

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA UJI CARBURIZING PADA TEMPERATUR 750°C,
850°C, 950°C TERHADAP PENGARUH KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO PADA BAJA AISI 1020 DENGAN MEDIA
PENDINGIN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI




DISUSUN OLEH :

NAMA : DHURATUL REDHA ALDHATU
NIM : 18.11.127

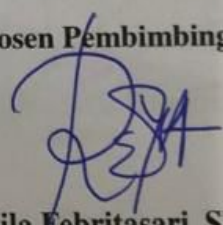
Malang, 17 Mei 2022

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing 1


Febi Rahmanto, ST., MT
NIP. P. 1031500490

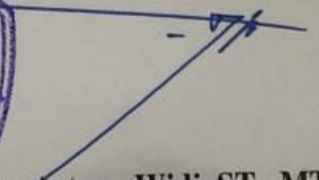
Dosen Pembimbing 2


Rosadila Febritasari, ST., MT.
NIP. P 1032200602

Mengetahui



Ketua Program Studi Teknik Mesin S-1


Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT.
NIP.Y.1030400405



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

FT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NAGAMALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417836 Fax. (0341) 417834 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
NIM : 18.11.127
Jurusan / Bidang : Teknik Mesin / Material
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Analisa Uji *Carburizing* Pada Temperatur 750°C,
850°C, 950°C Terhadap Pengaruh Kekerasan dan
Struktur Mikro Pada Baja AISI 1020 Dengan Media
Pendingin Menggunakan Metode *Taguchi*.

Dipertahankan Dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) Pada
Hari : Selasa
Tanggal : 02 Agustus 2022
Dengan Nilai : 79,3 (B+)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT.
NIP. Y. 1030400405

Sekretaris

Febi Rahmadianto, ST., MT.,
NIP.P. 1031500490

Anggota Penguji

Penguji I

Dr. I Komang Astana Widi, S.T., M.T.
NIP. Y. 1030400405

Penguji II

Tito Arif Sutrisno, S.Pd., MT.
NIP. P. 1032100598

PERNYATAAN KEASLIAN ISI SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
Nim : 1811127
Jurusan : Teknik Mesin S-1
Fakultas : Teknologi Industri
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“ANALISA UJI CARBURIZING PADA TEMPERATUR 750°C, 850°C, 950°C TERHADAP PENGARUH KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA AISI 1020 DENGAN MEDIA PENDINGIN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI”** adalah skripsi yang disusun atas dasar penelitian yang saya lakukan sendiri, bukan duplikasi serta tidak mengutip atau menyadur sebagian atau sepenuhnya dari karya orang lain, kecuali yang sudah disebutkan sumber aslinya.

Malang, 10 Mei 2022

Yang membuat pernyataan



Dhuratul Redha Aldhatu

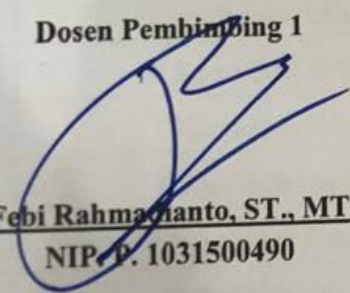
18.11.127

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

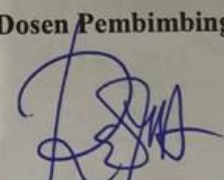
Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
Nim : 1811127
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Analisa Uji *Carburizing* Pada Temperatur 750°C,
850°C, 950°C Terhadap Pengaruh Kekerasan dan
Struktur Mikro Pada Baja AISI 1020 Dengan Media
Pendingin Menggunakan Metode *Taguchi*.
Dosen Pembimbing : Febi Rahmadianto, ST., MT. (Pembimbing 1)
Rosadila Febritasari, ST., MT. (Pembimbing 2)
Tanggal Pengajuan Skripsi : 1 Maret 2022
Tanggal Penyelesaian Skripsi : 2 Agustus 2022
Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 79,3 (B+)

Diperiksa dan disetujui

Dosen Pembimbing 1


Febi Rahmadianto, ST., MT
NIP. P. 1031500490

Dosen Pembimbing 2


Rosadila Febritasari, ST., MT.
NIP. P 1032200602

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI

Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
NIM : 1811127
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Analisa Uji *Carburizing* Pada Temperatur 750°C,
850°C, 950°C Terhadap Pengaruh Kekerasan dan
Struktur Mikro Pada Baja AISI 1020 Dengan Media
Pendingin Menggunakan Metode *Taguchi*.

Dosen Pembimbing : Febi Rahmadianto, ST., MT.. (Pembimbing 1)
Rosadila Febritasari, ST., MT. (Pembimbing 2)

No	Materi Bimbingan	Waktu	Paraf
1.	Pengajuan Judul Skripsi	7 Maret 2022	
2.	Konsultasi BAB 1	14 Maret 2022	
3.	Konsultasi BAB 2	21 Maret 2022	
4.	Konsultasi BAB 3	30 Maret 2022	
5.	Daftar Seminar Proposal	4 April 2022	
6.	Seminar Proposal	7 April 2022	
7.	Persiapan Alat dan Bahan	21 April 2022	
8.	Proses Pengujian Bahan	13 Mei 2022	
9.	Proses Pengambilan Data	23 Mei 2022	
10.	Konsultasi BAB 4	24 Juni 2022	
11.	Konsultasi BAB 5	5 Juli 2022	
12.	Daftar Seminar Hasil	25 Juli 2022	
13.	Seminar Hasil	27 Juli 2022	
14.	Daftar Ujian Skripsi	1 Agustus 2022	
15.	Ujian Skripsi	2 Agustus 2022	

**ANALISA UJI CARBURIZING PADA TEMPERATUR 750°C,
850°C, 950°C TERHADAP PENGARUH KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO PADA BAJA AISI 1020 DENGAN MEDIA
PENDINGIN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

SKRIPSI



DISUSUN OLEH :

NAMA : DHURATUL REDHA ALDHATU
NIM : 18.11.127

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2022

**ANALISA UJI CARBURIZING PADA TEMPERATUR 750°C,
850°C, 950°C TERHADAP PENGARUH KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO PADA BAJA AISI 1020 DENGAN MEDIA
PENDINGIN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST)
Jurusan Teknik Mesin S-1

DISUSUN OLEH :

Nama : DHURATUL REDHA ALDHATU

Nim : 18.11.127

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2022**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA UJI CARBURIZING PADA TEMPERATUR 750°C,
850°C, 950°C TERHADAP PENGARUH KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO PADA BAJA AISI 1020 DENGAN MEDIA
PENDINGIN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**



DISUSUN OLEH :

NAMA : DHURATUL REDHA ALDHATU

NIM : 18.11.127

Malang, 17 Mei 2022

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Febi Rahmadianto, ST., MT

NIP. P. 1031500490

Rosadila Febritasari, ST., MT.

NIP. P 1032200602

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Mesin S-1

Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT.

NIP.Y.1030400405



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
NIM : 18.11.127
Jurusan / Bidang : Teknik Mesin / Material
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Analisa Uji *Carburizing* Pada Temperatur 750°C,
850°C, 950°C Terhadap Pengaruh Kekerasan dan
Struktur Mikro Pada Baja AISI 1020 Dengan Media
Pendingin Menggunakan Metode *Taguchi*.

Dipertahankan Dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) Pada
Hari : Selasa
Tanggal : 02 Agustus 2022
Dengan Nilai : 79,3 (B+)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

Sekretaris

Dr. I Komang Astana Widi, ST, MT.
NIP. Y. 1030400405

Febi Rahmadianto, ST., MT.,
NIP.P. 1031500490

Anggota Penguji

Penguji I

Penguji II

Dr. I Komang Astana Widi, S.T., M.T.
NIP. Y. 1030400405

Tito Arif Sutrisno, S.Pd., MT.
NIP. P. 1032100598

PERNYATAAN KEASLIAN ISI SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
Nim : 1811127
Jurusan : Teknik Mesin S-1
Fakultas : Teknologi Industri
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“ANALISA UJI CARBURIZING PADA TEMPERATUR 750°C, 850°C, 950°C TERHADAP PENGARUH KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA AISI 1020 DENGAN MEDIA PENDINGIN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI”** adalah skripsi yang disusun atas dasar penelitian yang saya lakukan sendiri, bukan duplikasi serta tidak mengutip atau menyadur sebagian atau sepenuhnya dari karya orang lain, kecuali yang sudah disebutkan sumber aslinya.

Malang, 10 Mei 2022

Yang membuat pernyataan

Dhuratul Redha Aldhatu

18.11.127

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
Nim : 1811127
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Analisa Uji *Carburizing* Pada Temperatur 750°C,
850°C, 950°C Terhadap Pengaruh Kekerasan dan
Struktur Mikro Pada Baja AISI 1020 Dengan Media
Pendingin Menggunakan Metode *Taguchi*.
Dosen Pembimbing : Febi Rahmadianto, ST., MT. (Pembimbing 1)
Rosadila Febritasari, ST., MT. (Pembimbing 2)

Tanggal Pengajuan Skripsi : 1 Maret 2022
Tanggal Penyelesaian Skripsi : 2 Agustus 2022
Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 79,3 (B+)

Diperiksa dan disetujui

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Febi Rahmadianto, ST., MT
NIP. P. 1031500490

Rosadila Febritasari, ST., MT.
NIP. P 1032200602

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI

Nama : Dhuratul Redha Aldhatu
NIM : 1811127
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Analisa Uji *Carburizing* Pada Temperatur 750°C, 850°C, 950°C Terhadap Pengaruh Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 1020 Dengan Media Pendingin Menggunakan Metode *Taguchi*.

Dosen Pembimbing : Febi Rahmadiano, ST., MT.. (Pembimbing 1)
Rosadila Febritasari, ST., MT. (Pembimbing 2)

No	Materi Bimbingan	Waktu	Paraf
1.	Pengajuan Judul Skripsi	7 Maret 2022	
2.	Konsultasi BAB 1	14 Maret 2022	
3.	Konsultasi BAB 2	21 Maret 2022	
4.	Konsultasi BAB 3	30 Maret 2022	
5.	Daftar Seminar Proposal	4 April 2022	
6.	Seminar Proposal	7 April 2022	
7.	Persiapan Alat dan Bahan	21 April 2022	
8.	Proses Pengujian Bahan	13 Mei 2022	
9.	Proses Pengambilan Data	23 Mei 2022	
10.	Konsultasi BAB 4	24 Juni 2022	
11.	Konsultasi BAB 5	5 Juli 2022	
12.	Daftar Seminar Hasil	25 Juli 2022	
13.	Seminar Hasil	27 Juli 2022	
14.	Daftar Ujian Skripsi	1 Agustus 2022	
15.	Ujian Skripsi	2 Agustus 2022	

ABSTRAK

Karburasi merupakan proses termokimia atau *chemical heat treatment* yang dilakukan dengan mengubah komposisi kimia permukaan baja untuk memperkaya unsur karbon pada permukaan baja pada suhu 750°C-950°C, sehingga atom karbon aktif tersebut akan berdifusi masuk ke dalam permukaan baja dan mencapai kedalaman tertentu. Proses *carburizing* yang tepat akan menambah kekerasan permukaan sedang pada bagian inti.

Karburizing dilakukan menggunakan dapur *fluidized bed furnace* yang berada di lab material Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam proses ini menggunakan variasi temperatur 750°C, 850°C, dan 950°C serta menggunakan holding time 120 menit / 2 jam. Adapun variasi berupa media pendingin asam cuka, radiator coolant (shell), Oli. Dalam proses Karburasi ini menggunakan beberapa macam gas, seperti gas Propana, Amonia dan Nitrogen dengan perbandingan berat : 3,08 % C₃H₈, 19,31 % NH₃, dan balance N₂. Untuk tekanan dari setiap gas yang akan didifusikan yaitu sebesar 1,6 mbarr atau 0,16 KPA, 160 PA, 0,00157908 Atm. Dengan media pendingin *quenching holding time* 15 menit.

Kualitas hasil yang diperoleh dari proses penelitian ini adalah “*large is better*” dimana nilai rata-rata yang lebih besar dipilih sebagai level optimal. Berdasarkan grafik *Main Effect Plot For Means* pada metode *taguchi*, hasil penelitian *Carburizing* yang sesuai dengan karakteristik *large is better* didapatkan hasil terbaik di temperature pemanasan 950 °C dengan waktu penahanan 120 Menit dengan media pendingin radiator *collant*. Pada data uji *Taguchi*, untuk *variable temperature* pemanasan didapatkan hasil terbaik pada temperature pemanasan 950°C dengan nilai rata-rata sebesar 77 HRc.

Kata Kunci : *Carburizing*, Baja AISI 1020 Dengan Metode Penelitian Menggunakan Taguchi.

ABSTRACT

Carburizing is a thermochemical process or chemical heat treatment that is carried out by changing the chemical composition of the steel surface to enrich the carbon element on the steel surface at a temperature of 750°C-950°C, so that the activated carbon atoms will diffuse into the steel surface and reach a certain depth. Proper carburizing process will add medium surface hardness to the core.

Carburizing was carried out using a fluidized bed furnace located in the materials lab of the National Institute of Technology, Malang. In this process using temperature variations of 750°C, 850°C, and 950°C and using a holding time of 120 minutes / 2 hours. The variations are vinegar acid cooling media, radiator coolant (shell), oil. In this carburizing process, several gases are used, such as Propane, Ammonia and Nitrogen gas with a weight ratio of 3.08% C₃H₈, 19.31% NH₃, and balance N₂. The pressure of each gas to be diffused is 1.6 mbarr or 0.16 KPA, 160 PA, 0.00157908 Atm. With cooling media, the quenching holding time is 15 minutes.

The quality of the results obtained from this research process is "large is better" where the larger average value is chosen as the optimal level. Based on the Main Effect Plot For Means graph on the taguchi method, the results of the Carburizing research which are in accordance with the characteristics of large is better, the best results are obtained at a heating temperature of 950 oC with a holding time of 120 minutes with radiator collant cooling media. In the Taguchi test data, for the heating temperature variable, the best results were obtained at a heating temperature of 950°C with an average value of 77 HRc.

Keywords : Carburizing, AISI 1020 Steel With Research Method Using Taguchi.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas rahmat karunia serta hidayah yang telah diberikan. Sholawat serta salam juga penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta para sahabat dan keluarganya. Dengan rahmat Allah SWT, penulis sebagai mahasiswa Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang dapat menyelesaikan tugas akhir berupa skripsi dengan judul **“ANALISA UJI CARBURIZING PADA TEMPERATUR 750°C, 850°C, 950°C TERHADAP PENGARUH KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA AISI 1020 DENGAN MEDIA PENDINGIN METODE TAGUCHI”** yang tentunya sebagai syarat kelulusan dan sebagai penerapan ilmu selama masa perkuliahan.

Penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari adanya bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu saya sebagai penyusun skripsi ini, ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE. Selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang,
2. Ibu Dr. Ellysa Nursanti, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang,
3. Bapak Dr. I Komang Astana Widi, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang,
4. Bapak Febi Rahmadianto, S.T., M.T. dan Ibu Rosadila Febritasari, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Penyusunan Skripsi,
5. Bapak Ir. I Wayan Sujana, M.T. Sebagai Koordinator Bidang Metalurgi dan Material,
6. Bapak Dosen Penguji I dan Penguji II Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang,
7. Kedua orang tua dan sanak saudara yang selalu memberikan dukungan baik melalui doa maupun kebutuhan finansial penyusun,

8. Dan rekan – rekan mahasiswa Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang yang telah banyak membantu terkait dengan penyusunan skripsi maupun dalam penelitian.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Untuk itu penulis harapan kritik dan saran dari bapak/ibu dosen yang berguna untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun maupun bagi pembaca dalam melakukan setiap penelitian dan studi.

Malang, Mei 2022

Penulis,

Dhuratul Redha Aldhatu

18.11.127

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN ISI SKRIPSI.....	v
LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI.....	vi
LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metode Pengumpulan Data	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II DASAR TEORI	9
2.1 Penelitian Terkait	9
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Pengertian Baja.....	12
2.2.2 Jenis – jenis Baja.....	13
2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan.....	14
2.2.4 Struktur Mikro Baja.....	16
2.3 Baja Paduan AISI 1020	24
2.4 Perlakuan Panas / <i>Heat Treatment</i>	25
2.5 Klasifikasi Proses <i>Heat Treatment</i>	27
2.5.1 <i>Thermal Treatment</i>	27
2.5.2 <i>Thermocemical Treatment</i> / Perlakuan Panas Termokimia.....	29
2.5.3 <i>Thermomechanical treatment</i>	32

2.5.4 <i>Innovative Surface Treatment</i>	34
2.6 Metode <i>Taguchi</i>	36
2.6.1 Langkah Penelitian <i>Taguchi</i>	37
2.7 <i>Nitriding</i>	41
2.8 <i>Carbonitriding</i>	42
2.9 <i>Nitrocarburizing</i>	43
2.10 <i>Carburizing</i>	43
2.10.1 Macam – Macam Proses <i>Carburizing</i>	44
2.10.2 Pengaruh <i>Carburizing</i>	44
2.10.3 <i>Transformasi</i> Pemanasan	45
2.10.4 <i>Transformasi</i> Pendingin	46
2.11 <i>Fluidized Bed Furnace</i>	48
2.11.1 <i>Supply Gas</i> Dalam <i>Fluidized Bed Furnace</i>	49
2.11.2 Media Pemanasan <i>Fluidized Bed Furnace</i>	50
2.11.3 Karakteristik <i>Fluidized Bed Furnace</i>	51
2.11.4 Parameter <i>Fluidized Bed Furnace</i>	51
2.12 Pengujian Yang Digunakan	52
2.12.1 Uji Kekerasan <i>Vickers (Micro – Vickers)</i>	52
2.12.2 Uji Mikro Struktur Optik	53
BAB III METODE PENELITIAN	55
3.1 Diagram Alir	55
3.2 Penjelasan Diagram Alir	56
3.3 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	57
3.4 Perencanaan Penelitian	57
3.5 Komponen Penelitian	59
3.5.1 Alat	59
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Hasil Uji Struktur Mikro	66
4.2 Analis % Martensit, % Perlit, dan % Ferit Menggunakan Software Image-J	69
4.3 Hasil Uji Kekerasan	75
4.4 Data Hasil Analisa <i>Taguchi</i>	75
4.5 Grafik Analisa <i>Taguchi</i>	76

4.6 Hasil Pengujian.....	76
BAB V KESIMPULAN	78
5.1. Kesimpulan.....	78
5.2. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram fasa Fe ₃ C.....	16
Gambar 2. 2 Diagram Time, Temperature, Transformation	16
Gambar 2. 3 Continuous, Cooling, Transformation.....	17
Gambar 2. 4 Photomicrograph Austenite.....	18
Gambar 2. 5 Batas Ferrite Perbesaran 500x.....	19
Gambar 2. 6 Sementit perbesaran 1000x	20
Gambar 2. 7 Microstructure of Pearlite Perbesaran 2500x	21
Gambar 2. 8 Struktur Mikro Martensit	22
Gambar 2. 9 Struktur mikro bainit perbesaran 500x.....	23
Gambar 2. 10 Klasifikasi perlakuan panas.....	27
Gambar 2. 11 Ausforming.....	33
Gambar 2. 12 Isoforming	34
Gambar 2. 13 Skema proses laser surface hardening.....	35
Gambar 2. 14 Skema proses laser karbon	36
Gambar 2. 15 Diagram Fe- N pada proses Nitriding	42
Gambar 2. 16 Proses Pack Karburisasi	44
Gambar 2. 17 Kurva Pendinginan.....	48
Gambar 2. 18 Skema fluidized bed furnace	49
Gambar 2. 19 Suplay gas dalam fluidized bed furnace.....	50
Gambar 2. 20 Bentuk indentor dan hasil indentasi Vickers.....	52
Gambar 2. 21 Skema Mikroskop Optik	54
Gambar 3.1 Diagram Alir	55
Gambar 3. 2 Fluidized bed furnace	59
Gambar 3. 3 Seling.....	60
Gambar 3. 4 Mesin Wire Cutting.....	60
Gambar 3. 5 Mesin Grinding-Polish.	61
Gambar 3. 6 Mesin HBRV Universal Hardness Tester 187.5A	61
Gambar 3. 7 Mikroskop optik Olympus BX51M	62
Gambar 3. 8 Ukuran spesimen pengujian	62
Gambar 3. 9 Asam Cuka 99 %	63

Gambar 3. 10 Oli.....	63
Gambar 3. 11 Radiator Coolant	64
Gambar 3. 12 Gas Amonia.....	64
Gambar 3. 13 Gas Propana.....	65
Gambar 3. 14 Gas Nitrogen	65

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 %Ferit dan %Perlit.....	74
Grafik 4. 2 Main effects plot for means	76
Grafik 4. 3 Main Effects Plot For SN Radio.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Unsur Paduan Baja AISI 1020.....	24
Tabel 2. 2 Sifat Mekanik Pada Baja Paduan AISI 1020	25
Tabel 2. 3 Prinsip utama dari perlakuan panas termokimia	30
Tabel 3. 1 Pengujian	57
Tabel 4. 1 Struktur Mikro Carburizing perbesaran 200x	66
Tabel 4. 2 Komposisi %Ferit %Perlit	68
Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Kekerasan.....	75

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk menunjang perkembangan teknologi yang sangat pesat dibutuhkan bahan unggul yang mempunyai sifat-sifat sesuai dengan penggunaannya, seperti logam. Pelaku industri telah berkontribusi dalam melakukan kreasi dan inovasi untuk dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik dan fisik dari logam tersebut.

Baja adalah material yang paling banyak digunakan pada berbagai bidang. Terutama pada bidang otomotif dan alat-alat perkakas dikarenakan berbagai keunggulan sifat yang dimiliki seperti kekerasan, keuletannya, ketangguhannya. Sifat mekanis serta struktur mikronya yang lebih baik dibandingkan material lain. Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C) dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utama dengan kandungan kurang dari 2%. Baja karbon dibagi menjadi 3 kategori berdasarkan persentase kandungan karbonnya, yaitu: baja karbon rendah ($C = 0,03-0,35\%$), baja karbon sedang ($C = 0,35-0,55\%$), dan baja karbon tinggi ($C = 0,55-1,70\%$). Nofri. M. (2019).

Baja AISI 1020 merupakan jenis baja karbon rendah dengan unsur karbon (1,40) – (1,70)% Ni, (0,90- 1,40)% Cr, dan (0,20-0,30)% Mo. Baja AISI 1020 setara dengan baja DIN CK22.C22, JIS S20C. Menurut standar AISI (*American Iron and Steel Institute*) dan DIN CK22.C22, baja AISI 1020 mempunyai komposisi kimia (0,20-0,30)% C, (0,15-0,35)% Si, (0,50-0,70)% Mn, 0,035% P, 0,035% S, (1,40-1,70)% Ni, (0,90- 1,40)% Cr, dan (0,20-0,30)% Mo. Baja AISI 1020 secara luas digunakan sebagai material Gear, billetbar, batang forging, lembaran, tabung, dan kawat las. Aplikasi yang umum dari baja ini adalah baut, sekrup, roda gigi, batang piston untuk mesin, roda pendaratan, dan komponen landing gear pesawat terbang. Baja AISI 1020 dengan kadar paduannya memungkinkan baja ini untuk dikeraskan dengan perlakuan panas. Salah satu perlakuan panas yang bisa digunakan pada baja ini yaitu proses *hardening*, dengan proses *hardening* baja AISI 1020 bisa mengalami

perubahan sifat mekanik. dengan variasi suhu *austenisasi* pada baja AISI 1020 yang di *quenching* dengan media Oli, Radiator *Coolant* (Shell), Asam Cuka (ASM *handbook* vol.1, 2005).

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah salah satu metode merubah sifat mekanik baja, metode ini cukup mudah dan ekonomis karena tidak perlu dilakukan pemaduan unsur logam. Baja yang diberi perlakuan panas akan merubah sifat mekaniknya dari segi kekerasan, ketangguhan, keuletan tergantung dari metode yang kita lakukan pada baja tersebut. Proses *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. Baja mulai menunjukkan struktur pada suhu 723°C mulai menunjukkan struktur dan pada 1550°C baja sama sekali melebur. Ilman. F (2021). Ini berarti kemampuan pada baja yang menurun bila diberikan suhu yang semakin tinggi. Karena pendingin mendadak atom-atom C (carbon) yang tidak sempat keluar sehingga menimbulkan tegangan dalam yaitu atom-atom C tidak mempunyai kedudukan yang baik. Jurnal ini menggunakan arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon padat pada baja. Tetapi dirubah terlebih dahulu menjadi butiran, bentuk butiran nanti akan membantu proses perubahan karbon benda padat menjadi gas yang melalui pemanasan.

Banyak dari penelitian *Surface Hardening* ini yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan berbagai variabel bebas, variabel kontrol, variabel terikat yang berbeda-beda, akan tetapi untuk pembahasan hasil mengenai *Carburizing* masih belum banyak atau bahkan mungkin tidak ada yang membahas tentang *Carburizing* dengan perlakuan *Surface Hardening* yang dilakukan dalam satu bahan yang berupa baja paduan rendah AISI 1020.

Oleh karna itu perlu dilakukan penelitian untuk menemukan hasil dari pengujian *Vickers* dan Mikro struktur dari *temperature* dan *holding time* *Carburizing* 750°C, 850°C dan 950°C dengan *holding time* 2 jam, serta menggunakan media pendinginan larutan kimia berupa Oli, Radiator *Coolent* (shell), Asam Cuka Untuk mengetahui bagaimana hasil dari proses *Surface Hardening* perlu dilakukan pengujian berupa uji kekerasan *vickers* dan juga

pengujian struktur mikro berupa 16 MP. Dari kedua pengujian diatas akan didapat gambar ataupun data untuk mengetahui apakah ada fasa yang terbentuk dan juga mengetahui beberapa nilai karbon dan nitrogen yang masuk pada material utama. Yang selanjutnya dari gambar tersebut diketahui data dan dapat dibahas untuk menyelesaikan skripsi ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah tercantum, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh proses *Carburizing* pada permukaan baja paduan rendah AISI 1020 terhadap kekerasan ?
2. Apa saja perubahan dari spesimen uji sesudah proses *Carburizing* Terhadap struktur mikro?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur pada proses *Carburizing* media pendingin Oli, Radiator *Coolent* (Shell), Asam Cuka ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka disusun Batasan masalah dalam melakukan penelitian ini. Batasan masalah berfungsi untuk pembatas apa yang akan diteliti dan dibahas pada penelitian ini, sehingga tidak menimbulkan suatu permasalahan atau pernyataan diluar penelitian yang dilakukan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang diuji baja paduan rendah AISI 1020 dengan tebal 15 mm
2. Proses yang dipakai yaitu *Carburizing* pada *fluidized bed furnace*,
3. Suhu proses *Carburizing* yang dipakai 750°C, 850°C dan 950°C
4. Media pendingin proses *Carburizing* yang dipakai adalah Oli, Radiator *Coolent* (shell), Asam Cuka.
5. Terdapat 9 spesimen uji yang dimasukkan sejak awal proses *Carburizing* dengan temperatur 750°C, 850°C dan 950°C,
6. Lama waktu penahanan tiap variasi temperatur proses *Carburizing* adalah 2 jam,
7. Pengamatan struktur mikro sesudah proses *Carburizing*

8. Pengamatan kekerasan spesimen sesudah proses kombinasi *Carburizing*
9. Tidak membahas komposisi material uji secara spesifik,
10. Tidak membahas reaksi kimia selama proses perlakuan panas atau *heat treatment*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penyusunan ini adalah untuk menerapkan pengetahuan praktis yang telah diperoleh selama menempuh masa perkuliahan dengan melakukan kegiatan berupa penelitian yang bersifat pengembangan dan untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari perubahan temperatur *Carburizing* yang dilakukan pada spesimen uji baja paduan rendah AISI 1020. Adapun tujuan yang menjurus dari penelitian kali ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh apa saja yang terjadi setelah dilakukan proses *Carburizing*
2. Mengetahui perubahan struktur mikro pada baja AISI 1020 setelah dilakukan proses *Carburizing*
3. Mengetahui dan mampu menjelaskan pengaruh perbedaan temperatur dan media pendingin Oli, Radiator *Coolant*, Asam Cuka setelah dilakukannya proses *Carburizing*.

1.5 Manfaat Penelitian

Tidak hanya memiliki tujuan saja, melainkan juga memiliki manfaat yang dapat kita ambil dari penelitian kali ini, antara lain :

- **Bagi Mahasiswa**

1. Mampu mengembangkan sebuah proses *surface hardening* untuk dijadikan sumber referensi di masa yang akan datang,
2. Mampu menjelaskan tentang proses *surface hardening*,
3. Dapat mengetahui kandungan karbon dan nitrogen yang terdapat setelah proses penelitian dilakukan,
4. Dan dapat meningkatkan kreatifitas dan keterampilan.

- **Bagi Institut Teknologi Nasional Malang**

1. Sebagai referensi untuk dievaluasi sampai sejauh mana kurikulum pendidikan yang dibuat sesuai dengan standarnya,
2. Sebagai bahan referensi yang berguna untuk mengembangkan kurikulum dimasa yang akan datang,
3. Dan juga sebagai dokumentasi bahwa penelitian ini sudah pernah dilakukan di Institut Teknologi Nasional Malang.

- **Bagi Khalayak Umum**

Dapat dibaca untuk digunakan sebagai referensi dalam segi meningkatkan kualitas produk berupa baja dan juga pengembangan apa saja yang dapat dilakukan sesuai dengan penelitian yang tercantum pada skripsi ini.

1.6 Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan skripsi ini penulis memperoleh data dengan menggunakan metode-metode sebagai berikut :

- **Metode Observasi**

Yaitu metode pengumpulan data langsung mendatangi tempat lab pengujian di ITN Malang. Dalam metode ini penulis melihat cara perlakuan panas berupa *surface hardening* dan juga bagaimana cara penggunaan dapur *fluidised bed* dengan baik.

- **Metode Wawancara**

Yaitu metode pengumpulan data dengan cara mengadakan tanya-jawab secara langsung dengan dosen pembimbing dan juga asisten lab mengenai proses *surface hardening* yang akan dilakukan pada penelitian ini. Dan juga bertanya dengan kakak tingkat yang sudah pernah melakukan penelitian ini sebelumnya.

- **Metode Kepustakaan**

Yaitu metode pengumpulan data yang diambil dari jurnal dan juga penelitian yang sebelumnya sudah pernah dilakukan. Dengan metode ini dapat menunjang data-data yang didapat agar lebih spesifik. Hal ini dapat juga di sebut studi literatur.

- **Metode Praktis**

Yaitu metode dengan cara pengamatan langsung mengenai kajian yang dilakukan pada proses *surface hardening*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penyusunan skripsi ini akan dilakukan penjelasan setiap bab yang berurutan untuk mempermudah dan juga merapikan setiap permasalahan. Dimulai dari permasalahan yang diangkat untuk dijadikan bahan penelitian hingga pembahsan dan juga kesimpulan yang didapat setelah proses penelitian selesai. Maka dari itu penyusunan dilakukan sebagai berikut:

- **LEMBAR PERSETUJUAN**

Berisikan tentang persetujuan dari pihak kampus ITN Malang atas skripsi yang disusun.

- **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN**

Berisikan pernyataan yang dibuat oleh penyusun untuk memastikan bahwa skripsi yang dibuat tidak benar-benar menduplikat dari skripsi yang pernah ada. Dalam bab ini penyusun akan menyatakan keaslian skripsi dan ditanda tangan menggunakan materai.

- **KATA PENGANTAR**

Berisikan tentang kata-kata ucapan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dan juga seluruh pihak yang terlibat dalam proses pembuatan skripsi ini yang dimulai dari pengajuan judul sampai selesai.

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang dan identifikasi masalah yang diangkat menjadi penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

- **BAB II DASAR TEORI**

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori-teori dan material yang akan digunakan untuk proses penelitian serta teori yang berkaitan dengan *surface hardening*. Dapat juga dikatakan sebagai isi untuk penelitian sebelumnya.

- **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dan langkah-langkah pengolahan data melalui diagram metodologi.

- **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisikan uraian mengenai data-data penelitian yang diperoleh dari tempat penelitian sesuai dengan usulan pemecahan masalah yang digunakan, serta pembahasan terkait data-data yang telah diperoleh dari penelitian.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dari pembahasan hasil penelitian, serta saran untuk penelitian lebih lanjut.

- **DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan berbagai referensi yang dikutip untuk menjadi penguat skripsi yang disusun.

- **LAMPIRAN**

Berisikan biodata pribadi dengan gambar, dan juga foto-foto atau gambar yang dipakai dalam penelitian.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Dewa Made Krisnha Muku, (2016) Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali tentang “Kekerasan dan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah Setelah *Surface Hardening*”. Penelitian ini dilakukan agar mengetahui hasil menunjukkan kekerasan permukaan tertinggi (256,46 HVN) dan ketahanan aus tertinggi (0,0476 gr/jam) diperoleh dengan menggunakan media pendingin air, sedangkan kekerasan permukaan terendah (117,32 HVN) dan ketahanan aus terendah (0,0857 gr/jam) didapatkan dengan menggunakan media pendingin udara. Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Dewa Made Krisnha Muku, (2016).

Penelitian yang pernah dilakukan oleh IQBAL, Muhammad, Dr.Ir. Viktor Malau, DEA (2007) Jurusan Teknik Mesin S-2 Universitas Gadjah Mada tentang “Pengaruh proses *Pack Carburizing* media arang tempurung kelapa-*Barium Carbonat* terhadap kekerasan dan keausan baja karbon AISI 1020”. Penelitian ini dilakukan agar mengetahui Hasil penelitian bahwa penambahan barium karbonat 20% berat memberikan kekerasan permukaan tertinggi. Untuk temperatur *carburizing* 8500C,9000C dan 9500C dengan proses pengerasan memberikan kekerasan sebesar 699 kg/mm²,819 kg/mm² dan 828 kg/mm² dengan peningkatan kekerasan dibandingkan dengan *raw material* sebesar 559%, 655% dan 662%. Keausan spesifik terendah untuk temperatur *carburizing* 8500C,9000C dan 9500C berturut - turut adalah 3,1341. 10⁻⁷mm²/kg, 2,6050. 10⁻⁷ mm²/kg dan 1,9611. 10⁻⁷ mm²/kg atau ketahanan terhadap keausan meningkat sebesar 599%,720% dan 908%.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Ali Riza Motorcu (2010) *Çanakkale Vocational College, Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey* tentang “*The Optimization of Machining Parameters Using the Taguchi Method for Surface Roughness of AISI 8660 Hardened Alloy Steel*”. Penelitian ini dilakukan agar mengetahui Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tingkat pakan ditemukan menjadi faktor dominan di antara faktor yang

dapat dikontrol pada kekasaran permukaan, diikuti oleh kedalaman potong dan radius hidung pahat. Namun, kecepatan potong menunjukkan efek yang tidak signifikan. Selanjutnya, interaksi laju umpan/kedalaman potong ditemukan signifikan pada permukaan akhir karena pengerasan permukaan baja. Pengujian yang optimal parameter untuk kekasaran permukaan dapat dihitung. Selain itu, model regresi orde kedua juga menunjukkan bahwa nilai prediksi sangat dekat dengan nilai eksperimental untuk kekasaran permukaan. Ali Riza Motorcu (2010)

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Firman, Muhammad, Firda Herlina, Muhammad Hatif Hartadinata (2016) Teknik Mesin S-1 Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Bansary tentang “Analisa Kekerasan Baja St 42 Dengan Perlakuan Panas Menggunakan Metode Taguchi”. Penelitian ini mengungkapkan bahwa factor yang paling mendominasi mempengaruhi tingkat kekerasan material adalah di faktor A yaitu temperature pemanasan. berdasarkan perhitungan dengan efek mean dan efek replikasi temperature pemanasan berada peringkat ke-1 di Replikasi ke 4 sebesar 24.33 HB, sedangkan untuk media pendingin berada peringkat ke-2 di Replikasi ke 2 sebesar 21.00 HB. Kombinasi factor dengan level yang memberikan peningkatan kekerasan yaitu dengan temperature 800oC dengan media pendingin oli sebesar 111.8 HB. Sedangkan yang melunakan yaitu kombinasi antara factor dengan level temperature 700oC dengan media pendingin air sebesar 88.8 HB. Firman, Muhammad, Firda Herlina, Muhammad Hatif Hartadinata (2016).

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Muhammad Sadat Hamzah, Muh. Iqbal (2008) SMARTek Tentang “Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah Dengan Metode *Carburizing*”. Penelitian ini mendapatkan hasil pengujian, keausan menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur proses *carburizing* akan menghasilkan ketahanan aus spesifik yang lebih baik dan Pada proses *carburizing* dengan temperatur 950⁰C yang dilanjutkan dengan proses pengerasan pada temperatur 840⁰C memberikan peningkatan ketahanan aus tertinggi sebesar 83,6% dibandingkan dengan ketahanan aus raw material Muhammad Sadat Hamzah, Muh. Iqbal (2008).

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Ahmad Fhadillah, Untung Budiarto, Ari Wibawa Budi (2019) Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Tentang “Analisa Sifat Mekanis Baja ST 60 Setelah *Carburizing* Menggunakan Arang Batok Katalis BaCO₃ Dan *Quenching* Dengan Oli Dan Air Garam” Penelitian ini mendapatkan hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa *carburizing* tanpa *quenching* atau didinginkan menggunakan suhu ruangan memiliki nilai kekuatan tarik terbesar yaitu 649,22 MPa. Kemudian *carburizing quenching* oli dan air garam masing-masing 31,09%, dan 29,81% lebih kecil dari kekuatan tarik *carburizing* tanpa *quenching*. Sementara itu *carburizing quenching* oli memiliki nilai regangan terbesar 14,66%, nilai regangan *carburizing* tanpa *quenching* sebesar 3,35% dan *carburizing quenching* air garam sebesar 9,72%. Nilai kekeras *Vickers* pada baja ST 60 semakin keras pada *carburizing quenching* air garam tingkat kekerasnya naik sebesar 431,68 VHN dan nilai *quenching* oli dan tanpa *quenching* masing-masing memiliki nilai sebesar 10,25% dan 24,55% lebih kecil dari *carburizing quenching* air garam.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Apriatun, Taufikurrahman, Ella Sundari (2021) Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya Tentang “Analisa Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Pada Proses *Pack Carburizing* Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 37” Penelitian ini mendapatkan hasil dari tabel nilai kekeras baja karbon rendah ST 37 yang awalnya memiliki nilai kekeras 61,041 VHN sebelum dilakukan perlakuan. Dan setelah dilakukan karburasi dengan temperatur 950°C nilai kekeras tertinggi dengan waktu 10 jam yaitu 165,163 HVN. Dari data diatas di dapat bahwa dengan melakukan proses *pack carburizing* dan *hardening* nilai kekerasannya lebih baik dan membuat benda uji keras.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Firdaus MS, Wahyu Wiranata, Sugeng Prasetyo (2022) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Ogan Komering Ilir Kayuagung, Sumatera Selatan, Indonesia Tentang “Pengaruh Variasi Media *Quenching* NaCl Terhadap AISI Rendah 1020 Baja Karbon Dengan Proses Karburisasi” Penelitian ini mendapatkan hasil uji

kekerasan, semakin tinggi persentase garam, semakin tinggi kekerasannya nilai. Peningkatan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada benda uji C dengan kandungan garam 25%. Yang dipanaskan pada suhu 950°C pada proses karburasi dan 850°C yang ditahan selama 15 menit dan dipadamkan dengan media air garam 136,76 N/mm². Dari hasil uji impact, energi impact tertinggi terdapat pada benda uji D tanpa perlakuan sama sekali dengan energi impact 14,234 J dan bersifat ulet. Pada pengamatan struktur mikro tampak fasa martensit pada benda uji yang dipanaskan dan dipadamkan, semakin tinggi kandungan garam dalam media pendingin air asin perendaman, semakin tinggi nilai kekerasan dan semakin getas karena semakin banyak terbentuk martensit yang bersifat keras dan getas.

Berdasarkan hasil yang diperoleh kesimpulan berikut telah ditarik :

1. Kekerasan permukaan sangat dipengaruhi oleh proses *Carburizing*.
2. Nilai kekerasan menurun dengan retensi sampel dalam tungku untuk waktu yang lebih lama karena pelepasan tegangan internal.
3. Proses perlakuan panas pasca karburasi sangat mempengaruhi kekerasan baja *Carburizing*.
4. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada *quenching* dan nilai kekerasan terendah diperoleh pada *annealing* baja karburasi

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Baja

Baja merupakan logam paduan yang berbahan dasar besi serta unsur karbon sebagai paduannya. Kandungan karbon pada baja berkisar antara 0.2 – 2.1% sesuai dengan *grade*. Penambahan karbon yaitu berfungsi sebagai unsur penguat didalam baja. Terdapat unsur paduan lain yang biasanya ditambahkan kedalam baja selain karbon yakni mangan, krom, vanadium serta nikel. Dengan melakukan variasi kandungan unsur paduan serta karbon didalam baja bisa membuat berbagai macam jenis baja dengan kualitas baja yang berbeda-beda pula. Penambahan unsur karbon pada baja mengakibatkan peningkatan kekerasan (*hardness*), kekuatan Tarik (*tensile*

strength), disisi lain penambahan unsur karbon pada baja juga membuatnya menjadi getas serta menurunkan tingkat keuletannya. Pengaruh utama dari unsur karbon dalam baja yakni pada kekuatan, kekerasan serta sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar mengakibatkan peningkatan kekerasan baja tetapi membuat baja menjadi getas serta sulit untuk dibentuk (Davis, 1982)

2.2.2 Jenis – jenis Baja

1. Baja Karbon

Baja Karbon Baja karbon disebut juga plain karbon steel, mengandung terutama unsur karbon dan sedikit silicon, belerang dan pospor. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi :

- Baja dengan kadar karbon rendah ($< 0,2 \% C$)

Baja ini dengan komposisi karbon kurang dari 2%. Fasa dan struktur mikronya adalah *ferrit* dan *perlit*. Baja ini tidak bisa dikeraskan dengan cara perlakuan panas (*martensit*) hanya bisa dengan pengerjaan dingin. Sifat mekaniknya lunak, lemah dan memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Serta mampu mesin (*machinability*) dan mampu las nya (*weldability*) baik cocok untuk bahan bangunan konstruksi gedung, jembatan, rantai, *body* mobil.

- Baja dengan kadar karbon sedang ($0,1\%-0,5 \% C$)

Baja karbon sedang memiliki komposisi karbon antara 0,2%-0,5% C (berat). Dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dengan cara memanaskan hingga fasa austenit dan setelah ditahan beberapa saat didinginkan dengan cepat ke dalam air atau sering disebut quenching untuk memperoleh fasa ang keras yaitu martensit. Baja ini terdiri dari baja karbon sedang biasa (*plain*) dan baja mampu keras. Kandungan karbon yang relatif tinggi itu dapat meningkatkan kekerasannya. Namun tidak cocok untuk di las, dengan kata lain mampu las nya rendah. Dengan penambahan unsur lain seperti Cr, Ni, dan Mo lebih meningkatkan mampu kerasnya. Baja ini lebih kuat dari baja karbon rendah dan cocok untuk komponen mesin, roda kereta api, roda gigi

(*gear*), poros engkol (*crankshaft*) serta komponen struktur yang memerlukan kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan tangguh.

- Baja dengan kadar karbon tinggi ($>0,5\% \text{ C}$)

Baja karbon tinggi memiliki komposisi antara 0,6- 1,4% C (berat). Kekerasan dan kekuatannya sangat tinggi, namun keuletannya kurang. baja ini cocok untuk baja perkakas, *dies* (cetakan), pegas, kawat kekuatan tinggi dan alat potong yang dapat dikeraskan dan ditemper dengan baik. Baja ini terdiri dari baja karbon tinggi biasa dan baja perkakas. Khusus untuk baja perkakas biasanya mengandung Cr, V, W, dan Mo. Dalam pemuadannya unsur-unsur tersebut bersenyawa dengan karbon menjadi senyawa yang sangat keras sehingga ketahanan aus sangat baik. Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun.

2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan

1. Karbon (C)

Karbon adalah unsur penting pada baja dikarenakan dengan karbon bisa meningkatkan kekerasan serta kekuatan dari baja, didalam baja kandungan karbon didalamnya sekitar 0.1-1.7%, sedangkan unsur selain baja dibatasi sesuai dengan kegunaanya. Penggunaan karbon dalam baja jika berlebihan bisa mengakibatkan penurunan ketangguhan dari baja tersebut.

2. Mangan (Mn)

Mangan merupakan hal penting dalam proses pembuatan baja, kandungan mangan kurang lebih 0.6% tidak berpengaruh pada sifat baja, atau bisa diartikan mangan dalam jumlah kecil tidak berpengaruh pada baja. Penambahan mangan pada baja bertujuan untuk meningkatkan kekuatan Tarik tanpa mengurangi regangan, sehingga setelah ditambahkan mangan baja mempunyai sifat kuat dan ulet.

3. Silikon (Si)

Silikon pada baja biasanya mempunyai presentase lebih dari 0.4%, akibat dari penambahan silikon dapat mempengaruhi kenaikan tegangan Tarik serta menurunkan laju pendinginan kritis, selain itu pengaruh dari penambahan silikon dalam baja yakni meningkatkan kekerasan, keuletan, ketahanan aus, kekenyalan dan ketahanan pada panas serta karat. Unsur silikon ini mengakibatkan sementit tidak stabil yang menyebabkan sementit memisah dan γ membentuk grafit. Silikon merupakan pembentuk ferrit tetapi bukan pembentuk dari karbida, silikon cenderung memiliki partikel oksida sehingga membuat orientasi kristal menjadi banyak dan pertumbuhan mengalami pengurangan akibat struktur butir yang semakin halus.

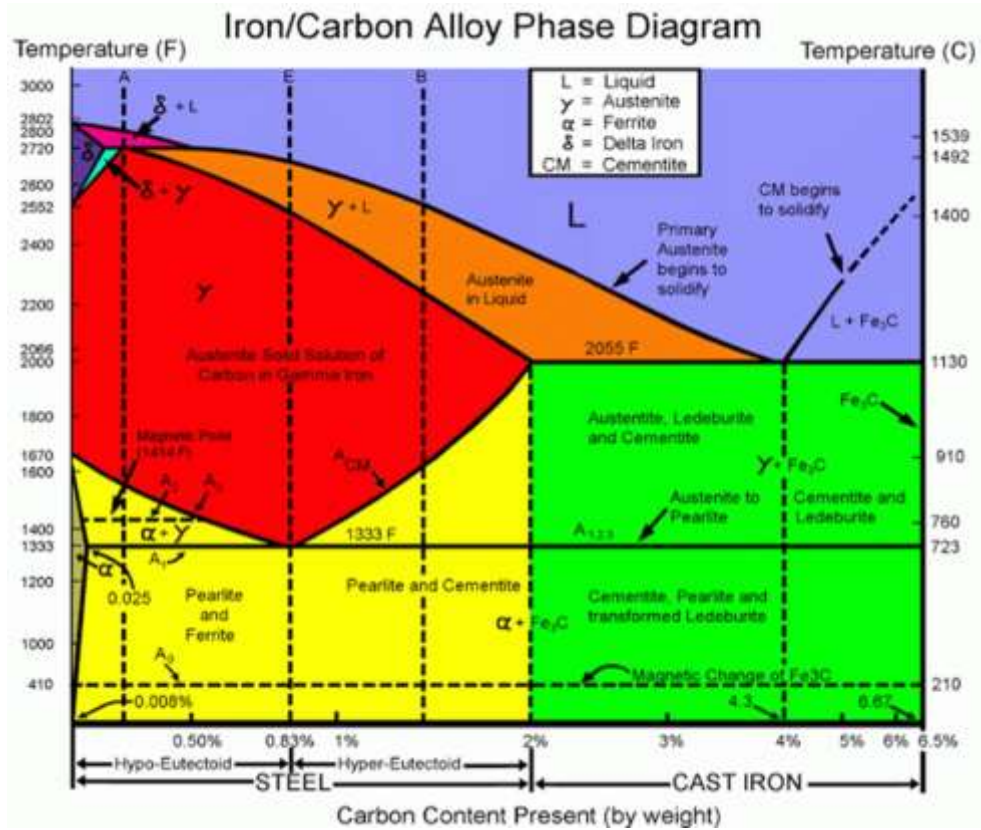
4. Nikel (Ni)

Nikel memiliki pengaruh sama seperti mangan yakni memperbaiki kekuatan Tarik serta menaikkan keuletan serta sifat tahan panas. Apabila unsur baja paduan memiliki kandungan nikel sebesar 25% baja paduan tersebut memiliki sifat tahan korosi. Sama seperti unsur Mn, unsur paduan nikel memberikan pengaruh untuk menurunkan temperatur kritis, kecepatan kritis, dan yang paling utama untuk membuat struktur butiran menjadi halus serta menambah keuletan (Wahyono Suprpto, 2015)

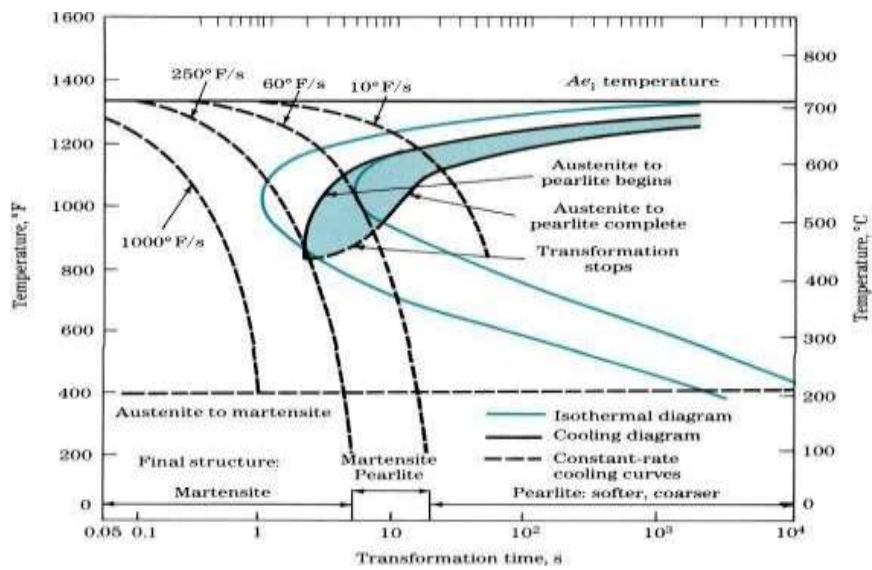
5. Kromium (Cr)

Sifat dari kromium yaitu dapat menurunkan laju pendinginan kritis, kandungan kromium yang mencapai 1.5% dapat meningkatkan kekerasan dalam minyak. Penambahan kromium pada baja membuat struktur yang lebih halus serta membuat sifat baja mempunyai kekerasan lebih baik dikarenakan kromium dan karbon dapat menghasilkan karbida. Kromium dapat menambah keplastisan dan kekuatan Tarik serta berguna dalam pembentukan lapisan pasif yang berguna untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu yang tinggi.

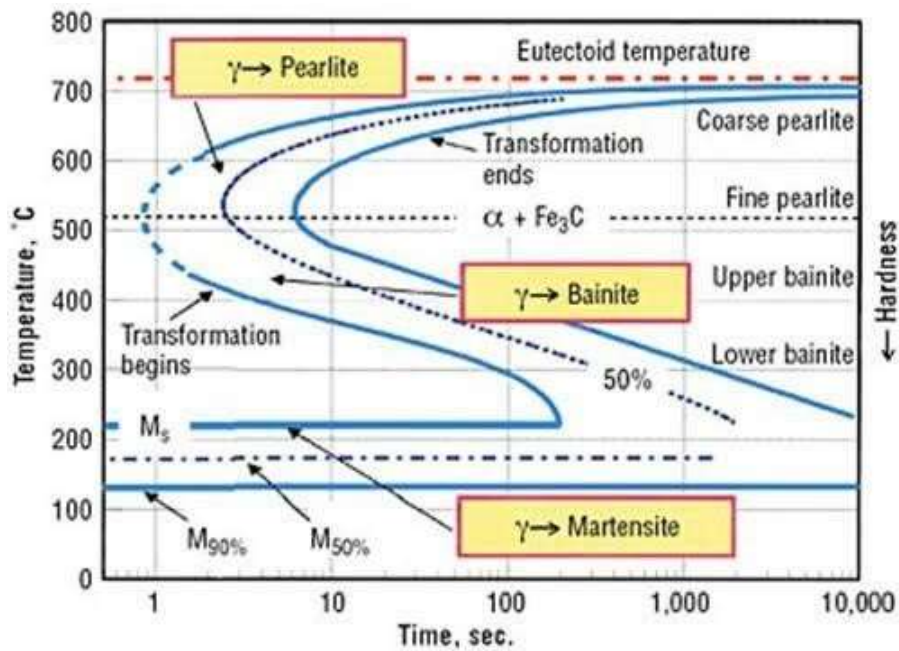
2.2.4 Struktur Mikro Baja



Gambar 2. 1 Diagram fasa Fe₃C
(Sumber : Knowledgeeatery.blogspot.com)



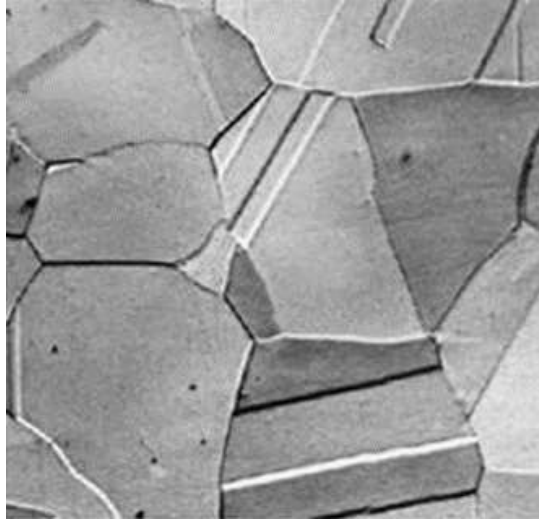
Gambar 2. 2 Diagram Time, Temperature, Transformation
(Sumber : Lazuardhy's blog)



Gambar 2. 3 *Continuous, Cooling, Transformation*
 (Sumber : Nashukamesin.blogspot)

Struktur mikro merupakan gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang terdapat dalam baja, fasa ini dapat diamati melalui Teknik *Metalografi*. *Metalografi* sendiri merupakan metode yang digunakan untuk menyelidiki struktur logam hingga perbesaran 3000 kali, struktur yang dilihat dinamakan mikro struktur. beberapa jenis struktur mikro yang terdapat pada suatu baja :

1. Austenit (*Austenite*)

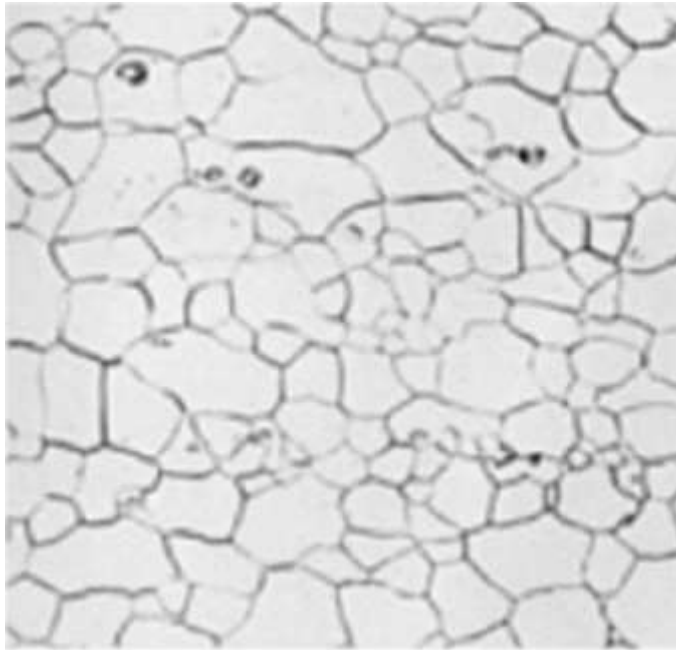


Gambar 2. 4 *Photomicrograph Austenite*
(Sumber : tsffaunsoed, 2009)

Austenit adalah larutan padat karbon bebas (ferit) dan besi dalam besi gamma. Pada pemanasan baja, setelah suhu kritis atas, pembentukan struktur selesai menjadi *austenit* yang keras, ulet dan non-magnetik. Ia mampu melarutkan karbon dalam jumlah besar. Hal ini terjadi di antara rentang kritis atau *transfer* selama pemanasan dan pendinginan baja. *Austenit* terbentuk ketika baja mengandung karbon hingga 1,8 % pada 1130°C. Pada pendinginan di bawah 723°C, ia mulai berubah menjadi perlit dan ferit. Baja *Austenitik* tidak dapat dikeraskan dengan metode perlakuan panas yang biasa dan non-magnetik (taufiqurrokhman, 2019).

Austenit mempunyai struktur sel FCC (*Face Centered Cubic*). Pada FCC semua sumbu memiliki panjang yang sama dengan sudut antara sumbu 90°. Sel FCC tidak memiliki atom yang terletak pada pusat kubus. Sel satuan ini memiliki atom yang terletak pada pusat bidang/sisi dan atom pada titik sudut kubusnya. Kedelapan atom pada titik sudut menghasilkan satu atom, dan keenam bidang sisi menghasilkan tiga atom per sel satuan. Dengan demikian sel satuan FCC memiliki empat atom.

2. Ferit (*Ferrite*)



Gambar 2. 5 Batas *Ferrite* Perbesaran 500x
(Sumber : ASM *Handbook Volume 9 Metallography and Microstructure*)

Baja *ferrite* diperoleh ketika kandungan karbon didalamnya rendah. Gambar mikrostruktur yang dapat jelas dilihat yaitu batas butir *ferrite*. *Ferrite* adalah fasa dengan kekuatan rendah, jika ukuran butir *ferrite* baik, keuletan dan kemampuan bentuk yang baik diperoleh, dikarenakan ferrite memiliki struktur kristal BCC. Ferit terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat dari *austenit* baja *hypotektoid* pada saat mencapai titik fasa A3. Baja feritik memperlihatkan transisi dari ulet untuk perilaku rapuh dikarenakan temperature menurun atau saat laju regangan meningkat. Ferit bersifat sangat lunak, ulet dan memiliki kekerasan sekitar 70-100 BHN serta memiliki konduktivitas yang tinggi.

3. Sementit (*Cementite*)

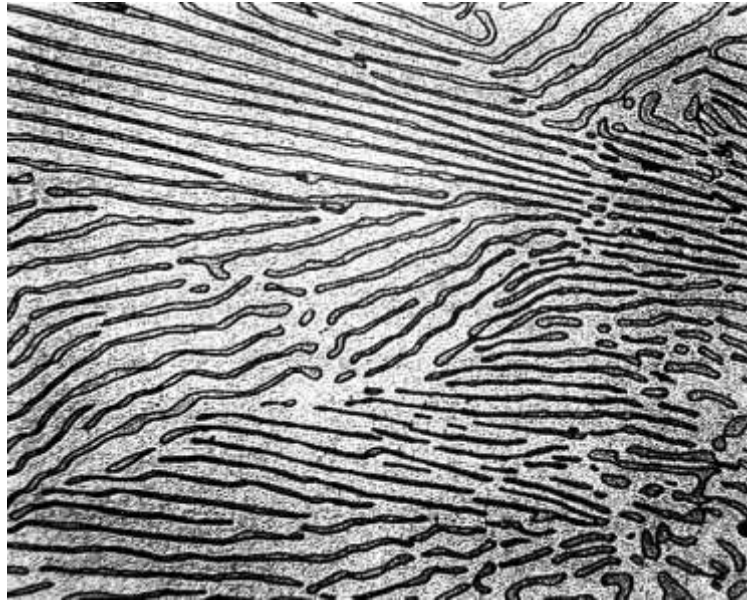


Gambar 2. 6 Sementit perbesaran 1000x
(Sumber : *ASM Handbook Volume 9 Metallography and Microstructure*)

Besi karbida yang memiliki kandungan 6.67% karbon, cocok dengan rumus dari Fe_3C . dalam baja paduan karbon, ada beberapa paduan yang bertujuan untuk membentuk karbida misal mangan dan kromium akan menggantikan baja dalam sementit. Penggantian elemen lain untuk beberapa besi sementit dapat meningkatkan kekerasan, dikarenakan kerapuhan dari sementit ini sehingga jumlahnya sedikit dalam baja.

Cementite (atau besi karbida) adalah senyawa besi dan karbon, lebih tepatnya karbida logam transisi menengah dengan rumus Fe_3C . Secara berat, itu adalah 6,67% karbon dan 93,3% besi. Ia memiliki struktur kristal *ortorombik*. Ini adalah bahan keras, rapuh, biasanya diklasifikasikan sebagai keramik dalam bentuknya yang murni, dan merupakan unsur yang sering ditemukan dan penting dalam metalurgi besi. Sementara sementit hadir di sebagian besar baja dan *cast iron*, itu diproduksi sebagai bahan baku dalam proses karbida besi, yang termasuk keluarga teknologi pembuatan besi alternatif.

4. Perlit (*Pearlit*)

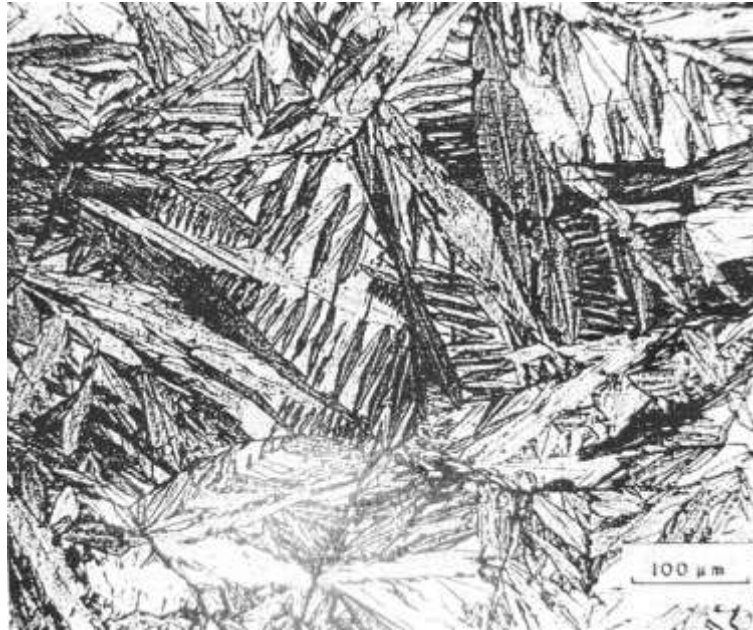


Gambar 2. 7 *Microstructure of Pearlite Perbesaran 2500x*
(Sumber : *Courtesy of USX Corporation*)

Perlit merupakan campuran dari ferit dan sementit dimana kedua fasa terbentuk dari austenit dengan pola pipih. Untuk pembentukan perlit membutuhkan pendinginan yang lambat dari austenite serta tergantung dari komposisi bajanya. Bentuk perlit yang berasal dari suhu dibawah suhu kritis lebih rendah dibandingkan baja yang diproses serta bisa jadi terbentuk secara iso termal atau pendinginan *continue*.

Kekuatan serta kekerasan dari baja ferrit perlit meningkat seiring dengan meningkatnya kadar perlit serta semakin meningkat pengurangan jarak *lamellar*, perlit halus dalam baja karbon *eutectoid* memiliki kekerasan hamper 400 HV.

5. Martensit (*Martensite*)



Gambar 2. 8 *Struktur Mikro Martensit*
Sumber : (*Courtesy of USX Corporation*)

Pembentukan *martensit* tergantung pada komposisi kimia serta pendinginan tingkat dari wilayah austenit suhu tinggi. Tidak seperti transformasi *austenit* lainnya, *martensit* terbentuk setelah spesimen didinginkan di bawah temperatur tertentu. Kekerasan *martensit* ditentukan oleh kandungan karbon, serta dipengaruhi oleh unsur paduan. Kemampuan untuk membentuk *martensit* dalam baja sebagai fungsi ukuran bagian dan tingkat pendinginan tergantung pada pengerasan baja. *Hardenability* ditingkatkan dengan meningkatkan karbon dan jumlah paduan serta dengan memperbesar ukuran butir austenit. Kandungan karbon sangat mempengaruhi sifat *martensit*. Pada dasarnya, dua jenis *martensit* dapat dibentuk dalam baja, yaitu *lath martensite* dan *acicular martensite*.

6. Bainit (*Bainite*)



Gambar 2. 9 Struktur mikro bainit perbesaran 500x
(Sumber : *ASM Handbook Volume 9 Metallography and Microstructure*)

Transformasi *austenit*, adalah *agregat* mirip ferit serta sementit yang terbentuk dalam kondisi menengah bagi yang menghasilkan pembentukan perlit serta martensit. Bainit diklasifikasikan sebagai *upper bainit* atau *lower bainit*. *Upper bainit* terbentuk secara isothermal atau selama pendinginan terus-menerus pada temperatur tepat di bawah menghasilkan bainit. *Bainit* yang lebih rendah terbentuk pada temperatur yang lebih rendah, ke suhu di bawah tertentu kasus. Pembentukan *upper* bainit dimulai dengan pertumbuhan bilah ferit panjang tanpa karbon. Dikarenakan kandungan karbon bilah ferit rendah, austenit pada batas bilah diperkaya pada karbon. Bentuk sementit terbentuk pada bilah batas bervariasi dengan kandungan carbon. Pada baja karbon rendah, sementit akan mengendap sebagai senar serta partikel terisolasi, tapi jika kandungan karbon lebih tinggi senar lebih kontinyu. Jika karbida tidak diendapkan, tetapi dipertahankan sebagai austenit atau berubah menjadi plat martensit.

Lower bainit punya model yang lebih mirip platelet dari pada *upper* bainit. Pelat ferit lebih luas daripada yang di atas bainit dan lebih mirip penampilannya dengan pelat martensit. Seperti halnya *upper* bainit, penampilan *lower* bainit bervariasi dengan kandungan karbon. *Lower* bainit

ditandai oleh pembentukan sementit seperti batang di dalam pelat ferit. Bainit terbentuk pada suhu antara 220 - 250°C dengan kadar karbon 0.5%.

2.3 Baja Paduan AISI 1020

Baja AISI 1020 merupakan jenis baja (karbon rendah)dengan unsur karbon (1,40-1,70)% Ni, (0,90- 1,40)% Cr, dan (0,20-0,30)% Mo. Baja AISI 1020 setara dengan baja DIN CK22.C22, JIS S20C. Menurut standar *AISI (American Iron and Steel Institute)* dan DIN CK22.C22, baja AISI 1020 mempunyai komposisi kimia (0,20-0,30)% C, (0,15-0,35)% Si, (0,50-0,70)% Mn, 0,035% P, 0,035% S, (1,40-1,70)% Ni, (0,90- 1,40)% Cr, dan (0,20-0,30)% Mo. Baja AISI 1020 secara luas mudah tersedia sebagai Gear, *billetbar*, batang *forging*, lembaran, tabung, dan kawat las. Aplikasi yang umum dari baja ini adalah baut, sekrup, roda gigi, batang piston untuk mesin, roda pendaratan, dan komponen landing gear pesawat terbang. Baja ini untuk dikeraskan dengan perlakuan panas. Salah satu perlakuan panas yang bisa digunakan pada baja ini yaitu proses hardening , dengan proses hardening baja AISI 1020 bisa mengalami perubahan sifat mekanik. (ASM handbook vol.1, 2005).

Tabel 2. 1 Kandungan Unsur Paduan Baja AISI 1020

Sumber : (*Mill Certificate by SeAH Besteel Corp*)

Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)				
		C	Si	MN	P	S
		x 100	x 100	x 100	x 1000	x 1000
Spec.	Min.	15	20	0.85		
	Max.	20	24	1.067	0.016	0.021
	Result	20	24	1.067	0.025	0.024
Inspection Items		Product Hardness (HB)				
		SURFACE				

Karakteristik dari baja AISI 1020 yaitu kekerasan yang baik serta mampu mesin. Kekerasan tersebut bersumber dari kadar kromium serta kadar molibdeum yang membuat kekerasan seragam serta kekuatan yang tinggi. Baja AISI 1020 dapat dikeraskan dengan media oli/minyak hingga kekerasan yang relatif tinggi. Karakteristik yang diinginkan dari baja ini adalah ketangguhan yang unggul, keelastisitan.

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik Pada Baja Paduan AISI 1020

Sumber : (*Mill Certificate by SeAH Besteel Corp*)

Mechanical Properties AISI 1020

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Yield strength (MPa)	<i>S_y</i>	245 - 300
Tensile strength (MPa)	<i>S_t</i>	420 - 440
Elongation (%)		27 - 30

2.4 Perlakuan Panas / *Heat Treatment*

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah suatu metode yang dipergunakan untuk merubah sifat-sifat mekanik dari suatu baja seperti kekerasan, keuletan serta kekuatannya. Metode yaitu dengan melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan sehingga dapat merubah komposisi kimianya ataupun yang tidak merubah komposisi kimia dari material tersebut. Perlakuan panas merupakan sebuah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam paduan dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu (Sujana, 1996).

Menurut S. Bahri (2018) Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau baja dapat dilunakkan untuk memudahkan pemesinan lebih lanjut.

Sedangkan menurut Qomarul Hadi (2010), perlakuan panas merupakan suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat yang bertujuan untuk mengubah sifat-sifat mekanik dan struktur mikro dari logam tersebut. Perlakuan panas hampir dilakukan pada material yang akan dilakukan pengerjaan lanjut dengan kata lain perlakuan panas menyiapkan material setengah jadi untuk dilakukan pengerjaan selanjutnya.

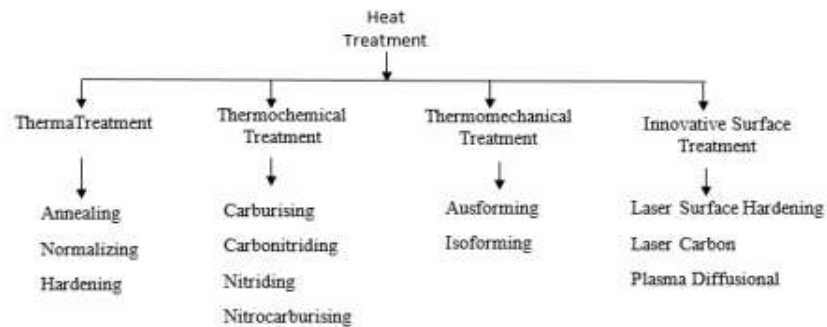
Pada dasarnya proses perlakuan panas meliputi :

1. Pemanasan, yaitu memanaskan material menggunakan tungku pemanas hingga mencapai suhu yang telah ditetapkan serta dengan kecepatan tertentu.
2. Penahanan atau *holding time* merupakan suatu proses yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang tinggi dari suatu bahan atau material yang dilakukan dengan cara menahan temperatur pemanasannya temperature austenite dengan waktu tertentu. Tujuan utama dari proses ini yaitu agar diperoleh pemanasan yang sama atau homogen sehingga bentuk dari fasa austenite yang didapatkan pada bahan mempunyai bentuk yang sama.
3. Pendinginan atau *quenching* merupakan suatu proses pendinginan logam dengan media pendingin seperti air, oli, udara, minyak atau bisa juga dengan media pendingin yang lain. Material yang sudah melalui proses 14 pemanasan dan penahanan dilakukan proses pendinginan untuk pemilihan media pendingin juga harus sesuai agar bisa menghasilkan material seperti yang diinginkan.

Syarat-syarat dari perlakuan panas yang harus dipenuhi saat proses yaitu :

1. Suhu pemanasan harus naik secara teratur dan merata.
2. Alat ukur suhu harus teliti.
3. Laju pendinginan harus sesuai dengan jenis perlakuan panas yang dilakukan.

2.5 Klasifikasi Proses *Heat Treatment*



Gambar 2. 10 Klasifikasi perlakuan panas
(Sumber : Sujana, 1996)

2.5.1 *Thermal Treatment*

1. *Annealing*

Merupakan suatu proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang sering dilakukan pada logam dalam pembuatan suatu produk. Pada dasarnya annealing dilakukan dengan cara memanaskan logam sampai $27\text{relative}2727e$ tertentu, menahan pada $27\text{relative}2727e$ tadi selama waktu ditentukan agar mencapai perubahan yang diinginkan kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang cukup lambat (Sujana, 1996).

Annealing dapat dilakukan terhadap material dengan kondisi yang berbeda-beda dan dengan tujuan yang berbeda juga. Tujuan dilakukannya proses ini adalah untuk melunakkan material, menghaluskan butir 27relativ , mengurangi tegangan sisa, dan memperbaiki keuletan dari material. Dalam *annealing* ada beberapa macam proses yaitu *full annealing*, $27\text{relative}2727e27\text{ation annealing}$, *stress relief annealing*, *spheroidization*, dan lain-lain.

2. Normalizing

Proses *normalizing* dilakukan dengan cara memanaskan bahan kurang lebih 1700°F (925°C), kemudian didinginkan pada *still* air atau *furnance*. Pada umumnya hasil *normalizing* memiliki struktur mikro lebih halus, sehingga untuk baja dengan komposisi kimia yang sama akan mempunyai *yield strength*, kekerasan serta *impact strength* yang lebih tinggi daripada yang diperoleh melalui *annealing* dan *machinability*nya akan lebih baik.

Proses *normalizing* biasanya dilakukan pada benda hasil tuangan atau hasil tempa untuk menghilangkan tegangan dalam dan menghaluskan butiran kristalnya sehingga menghasilkan sifat yang lebih baik. Pada proses ini *annealing* lebih baik tidak dilakukan pemanasan hingga temperature tinggi karena butir δ relativ *austenite* yang terjadi akan terlalu besar, sehingga pendinginan lambat akan diperoleh butir ferit/pearlit yang kasar ini dapat membuat kurangnya keuletan atau ketangguhan material.

3. Hardening

Hardening merupakan salah satu proses perlakuan panas dengan kondisi *non-equilibrium*, laju pendinginannya sangat cepat, sehingga struktur mikro yang tercipta adalah struktur mikro tidak *equilibrium*. *Hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai δ relative δ 28e δ relative δ 28, dipertahankan beberapa saat ditemperatur yang terakhir lalu didinginkan dengan cepat sehingga mendapatkan martensit yang keras, kekerasan maksimum yang dicapai juga bergantung pada jumlah karbon yang terdapat didalam material tersebut, semakain tinggi kandungan karbon yang terdapat didalamnya maka akan semakin keras pula hasil dari hardening tersebut. Untuk baja dengan kandungan karbon rendah setelah dilakukan proses *hardening* seperti tidak ada kenaikan atau δ ela dibilang seperti tidak dilakukan proses apapun. Sehingga untuk proses ini hanya dilakukan pada material

yang memiliki kandungan carbon yang memadai yaitu tidak kurang dari 0,30 %.

Agar mendapat struktur martensit yang sepenuhnya maka laju pendinginan harus mencapai laju pendinginan kritis (*critical cooling rate*) atau CCR. Jika laju pendinginan kurang dari CCR akan mengakibatkan sebagian *austenite* yang tidak bertransformasi menjadi martensit, sehingga kekerasan tidak tercapai maksimal.. Dalam proses hardening laju pendinginan suatu benda kerja juga bergantung pada beberapa 29elati :

- Jenis media pendingin
- Temperatur media pendingin
- Kuatnya sirkulasi pada media pendingin

Untuk media pendingin yang biasanya dipakai pada proses ini yaitu : *braine*, air, *salt bath*, minyak serta udara.

2.5.2 Thermochemical Treatment / Perlakuan Panas Termokimia

Pengertian perlakuan panas termokimia ialah mendifusikan elemen kimia pada 29elative2929e yang meningkat agar dapat meningkatkan sifat mekanis permukaan material (*Lawrence and Van Vlack, 1983*). Perlakuan panas termokimia adalah perlakuan panas dimana unsur-unsur kimia terutama karbon dan nitrogen dimasukkan kepermukaan pada suhu tinggi dengan menggunakan media transfer padat, cair, gas atau plasma (*Arthur dkk, 1986*). Proses ini termasuk metode 29elative29, 29elative2929e, dan *carbonitriding* yang seperti perlakuan *thermal*.

Tabel 2. 3 Prinsip utama dari perlakuan panas termokimia
(Sumber : Sujana, 1996)

Process	Description	Process	Typical treatment temp, °C	Typical case depth, mm	Typical surface hardness, HV
Carburising	A process in which a steel surface is enriched with carbon, at a temperature above the ferrite/austenite transformation. On subsequent quenching, an essentially martensitic case is formed	Solid, Liquid, Gaseous, Plasma	850-950	0.25-4.0	700-900*
Carbonitriding	Similar to carburising, but involving nitrogen as well as carbon enrichment	Liquid, Gaseous, Plasma	720-900	0.05-0.75	600-850*
Nitrocarburising	A process in which a steel or cast iron surface is enriched with nitrogen, carbon and possibly sulphur at a temperature below the ferrite/austenite transformation	Liquid, Gaseous, Plasma	170	0.02 max [†] 1.0 max [†]	500-550 [†]
Nitriding	A process in which a steel surface is enriched with nitrogen, at a temperature below the ferrite/austenite transformation	Gaseous, Liquid, Plasma	100-525	0.4-0.6	800-1050

* Depending on tempering treatment (upper figure represents typical as-quenched hardness).
† Thickness and microhardness of compound layer on mild steel. Values are dependent on alloy content of material treated.
‡ Total depth of diffusion zone.

Keuntungan dari proses pengerasan termokimia yaitu :

- Mudah mengontrol kedalaman pengerasan
- Baik untuk bentuk kompleks
- Biaya rendah terutama untuk produksi massal
- Bahan baku *low carbon steel*, alasannya karena mudah dibentuk dan *dimachining*, bagian tengahnya ulet, kekerasan permukaannya meningkat dan struktur lebih tangguh daripada baja medium atau *high carbon steel*.

Klasifikasi perlakuan panas termokimia terbagi menjadi dua, yaitu :

1. *Austenitik thermochemical* ialah suatu metode pengerasan permukaan yang dilakukan pada 30elative3030e *austenite*. Yang tergolong perlakuan panas 30elative3030 thermochemical yaitu : *carburizing*, *carbonitriding* dan *boring*.
2. *Ferritik thermochemical* ialah metode pengerasan permukaan yang dilakukan pada daerah 30elative3030e *ferritic*, yang termasuk perlakuan panas *ferritic thermochemical* yaitu : *nitriding* dan *nitrocarcurizing*.

Setiap klasifikasi diatas memiliki keuntungan masih-masing untuk *austenitic thermochemical treatment* keuntungannya yaitu zona difusi yang terjadi lebih dalam dan ketahanan aus yang lebih baik. Sedangkan untuk *ferritik thermochemical treatment* keuntungannya yaitu resiko retak akibat *residual stress* sedikit dan biaya pengerjaan lebih rendah karena prosesnya dilakukan pada daerah 30elative3030e *ferritik*.

Pengerasan permukaan dengan cara *thermochemical* terbagi menjadi 4 yaitu:

1. *Carburizing*

Karburasi atau yang sering disebut juga sebagai proses sementasi, yaitu proses penambahan karbon permukaan baja (biasanya baja karbon rendah) pada temperature diatas AC_3 yaitu pada daerah stabil fasa γ . Karburasi dilakukan pada temperature sekitar $815^\circ C - 955^\circ C$ dengan media yang memiliki karbon potensial yang tinggi, sehingga terjadi difusi atom – atom karbon dari media ke dalam lapisan permukaan baja. Pada temperature *Austenite*, laju difusi karbon dalam baja relative tinggi. Namun demikian, kandungan karbon tidak akan melebihi batas maksimum dari kelarutan karbon dalam fasa *austenite* yang ditentukan oleh garis Acm .

Untuk baja paduan khususnya baja perkakas, kandungan karbon di permukaan baja setelah karburasi dapat melebihi 3%

2. *Carbonitriding*

Carbonitriding adalah salah satu modifikasi dari proses karburasi dimana selain karbon juga ditambahkan 0.5% nitrogen, prosesnya berlangsung pada γ lebih rendah, dengan larutan karbon dan nitrogen pada kulit maka ini akan mempertinggikan mampu keras baja. Temperatur perlakuan panas yang umumnya dilakukan berkisar antara $750 - 900^\circ C$, kekerasan lapisan mencapai $600 - 850 HV$. Karena suhu prosesnya lebih rendah dari karburasi maka kemungkinan terjadinya distorsi atau retak akan lebih rendah begitu juga dengan homogenitas kekerasan sampai dengan kedalaman tertentu lebih baik. Beberapa sifat penting yang dihasilkan oleh proses karbonitridasi adalah aus memberikan 18 ketahanan yang tinggi terhadap *abrasive*, ketahanan aus *abrasive* dan juga ketahanan lelah. Proses karbonitridasi ini hanya digunakan untuk baja karbon biasa dan baja paduan rendah.

3. *Nitriding*

Nitridasi adalah suatu proses perlakuan panas termokimia dimana nitrogen didifusikan kepermukaan baja pada 32elative3232e berkisar antara 500 – 600°C sehingga terbentuk pengerasan kulit akibat terbentuknya 32elativ paduan pada permukaan. Ketebalan lapisan yang terbentuk berkirsaran 0,4-0,6 mm dengan kekerasan mencapai 800-1050 HV. Karena suhu prosesnya sangat rendah, maka kemungkinan terjadinya distorsi geometri atau retak sangat kecil. Beberapa sifat penting yang dihasilkan oleh proses nitridasi adalah ketahanan lelah sangat baik, ketahanan 32elative, ketahanan aus 32elative, ketahanan korosi juga baik.

4. *Nitrocarburizing*

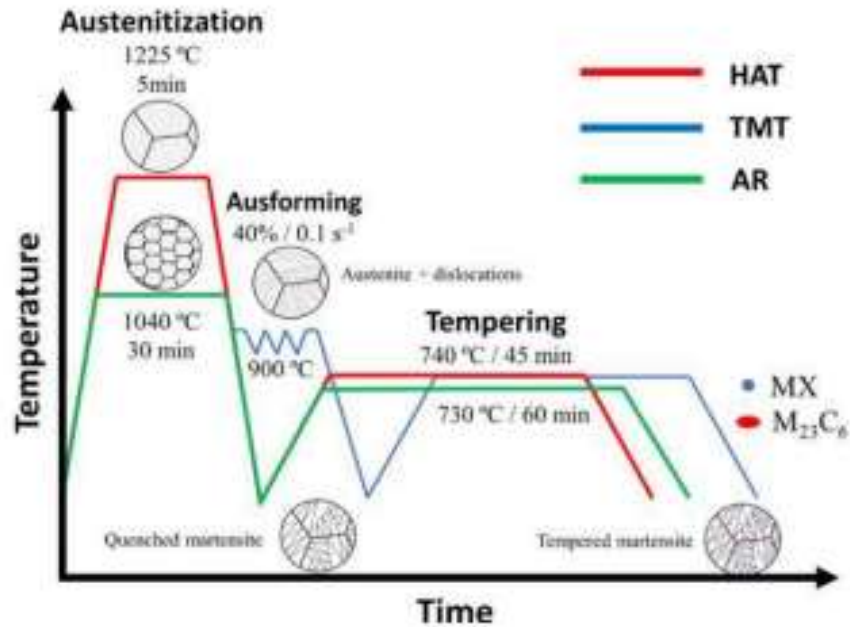
Nitrokarburasi adalah termasuk salah satu proses perlakuan panas termokimia. Proses ini dilakukan pada 32elative3232e 570°C dengan mendifusikan karbon dan nitrogen kedalam permukaan baja, sehingga akan diperoleh lapisan permukaan yang keras, tipis dengan ketebalan 10 – 25µm. Lapisan tersebut terdiri dari fasa karbonitrida dengan kekerasan permukaan mencapai 500 – 700 HV kekerasan ini sangat bermanfaat untuk meningkatkan ketahanan aus 32elative dari permukaan baja.

2.5.3 *Thermomechanical treatment*

1. *Ausforming*

Proses yang dikenal sebagai *ausforming* atau *low temperature thermomechanical treatment* (LTMT) yang pertama kali dijelaskan oleh *Harney* dan kemudian oleh *lips* dan *van zuiken*, melibatkan deformasi *austenite* didalam *metastable* diantara *lanne ferrite* dan *bainete*. Baja dikondisi *austenite* stabil dikembangkan dengan baik, didinginkan dari suhu *austeritizing*, deformasi dilakukan tanpa memungkinkan terjadinya transformasi. *Treatment ausforming* 32ela dibandingkan dengan *high temperature thermomechanical treatment* dimana deformasi dilakukan

didalam *austenite* yang stabil biasanya mendahului pendinginan untuk membentuk martensit (Surdia Tata, Saito, Shinroku, 1995).



Gambar 2. 11 *Ausforming*

Sumber : (www.sec.gov/Archives/edgar/data.html)

2. Isoforming

Proses *isoforming* melibatkan deformasi dari *austenite* yang stabil namun deformasi ini berlanjut hingga transformasi *austenite* selesai pada suhu deformasi. Hal ini dikarenakan morfologi dari *pearlite* mengarah kepada keuletan yang rendah dari baja *ferrite/pearlite* suhu transisi kelenturan meningkat dengan volume yang lebih besar dari pecahan *pearlite* (Surdia Tata, Saito, Shinroku, 1995).

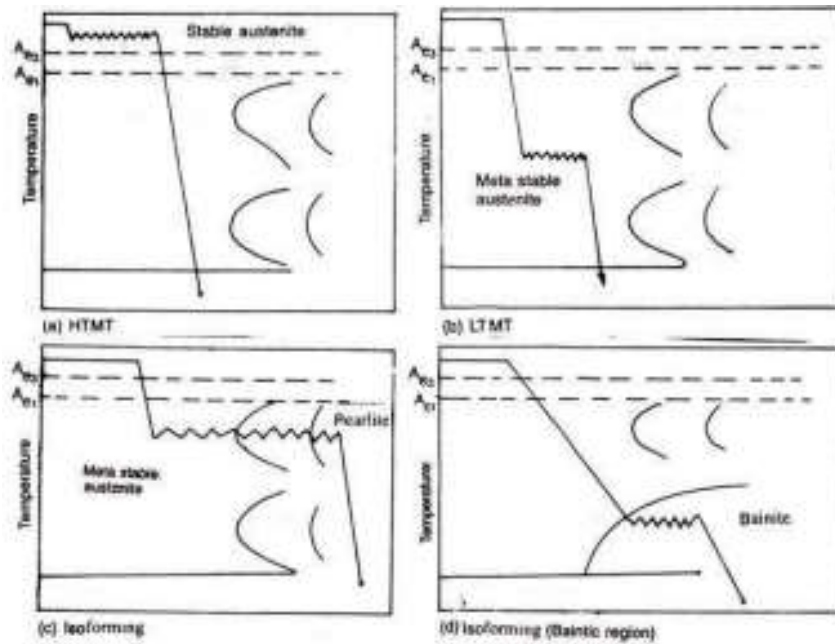


Fig. 9.1. Schematic diagrams of some thermo-mechanical transitions (a) HTMT, (b) LTMT, (c) Isoforming, (d) Isoforming (Bainitic region)

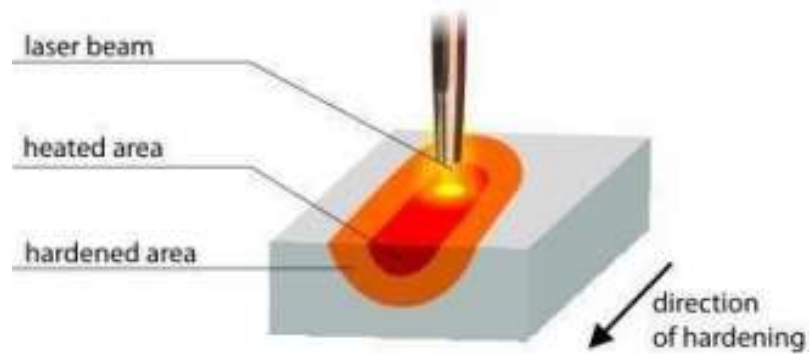
Gambar 2. 12 Isoforming

Sumber : (www.sec.gov/Archives/edgar/data.html)

2.5.4 Innovative Surface Treatment

1. Laser Surface Hardening

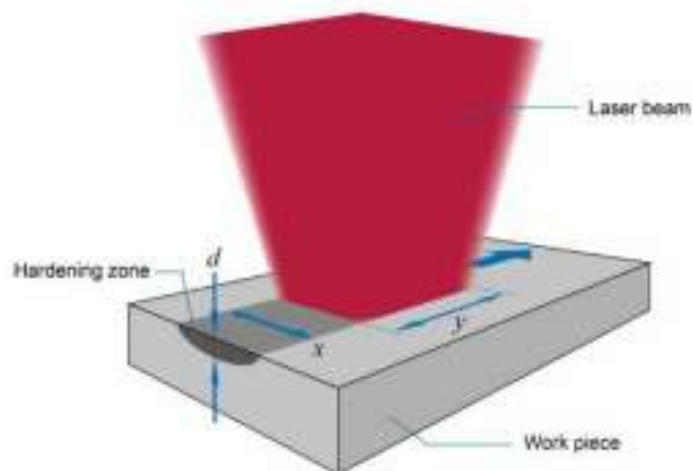
Pengerasan laser termasuk di antara teknologi inti perlakuan panas. Sinar laser digunakan untuk memanaskan area yang akan diproses. Kepadatan 34elati laser yang tinggi memungkinkan pemanasan yang terjadi sangat cepat pada area yang mengeras di atas suhu 34relative34. Fenomena “*Selfquenching*” digunakan setelah mengeluarkan sumber panas dari zona interaksi. Energi panas yang diserap oleh lapisan permukaan dengan cepat didistribusikan ke seluruh benda kerja. Difusi panas ini menghasilkan penurunan suhu yang sangat cepat di area yang mengeras. *Gradien* pendinginan yang tinggi telah menghasilkan struktur martensit butir halus dengan kekerasan yang sangat tinggi, yang merupakan keunggulan utama dibandingkan dengan metode pengerasan konvensional serta tidak adanya media pendingin dan otomatisasi yang mudah. Area yang dikeraskan terbatas pada lapisan permukaan dengan ketebalan maksimal sekitar 2 mm, sehingga pengerasan laser termasuk dalam teknologi perawatan permukaan (Kiwi, 2019).



Gambar 2. 13 Skema proses laser *surface hardening*
 Sumber : (www.researchgate.net)

2. *Laser carbon*

Pengerasan laser karbon atau *laser/electron beam surface* adalah prosedur pengerasan permukaan pendek untuk bahan besi yang dapat mengeras secara martensit memakai 35elati yang ditransfer oleh berkas 35elative, pendinginan cepat 35elative35 yang diperlukan untuk membentuk martensit terjadi melalui pendinginan sendiri, kedalaman pengerasan umum yang diperoleh oleh yaitu mulai dari 0,1 sampai 1,5 mm. Proses pengerasan bergerak dari permukaan menuju daerah inti bagian dalam komponen melalui konduksi panas. Dengan memberikan keunggulan distorsi pengerasan yang sangat rendah dan konsumsi 35elati yang 35elative rendah dan Vakum diperlukan untuk melakukan pengerasan.



Gambar 2. 14 Skema proses laser karbon

Sumber : (www.vippng.com)

3. Diffusional Treatment

Perlakuan panas *Plasma diffusional* diikuti oleh pelapisan (metode *dupleks*) yang membuka sepenuhnya untuk proses pelapisan. Nitrogen yang berdifusi ke permukaan menghasilkan kenaikan kekerasan yang merata pada material sampai mencapai lapisan kekerasan tertinggi pada suatu material.

2.6 Metode Taguchi

Metode *Taguchi* merupakan sebuah metode optimasi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses, serta menekan penggunaan biaya dan sumber daya (*resources*) seminimal mungkin (Sidi dan Wahyudi, 2013). Metode ini merupakan *off-line quality control*, atau pengendalian kualitas yang bersifat *preventif* sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada tahap produksi (Roy, 2010). Konsep kualitas dalam metode Taguchi ada tiga, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar inspeksi terhadap produk. Maksudnya adalah peningkatan kualitas harus direncanakan sejak awal sebelum produksi. Kualitas produk yang buruk tidak akan bisa ditingkatkan dengan inspeksi ataupun penyortiran (*screening*).

2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimalkan deviasi dari target. Produk harus didesain sedemikian rupa agar tidak sensitif terhadap faktor-faktor yang tidak terkontrol (*robustness of product*).
3. Biaya kualitas diukur sebagai fungsi dari deviasi terhadap target, sementara kerugian diukur dari keseluruhan sistem. Maksudnya adalah biaya life cycle dari sebuah produk yang meliputi bahan baku, pengerjaan, inspeksi, pengembalian, garansi, dan penggantian produk.

Untuk mendapatkan kualitas produk yang diinginkan dengan berbasis pada desain, *Taguchi* merekomendasikan tiga tahapan proses sebagai berikut:

1. *System design*.

Objektif dari tahap ini adalah penentuan tingkatan kerja (level) yang sesuai dari setiap faktor desain. Hal ini didasarkan pada material, alat kerja, dan juga parameter produk atau proses yang digunakan.

2. *Parameter design*

Objektif dari tahap ini menentukan level faktor yang menghasilkan hasil terbaik. Kondisi optimum dipilih agar meminimalkan variasi hasil akibat pengaruh faktor yang tidak terkontrol.

3. *Tolerance design*

Objektif dari tahap ini adalah untuk memperbaiki hasil *desain* parameter dengan memperketat toleransi dari faktor yang memiliki pengaruh terbesar terhadap produk.

2.6.1 Langkah Penelitian *Taguchi*

Langkah penelitian *taguchi* dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah fase perencanaan, fase pelaksanaan, dan fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang penting dari percobaan untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan yaitu ketika faktor dan levelnya dipilih dan oleh karena itu merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen.

Fase kedua merupakan fase pelaksanaan, fase ini ditandai ketika hasil percobaan telah didapatkan. Jika percobaan yang direncanakan dan dilaksanakan

dengan baik, maka analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level. Fase ketiga merupakan fase analisis, fase ini adalah fase ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis merupakan hal penting pada bagian akhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil positif.

Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut:

1. Perumusan masalah.

Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya, hal ini agar cakupan percobaan tidak terlalu luas. Selain itu, secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.

2. Tujuan eksperimen.

Tujuan yang melandasi eksperimen harus dapat menjawab dari apa yang telah dinyatakan pada rumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang diamati.

3. Memilih karakteristik kualitas (variabel tak bebas).

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diamati.

4. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (variabel bebas).

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diamati pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh eksperimen tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diamati, hal ini diakibatkan akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi rumit. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diamati. Beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah brainstorming, flowcharting, dan cause effect diagram.

5. Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol.

Pada metode *Taguchi*, faktor terkontrol maupun tidak terkontrol perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol merupakan faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan maupun faktor lainnya yang ingin diatur atau dikendalikan, sedangkan faktor tidak terkontrol disebut faktor tidak terkontrol (*noise factors*) merupakan faktor yang nilainya tidak bisa diatur atau dikendalikan maupun faktor yang tidak ingin diatur atau dikendalikan.

6. Penentuan jumlah level dan nilai faktor.

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan biaya pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan biaya percobaan.

7. Identifikasi interaksi antar faktor kontrol.

Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara satu persatu. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal. Akan tetapi pada metode *Taguchi* lebih mementingkan pengamatan pada main *effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.

8. Perhitungan derajat kebebasan (*degrees of freedom*).

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

9. Pemilihan *orthogonal array* (OA).

Dalam memilih jenis *orthogonal array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati, yaitu:

- Jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis *orthogonal array* untuk level dua faktor.
- Jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis *orthogonal array* untuk level tiga faktor.

- Jika beberapa faktor adalah dua level dan lainnya tiga level: pilih yang mana yang dominan dan digunakan *dummy treatment*, metode kombinasi atau metode *idle column*.
- Jika terdapat campuran dua, tiga, atau empat level faktor: lakukan modifikasi *orthogonal array* dengan metode *merging column*.

10. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *orthogonal array*.

Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada *orthogonal array* terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor dalam suatu *orthogonal array*.

11. Persiapan dan pelaksanaan percobaan.

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

12. Jumlah replikasi.

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk mengurangi tingkat kesalahan percobaan, menambah ketelitian data percobaan sehingga memungkinkan diadakan *test signifikansi* hasil eksperimen.

13. Randomisasi.

Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua *unit* percobaan, memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, dan mendapatkan hasil pengamatan yang bebas satu sama lain. Pelaksanaan percobaan taguchi adalah pengerjaan berdasarkan setting faktor pada *orthogonal array* dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi urutan seperti randomisasi.

14. Analisis data.

Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan, serta penyajian data dalam suatu *layout* tertentu yang sesuai dengan desain yang terpilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu, dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes *hipotesa* dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.

15. Interpretasi hasil.

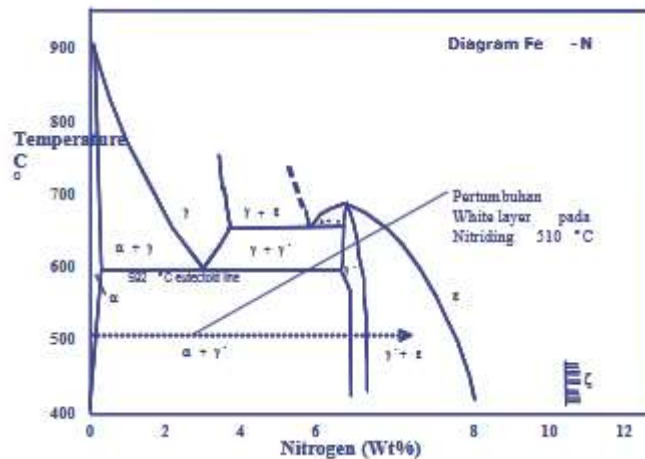
Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.

16. Percobaan konfirmasi.

Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor serta interaksinya, dan setting parameter yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

2.7 Nitriding

Proses Nitridisasi (*Nitriding*) adalah proses perlakuan panas termokimia (*thermochemical treatment*) dengan tujuan mendifusikan *nitride* kedalam permukaan baja pada temperature 450 – 580°C sehingga membentuk lapisan *ferrite* dengan kadar nitrogen mencapai 6%. Pada sekitar 6%, fasa gamma membentuk komposisi Fe-4N, pada kadar nitrogen lebih dari 8% hasil reaksi kimia yang terbentuk adalah Fe₂-3N serta *zona* difusi nitrogen dibawah lapisan *nitride*. Dengan ketentuan baja harus memiliki elemen paduan seperti Al, Ti, Cr, Mo, VCr, W, Mo, V, Ti, Nb, Zr (elemen karbida) agar dapat membentuk kulit keras berupa endapan paduan *nitride* (TiN, CrN, VN dan lain-lain). Untuk meningkatkan ketahanan aus *adhesive* dan *abrasive*, ketahanan leleh, dan ketahanan pelunakan pada temperature meningkat. Proses nitriding sangat baik untuk baja dengan komposisi kimia : C, 0.2-0.3 %; Mn, 0.04-0.6% ; Al, 0.9-1.4 %; Cr, 0.9 to 1.4 %; dan Mo, 0.15-0.25 %. (Rahardjo, 2008)



Gambar 2. 15 Diagram Fe- N pada proses *Nitriding*
 Sumber : Anil Kumar Sinha (2013).

2.8 Carbonitriding

Proses *carbonitriding* paling cocok untuk baja karbon rendah dan baja paduan karbon rendah. Dalam proses ini, baik Karbon dan Nitrogen berdifusi ke permukaan. Bagian dipanaskan dalam *atmosfer* hidrokarbon (seperti metana atau propana) dicampur dengan Amonia (NH₃). Prosesnya adalah campuran dari *Carburizing* dan *Nitriding*.

Karburasi melibatkan suhu tinggi (900°C, 1652°F) dan *Nitriding* melibatkan suhu yang jauh lebih rendah (600°C, 1112°F). Carbonitriding dilakukan pada suhu 760 – 870°C (1400 - 1598°F), yang lebih tinggi dari suhu transformasi baja yang merupakan daerah *austenit* yang berpusat pada muka.

Kemudian didinginkan dalam atmosfer gas alam (bebas oksigen). *Quenching* ini kurang drastis dibandingkan air atau minyak sehingga distorsinya lebih sedikit. Namun proses ini tidak cocok untuk bagian presisi tinggi karena distorsi yang melekat. Kekerasan yang dicapai mirip dengan karburasi (60 - 65 RC) tetapi tidak setinggi *Nitriding* (70 RC). Kedalaman Permukaan adalah dari 0,1 hingga 0,75 mm (0,004 hingga 0,030 in). Permukaan ini kaya akan Nitrida dan Martensit. Tempering diperlukan untuk mengurangi kerapuhan.

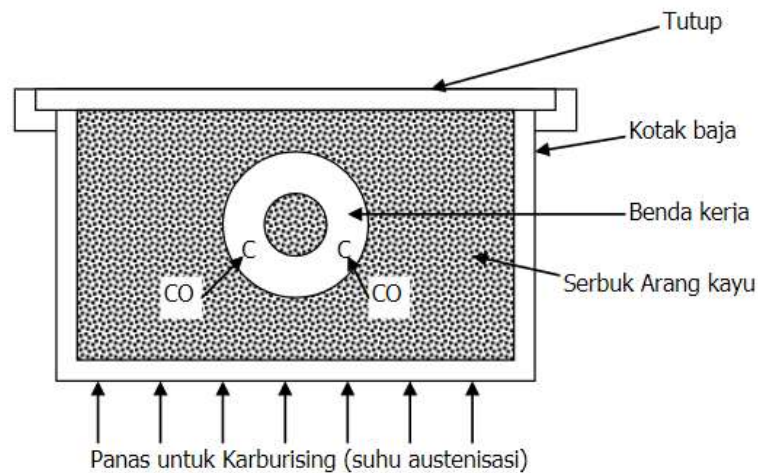
2.9 Nitrocarburizing

Nitrokarburisasi termasuk juga suatu proses perlakuan panas termokimia. Proses ini biasanya dilakukan kira-kira pada *temperature* 570°C dengan mendifusikan karbon dan nitrogen kedalam permukaan baja, sehingga akan memperoleh lapisan permukaan yang keras, tipis dengan kedalaman 10-25 μm . Lapisan tersebut terdiri dari fasa ϵ -karbonitrida dengan kekerasan permukaan mencapai 500-700 HV yang sangat bermanfaat untuk meningkatkan ketahanan aus *adhesive* dari permukaan baja. Dibawah lapisan fasa ϵ Fe-N-C tersebut terdapat suatu daerah zone difusi yang dapat mencapai tebal 1 mm, berisikan (*nitride*)nitrida besi atau paduan. Jika setelah perlakuan material tersebut didinginkan dalam air hangat atau minyak, maka sebagian besar nitrogen yang ada dalam zone difusi tersebut tertahan didalam larutan padat akan berpresipitasi dan meningkatkan kekuatan leleh dari material tersebut.

2.10 Carburizing

Karburasi merupakan proses termokimia atau *chemical heat treatment* yang dilakukan dengan mengubah komposisi kimia permukaan baja untuk memperkaya unsur karbon pada permukaan baja pada suhu 850–950°C (Malau, 1999), sehingga atom karbon aktif tersebut akan berdifusi masuk ke dalam permukaan baja dan mencapai kedalaman tertentu. Hukum pertama *Fick's* menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan *substrat* merupakan fungsi *koefisien* difusi dan *gradien* konsentrasi. Gradien konsentrasi adalah jumlah atom yang terdapat di sekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat (*Schonmetz & Gruber, 1994*). Berdasarkan media yang digunakan, karburasi dapat dibedakan menjadi 3 cara yaitu : gas, cair, dan padat.

Proses *carburizing* yang tepat akan menambah kekerasan permukaan sedang pada bagian inti. Proses *carburizing* atau pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan metode padat, cair dan gas (*Amstead, 1979*).



Gambar 2. 16 Proses *Pack* Karburisasi
 Sumber : (Budinski, 1999: 305)

2.10.1 Macam – Macam Proses *Carburizing*

1. Karburasi padat (*pack carburizing*) bahan dimasukkan kotak tertutup dan ruangan diisi dengan arang kayu atukokas ataupun bahan yang berunsur karbon. Prosesnya memerlukan waktu yang cukup lama.
2. Karburasi gas (*gaz carburizing*) menggunakan gas alam atau hidro karbon maupun propan (gas karbit). Diterapkan untuk bagian - bagian yang kecil dan dapat dicelup setelah pemanasan dalam dapur.
3. Karburasi cair (*liquid carburizing*) baja dipanaskan dalam suhu tertentu dan dalam dapur yang mengandung garam *cyanide* sehingga karbon dan sedikit nitrogen dapat berdifusi kedalam lapisan luar. Kulit luar memiliki kadar karbon yang lebih tinggi dan kadar nitrogen lebih rendah. Cara ini cocok untuk pengerasan permukaan benda berukuran sedang.

2.10.2 Pengaruh *Carburizing*

Hal – hal yang mempengaruhi hasil proses karburasi adalah sebagai berikut

1. Potensial Karbon

Semakin tinggi potensial karbon, makin cepat karbon disuplai kedalam baja, menghasilkan gradien konsentrasi lebih tinggi dipermukaan. Untuk campuran berbagai macam gas potensial karbon

pada temperatur tertentu, potensial karbon dikenal sebagai kandungan karbon dalam kesetimbangan dengan atmosfer tungku. Biasanya kondisi ini mengacu pada aktivitas karbon dalam *atmosfir*, yang dapat dikenal dari penunjukkan potensial oksigen, CO dan CO₂ dalam *atmosfir*, jika atmosfer fasa gas tersebut berada dalam kesetimbangan.

2. Kecepatan Reaksi

Dipermukaan Baja : Sifat dan konsentrasi dari spesies molekul dalam *atmosfir* mempengaruhi kecepatan reaksi. Sebagai contoh, reaksi permukaan lebih cepat terjadi pada *atmosfir* gas *endotermik* daripada *atmosfir* metana-hidrogen.

3. Temperatur Karburasi

Peningkatan proses akan meningkatkan kecepatan reaksi permukaan, sehingga menghasilkan kedalaman penetrasi karbon lebih besar. Dengan demikian ketebalan lapisan yang diperoleh lebih dalam.

4. Paduan Logam

Kandungan unsur paduan pada baja memberikan pengaruh, pertama terhadap kandungan karbon lapisan dan kedua terhadap kecepatan difusi karbon kedalam baja. Hal diatas disebabkan elemen-elemen paduan tersebut menempati posisi substitusi dan interstisi pada sisi matrik logam sehingga akan menghambat gerakan atom-atom karbon yang berdifusi, sehingga akan dihasilkan kedalam karburasi yang berbeda

5. Waktu Karburasi

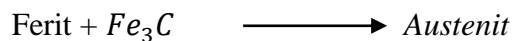
Kedalaman penetrasi karbon meningkat, seiring dengan peningkatan waktu karburasi dan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya.

2.10.3 Transformasi Pemanasan

Transformasi fase yang terjadi pada saat pemanasan dapat dipelajari dari diagram keseimbangan (diagram fase) besi karbida – baja. Pada temperatur kamar baja karbon rendah terdiri dari butir – butir kristal ferit

dan perlit dengan jumlah butir ferit lebih banyak dari butir perlit. Perbandingan jumlah butir ferit dan perlit tersebut sesuai dengan jumlah kadar karbon yang terkandung dalam baja karbon rendah tersebut. Semakin banyak jumlah kadar karbon semakin sedikit jumlah butir ferit dan semakin banyak butir perlitnya.

Pada baja karbon rendah jika dipanaskan hanya sampai temperatur dibawah temperatur krisis A1, maka belum tampak adanya perubahan struktur mikro. Dalam struktur mikro masih terlihat butir ferit dan perlit. Tetapi bila pemanasan dilanjutkan hingga tepat pada temperatur kritis A1, maka perlit akan mengalami reaksi *eutektoid*. Dimana butir ferit dan sementit dari perlit akan bereaksi menjadi austenit. Reaksi eutektoid pada saat pemanasan :



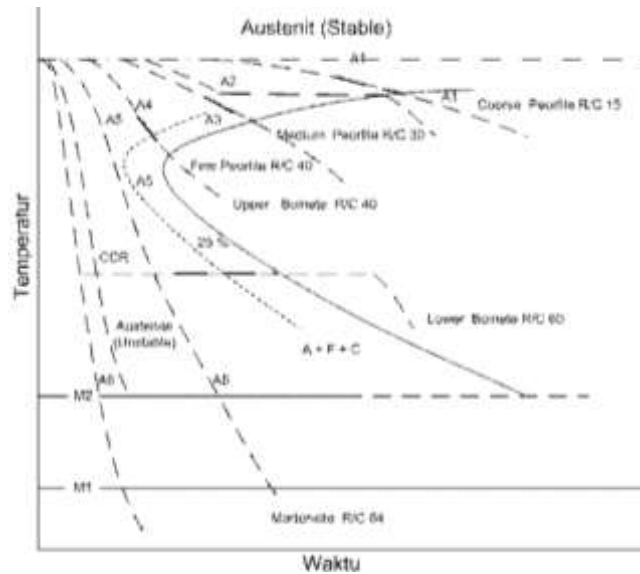
Reaksi *eutektoid* ini berlangsung pada temperatur konstan dan temperatur tidak akan naik sebelum reaksi *eutektoid* selesai atau seluruh ferit dan sementit didalam perlit habis menjadi austenit. Setelah perlit habis dan mulai terjadi kenaikan temperatur, maka ferit – *preutektoid* akan mulai mengalami transformasi *alotropik*, ferit yang mempunyai bentuk struktur kristal BCC (*body centre cubic*) akan berubah menjadi austenit yang FCC (*face centre cubic*). Transformasi ini berlangsung bersamaan dengan naiknya temperatur. Makin tinggi temperatur pemanasan makin banyak ferit yang bertransformasi menjadi *austenite*.

2.10.4 Transformasi Pendingin

Dalam suatu proses perlakuan panas, setelah pemanasan mencapai temperatur yang ditentukan dan diberi waktu penahanan panas (*Holding time*) secukupnya maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu. Struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan akan tergantung pada laju pendinginan. Karena sifat mekanik dari baja setelah akhir suatu proses perlakuan panas akan ditentukan oleh laju pendinginan. Transformasi austenit pada pendinginan memegang peranan penting terhadap sifat dari baja karbon. Austenit dari baja *hypoeutektoid* bila

didinginkan secara lambat pada temperatur A₃ mulai membentuk inti kristal austenit. Transformasi ini terjadi karena perubahan *allotropik* dari besi gamma (austenit) ke alpha (ferrit). Karena ferit hanya dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat kecil maka kandungan karbon dalam austenit akan semakin besar bila ferit yang tumbuh banyak (dengan makin turunnya temperature). Besarnya kandungan karbon dalam temperatur kritis A₃, sehingga pada saat temperatur mencapai temperatur kritis A₁, komposisi austenit sama dengan komposisi *eutektoid* dan pada waktu itu austenit berdeformasi.

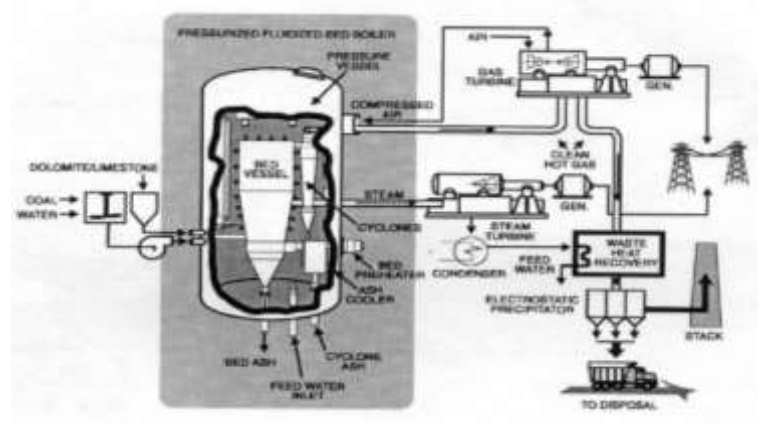
Tumbuhnya perlit diawali dengan tumbuhnya inti sementit pada batas butir austenit. Untuk tumbuhnya sementit diperlukan sejumlah besar karbon yang akan diperoleh dari austenit sekitarnya. Sehingga austenit disekitar sementit miskin karbon dan menjadi ferit. Perpindahan atom ini berlangsung secara difusi, oleh karena itu memerlukan waktu yang cukup. Pada proses *case hardening* bila austenit didinginkan secara cepat, maka transformasi sementit (karbida besi) tidak terjadi dan produk transformasi austenit akan berubah menjadi fasa baru yang dikenal sebagai bainit dan martensit. Bainit terbentuk bila austenit didinginkan dengan cepat hingga mencapai temperatur tertentu. Transformasi bainit ini disebabkan sebagian karena proses difusi dan sebagian lagi karena proses tanpa difusi.



Gambar 2. 17 Kurva Pendinginan
www.kurva.pendingin.com

2.11 Fluidized Bed Furnace

Teknologi *Fluidized Bed* saat ini telah dimanfaatkan untuk proses perlakuan termokimia gas dalam menghasilkan kekerasan permukaan baja dan besi cor. Serbuk alumina dimanfaatkan sebagai media pada teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan transfer panas dari dinding dapur menuju ke spesimen dengan demikian akan menghasilkan peningkatan kualitas pengeras permukaan. Namun kualitas pengeras permukaan sangat ditentukan oleh paduan besi cor tersebut. Perbedaan unsur paduan bahan akan menghasilkan lapisan pasif yang berbeda pada permukaan masing-masing bahan tersebut sehingga akan mempengaruhi transfer panas dipermukaan spesimen. *Fluidized bed furnace* memberikan keuntungan karena permukaan material dipanaskan lebih cepat, menghasilkan pengaruh daerah panas yang kecil, kecermatan pada pengontrolan saat perlakuan permukaan dan pada saat proses perlakuan tidak terkontaminasi dengan udara luar. Ini dapat terjadi akibat peran serbuk alumina dalam teknologi reaktor *fluidized bed*.



Gambar 2. 18 Skema *fluidized bed furnace*
 Sumber : (www.slideserve.com)

2.11.1 Supply Gas Dalam *Fluidized Bed Furnace*

Penelitian Rahardjo (2008) dijelaskan bahwa, pada saat melakukan perlakuan panas di *Fluidized Bed Furnance* memakai beberapa jenis gas sesuai dengan proses yang dilakukan, untuk jenis gas yang dipakai dalam *Fluidized Bed Furnance* yaitu :

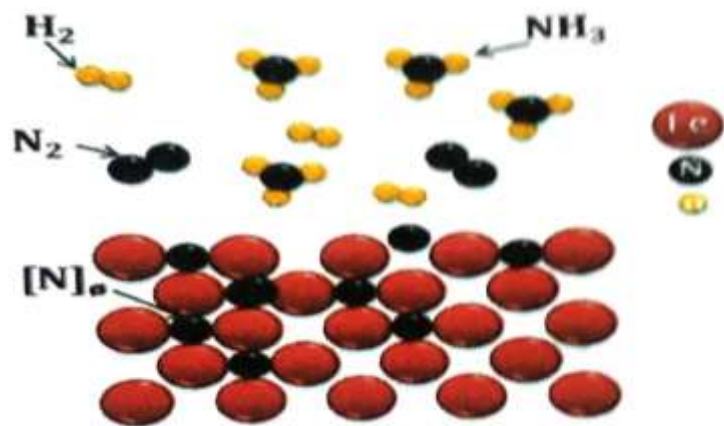
- Oksigen (O₂)

Gas oksigen berfungsi sebagai *fluidising* pada waktu pemanasan sampai suhu 500°C dan pendinginan dari suhu 500°C sampai suhu kamar.

- Nitrogen (N₂)

Nitrogen berfungsi sebagai *fluidising* untuk pemanasan dari suhu 500°C sampai suhu proses perlakuan untuk mencegah terjadinya oksidasi pada material atau logam yang dipanaskan karena ditemperatur tersebut getaran atom sangat tinggi yang menyebabkan udara luar masuk ke dalam sistem. Fungsi utama dari nitrogen yaitu untuk memberikan tekanan yang besar dalam sistem agar membantu proses reaksi kimia saat gas proses.

- Natural Gas (LPG dan Metana)
Berfungsi sebagai gas pembentuk karbon akibat reaksi kimia dengan Fe dan nitrogen untuk membentuk karbida dalam karbon rendah. Gas ini digunakan dalam proses *carburizing*, *carbonitriding* dan *Nitrocarburizing*.
- Amonia (NH₃)
Digunakan pada proses *Nitriding*, *carbonitriding* dan *Nitrocarburizing*. Dimana unsur N dari ammonia (NH₃) membentuk reaksi kimia dengan Fe, Al, Cr, Mo, V supaya membentuk lapisan nitrida dipermukaan logam.



Gambar 2. 19 Suplay gas dalam *fluidized bed furnace*
Sumber : (Zamzami 2017)

2.11.2 Media Pemanasan *Fluidized Bed Furnace*

Pada *fluidized bed furnace* yang digunakan penelitian ini menggunakan media pemanasan berupa serbuk *aluminium oxide* (Al_2O_2) berfungsi sebagai partikel pengantar panas ke permukaan logam yang diproses. Rahardjo (2016). Serbuk *aluminium oxide* terdiri dari :

- *Coarse grit* (berwarna hitam kasar), berfungsi sebagai partikel dasar atau partikel sebelum *fine grit* dengan ukuran 64 mm dari dasar tungku.
- *Fine grit* (berwarna putih halus), berfungsi sebagai partikel pengantar.

2.11.3 Karakteristik *Fluidized Bed Furnace*

Karakteristik yang penting dalam *Fluidized Bed* adalah perpindahan panas yang menghasilkan efisiensi yang tinggi. Gejala fluidisasi disebabkan oleh partikel oksida inert halus, kering dan bertingkah laku seperti zat cair, bila partikel satu dengan yang lainnya terpisah oleh gas yang bergerak melewati *bed*. Suatu *fluidized bed* gas dapat ditinjau sebagai fasa padatan selama menunjukkan batas atas yang teridentifikasi secara jelas. Pada kecepatan aliran gas terlalu tinggi, kecepatan akhir padatan terlewati, batas atas *bed* menghilang dan dalam kondisi demikian padatan terlempar dari dapur oleh aliran gas.

Meskipun sifat padatan dan cairan itu sendiri menentukan mutu dari fluidasi, banyak faktor yang mempengaruhi jumlah dari campuran padatan yang mempunyai sifat tidak sejenis didalam *bed*. Faktor-faktor ini termasuk ukuran dari *bed*, jumlah aliran gas dan jenis dari gas yang digunakan. Didalam menentukan mutu fluidasi, suatu diagram penurunan tekanan (Δp) terhadap (μ_0) bermanfaat sebagai gambaran, jika pengamatan visual tidak memungkinkan (Smallman and Bishop, 1995).

2.11.4 Parameter *Fluidized Bed Furnace*

Adanya aliran turbulen dan pergerakan cepat dari fluida (aluminium dan silika), menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan panas. Koefisien perpindahan panas pada *fluidized bed* biasanya atau umumnya antara 120 – 1200 W/m² C. Ada beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas yaitu :

- Diameter partikel

Memberikan pengaruh terhadap perpindahan panas. Pada umumnya diupayakan ukuran partikel sekecil mungkin, namun dibawah ukuran yang ditetapkan akan menyulitkan proses, ukuran optimal partikel yaitu 100 μm

- Material *bed*

Yang menentukan sifat fisik dari berbagai material *bed* adalah kerapatan. Kerapatan yang optimal untuk *bed* berkisaran antara 1280 – 1600 kg/m³. Material yang lebih rapat menghasilkan koefisien perpindahan panas rendah dan dibutuhkan tenaga lebih besar untuk fluidisasi. Umumnya material *bed* yang digunakan adalah alumina pada kondisi operasi diatas temperatur 1050°C, maka material *bed* yang digunakan adalah *pitch coke* yang sama seperti alumina tidak memeberikan pengaruh bahaya pada kesehatan dan lingkungan.

- Kecepatan *fluidisasi* gas

Kecepatan *fluidisasi* optimal akan menghasilkan kecepatan perpindahan panas maksimal. Biasanya berkisar antara 2-3 kali kecepatan *fluidisasi* minimum. Kecepatan fluidisasi yang terlalu tinggi menyebabkan komsumsi dari gas fluida juga tinggi dan perpindahan panas rendah. Sedangkan kecepatan *fluidisasi* terlalu rendah akan menyebabkan perpindahan panas berkurang.

2.12 Pengujian Yang Digunakan

2.12.1 Uji Kekerasan *Vickers* (*Micro – Vickers*)

Pengujian kekerasan metode *Vickers* menggunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut sebesar 136⁰



Gambar 2. 20 Bentuk indenter dan hasil indentasi *Vickers*..

Sumber : (Dieter, 1988).

Vickers Hardness Number (VHN) didapatkan melalui hasil pembagian antara beban yang digunakan dengan luas area indentasi. Luas area indentasi ini didapatkan melalui panjang diagonal hasil indentasinya (Dieter, 1988). Pengujian kekerasan Vickers menggunakan standar ASTM E92. Secara matematis, perhitungan VHN dapat dinyatakan seperti Persamaan 2.6 di bawah ini.

$$VHN \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,854P}{L^2}$$

Dimana :

P : beban yang digunakan

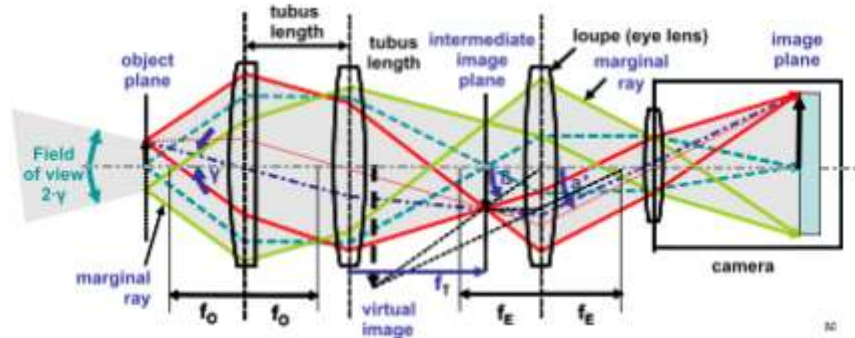
L : panjang rata-rata diagonal (mm)

2.12.2 Uji Mikro Struktur Optik

Mikroskop optik, atau yang sering disebut juga sebagai "mikroskop cahaya", adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan cahaya tampak dan sebuah sistem lensa untuk memperbesar gambar spesimen yang kecil. Mikroskop optik dasar sangat sederhana, meskipun ada banyak desain lain yang kompleks yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi dan kontras dari spesimen. Mikroskop optik mudah untuk dikembangkan dan populer karena menggunakan cahaya tampak sehingga sampel dapat langsung diamati oleh mata. Pada saat ini, gambar dari mikroskop optik dapat ditangkap oleh kamera normal yang peka cahaya untuk menghasilkan mikrograf dan langsung disambungkan ke layar monitor komputer. Perbesaran mikroskop ini mencapai 1000 x.

Komponen mikroskop optik modern sangat kompleks. Agar mikroskop dapat bekerja dengan baik, seluruh jalur optik harus diatur dan dikendalikan sangat akurat. Meskipun demikian, prinsip-prinsip operasi dasar dari mikroskop cukup sederhana. Prinsip penting dari mikroskop adalah bahwa lensa objektif dengan panjang fokus yang sangat pendek

(sering hanya beberapa mm saja) digunakan untuk membentuk perbesaran bayangan nyata dari objek.



Gambar 2. 21 Skema Mikroskop Optik

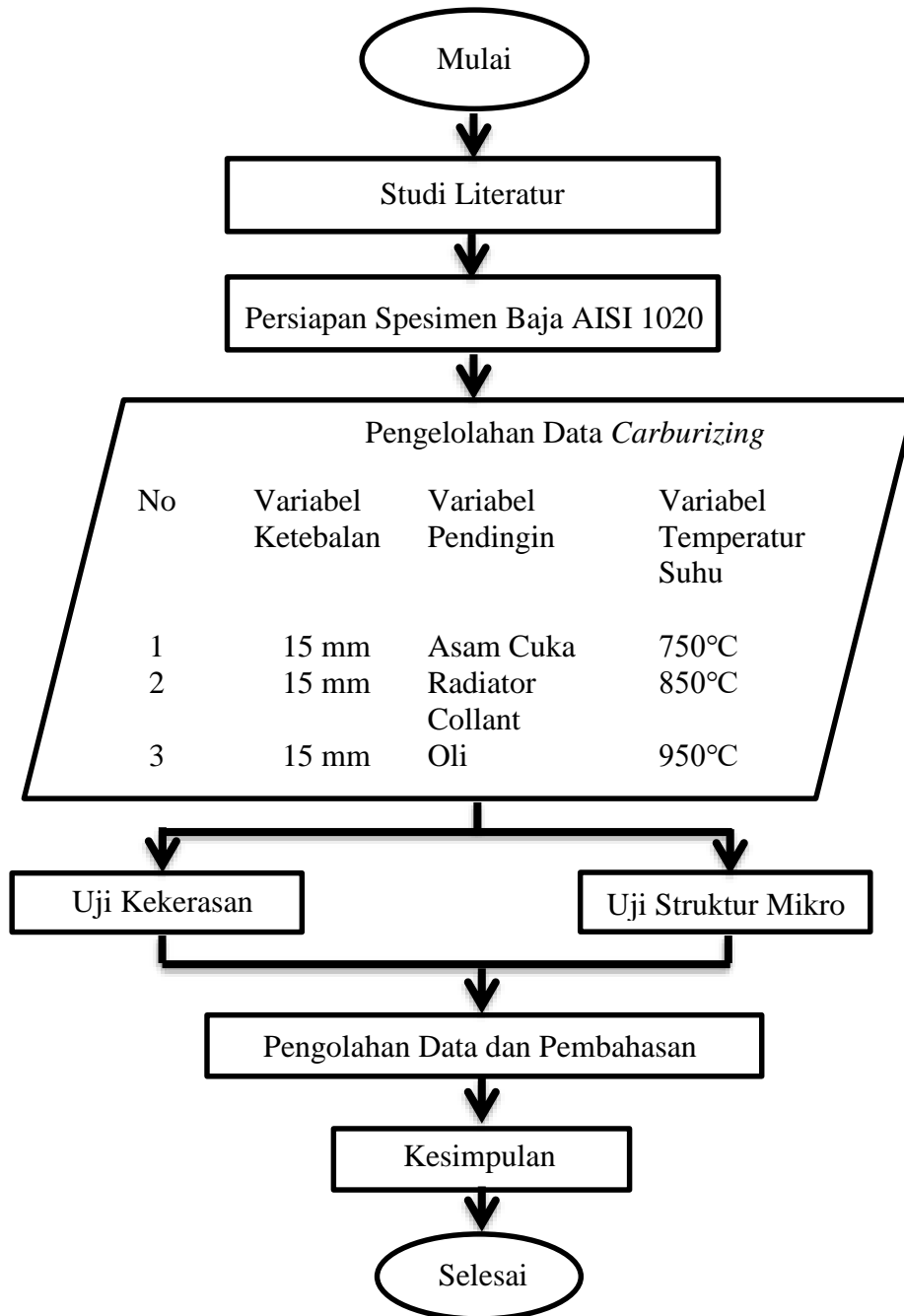
Sumber : (<http://repository.umy.ac.id/>)

Lensa objektif adalah sebuah kaca pembesar bertenaga sangat tinggi dengan panjang fokus yang sangat pendek. Lensa ini diletakkan sangat dekat dengan spesimen yang akan diteliti sehingga cahaya dari spesimen jatuh ke fokus sekitar 160 mm di dalam tabung mikroskop sehingga menciptakan perbesaran sebuah gambar dari subjek.

Untuk pengujian mikroskop optik ini diperlukan juga permukaan spesimen yang rata dan halus. Sehingga pengujian ini dilakukan setelah pengujian emission spectrometer yang juga memerlukan permukaan yang halus. Tetapi dilakukan satu langkah persiapan tambahan lagi yaitu proses pengetsaan. Proses pengetsaan ini diperlukan untuk memberikan warna pada struktur atom sehingga dapat diidentifikasi. Adapun pengetsaan ini menggunakan cairan kimia HNO₃, Acetic acid, dan juga HCl dengan perbandingan 2 : 2 : 1.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir
Sumber : Dokumen Pribadi

3.2 Penjelasan Diagram Alir

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian. Menurut Danial dan Warsiah (2009:80), Studi Literatur adalah merupakan penelitian yang dilakukan oleh peneliti dengan mengumpulkan sejumlah buku buku, majalah yang berkaitan dengan masalah dan tujuan penelitian.

2. Persiapan Spesimen Baja AISI 1020

Melakukan pembelian Baja AISI 1020 yang sudah di potong dengan ukuran 15 mm / spesimen untuk dilakukan proses pengujian.

3. *Carburizing*

Carburizing dilakukan menggunakan dapur *fluidized bed furnace* yang berada di lab material ITN Malang. Dalam proses ini menggunakan variasi temperatur 750°C, 850°C, dan 950°C serta menggunakan holding time 120 menit / 2 jam. Adapun variasi berupa media pendingin asam cuka, radiator coolant (shell), Oli. Dalam proses karburasi ini menggunakan beberapa macam gas, seperti gas Propana, Amonia dan Nitrogen dengan perbandingan berat : 3,08 % C₃H₈, 19,31 % NH₃, dan balance N₂. Untuk tekanan dari setiap gas yang akan didifusikan yaitu sebesar 1,6 mbarr atau 0,16 KPA, 160 PA, 0,00157908 Atm. Dengan media pendingin *quenching holding time* 15 menit.

4. Uji Kekerasan

Uji kekerasan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material, untuk mencari besarnya nilai kekerasan dengan menggunakan metode Taguchi.

5. Uji Struktur Mikro

Struktur mikro untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada baja yang akan diuji, spesimen yang akan di uji sudah dihaluskan permukaanya agar terlihat kandungannya.

6. Pengolahan Data dan Pembahasan

Proses pengolahan data dilakukan dengan cara membandingkan 27 spesimen dengan metode taguchi, kekerasan yang ada pada permukaan baja AISI 1020 dengan proses *Carburizing* variabel suhu 750°C, 850°C, 950°C. Dengan media pendingin yang bervariasi Asam Cuka, *Radiator collent (sheel)*. Dimana setelah di *Carburizing* dengan media pendingin yang bervariasi akan terlihat perubahan kekerasannya. Setelah di uji kekerasan akan dilakukan uji struktur mikro dimana untuk mengetahui seberapa dalam kandungan ferrit, martensit, sementit, perlit dan martensit setelah dilakukan perlakuan panas pada permukaan baja.

7. Kesimpulan

Proses penarikan kesimpulan adalah proses akhir dari penelitian yang berisi kesimpulan dari komparasi kualitas material hasil pengujian dengan pengaruh variasi temperature dan variasi pendingin terhadap permukaan baja dengan proses *Carburizing* metode *Taguchi*.

3.3 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Waktu penelitian dimulai dari bulan April 2022 hingga Mei 2022. Penelitian dilakukan di Kampus Institut Teknologi Nasional Malang di Laboratorium Kampus 2 Institut Teknologi Nasional dan pengujian dilakukan di Universitas Merdeka di Laboratorium Material Universitas Merdeka Malang.

3.4 Perencanaan Penelitian

Tabel 3. 1 Pengujian

Sumber : Dokumen Pribadi

No Uji	Indeks Variabel			Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5
	Material	Var. Terkontrol Temperatur	Var. Tetap Media Pendingin					

1	Baja 1020 15 mm	AISI	750°C	Asam Cuka					
2	Baja 1020 15 mm	AISI	750°C	Radiator Coolant					
3	Baja 1020 15 mm	AISI	750°C	Oli					
4	Baja 1020 15 mm	AISI	850°C	Asam Cuka					
5	Baja 1020 15 mm	AISI	850°C	Radiator Coolant					
6	Baja 1020 15 mm	AISI	850°C	Oli					
7	Baja 1020 15 mm	AISI	950°C	Asam Cuka					
8	Baja 1020 15 mm	AISI	950°C	Radiator Coolant					
9	Baja 1020 15 mm	AISI	950°C	Oli					

Pada rencana penelitian terdapat beberapa variabel yang digunakan yaitu:

- a. Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan sebelum penelitian
Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi yang dilakukan tanpa ada perlakuan panas dan sesudah dilakukan perlakuan panas.
- b. Variabel tetap adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas.

Variabel tetap pada penelitian ini adalah variasi media pendinginan Asam Cuka, *Radiator Collent*, Oli (Shell)

- c. Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian.

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah variasi pemanasan 750°C, 850°C, 950°C.

3.5 Komponen Penelitian

Pada bagian komponen penelitian ini merupakan sumber pribadi dari penulis yang bertujuan untuk membantu penulis dalam memberikan suatu skema alat dan bahan yang akan dibutuhkan dalam proses *Carburizing* dengan metode taguchi.

3.5.1 Alat

1. *Fluidized bed furnace*



Gambar 3. 2 *Fluidized bed furnace*
Sumber : (Dokumen Pribadi)

Alat ini digunakan sebagai tempat proses *surface hardening* berupa *carburizing* pada material baja paduan rendah AISI 1020 yang akan dilakukan penelitian. Proses penelitian dilaksanakan di laboratorium material jurusan Teknik Mesin ITN Malang.

2. Seling

Alat yang digunakan untuk mengangkat spesimen saat dilakukan proses *Carburizing*.



Gambar 3. 3 Seling
Sumber : (Dokumen Pribadi)

3. *Wire Cutting*

Alat dipakai untuk pemotongan specimen pengujian agar sesuai dengan ukuran sampel uji. Untuk mengetahui lapisan yang ada setelah proses penelitian.



Gambar 3. 4 Mesin *Wire Cutting*
Sumber : (Reinaldo, 2022)

4. *Grinding-Polish*

Digunakan untuk preparasi permukaan sampel. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 di bawah ini :



Gambar 3. 5 Mesin Grinding-Polish.

Sumber : (*Future-Tech, 2011*).

5. Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 di bawah ini :



Gambar 3. 6 Mesin *HBRV Universal Hardness Tester 187.5A*

Sumber : (*Aria Narendra Adhi, 2020*)

6. Mikro Struktur

Untuk melihat tebal lapisan yang terbentuk pada permukaan baja yang telah di *Carburizing*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 di bawah :

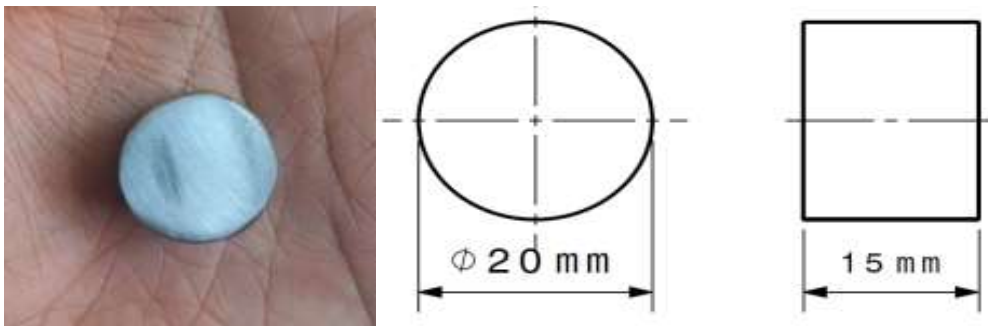


Gambar 3. 7 Mikroskop optik *Olympus BX51M*
Sumber : (Aria Narendra Adhi, 2020)

3.5.1 Bahan

1. Baja AISI 1020

Spesimen Baja AISI 1020 sebelum dilakukan proses *Carburizing* yang akan digunakan untuk penelitian dan pengujian variasi.



Gambar 3. 8 Ukuran spesimen pengujian
Sumber : (Dokumen Pribadi)

2. Asam Cuka 99%

Asam cuka digunakan sebagai media pendingin *quenching* saat dilakukannya proses *Carburizing* dengan variasi suhu 750°C, 850°C, dan 950°C.



Gambar 3. 9 Asam Cuka 99 %
Sumber : (Dokumen Pribadi)

3. Oli

Oli digunakan sebagai media pendingin *quenching* saat dilakukannya proses *Carburizing* dengan variasi suhu 750°C, 850°C, dan 950°C.



Gambar 3. 10 Oli
Sumber : (Dokumen Pribadi)

4. Radiator *Coolant*

Radiator *coolant* digunakan sebagai media pendingin *quenching* saat dilakukannya proses *Carburizing* dengan variasi suhu 750°C, 850°C, dan 950°C.



Gambar 3. 11 Radiator Coolant
Sumber : (Dokumen Pribadi)

5. Gas Amonia (NH_3)

Gas Ammonia digunakan saat proses *Carburizing* di dapur *fluidized bed furnace* dengan kandungan 19,31 % NH_3 dan tekanan 1,6 mbarr atau 0,16 Kpa.



Gambar 3. 12 Gas Amonia
Sumber : (Dokumen Pribadi)

6. Gas Propana (C_3H_8)

Gas propana digunakan saat proses *Carburizing* di dapur *fluidized bed furnace* dengan kandungan 3,08 % C_3H_8 dan tekanan 1,6 mbarr atau 0,16 Kpa.



Gambar 3. 13 Gas Propana
Sumber : (Dokumen Pribadi)

7. Gas Nitrogen (N_2)

Gas nitrogen digunakan saat proses *Carburizing* di dapur *fluidized bed furnace* dengan kandungan yang mengimbangi gas propana dan gas amonia dengan tekanan 1,6 mbarr atau 0,16 Kpa.



Gambar 3. 14 Gas Nitrogen
Sumber : (Dokumen Pribadi)

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



4.1 Hasil Uji Struktur Mikro









Pengamatan yang dilakukan disini adalah pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada daerah terdekat dengan tepi agar terlihat jelas fasa setelah proses *carburizing* nya. Foto perbesaran yang diambil disini adalah 200 X. Dari pengamatan struktur mikro ini, dapat dilihat hasil fasa struktur yang terkandung dari hasil *carburizing*. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan struktur mikro.



Gambar 4. 1 Lokasi pengambilan struktur mikro spesimen
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Tabel 4. 1 Struktur Mikro Carburizing perbesaran 200x

No.	Perlakuan	Struktur Mikro Perbesaran 200x	No.	Perlakuan	Struktur Mikro Perbesaran 200x
1.	Raw		6.	<i>Carburizing</i> 850 °C Pendingin coolant	

2.	<i>Carburizing</i> 750 °C Pendingin Oli shell		7.	<i>Carburizing</i> 950 °C Pendingin coolant	
3.	<i>Carburizing</i> 850 °C Pendingin Oli shell		8.	<i>Carburizing</i> 750 °C Pendingin cuka	
4.	<i>Carburizing</i> 950 °C Pendingin Oli shell		9.	<i>Carburizing</i> 850 °C Pendingin cuka	
5.	<i>Carburizing</i> 750 °C Pendingin coolant		10.	<i>Carburizing</i> 950 °C Pendingin cuka	

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Tabel 4. 2 Komprasi %Ferit %Perlit

No.	PERLAKUAN	% ferit	% perlit	Nilai Kekerasan	URUTAN SIFAT MEKANIK
1.	Raw	77,551	22,449	34.2	8
2.	<i>Carburizing</i> 750 °C pendingin oli shell	82,138	17,862	23	10
3.	<i>Carburizing</i> 850 °C pendingin oli shell	47,692	52,308	57.8	6
4.	<i>Carburizing</i> 950 °C pendingin oli shell	39,978	60,022	72	3
5.	<i>Carburizing</i> 750 °C Pendingin coolant	49,938	50,062	54	7
6.	<i>Carburizing</i> 850 °C Pendingin coolant	39,033	60,967	72.4	2
7.	<i>Carburizing</i> 950 °C Pendingin coolant	38,945	61,055	77	1
8.	<i>Carburizing</i> 750°C Pendingin cuka	78,406	21,594	29	9
9.	<i>Carburizing</i> 850 °C Pendingin cuka	46,978	53,022	62.2	5
10.	<i>Carburizing</i> 950°C Pendingin cuka	44,477	55,523	68.2	4

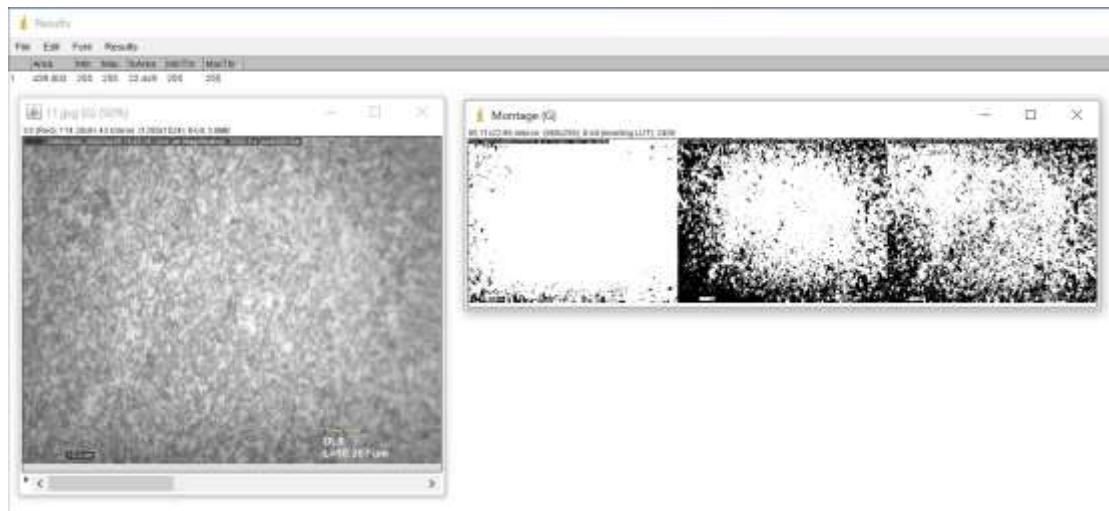
(Sumber : Dokumen Pribadi)

4.2 Analisis % Martensit, % Perlit, dan % Ferit Menggunakan Software Image-J

1. Raw

% perlit : 22,449 %

% ferit : $100 \% - 22,449 \% = 77,551 \%$

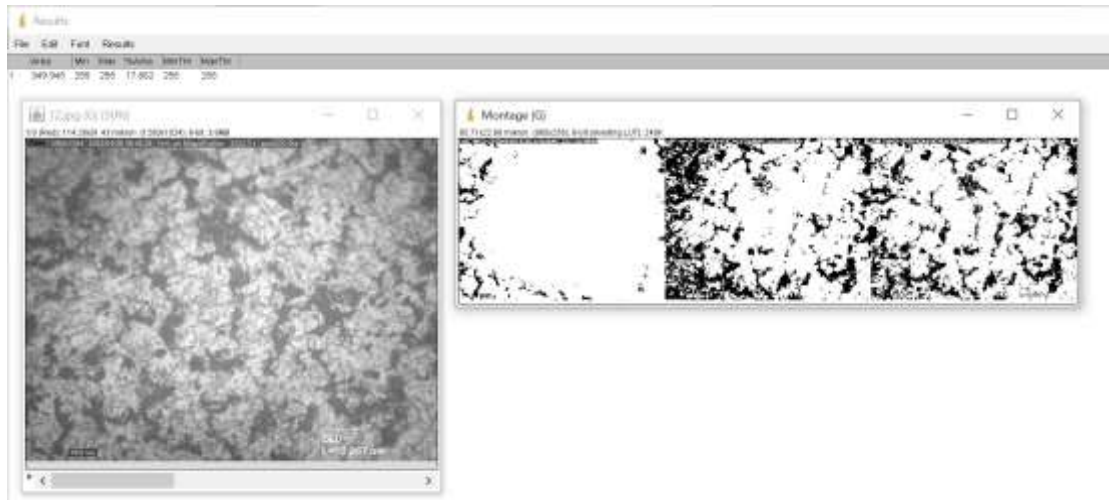


Gambar 4. 2 Raw
(Sumber : Dokumen Pribadi)

2. Carburizing 750 °C media pendingin Oli Shell

% perlit : 17,862 %

% ferit : $100 \% - 17,862 \% = 82,138 \%$

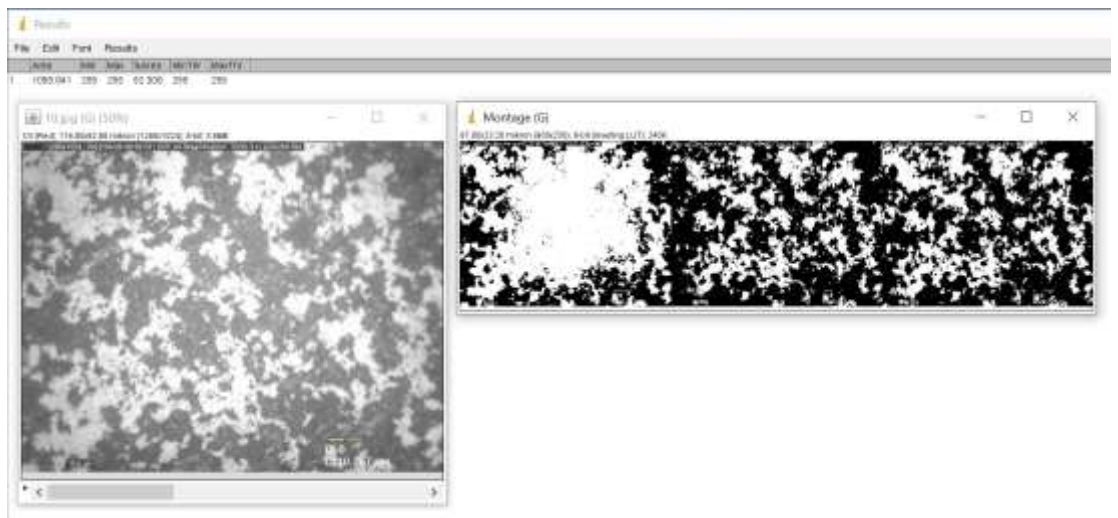


Gambar 4. 3 Struktur mikro 750 °C pendingin Oli Shell
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3. *Carburizing* 750 °C media pendingin Radiator Coolant

% perlit : 50,062 %

% ferit : 100 % - 22,449 % = 49,938 %

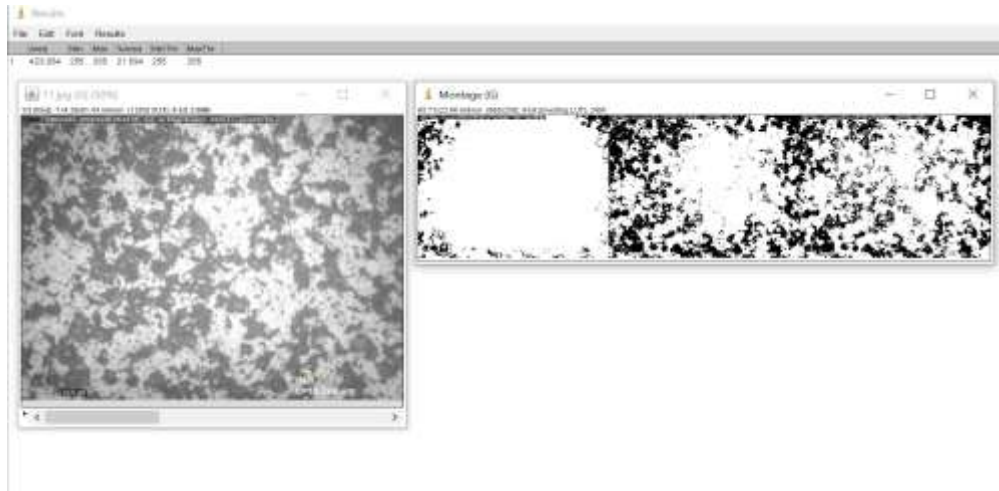


Gambar 4. 4 Struktur mikro 750 °C Radiator Coolant
(Sumber : Dokumen Pribadi)

4. *Carburizing* 750 °C media pendingin Asam Cuka

% perlit : 21,594 %

% ferit : 100 % - 21,594 % = 78,406 %

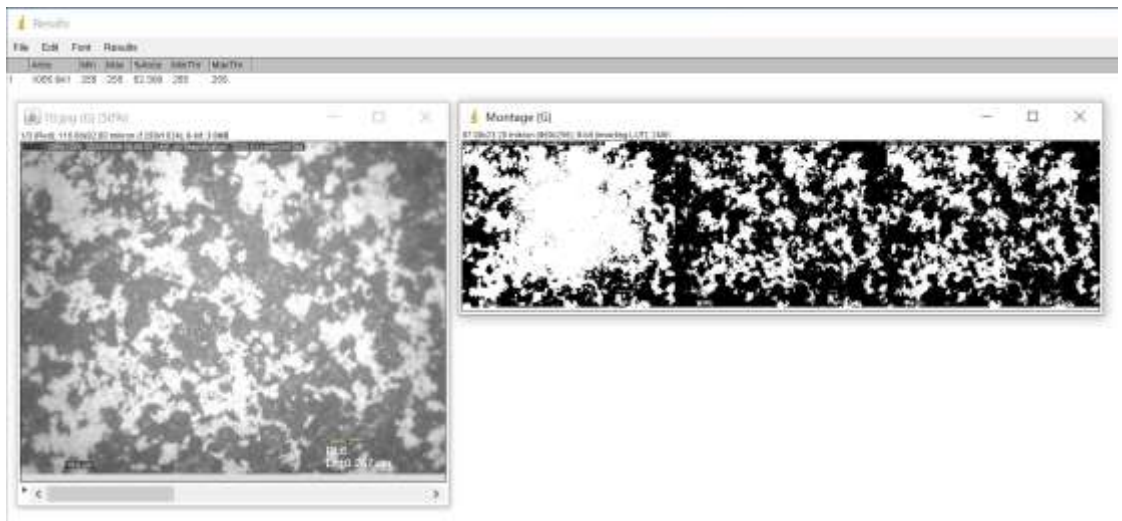


Gambar 4. 5 Struktur mikro 750 °C media pendingin Asam Cuka
(Sumber : Dokumen Pribadi)

5. *Carburizing* 850 C media pendingin Oli Shell

%perlit : 52,308 %

%ferlit : 100 % - 52,308 % = 47,692 %

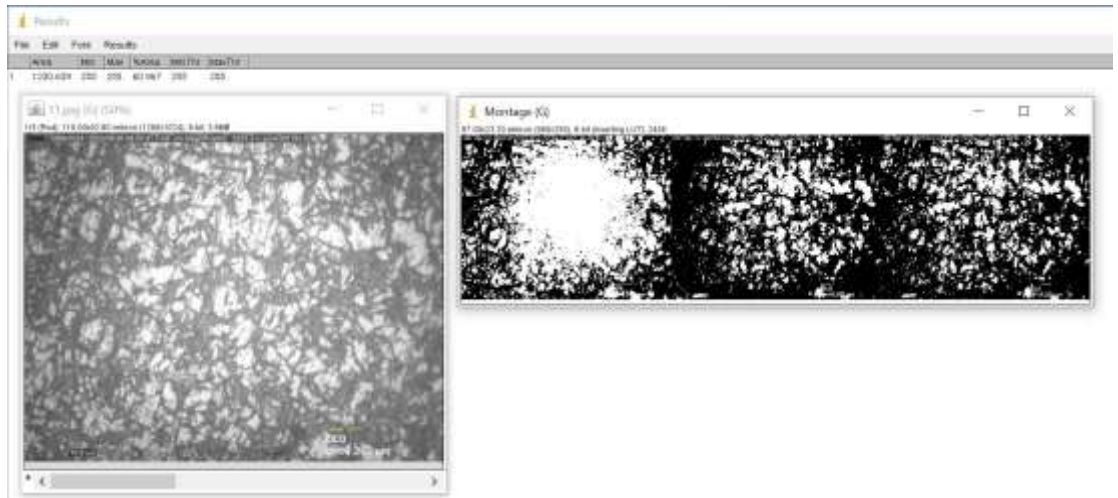


Gambar 4. 6 Struktur mikro 850 °C Oli Shell
(Sumber : Dokumen Pribadi)

6. *Carburizing* 850 °C media pendingin Radiator Coolant

% perlit : 60,967 %

% ferit : $100 \% - 66,089 \% = 39,033 \%$

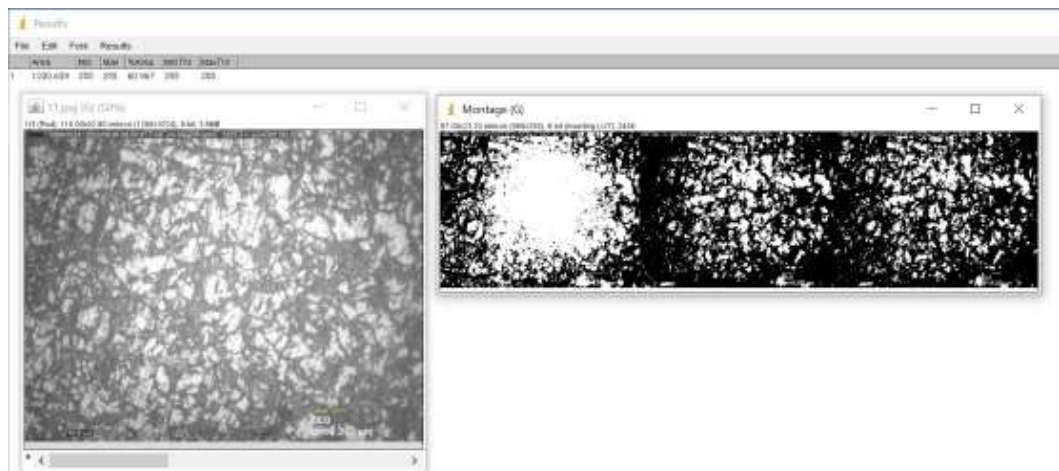


Gambar 4. 7 Struktur mikro 850 °C Radiator *Coolant*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

7. Carburizing 850 °C media pendingin Asam Cuka

% perlit 53,022 %

% ferlit - $100 \% - 25,416 \% = 46,978 \%$

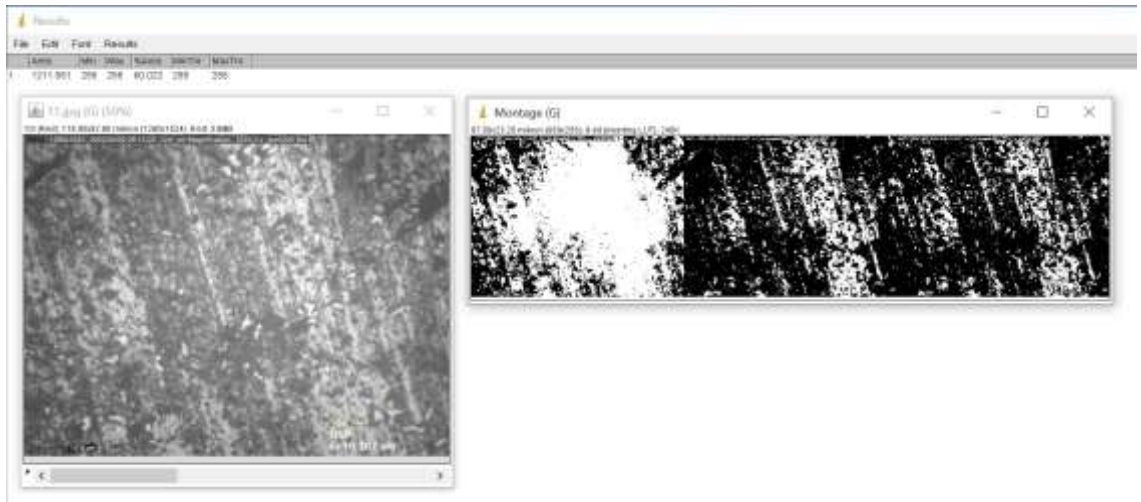


Gambar 4. 8 Struktur mikro 850 °C Asam Cuka
(Sumber : Dokumen Pribadi)

8. Carburizing 950 °C media pendingin Oli Shell

% perlit : 60,022

$\% \text{ ferlit} : 100 \% - 25,416 \% = 39,978 \%$

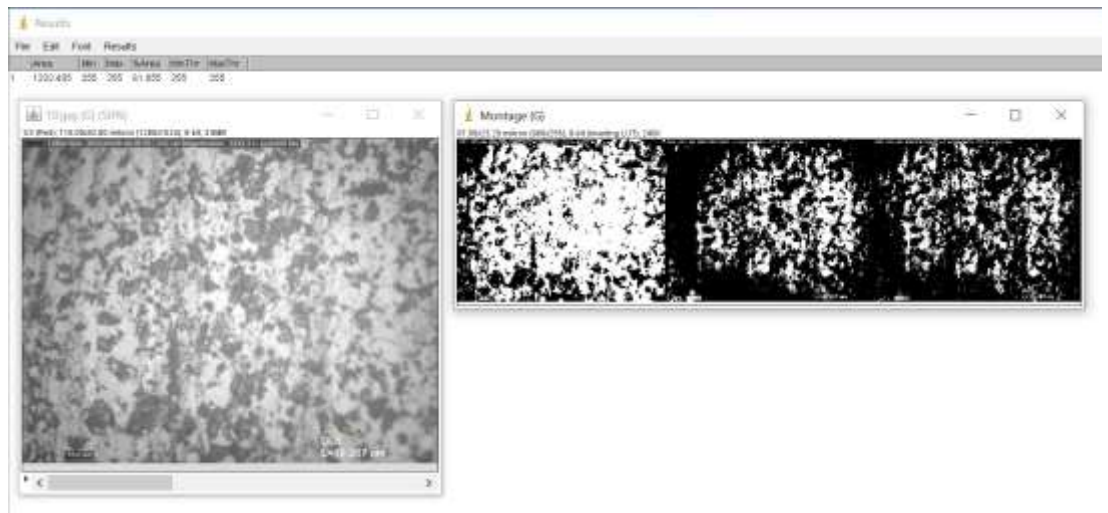


Gambar 4. 9 Struktur mikro 950 °C Oli Shell
(Sumber : Dokumen Pribadi)

9. Carburizig 950 °C media Radiator *Coolant*

$\% \text{ perlit} : 61,055 \%$

$\% \text{ ferlit} : 100 \% - 61,055 \% = 38,945$

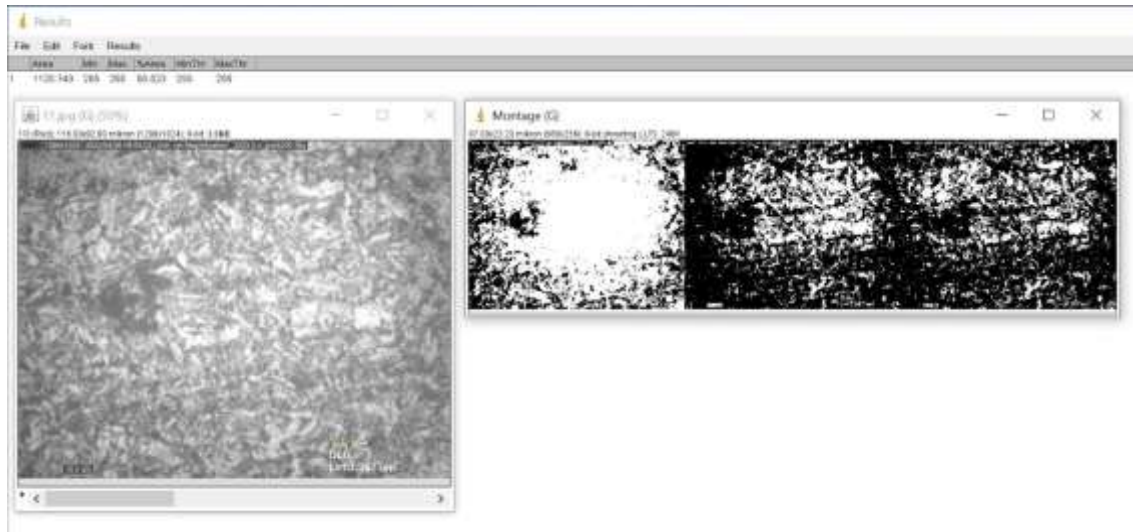


Gambar 4. 10 Struktur mikro 950 °C Radiator *Coolant*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

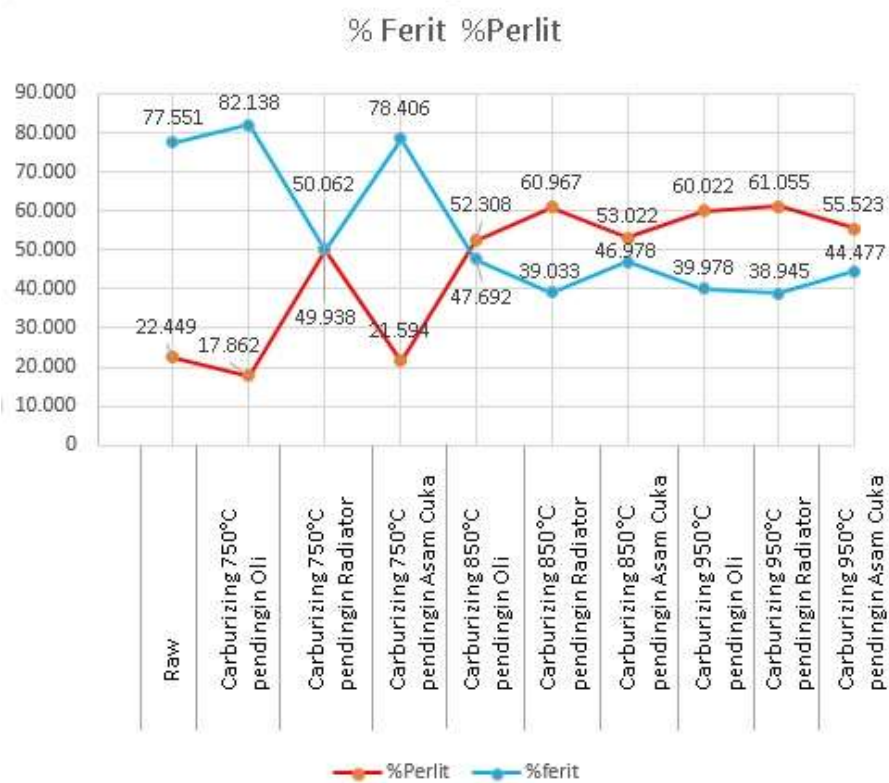
10. *Carburizing* 950 °C media Asam Cuka

$\% \text{ perlit} : 55,523 \%$

$\% \text{ ferit} : 100 \% - 25,416 \% = 44,477 \%$



Gambar 4. 11 Struktur mikro 950 °C Asam Cuka
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Grafik 4. 1 %Ferit dan %Perlit

4.3 Hasil Uji Kekerasan

Tabel 4. 3 Data Hasil Uji Kekerasan

BAHAN	PERLAKUAN		Kekerasan (HRc)					
	Media pendingin	Temperatur pemanasan (°C)	1	2	3	4	5	Rata-rata
Baja AISI 1020	Raw Material (tanpa perlakuan)		33	34	36	32	36	34.2
	Oli Shell	750	25	23	23	24	20	23
		850	55	54	58	60	62	57.8
		950	72	77	69	69	73	72
	Coolant	750	55	53	52	53	57	54
		850	75	72	70	72	73	72.4
		950	78	77	78	77	75	77
	Cuka	750	27	28	27	29	34	29
		850	63	62	63	60	63	62.2
		950	68	68	67	72	66	68.2

4.4 Data Hasil Analisa Taguchi

Taguchi Analysis: Kekerasan versus Temperatur; Media Pendingin

Response Table for Signal to Noise Ratios

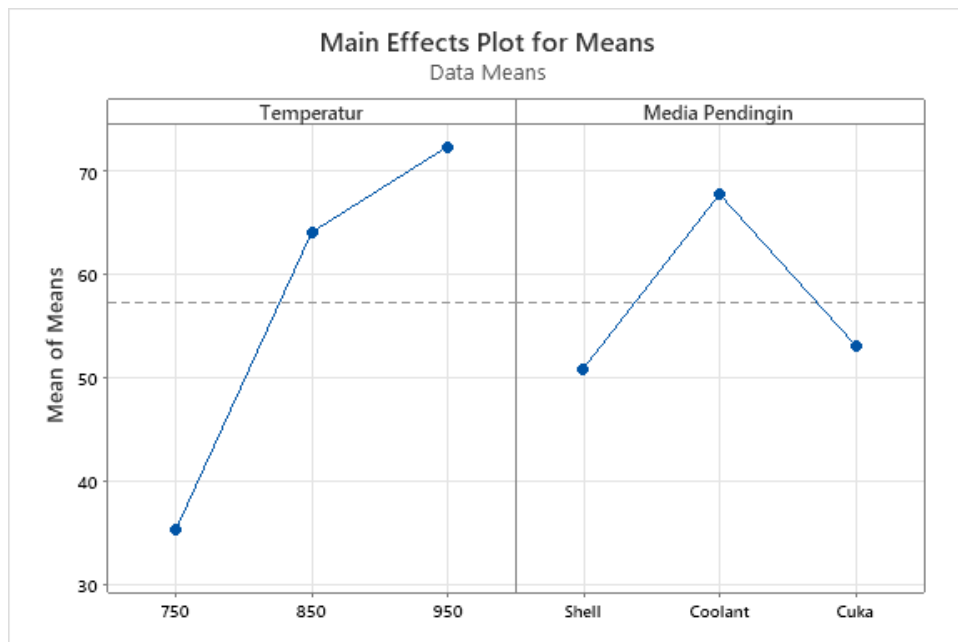
Larger is better

	Media	
Level Temperatur Pendingin	1	2
1	30,38	33,20
2	36,10	36,52
3	37,18	33,93
Delta	6,81	3,32
Rank	1	2

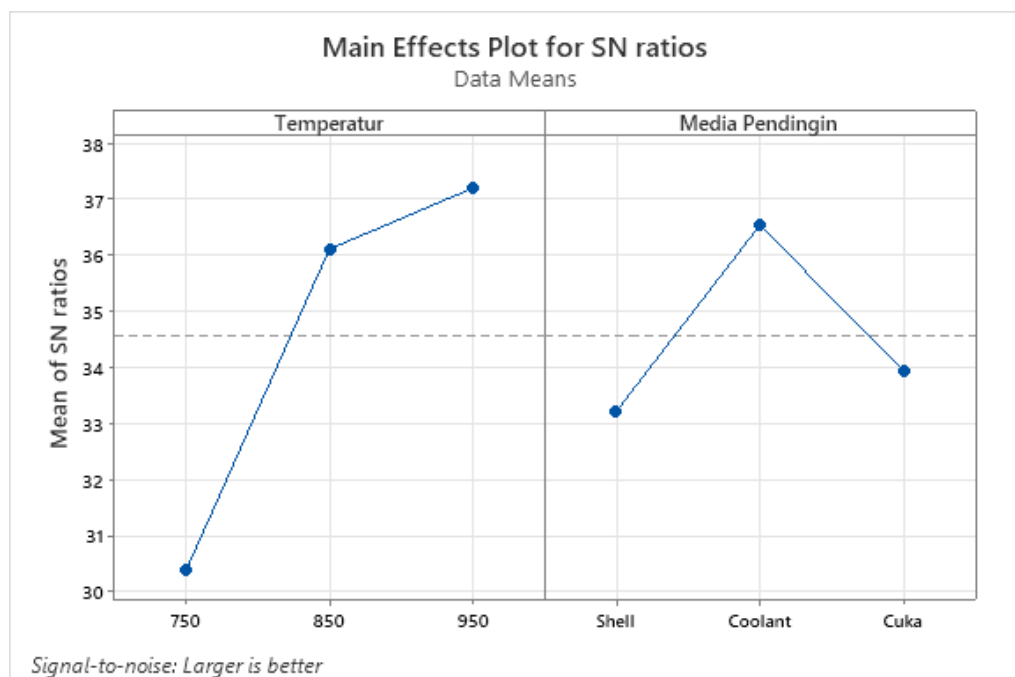
Response Table for Means

	Media	
Level Temperatur Pendingin	1	2
1	35,33	50,90
2	64,10	67,80
3	72,40	53,13
Delta	37,07	16,90
Rank	1	2

4.5 Grafik Analisa Taguchi



Grafik 4. 2 Main effects plot for means



Grafik 4. 3 Main Effects Plot For SN Radio

4.6 Hasil Pengujian

Untuk data hasil dari penelitian ini didapatkan dengan melakukan proses *Carburizing* dengan variasi suhu 750 °C, 850 °C, 950 °C dan variasi media

pendingin Oli, Radiator *Collant*, dan Asam cuka. Kualitas hasil yang diperoleh dari proses penelitian ini adalah “*large is better*” dimana nilai rata-rata yang lebih besar dipilih sebagai level optimal. Berdasarkan grafik *Main Effect Plot For Means* pada metode taguchi, hasil penelitian *Carburizing* yang sesuai dengan karakteristik *large is better* didapatkan hasil terbaik di temperature pemanasan 950 °C dengan waktu penahanan 120 Menit dengan media pendingin radiator *collant*. Pada data uji Taguchi, untuk variable temperature pemanasan didapatkan hasil terbaik pada temperature pemanasan 950°C dengan nilai rata-rata sebesar 77 HRc.

Untuk data hasil dari uji struktur mikro menggunakan software Image-J dengan perbesaran 200x, pada suhu 950°C dengan media pendingin radiator *collant* didapatkan hasil yang paling optimal dengan rata –rata kandungan % perlit 61,055 % dan % ferit 38,945 %. Dimana semakin tinggi presentase kandungan perlit maka nilai kekerasannya semakin meningkat

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

1. Proses *Carburizing* dengan variasi temperatur dan media pendingin berpengaruh terhadap kekerasan baja AISI 1020 dengan tebal 15mm. Berdasarkan grafik *Main Effect Plot For Means* pada metode taguchi, hasil terbaik pada temperatur pemanasan 950°C dengan media pendingin radiator *coolant* dengan nilai rata - rata sebesar 77 HRc.
2. Hasil pengujian struktur mikro dengan menggunakan software image-J dengan perbesaran 200x pada suhu 950°C dengan media pendingin radiator *coolant* didapatkan hasil yang paling optimal dengan rata - rata kandungan perlit 61,055% dan ferit 38,945 %.
3. Penelitian ini dapat dikatakan optimal dikarenakan parameter yang berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik yaitu temperatur kemudian media pendingin, sedangkan hasil yang optimal di temperatur pemanasan 950°C dengan penahanan waktu 120 menit dan media pendingin radiator *coolant*.

5.2. Saran

1. Dapur yang digunakan (*Fluidized Bed Furnace*) perlu dilakukan kalibrasi ulang untuk mendapatkan hasil yang optimal dari penelitian perlakuan panas (*Heat Treatment*).
2. Pada penelitian yang akan datang disarankan untuk memvariasikan temperatur, *holding time* dan media pendingin agar mendapatkan agar mendapatkan kekerasan yang optimal
3. Pada penelitian yang akan datang disarankan untuk menambahkan pengujian mikro struktur optik untuk mengetahui tebal lapisan yang terbentuk pada spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmady, I. F. (2022). Analisa Pengaruh Peningkatan Temperatur Karburasi terhadap Peningkatan Karbon dan Kedalaman Pengerasan Pada Baja Paduan Rendah AISI 4140 Dengan Media Pendingin Asam Cuka (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- Ahmad Fhadillah, Untung Budiarto, Ari Wibawa Budi (2019) Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Tentang “Analisa Sifat Mekanis Baja ST 60 Setelah *Carburizing* Menggunakan Arang Batok Katalis BaCO₃ Dan *Quenching* Dengan Oli Dan Air Garam“.
- Amzamsyah, R., & Kosjoko, M. L. U. J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin.
- Antony, J. & Antony F. J. (2001). *Teaching the Taguchi method to industrial engineers. Work study*.
- Apriatun, Taufikurahman, Ella Sundari (2021) Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya, Analisa Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Pada Proses *Pack Carburizing* Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 37.
- Firman, M., Herlina, F., & Martadinata, M. H. (2016). Analisa Kekerasan Baja St 42 Dengan Perlakuan Panas Menggunakan Metode Taguchi. *AL JAZARI: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, 1(1).
- Firdaus MS1, Wahyu Wiranata, Sugeng Prasetyo (2022) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Ogan Komering Ilir Kayuagung, Sumatera Selatan, Indonesia. Pengaruh Variasi Media *Quenching* NaCl Terhadap AISI Rendah 1020 Baja Karbon Dengan Proses Karburisasi.
- Karna, S. K., & Sahai, R. (2012). *An overview on Taguchi method. International journal of engineering and mathematical sciences*, 1(1), 1-7.
- Marušić, K., Otmačić, H., Landek, D., Cajner, F., & Stupnišek-Lisac, E. (2006). Modification of carbon steel surface by the Tenifer® process of nitrocarburizing and post-oxidation. *Surface and Coatings Technology*, 201(6), 3415-3421.

- Motorcu, A. R. (2010). The optimization of machining parameters using the Taguchi method for surface roughness of AISI 8660 hardened alloy steel. *Journal of mechanical Engineering*, 56(6), 391-401
- Pye, D. (2003). *Practical nitriding and ferritic nitrocarburizing*. ASM international.
- Sari, N. H. (2017). Perlakuan panas pada baja karbon: efek media pendinginan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6(4), 264.
- Sohi, M. H., Ebrahimi, M., Raouf, A. H., & Mahboubi, F. (2010). Effect of plasma nitrocarburizing temperature on the wear behavior of AISI 4140 steel. *Surface and Coatings Technology*, 205, S84-S89.
- Sudjadi, U. (2010). Studi Tentang Pengaruh Nitrocarburizing Dc-Plasma Terhadap Perubahan Kekerasan dan Struktur Mikro pada Material Zr-4. In *Jurnal Forum Nuklir* (Vol. 4, No. 1, pp. 67-80).
- Taka, O., & Afkar, M. I. (2022). *Karakteristik Pembakaran Biomassa Sawit Sebagai Alternatif Penghasil Energi Panas Dengan Menggunakan Fluidized Bed Combustor*. 3(1), 6–11.
- Wuryandari, T., Widiharih, T., & Anggraini, S. D. (2012). Metode Taguchi Untuk Optimalisasi Produk Pada Rancangan Faktorial. *Media Statistika*, 2(2), 81–92. <https://doi.org/10.14710/Medstat.2.2.81-92>
- Zhang, C. S., Yan, M. F., Sun, Z., Wang, Y. X., You, Y., Bai, B., ... & Li, R. W. (2014). Optimizing the mechanical properties of M50NiL steel by plasma nitrocarburizing. *Applied Surface Science*, 315, 28-35.

LAMPIRAN



**LABORATORIUM UJI LOGAM
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG**

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ir. Jumiadi, MT

NIDN : 0718056301

Menerangkan bahwa mahasiswa ITN yaitu

- | | | | |
|---------|-------------------------|-----|-----------|
| 1. Nama | : Dhuratulredha Aldhatu | NIM | : 1811127 |
| 2. Nama | : Era Sigit Sasono | NIM | : 1811136 |
| 3. Nama | : Mohammad Rahma Dhani | NIM | : 1811120 |

Telah melaksanakan pengujian/pengambilan data di Laboratorium Pengujian Logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang pada tanggal 22 April sd 27 April 2022 untuk keperluan penyusunan Skripsi/Tugas Akhir.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat dengan sebenarnya.

Malang, 07 Juni 2022

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Uji Logam



Ir. Jumiadi, MT

NIDN. 0718056301

	LABORATORIUM UJI LOGAM JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MERDEKA MALANG	
	LEMBAR DATA UJI KEKERASAN	
Nama : Dhuratulredha Aldhatu NPM : 1811127 Institusi : ITN - MALANG		
Hari / tanggal : Jumat, 22 April 2022 Pukul : 11.00 sd 12.00 WIB Standar Uji : Kekerasan Perlakuan : <i>Carburizing</i>		Merk : TORSEE Jenis Mesin : Rockwell Hardness Tester Skala : C Beban mayor : 150 kg Indentor : Kerucut Intan Jenis bahan : Baja AISI 1020


BAHAN	PERLAKUAN		Kekerasan (HRC)					Rata-rata
	Media pendingin	Temperatur pemanasan (°C)	1	2	3	4	5	
Baja AISI 1020	Raw Material (tanpa perlakuan)		33	34	36	32	36	34.2
	Oli Shell	750	25	23	23	24	20	23
		850	55	54	58	60	62	57.8
		950	72	77	69	69	73	72
	Coolant	750	55	53	52	53	57	54
		850	75	72	70	72	73	72.4
		950	78	77	78	77	75	77
	Cuka	750	27	28	27	29	34	29
		850	63	62	63	60	63	62.2
		950	68	68	67	72	66	68.2

Mengetahui
 Ka. Lab. Metalurgi Fisik
 Jurusan Teknik Mesin


FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
LABORATORIUM
UJI LOGAM

Ir. Jumiadi, MT.

Dosen Penguji



Ike Widyastuti, ST., MT.



LABORATORIUM UJI LOGAM
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG

LEMBAR DATA
PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

Nama	: Dhuratulredha Aldhatu	Jenis Mesin	: Mikroskop Logam
NPM	: 1811127	Pembesaran foto	: 200 x (perbesaran foto 3000)
Institusi	: ITN - MALANG	Jenis etsa	: Nital
Hari / tanggal	: Rabu 27-04-2022	Jenis bahan	: Baja AISI 1020
Pukul	: 09.00 sd 10.30 WIB		
Standar Uji	: ASTM (Mikrostruktur) Carburizing		



Raw



750 oli



750 coolant



750 cuka

Mengetahui
Kepala Laboratorium Uji Logam . . .

FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
LABORATORIUM
UJI LOGAM

Ir. Jumiadi, MT

Dosen Pembimbing



Pungky Eka Setyawan, ST., MT



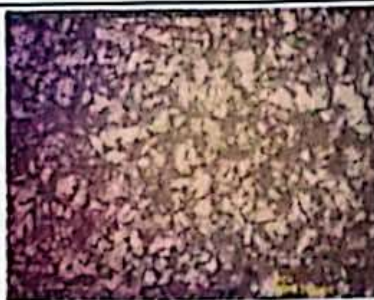
LABORATORIUM UJI LOGAM
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG

LEMBAR DATA
PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

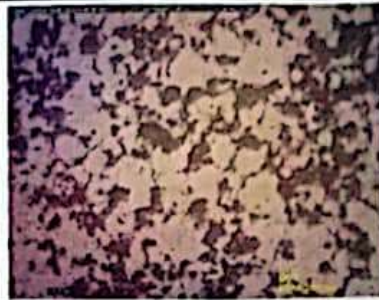
Nama	: Dhuratulredha Aldhatu	Jenis Mesin	: Mikroskop Logam
NPM	: 1811127	Pembesaran foto	: 200 x (perbesaran foto 3000)
Institusi	: ITN - MALANG	Jenis etsa	: Nital
Hari / tanggal	: Rabu 27-04-2022	Jenis bahan	: Baja AISI 1020
Pukul	: 09.00 sd 10.30 WIB		
Standar Uji	: ASTM (Mikrostruktur) Carburizing		



850 oli



850 coolant



850 cuka



950 oli



950 coolant



950 cuka

Mengetahui
Kepala Laboratorium Uji Logam



Ir. Jumiadi, MT

Dosen Pembimbing

Pungky Eka Setyawan, ST.,MT