Perinci Gambar	
	6 / ²⁰²³ 11		Ace Gambar Hasil	
	7 / ²⁰²³ 11	Revisi dan Ruber (Prosaig/ jurnal dan buku untuk diantar Revisi)	- Parababi an distensi - dan sign ruber - Perfile yang lam = uyl	

Catatan:

1. Lembar ini diprint pada kertas warna biru muda.
2. Diisi setiap kali pertemuan dan jumlah pertemuan bimbingan disesuaikan dengan kebutuhan.

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian



Dokumentasi 1. Pengeringan Ampas Kopi



Dokumentasi 2. *Pack Carburizing* Dalam *Furnace*



Dokumentasi 3. Proses *Quenching* Dengan Media Oli



Dokumentasi 4. Pengujian *Hardness Test* (Rockwell C)



Dokumentasi 5. Hasil Uji Kekerasan *Rockwell*



Dokumentasi 6. Proses Pengetsaan Material



Dokumentasi 7. Pengujian Mikro Struktur (metallography)

Lampiran 5. Sertifikat Material *Stainless Steel 304*

VIRAJ PROFILES LTD.



Works: SURVEY NO.- 25/1, 25/2, 26 & 34, Village- MAAN, Taluka- PALGHAR, Dist.- THANE, MAHARASHTRA -401 506, INDIA.

TEST CERTIFICATE

CUSTOMER GLOBALINDO ANUGERAH JAYA ABADI PT. JL. TUBAGUS ANOKE NO. 31, JAKARTA BARAT.	ORDER NO PG2910	PACKING LIST NO 64/1003399/5	INSPECTION NO 100006452316	DATE 26.03.2016
			GRADE SS 304	HEAT No 40154

BUNDLE NO :
1100481117 ,1100481116 ,1100481115 ,

DESCRIPTION

26.640TON STAINLESS STEEL BRIGHT BAR(SS304) TYPE OF GOODS: STAINLESS STEEL BRIGHT BAR QUALITY OF GOODS: NEW/IS
NO.72222019CONTRACT/PO NO.ORDER CONFIRMATION:30069430COUNTRY ORIGIN:INDIA

PEELED & POLISHED

SIZE	SHAPE	TOLERANCE	LENGTH	PIECES	WEIGHT
3"	ROUND	h9	6.00(-0/+50MM)	13	2.834 TO

CHEMICAL ANALYSIS

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Cr	%Ni	%Cu	%Mo	%Co	%N2
0.0170	1.290	0.370	0.0250	0.0360	18.300	8.060	0.660	0.440	0.150	0.07500

TEST RESULTS

0.2% yield strength MPa	Tensile Strength MPa	Elongation %	Reduction Of Area %	Hardness BHN
282.0	585.0	58.0	70.0	176.0

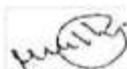
SPECIFICATION:

MATERIAL CONFORMS TO ASTM A276/A276M-16 COND A,
INTERGRANULAR CORROSION TEST SATISFACTORY AS PER ASTM A262-14 PRACTICE E.
CERTIFIED AS PER EN 10204-3.1.

REMARKS

MATERIAL IS FREE FROM MERCURY CONTAMINATION FREE FROM WELD OR WELD REPAIRS.
MINIMUM SOLUTION ANNEALING TEMPERATURE 1050°C,SOAKING TIME 01 HR/INCH WATER QUENCHED.
WE CONFIRM THAT THE MATERIAL HAS BEEN TESTED AND FOUND TO BE FREE FROM RADIOACTIVE CONTAMINATION.

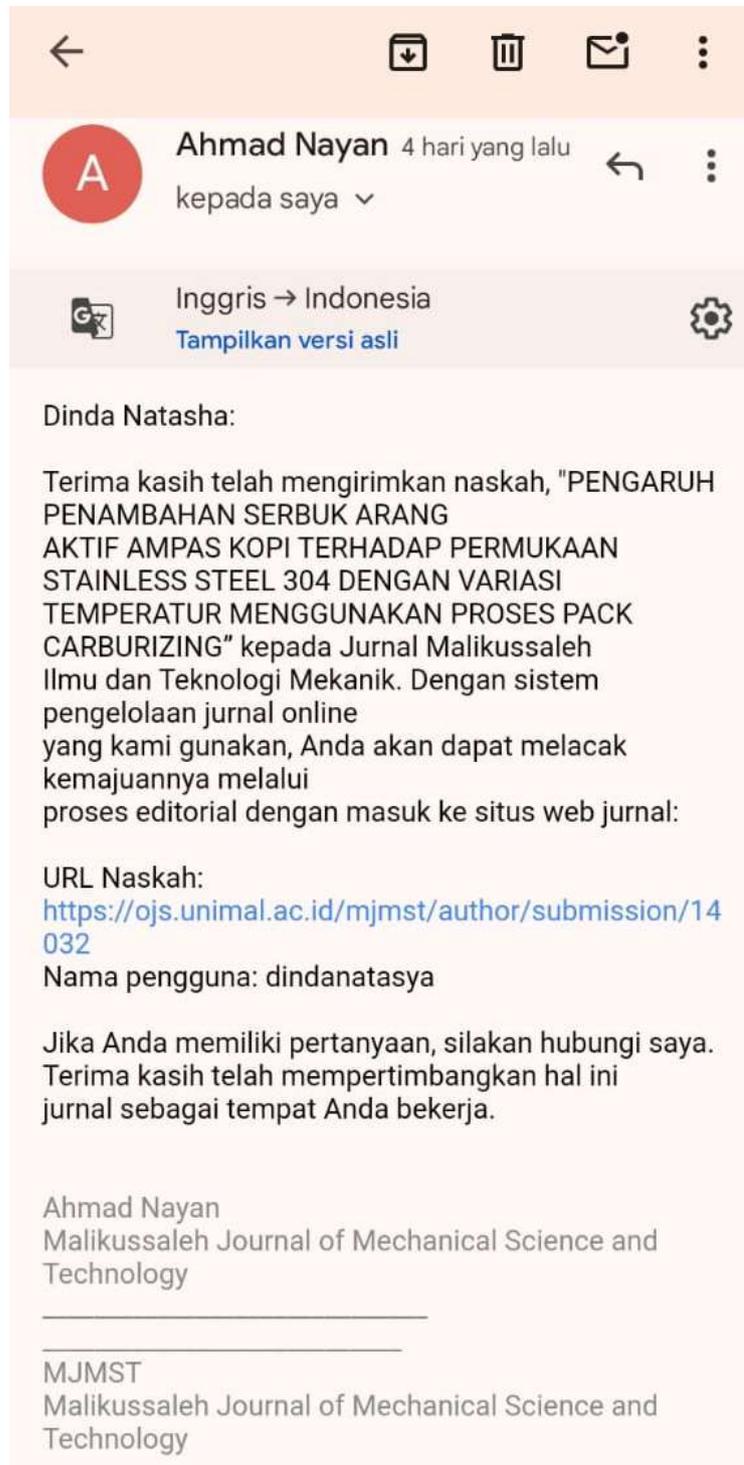
We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of order/contract.


WORKS INSPECTOR
K R K MURTHY

Lampiran 6. Sertifikat TOEFL



Lampiran 7. Bukti Submit Jurnal



Lampiran 8. *Curriculum Vitae*



DINDA NATASYA

📍 Lhokseumawe, Aceh 24355

📞 +62 82346415443

✉️ dinda.190120079@mhs.unimal.ac.id

SUMMARY

Qualified system owner with extensive background in advanced management processes. Utilises superior communication skills to build meaningful, trusting relationships that exceed client demands. Highly skilled project manager with outstanding team leadership abilities to meet targets consistently.

EXPERIENCE

KERJA PRAKTEK, 08/2022 - 10/2023

PT. PJB UBJ O&M PLTMG ARUN, Desa Meuriah Paloh, Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh, Indonesia

SKILLS

- Team leadership
- Team coordination
- Meeting expectations
- Microsoft Excel

EDUCATION

Universitas Malikussaleh, Kampus Utama Jl. Col Tengku Nie, Reuleut, Muara Batu, 2023
Certificate of Higher Education: **Mechanical Engineering**

LANGUAGES

Indonesian: First Language

English: A2

Elementary