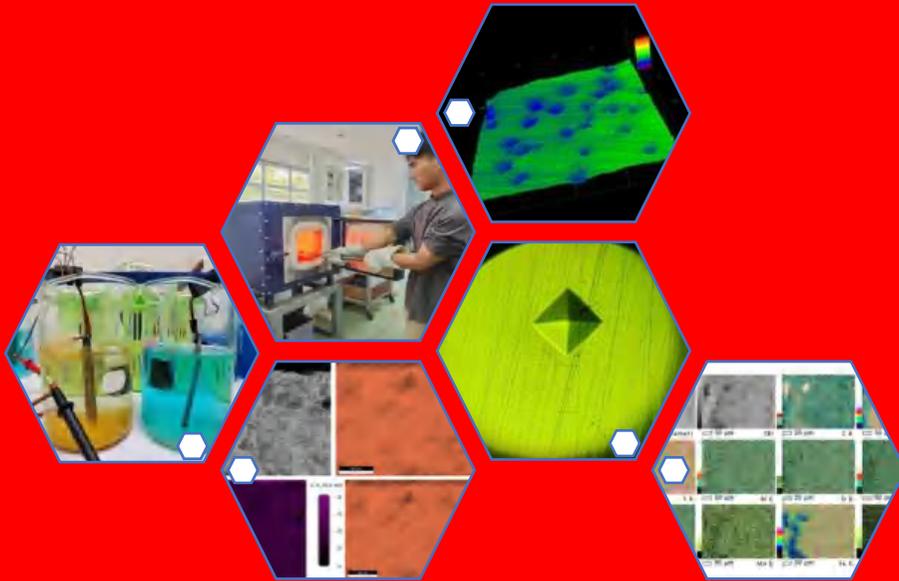


**ANALISA *PACK CARBURIZING* TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA
MARTENSIT AISI 1040 SETELAH PERLAKUAN GALVANIC**



**MUH. IKHSAN HASAN
D021 19 1109**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



**Optimization Software:
www.balesio.com**

**ANALISA *PACK CARBURIZING* TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA
MARTENSIT AISI 1040 SETELAH PERLAKUAN *GALVANIC***

**MUH. IKHSAN HASAN
D021191109**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**ANALISA PACK CARBURIZING TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA
MARTENSIT AISI 1040 SETELAH PERLAKUAN GALVANIC**

MUH. IKHSAN HASAN
D021 19 1109

Skripsi

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana S1
pada 19 september 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Sarjana Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan :

Pembimbing Tugas Akhir Utama,

Pembimbing Tugas Akhir Kedua,



Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT
NIP. 19570914 198703 1 001

Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT
NIP. 19740415 199903 1 001



Optimization Software:
www.balesio.com

Mengetahui

Ketua Program Studi,



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200501 1

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisa *Pack Carburizing* Temperatur Rendah Pada Baja Martensit Aisi 1040 Setelah Perlakuan *Galvanic*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT sebagai pembimbing utama dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma., ST., MT sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 20 September 2024



MUH. IKHSAN HASAN
D021191109



Optimization Software:
www.balesio.com

Ucapan Terima kasih

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Pengasih lagi maha penyayang atas segala limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam tidak lupa kami haturkan kepada baginda Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam. Nabi sang revolusioner islam pembawa panji-panji kebenaran, pembawa cahaya ilmu pengetahuan yang terus berkembang hingga kita merasakan nikmatnya hidup zaman ini.

Dalam penulisan ini, penulis ingin berterimakasih kepada seluruh belah pihak yang telah berpartisipasi dalam proses penulisan penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung. Tidak mudah dan banyak hambatan dan proses yang harus dilalui sehingga penulis mendapatkan pelajaran serta pengalaman selama melaksanakan penelitian ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Ayah Ir. Hasan Hasnawi dan ibu tercinta Dra Baru dan juga kepada saudara saudari saya yang baik telah membantu, motivasi dan semangat untuk penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT selaku dosen penguji utama saya yang telah membantu dan memberikan arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Rudi, ST., MT selaku dosen penguji kedua saya yang telah membantu dan memberikan saya semangat dan arahan untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
7. Bapak dan Ibu dosen serta Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh penghuni Lab Metalurgi Fisik S2 dan Angkatan 18, kak fatawy, kak zamhi kak nadya yang mendukung dan memberikan motivasi.



9. Kepada adinda DEZILTER 21, febiandy, awal,faiz, adit yang menemani saya di laboratorium.
10. Sahabat BRUZHLEZZ 19, sebagai teman seperjuangan mulai dari mahasiswa baru sampai sekarang.

Demikian, penulis ucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca maupun bagi penulis

Penulis, 20 September 2024



Muh. Ikhsan Hasan



ABSTRAK

MUH. IKHSAN HASAN. **ANALISA PACK CARBURIZING TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA MARTENSIT AISI 1040 SETELAH PERLAKUAN GALVANIC** (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT).

Latar belakang. *Pack Carburizing* baja Martensit AISI 1040 temperatur rendah 500°C dan 750°C, namun sebelum itu dilakukan *galvanic treatment* untuk membuat *vacancy* pada permukaan spesimen. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh perlakuan *galvanic cell* pada kekerasan permukaan, pengaruh temperatur dan *holding time* dalam proses *pack carburizing*, karakteristik kekerasan dan struktur mikro setelah mengalami perlakuan *galvanic cell* dan proses *pack carburizing* pada baja martensit AISI 1040. **Metode.** Tahapan penelitian dimulai dari: 1) proses pembuatan spesimen martensit AISI 1040 dengan metode *quenching* media pendingin air; 2) proses galvanic treatment pada spesimen martensit AISI 1040 selama 3 hari; 3) *pack carburizing* pada temperatur rendah 500°C dan 750°C dan temperatur tinggi 900°C dengan *holding time* hingga 6 jam kemudian didinginkan dengan media pendingin udara; dan 4) Uji kekerasan, metalografi dan EDS mapping dan EDS *spot analysis*. **Hasil.** Spesimen martensit AISI 1040 setelah melewati *galvanic treatment* selama 3 hari mengalami penurunan nilai kekerasan hingga hingga 7% pada *surface point*, serta penurunan unsur fe 3.57% jika dibandingkan unsur besi pada *core point* yang sejalan dengan terbentuknya *vacancy*, spesimen setelah *galvanic treatment* dan *pack carburizing* pada temperatur rendah 500°C dan 750°C dengan *holding time* hingga 6 jam belum mengalami peningkatan nilai kekerasan pada *surface point*, spesimen *galvanic treatment* dan *pack carburizing* pada temperatur tinggi 900°C dengan *holding time* hingga 6 jam memiliki nilai kekerasan tertinggi pada *surface point* hingga 307,2 HV₁. **Kesimpulan.** Spesimen setelah *galvanic treatment* dan *pack carburizing* pada temperatur rendah 500°C dan 750°C belum terjadi difusi karbon pada *surface point* akibat energi difusi karbon mungkin belum terpenuhi.

Kata kunci: Martensit AISI 1040, *galvanic treatment*, *vacancy*, *pack carburizing* temperatur rendah 500°C dan 750°C, kekerasan, difusi karbon



ABSTRACT

MUH. IKHSAN HASAN. **ANALYSIS OF LOW TEMPERATURE PACK CARBURIZING ON AISI 1040 MARTENSITE STEEL AFTER GALVANIC TREATMENT** (supervised by Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T and Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT).

Background. Pack Carburizing of Martensitic AISI 1040 steel at low temperatures of 500°C and 750°C, but before that galvanic treatment is carried out to create vacancies on the surface of the specimen. **Aim.** This study aims to analyze the effect of galvanic cell treatment on surface hardness, the effect of temperature and holding time in the pack carburizing process, hardness characteristics and microstructure after undergoing galvanic cell treatment and pack carburizing process on AISI 1040 martensitic steel. **Method.** The research stages start from: 1) the process of making AISI 1040 martensite specimens by quenching method in water cooling media; 2) galvanic treatment process on AISI 1040 martensite specimens for 3 days; 3) pack carburizing at low temperatures of 500°C and 750°C and high temperatures of 900°C with holding time up to 6 hours and then cooled with air cooling media; and 4) hardness, metallographic and EDS mapping and spot EDS tests. **Results.** AISI 1040 martensitic specimens after passing galvanic treatment for 3 days experienced a decrease in hardness value up to 7% at the surface point, as well as a decrease in Fe element 3.57% when compared to the iron element at the core point which is in line with the formation of vacancies, specimens after galvanic treatment and pack carburizing at low temperatures of 500°C and 750°C with a holding time of up to 6 hours have not increased the hardness value at the surface point, galvanic treatment and pack carburizing specimens at high temperatures of 900°C with a holding time of up to 6 hours have the highest hardness value at the surface point up to 307.2 HV1. **Conclusion.** Specimens after galvanic treatment and pack carburizing at low temperatures of 500°C and 750°C have not experienced carbon diffusion at the surface point due to the carbon diffusion energy may not have been met.

Keywords: Martensitic AISI 1040, galvanic treatment, vacancy, pack carburizing low temperature 500°C and 750°C, hardness, carbon diffusion



DAFTAR ISI

Nomor urut	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Baja.....	5
2.2 Sifat Logam	6
2.3 Heat <i>Treatment</i>	7
e-Fe ₃ C	10
.....	12
.....	13
g.....	16



2.8 Difusi	19
2.9 Karbon Aktif	23
2.10 Larutan Elektrolit	25
2.11 <i>Galvanic Cell</i>	25
2.12 Uji Kekerasan	27
2.13 Uji Mikro Struktur	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	30
3.2 Variabel Penelitian	30
3.3 Alat dan Bahan	31
3.4 Prosedur Penelitian	40
3.5 Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 HASIL	42
4.2 Pembahasan	81
BAB V PENUTUP	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPIRAN	105



DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. <i>Tabulation of diffusion data</i>	23
2. Kandungan Karbon Arang Tempurung Kelapa	24
3. Persyaratan Karbon Aktif.....	24
4. Rincian Pelaksanaan Penelitian	30
5. Struktur material.....	31
6. <i>Chemical composition</i> Spesimen AISI 1040 (wt%)	43
7. <i>Chemical Composition at Surface Point and Core Point Speciment Galvanic treatment Martensite AISI 1040 Using Mapping Analysis</i>	47
8. Chemical Composition at Surface Point and Core Point Speciment Galvanic treatment Martensite AISI 1040 Using <i>Spot Analysis</i>	48
9. <i>Chemical Composition at Surface Point Speciment Galvanic treatment Martensite AISI 1040 on 500°C with 6 Hours Holding time Using Line analysis</i>	60
10. <i>Chemical Composition at Surface Point Speciment Galvanic treatment Martensite AISI 1040 on 750°C with 6 Hours Holding time Using Line analysis</i>	62
11. <i>Chemical Composition at Surface Point Speciment Galvanic Carburizing Martensite AISI 1040 on 500°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	77
12. <i>Chemical Composition at Surface Point Speciment Galvanic Carburizing Martensite AISI 1040 on 750°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	79
13. <i>Chemical Composition at Surface Point and Core Point Speciment Galvanic treatment Martensite AISI 1040 Using Mapping Analysis</i>	92
14. <i>Chemical composition Spesimen AISI 1040 using Optical Emission Spectroscopy (OES)</i>	93
15. <i>Chemical Composition at Surface Point and Core Point Speciment Galvanic treatment Martensite AISI 1040 Using Spot Analysis</i>	94
16. <i>Chemical composition Spesimen AISI 1040 using Optical Emission Spectroscopy (OES)</i>	94



DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Diagram fasa Fe_3C	11
2. Diagram TTT <i>Eutectoid</i>	13
3. Proses <i>gas carburizing</i>	15
4. Proses <i>liquid carburizing</i>	15
5. Proses <i>pack carburizing</i>	16
6. Mekanisme <i>pack carburizing</i>	17
7. Mekanisme <i>pack carburizing</i> pada <i>holding time</i> 6 jam	18
8. Difusi <i>substitusi</i>	20
9. Difusi <i>interstisi</i>	20
10. Aliran terlarut atom konsentrasi tinggi titik 1 ke konsentrasi lebih rendah titik 2	21
11. Profil konsentrasi untuk difusi keadaan non <i>steady state</i> diambil pada angka tiga waktu yang berbeda, t_1 , t_2 , dan t_3	22
12. Proses <i>galvanic cell</i>	26
13. Deret <i>galvanic</i>	27
14. Alat uji dan pengujian kekerasan <i>vickers</i>	28
15. <i>3D Confocal Laser Scanning Microscope</i>	29
16. <i>Voltmeter</i>	31
17. Pipa u	32
18. <i>Wooden tube stopper</i>	32
.....	33
.....	33
e	34



22. <i>Muffle furnace</i>	34
23. <i>Micro vickers</i>	35
24. Sarung tangan	35
25. <i>3D Confocal laser mcanning microscope</i>	36
26. Baja AISI 1040	36
27. Tembaga (Cu).....	37
28. Sebuk arang tempurung kelapa	37
29. Larutan elektrolit FeSO ₄ dan CuSO ₄	38
30. <i>Alcohol 95%</i>	38
31. <i>Kalium chloride</i>	39
32. <i>Aquades water one</i>	39
33. Diagram Alir Penelitian.....	41
34. Titik pengujian kekerasan	43
35. Nilai kekerasan spesimen AISI 1040 dan martensit AISI 1040	44
36. Struktur mikro spesimen AISI 1040.	45
37. Struktur mikro spesimen martensit AISI 1040	45
38. <i>Mapping di surface point</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI 1040	46
39. <i>Mapping di core point</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI 1040.....	47
40. Titik pengujian EDS spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI1040.....	48
41. Nilai kekerasan Galv M-AISI 1040	49
42. Permukaan spesimen martensit AISI 1040 pada pembesaran 200x.....	50
43. Struktur mikro permukaan spesimen martensit AISI 1040 pada pembesaran 200x	50
44. Struktur mikro permukaan spesimen Car M-AISI 1040 500°C,750°C & 900°C time 6 Jam	51



78. Persentase fasa *ferrite* dan *pearlite* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 + BaCO₃ pada temperatur 750°C dengan *holding time* 6 jam..... 73

79. Struktur mikro di *surface point* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 900°C dengan *holding time* 6 jam..... 73

80. Struktur mikro di *mid point* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 900°C dengan *holding time* 6 jam..... 74

81. Struktur mikro di *core point* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 900°C dengan *holding time* 6 jam..... 75

82. Persentase fasa *ferrite* dan *pearlite* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 750°C dengan *holding time* 6 jam..... 75

83. EDS *mapping* di *surface point* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 500°C dengan *holding time* 6 jam. 76

84. EDS *Line analysis* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 500°C dengan *holding time* 6 jam. 77

85. EDS *mapping* di *surface point* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 750°C dengan *holding time* 6 jam. 78

86. EDS *Line analysis* di *surface point* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 750°C dengan *holding time* 6 jam. 78

87. EDS *mapping* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 900°C dengan *holding time* 6 jam. 79

88. Persentase karbon dalam pengujian *line analysis* spesimen Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 500°C dan 750°C dengan *holding time* 6 jam..... 80

89. Hasil uji kekerasan spesimen M-AISI 1040 Car & Galv-Car pada temepratur 500°C dengan *holding time* 4 dan 6 jam..... 81

90. Hasil uji kekerasan baja martensit AISI 1040 Car & Galv-Car pada temperatur 750°C dengan *holding time* 6 jam..... 82

91. Hasil uji kekerasan baja martensit AISI 1040 Car & Galv-Car pada temperatur 900°C dengan *holding time* 6 jam 84



AISI 1040..... 86

Martensit AISI 1040..... 86

dalam difusi pada spesimen dengan pembesaran 50× 87

surface point pembesaran 500× 88

96. Struktur mikro <i>mid point</i> pembesaran 1000×	88
97. Struktur mikro <i>core point</i> pembesaran 1000×	89
98. <i>Mapping</i> di <i>surface point</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI 1040	90
99. EDS <i>Mapping</i> di <i>core point</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI 1040	91
100. Spektrum persentase elemen unsur pada spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI 1040	92
101. Titik pengujian EDS <i>spot analysis</i> spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI 1040	93
102. Spektrum persentase elemen unsur EDS <i>spot analysis</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> martensit AISI 1040.....	94
103. EDS <i>Mapping</i> karbon di <i>surface point</i> spesimen Car M-AISI dengan <i>holding</i> <i>time</i> 6 jam. (A) Temperatur 500°C (B) Temperatur 750°C C) Temperatur 900°C.....	95
104. EDS <i>Mapping</i> karbon spesimen Galv-Car M-AISI dengan <i>holding time</i> 6 jam. (A) Temperatur 500°C (B) Temperatur 750°C (C) Temperatur 900°C.....	96
105. EDS <i>Mapping</i> karbon spesimen Car dan Galv-Car M-AISI dengan <i>holding time</i> 6 jam.	97
106. Persentase massa karbon Pengujian EDS <i>line analysis</i> spesimen Car dan Galv-Car M-AISI 1040 pada temperatur 500°C dan 750°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	98



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Rincian pelaksanaan penelitian	105
2. Alat dan Bahan	106
3. Proses pemotongan tembaga dan pembuatan material martensit AISI 1040 ..	110
4. <i>Galvanic Treatment</i> proses	112
5. Pack carburizing proses.....	113
6. Pengujian kekerasan	114
7. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan	115
8. Grafik Persentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i>	118
9. Pengujian Nilai Kekerasan	121
10. Pengujian EDS dan <i>Spot Analysis</i>	122
11. Pengujian EDS <i>mapping</i> dan <i>line analysis</i>	126



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan logam paduan, dimana pada komposisi utamanya adalah besi (Fe) dan dasar karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya, serta unsur-unsur lain, seperti Mn, Si, Ni, Cr, V dan lain sebagainya yang tersusun dalam presentase yang sangat kecil, unsur-unsur tersebut akan berpengaruh terhadap mutu dari baja tersebut.

Struktur mikro dan sifat dari suatu baja sangatlah dipengaruhi oleh persentase karbon pada suatu baja. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% sesuai *grade*-nya. Karbon dalam baja tersebut berfungsi sebagai penguat untuk mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal atom besi.

Baja tentunya menjadi pilihan material yang populer di berbagai bidang, terlebih lagi dalam bidang industri permesinan dan konstruksi. Dikarenakan pada baja memiliki sifat fisis, mekanis serta struktur yang berbeda-beda. Berdasarkan sifat yang berbeda tersebut, terdapat metode yang dapat mengubah sifat mekanis dan struktur mikro dari suatu baja, yaitu dengan memberikan perlakuan panas terhadap baja. Perlakuan panas atau *heat treatment* merupakan proses memanaskan baja pada suhu tertentu dan didinginkan menggunakan media pendingin dengan tujuan untuk merubah sifat mekanis maupun struktur dari logam tersebut. Di dalam proses *heat treatment* ada banyak macam metode yang dapat dilakukan untuk mencari sifat baja yang diinginkan yaitu *quenching*, *normalizing*, *annealing*, *tempering* dan *hardening*. Media pendingin yang banyak digunakan pada proses *heat treatment* adalah air, air garam, oli, solar, udara dan masih banyak lagi (Ahmad Roshid, 2020).

Ketika ingin memperoleh kekerasan pada struktur logam yang maksimal maka logam yang diberikan perlakuan panas harus diberikan pendinginan secara cepat yaitu *quenching* (Danel Saputro, dkk, 2019). Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan (temperatur autenitis), *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan serta seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras tergantung pada *hardenability*. *Hardenability* adalah kemampuan suatu material untuk mengeras hingga kedalaman tertentu. Selain itu kekerasan suatu bahan dapat dimodifikasi melalui proses penambahan karbon atau *carburizing*.

Carburizing merupakan proses pengerasan kulit dari suatu permukaan benda. Pada proses ini, karbon akan benda kerja pada lingkungan yang memiliki karbon aktif. Karbon aktif ini akan bergerak masuk ke permukaan baja secara difusi (Saputro, 1998:147). Pada temperatur *carburizing* melalui pemanasan pada media karbon akan terurai menjadi CO yang selanjutnya terurai menjadi CO₂ yang dapat berdifusi masuk kedalam baja dan menaikkan kadar karbon pada permukaan kulit baja.



Rekayasa permukaan yang dapat dilakukan pada logam (*Steel Alloy*) salah satunya ialah dengan meningkatkan nilai kekerasan dimana kekerasan merupakan sifat mekanik baja yang berkaitan dengan ketahanan aus dan nilai kekerasan yang dapat meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan *holding time*. Salah satu metode untuk rekayasa permukaan dimana penambahan karbon (C) dapat dilakukan dengan *heat treatment* menggunakan metode *pack carburizing*

Pack carburizing dapat dilakukan melalui penambahan karbon pada permukaan benda kerja dengan menggunakan karbon yang diperoleh dari bubuk arang. Dengan metode ini, karbon akan ditambahkan ke permukaan baja, sehingga permukaan yang telah terisi karbon tentunya akan memiliki nilai kekerasan permukaan yang lebih keras (Negara, 2015).

Faktor yang dapat mempengaruhi hasil *pack carburizing* adalah temperatur dan *holding time*. Temperatur *carburizing* dan waktu perendaman berpengaruh pada nilai kekerasan dan kedalaman lapisan baja (Suarsana, 2018). Penelitian ini akan dilakukan pengerasan pada permukaan spesimen dengan metode *pack carburizing* dengan perantara zat padat yaitu dengan penggunaan media arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon (C) dan variasi temperatur pada saat *holding time* kemudian melihat perbedaan kekerasan yang terjadi. Difusi C dalam fasa austenit dipengaruhi oleh konsentrasi C dan temperatur C. Pada proses *pack carburizing* biasanya dilakukan pada temperatur 815-955°C (1500-1750 °F), dimana baja berada dalam fase austenit. Tujuan dari temperatur austenitisasi yaitu untuk mendapatkan martensit yang keras maka pada saat pemanasan harus terjadi struktur austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit (Adi Dermawan, 2017).

Berat karbon paling tinggi terdapat pada fasa austenite yaitu berupa kelarutan intertisi. Dikarenakan ingin menambahkan kekerasan dari baja maka, dalam kelarutan tersebut akan ditingkatkan karbonnya. Sebelum melakukan proses *pack carburizing*, kelarutan pada permukaan baja akan ditingkatkan dengan cara menambah *vacancy* yang dapat diisi oleh karbon C. *Vacancy* ini dapat di buat melalui *galvanic treatment*. Proses *galvanic cell* ini berfungsi untuk melepaskan atom-atom logam dalam struktur logam, dimana *galvanic cell* ini merupakan sel elektrokimia yang membentuk reaksi redoks spontan, dimana energi listrik akan mengalir dari reaksi anoda dan katoda atau sederhananya merupakan proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Beberapa literatur menyebutkan bahwa sel volta sama dengan *galvanic cell* yang diperoleh dari gabungan ilmuwan yang bernama Alexander Volta dan Luigi Galvani pada tahun 1786 (Harahap, 2016). Terdapat tiga komponen penting di dalam *galvanic cell* yaitu anoda, katoda, dan elektrolit (Suryaningsih, 2016).

Sebuah *galvanic cell* akan mampu mengubah panas menjadi potensial listrik dalam keadaan tertentu. Itu dapat terjadi karena perubahan kapasitas panas pada (n, 2021), dan ada tegangan yang memiliki deret potensial yang itu larutan elektrolit (Ahmad Pauzi, 2019). Perbedaan potensial logam yang membentuk *galvanic cell* merupakan penentu dari nya zona anoda dan katoda. Didalam sistem *galvanic treatment* m dalam larutan FeSO₄ dan akan mengalami reaksi katoda ga direndam pada CuSO₄ dan akan mengalami reaksi anoda,



kedua larutan elektrolit ini berada pada glass beaker yang berbeda dan dihubungkan dengan *salt bridge* sehingga dapat terjadi arus spontan pada sistem *galvanic treatment*. Hal ini dilakukan bertujuan untuk mengeluarkan atom-atom besi pada permukaan baja untuk membentuk *vacancy*.

Dalam penentuan waktu ideal untuk proses *galvanic treatment* diantara variasi beberapa waktu perendaman, menurut penelitian (Annisa, 2023) menyatakan bahwa 3 hari adalah waktu yang ideal karena pada *galvanic* 3 hari, reaksi oksidasi atom Fe memberikan potensi *vacancy* yang tinggi sehingga dapat meningkatkan laju difusivitas pada saat *pack carburizing* berlangsung, dan terbukti dengan peningkatan nilai kekerasan yang cukup signifikan pada spesimen *galvanic treatment* 3 hari dibandingkan dengan nilai kekerasan dari *galvanic* 1, 5, 7 hari.

Pada proses *pack carburizing* pada umumnya dilakukan dengan cara spesimen dipanaskan pada media yang berisi dengan karbon aktif pada temperatur 815-955°C pada *holding time* beberapa jam, kemudian didinginkan dengan cara dimasukkan kedalam media pendingin air (*quenching*). Penelitian ini menggunakan proses karburasi yang berbeda yaitu dengan proses *pack carburizing (galvanic treatment-pack carburizing)* dengan cara spesimen direndam kedalam sistem *galvanic treatment* terlebih dahulu selama 3 hari untuk membentuk *vacancy* yaitu kekosongan sebagai tempat karbon berdifusi selama proses *pack carburizing* berlangsung. *Pack carburizing* dilakukan dengan menggunakan temperatur rendah yaitu 500°C, 750°C dan waktu *holding time* 2, 4, dan 6 jam untuk mengetahui apakah karbon dapat masuk berdifusi ke permukaan baja pada *vacancy* yang diperoleh setelah proses *galvanic cell*. Variasi temperatur tersebut dijadikan patokan sebagai variasi temperatur rendah karena bekerja pada suhu dibawah *pack carburizing* pada umumnya (Nitha, 2023). Setelah itu spesimen akan di dinginkan dengan media pendingin udara.

Pada proses *pack carburizing* ini menggunakan kontainer berbentuk tabung dengan terbuat dari material *stainless steel* untuk memastikan kontainer tidak meleleh saat proses *pack carburizing* berlangsung. Dalam satu tabung nantinya akan diisi dengan karbon dari arang tempurung kelapa hingga mencapai 80% volume tabung atau sekitar 22 gr karbon.

Pada penelitian yang akan dilakukan, digunakan spesimen AISI 1040 akan melewati proses *heat treatment* yaitu metode *quenching* dengan pendinginan media air untuk memperoleh fasa baja martensit AISI 1040. Proses ini dilakukan untuk mencari tahu bagaimana efek *galvanic treatment* serta apakah energi *pack carburizing modern* pada temperatur rendah ini sudah dapat memenuhi energi untuk dapat melakukan proses difusi pada permukaan spesimen.

1.2 Rumusan Masalah



Optimization Software:
www.balesio.com

1. Bagaimana pengaruh perlakuan *galvanic cell* pada kekerasan permukaan baja AISI 1040 ?

2. Bagaimana pengaruh temperatur dan *holding time* dalam proses *pack carburizing* pada baja martensit AISI 1040 ?

3. Bagaimana karakteristik mekanik dan struktur mikro pada baja martensit AISI 1040 ?

4. Bagaimana pengaruh mengalami perlakuan *galvanic cell* dan proses *pack carburizing* ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa pengaruh perlakuan *galvanic cell* pada kekerasan permukaan baja martensit AISI 1040.
2. Menganalisa pengaruh temperatur dan *holding time* dalam proses *pack carburizing* pada baja martensit AISI 1040.
3. Menganalisa karakteristik kekerasan dan struktur mikro pada baja martensit AISI 1040 setelah mengalami perlakuan *galvanic cell* dan proses *pack carburizing*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini digunakan untuk membatasi asumsi parameter yang sangat kecil pengaruhnya pada penelitian. Adapun Batasan-batasan masalahnya sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah AISI 1040 yang merupakan baja karbon sedang.
2. Media yang digunakan pada proses perlakuan *galvanic cell* adalah baja karbon sedang dan tembaga, yang akan di rendam didalam larutan.
3. Media yang digunakan untuk proses *pack carburizing* merupakan serbuk arang batok kelapa sebagai sumber karbon (C).
4. Pendinginan setelah *carburizing* dilakukan dengan metode pendinginan udara.
5. Pengujian karakteristik kekerasan dengan uji kekerasan metode *vickers* dan pengujian metalografi.

1.5 Manfaat Penelitian

Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai Analisa *Pack carburizing* temperatur rendah baja martensit AISI 1040 Setelah *Galvanic treatment*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan logam paduan, dimana pada komposisi utamanya adalah besi (Fe) dan dasar karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Baja memiliki kandungan karbon yang berkisar antara 0,2% hingga 2,1% sesuai dengan tingkatannya. Karbon di dalam baja tersebut berfungsi sebagai unsur penguat, selain itu ada beberapa unsur paduan lain yang biasa ditambahkan pada baja selain karbon, contohnya adalah mangan (manganese), krom (chromium), vanadium, dan tungsten (Tarkono dkk., 2012). Baja secara umum dapat dikelompokkan atas 2 jenis, yaitu baja karbon dan baja paduan.

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon terdiri dari dua, berdasarkan kadar karbon yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi dan berdasarkan paduan (Ilham Ansharil, 2017).

Baja berdasarkan kadar karbon.

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)
Baja karbon rendah adalah baja dengan persentase unsur karbonnya di bawah 0,25%. Baja karbon rendah ini banyak di gunakan namun terbatas pada konstruksi yang tidak membutuhkan tegangan tarik dan kekerasan relatif tinggi. Untuk memperluas penggunaan baja karbon rendah, diperlukan peningkatan sifat mekaniknya terutama dari segi kekuatan.
2. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)
Baja karbon adalah baja dengan persentase unsur karbonnya sekitar 0,4%-0,6%. Biasanya baja karbon sedang ini digunakan untuk membuat benda kerja tempa berat, poros, dan rel baja.
3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)
Baja karbon tinggi adalah baja dengan persentase unsur karbonnya 0,7%-1,5 %. Biasanya baja karbon tinggi ini digunakan dalam pembuatan kikir, pahat, gergaji, dan alat mesin bubut (Suwardi dan Daryanto, 2018).



Alloy steel).

adalah baja yang diberikan penambahan unsur dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik baja (kekerasan, kekuatan tarik dan sebagainya) (Ilham

2.2 Sifat Logam

Setiap logam tidak memiliki sifat mekanis, fisis dan struktur yang sama (Danel Saputro, dkk, 2019). Oleh karena itu perlu di fahami beberapa penjelasan sifat mekanis dan sifat fisis yang terdapat pada logam:

2.2.1 Sifat Mekanis

Sifat mekanis adalah kemampuan bahan untuk menerima pembebanan atau untuk menahan beban yang diterimanya baik beban statis maupun beban dinamis (Surdia T., 2000). Sifat mekanis terdiri dari aspek- aspek berikut:

Kekerasan (*Hardnes*).

Kekerasan dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan, dan penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai hubungan dengan kekuatan. (Vicky Bhaskara, 2018). Pada *heat treatment*, kecepatan laju pendinginan sangat mempengaruhi kekerasan. Semakin cepat laju pendinginan maka tingkat kekerasan akan semakin tinggi (Djapri, 1986)

Mulur.

Mulur terjadi apabila diberikan suatu tegangan melampaui batas elastis, maka perpanjangan permanen terjadi pada batang uji tersebut. Perpanjangan tersebut dinamakan deformasi plastis dan tegangan terendah dimana deformasi plastis terjadi disebut mulur (Surdia T., 2000).

Kekakuan (*stiffness*).

Stiffness adalah kemampuan suatu elemen untuk bersifat kaku / tidak elastis (Kekakuan). *Stiffness* pada suatu elemen struktur sangat dipengaruhi oleh banyaknya distribusi material yang ada. Suatu elemen struktur yang memiliki nilai *stiffness* kecil lebih mudah untuk mengalami tekuk di bandingkan dengan elemen yang memiliki *stiffness* yang besar.

Kelelahan (*fatigue*)



ah kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada in disebabkan oleh kelelahan.

Keuletan (*Toughness*)

Merupakan energi yang diserap oleh sebuah elemen struktural pada saat pembebanan, dimana hal ini menunjukkan seberapa besar kemampuan sebuah elemen struktur untuk menyebarkan secara merata energi yang diterimanya akibat pembebanan ke seluruh elemen struktur. (Firmansyah, 2012).

Ketangguhan (*toughness*)

Ketangguhan adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa terjadinya kerusakan. Ketangguhan dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk membuat benda kerja patah pada suatu kondisi tertentu.

Keausan

Keausan adalah friksi atau gesekan yang diakibatkan pergerakan relatif dengan tekanan pada bidang kontak. Setelah terjadi gesekan berlanjut menjadi abrasi yang akan merusak ketelitian komponen dan berkembang menjadi lebih parah sampai komponen mesin kehilangan fungsinya

Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan tergantung pada beban yang bekerja seperti kekuatan tarik, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok (Vicky Bhaskara, 2018).

2.2.2 Sifat Fisis

Sifat fisis adalah sifat yang terjadi dikarenakan telah mengalami perlakuan secara fisika, contohnya adalah pengaruh panas dan listrik. Sifat karena pengaruh panas antara lain mencair, perubahan ukuran dan struktur mikro karena proses pemanasan, untuk melihat perubahan struktur mikro melalui proses uji struktur mikro dengan alat foto mikroskop (Djapri, 1986).

2.3 Heat Treatment



u perlakuan panas merupakan proses memanaskan spesimen di temperatur yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu. Setelah dipanaskan tersebut kemudian didinginkan menggunakan seperti udara, air, oli dan solar. Masing-masing media pendingin

mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda (Suwardi dan Daryanto, 2018).

Perlakuan panas adalah proses campuran antara proses pemanasan atau proses pendinginan dari suatu bahan logam atau paduan dalam bentuk padat. Perlakuan ini berfungsi untuk mencari sifat baja yang kita inginkan. Untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut, maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur menjadikan variabel yang berpengaruh dalam kesuksesan dari perlakuan panas (T. Jukdin Saktisahdan, 2019). Sifat baja yang dimaksud adalah sifat fisis dan sifat mekanis. Sifat fisis mencakup kondisi fisik, komposisi, dan mikro struktur. Sedangkan sifat mekanis mencakup kekuatan tarik, kekerasan, keuletan, kemampuan muai, kekuatan tekan, kegetasan dan lain-lain.

Dengan perlakuan panas menjadikan bahan atau baja mengalami perbaikan struktur mikro dan peningkatan sifat mekanis merupakan solusi tepat guna menghasilkan produk baja karbon yang mampu mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan dari komponen mesin atau peralatan akibat perlakuan berat. Sedangkan terbentuknya struktur mikro ini selain dipengaruhi oleh komposisi kimia dari material juga dipengaruhi oleh proses heat treatment yang diterima dan kondisi awal material tersebut (T. Jukdin Saktisahdan, 2019).

Titik temperatur pada perlakuan panas akan menentukan jenis fasa apa yang akan terjadi pada suatu bahan atau baja. Titik tersebut juga menentukan ketahanan dan kekuatan dari suatu bahan. Pemanasan sampai di atas daerah kritis akan terbentuknya fasa austenit. Fasa ini jika di dinginkan dengan cepat maka akan bertransformasi membentuk fasa martensit.

Kecepatan laju pendinginan juga tentunya berbeda-beda tergantung media pendingin apa yang di gunakan. Masing-masing media pendingin memiliki karakteristik pendinginan yang berbeda. Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat, apabila dilarutkan dengan garam maka akan mempercepat turunnya temperatur material dan semakin cepat dingin maka material semakin keras. Sedangkan pendinginan dengan menggunakan minyak pelumas dan udara akan memberikan pendinginan yang lebih lambat dibandingkan pendinginan menggunakan air dan air garam (Bangsawan, 2012). Penggunaan pelumas sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen. Banyaknya selaput karbon tergantung dari besarnya viskositas pelumas (Bahtiar, 2014).

2.3.1 Proses Heat Treatment



macam proses *Heat Treatment*.

tempering yaitu memanaskan baja dengan suhu di daerah atau di atas (23°C) dan kemudian mendinginkannya secara cepat dengan

mencelupkannya ke dalam minyak, air, atau air garam. Proses *hardening* ini adalah menghasilkan peningkatan pada kekerasan dan kekuatan dari baja, namun akan membuatnya semakin tidak ulet. Bahan dengan sifat kurang ulet itu memiliki permukaan atau sifat bahan rapuh (Steelwork vol1, 2001)

Annealing

Proses *annealing* memiliki tujuan yang terbalik dari proses *hardening*. Logam diberikan perlakuan *annealing* dengan tujuan untuk melepaskan tekanan internal, melunakkan, membuatnya lebih mudah dibentuk, dan memperbaiki strukturnya. *Annealing* terdiri dari memanaskan logam hingga di atas temperatur kritis (723°C), setelah itu dilakukan *holding* atau menahan panas pada jangka waktu yang telah ditentukan, dan pendinginan hingga mencapai suhu ruangan. Metode pendinginan tergantung pada logam dan sifat yang diinginkan.

Tempering

Setelah melakukan pengerasan permukaan suatu bahan secara cepat, kadangkala sifat bahan atau baja yang di peroleh tidak sesuai dengan apa yang di inginkan. Seperti baja bersifat lebih keras dari yang kita dibutuhkan dan baja menjadi rapuh. Selain itu tekanan internal yang dihasilkan selama pendinginan cepat dari suhu pengerasan tidak sesuai apa yang di inginkan. Untuk menghilangkan tegangan internal dan mengurangi kerapuhan, baja harus dilunakkan dengan tempering. *Tempering* dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur sedikit di bawah temperatur kritis (723°C), menahannya pada suhu tersebut untuk jangka waktu yang diperlukan, dan kemudian mendinginkannya. Kekuatan yang dihasilkan, kekerasan, dan keuletan tergantung pada suhu untuk dimana baja dipanaskan selama proses *tempering*. Tujuan *tempering* adalah untuk mengurangi kerapuhan diberikan dengan pengerasan dan untuk menghasilkan fisik yang pasti properti di dalam baja (Steelwork vol1, 2001).

Normalizing

Perlakuan panas dengan metode *normalizing* memiliki sedikit perbedaan yaitu udara bebas yang menjadi media pendinginnya. Tujuan dari proses *normalizing* ini adalah untuk menghilangkan tekanan internal yang dipicu oleh perlakuan panas, *welding*, *casting*, *forming* atau *machining*. Apabila tekanan tidak dikendalikan dengan baik, akan mengakibatkan kegagalan logam.



is dengan metode *quenching* yaitu baja akan dipanaskan hingga perubahan fasa kemudian akan di dinginkan secara cepat media pendingin seperti air, oli dll. Metode ini akan menghasilkan

sifat tekanan internal yang sangat tinggi dalam baja, dan untuk meredakannya, kita dapat melunakan baja tersebut sebelum dingin. Bahan yang melewati perlakuan panas secara *quenching* memiliki kekerasan yang sangat tinggi.

Holding time

Holding time atau waktu penahanan dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses perlakuan panas dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan terjadi difusi karbon dengan unsur paduan (Bangsawan, 2012).

Cooling

Kecepatan laju pendinginan suatu benda tergantung pada banyak hal seperti ukuran, komposisi, dan suhu awal dan sifat akhir adalah faktor penentu dalam memilih media pendinginan. Sebuah media pendinginan harus mendinginkan logam dengan kecepatan yang cukup cepat untuk mendapatkan hasil yang diinginkan (Steelwork vol1, 2001).

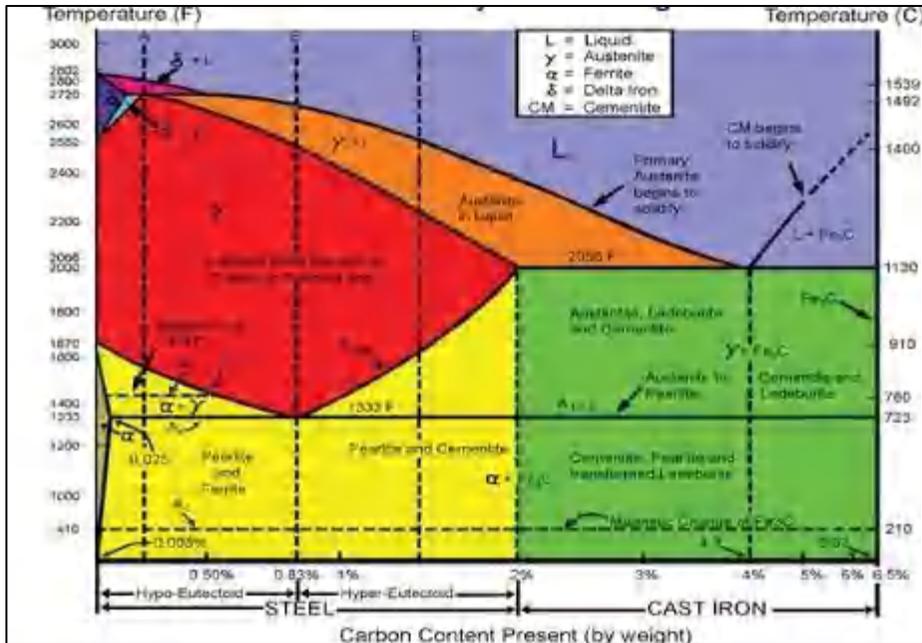
2.4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-Fe₃C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini dinyatakan dalam suhu dan komposisi, setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi mikro struktur.

Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C adalah diagram yang menjelaskan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fase selama proses pendinginan atau pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini juga merupakan dasar pemahaman untuk semua proses perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa ialah untuk memudahkan pengguna untuk memilih temperatur pemanasan yang sesuai dengan setiap proses perlakuan panas baik proses *annealing*, *normalizing* maupun proses pengerasan (Vicky Bhaskara dkk, 2018).

Diagram fasa menunjukkan hubungan antara struktur mikro dengan sifat-sifat mekanis suatu material, dimana semua berhubungan dengan karakteristik diagram





Gambar 1. Diagram fasa Fe₃C

1. *Ferrite* atau besi alpha (α) merupakan modifikasi struktur besi murni pada suhu ruang, dimana ferit menjadi lunak dan ulet, maka ruang antara atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali. Struktur dari fasa ini adalah BCC (Saputra dan Tyastomo, 2016).
2. *Austenite* atau besi gamma (γ) merupakan modifikasi dari besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan ferit. Meski demikian rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya jadi terbatas. Umumnya fasa austenit bersifat stabil, ulet, mudah dibentuk, tidak bersifat feromagnetis (Saputra dan Tyastomo, 2016).
3. *Martensite* terbentuk karena transformasi tanpa difusi sehingga atom-atom karbon seluruhnya terperangkap dalam larutan super jenuh. Keadaan ini yang menimbulkan distorsi pada struktur kristal martensit dan membentuk BCT. Tingkat distorsi yang terjadi sangat tergantung pada kadar karbon. *Martensite* merupakan fasa yang sangat keras namun getas (Saputra dan Tyastomo, 2016).



Karbonit atau Sementit adalah paduan besi karbon, dimana pada kondisi melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau *Karbonit* yang memiliki komposisi Fe₃C. Hal ini tidak berarti bila karbida membentuk molekul Fe₃C, akan tetapi kisi kristal yang membentuk atom karbon mempunyai perbandingan 3:1. Karbida pada *ferrite* akan

meningkatkan kekerasan pada baja sifat dasar sementit adalah sangat keras (Saputra dan Tyastomo, 2016).

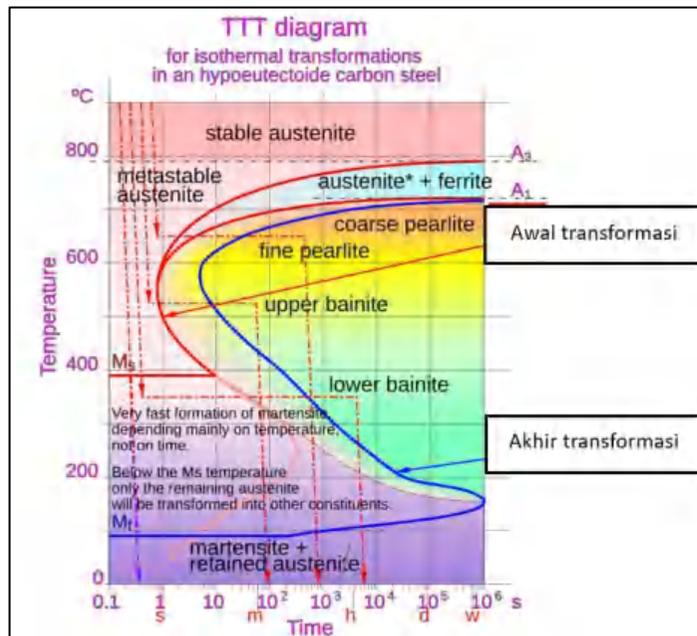
5. *Pearlite* merupakan campuran khusus yang terjadi atas dua fasa yang terbentuk austenitisasi, dengan komposisi eutektoid bertransformasi menjadi ferit dan karbida. Ini dikarenakan ferit dan karbida terbentuk secara bersamaan dan keduanya saling bercampur. Apabila laju pendinginan dilakukan secara perlahan-lahan maka atom karbon dapat berdifusi lebih lama dan dapat menempuh jarak lebih jauh, sehingga di peroleh bentuk perlit besar. Dan apabila laju pendinginan lebih dipercepat lagi maka difusi akan terbatas pada jarak yang dekat sehingga menghasilkan lapisan tipis lebih banyak (Saputra dan Tyastomo, 2016).
6. *Spheroidizing* adalah proses yang digunakan untuk meningkatkan pengolahan dan reorientasi batas butiran dengan cara memodifikasinya melalui proses anil pada suhu tertentu dan dalam kurun waktu tertentu pula. Hasilnya adalah suatu material yang lebih mudah dibentuk, dan kemampuan proses lebih dapat ditingkatkan. Umumnya proses ini sangat lamban yaitu memerlukan waktu sampai 24 jam pada suhu di atas 700°C , dan hasil yang diperoleh adalah material yang ukuran butirnya hampir bulat sehingga deformasi dengan mudah terlokalisasi, akibatnya material tersebut sangat tangguh dan berpengaruh pada desain produk.

2.5 Diagram TTT

Diagram TTT (*Time Transformation Temperature*) merupakan diagram yang memperlihatkan permulaan dan akhir transformasi dengan waktu sebagai variabelnya. Diagram seperti ini merupakan hasil serangkaian percobaan dekomposisi isothermal, karena mengkaitkan produk transformasi dengan waktu dan temperatur tertentu disebut kurva TTT.

Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) dilakukan dengan memanaskan baja karbon sehingga mencapai temperatur austenitisasi kemudian di dinginkan menggunakan laju pendinginan berkelanjutan atau kontinyu pada daerah fasa austenite, setelah itu temperatur kemudian ditahan untuk waktu tertentu dan mendinginkan lagi dengan laju pendinginan kontinyu (Callister, 2009).





Gambar 2. Diagram TTT *Eutectoid*

2.6 Carburizing

Carburizing adalah proses perlakuan panas pada permukaan benda kerja dengan memanfaatkan karbon (C) sebagai unsur pengerasan (Adi Dermawan, 2017). Proses *carburizing* sendiri merupakan proses penambahan karbon (C) pada permukaan benda yang dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja didalam lingkungan yang mengandung banyak karbon aktif yang nantinya karbon (C) akan terdifusi masuk ke permukaan baja. Umumnya proses *carburizing* ini diterapkan pada beberapa jenis baja yang tidak mudah dikeraskan dengan metode pendinginan langsung (*Direct Quenching*) karena prosesnya dapat terpengaruhi oleh kandungan karbon (C) yang berada dibawah 0,3% seperti kandungan karbon (C) pada baja karbon rendah (Wisnujati, 2017).

Pada prosesnya, *carburizing* dilakukan dengan memanaskan baja sampai pada temperature austenite. Umumnya dilakukam pada temperatur 815°C-955°C dengan media yang mempunya potensi karbon yang tinggi, sehingga dapat terjadi difusi atom karbon (C) dari media masuk ke dalam lapisan permukaan baja. Dimana proses difusi akan gradien karbon (C) dari permukaan hingga ke inti, yang dapat permukaan baja bisa dikeraskan melalui cara *quenching*. *Carburizing* dalam beberapa macam lingkungan diantaranya, *gas carburizing*, dan *pack carburizing*. Pada dasarnya proses *carburizing* yang tepat nilai kekerasan pada permukaan yang bagian intinya tetap liat



(*ductile*). (Sani, 2018) *Carburizing* dapat dilakukan dengan 3 macam perlakuan yang telah di sebutkan diatas yaitu:

2.6.1 *Pack carburizing*

Ketika Baja bersama media karbon padat dimasukan kedalam kotak, kemudian dilakukan pemanasan di dalam dapur pemanas. Proses semacam ini disebut juga sebagai *pack carburizing*. Proses *pack carburizing* mengatur pemanasan sampai pada temperatur kritis di atas A_{c1} , karena baja pada temperatur ini memiliki kecenderungan untuk berafinitas dengan karbon dan karbon akan diabsorpsi kedalam baja membentuk larutan padat. Bila berlangsung pada waktu yang cukup lama, maka lapisan luar akan memiliki kandungan karbon lebih tinggi dibandingkan sebelumnya (Kuswanto, 2010). Metode karburasi padat (*pack carburizing*) merupakan metode yang populer digunakan pada proses pengerasan permukaan dikarenakan prosesnya yang sederhana dan juga biaya yang relatif murah (Negara, 2016).

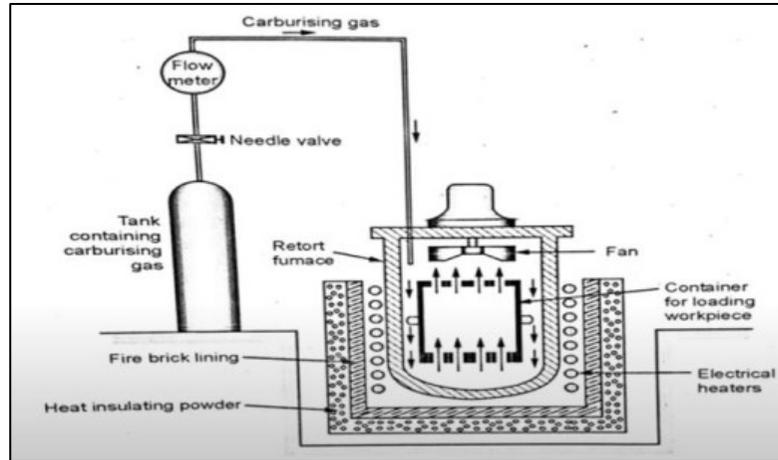
Umumnya *pack carburizing* konvensional dilakukan pada temperature tinggi yaitu sekitar 850°C , 900°C dan 950°C . Proses ini tentunya berfungsi untuk memberi kesempatan pada karbon untuk dapat berdifusi pada permukaan baja karbon dan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja (Aramide 2010)

2.6.2 *Gas Carburizing*

Gas carburizing merupakan proses *carburizing* dengan menggunakan hidrokarbon atau disebut dengan gas alam, dan gas karbit yang dijadikan sebagai media *carburizingnya* (Hamni, A, 2011).

Proses pengerasan ini dilakukan dengan cara memanaskan baja dalam dapur dengan atmosfer yang banyak mengandung gas CO dan gas hidro karbon yang mudah berdifusi pada temperatur karburisasi $900 - 950^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam. Gas-gas pada temperatur karburisasi itu akan bereaksi menghasilkan karbon aktif yang nantinya berdifusi ke dalam permukaan baja.



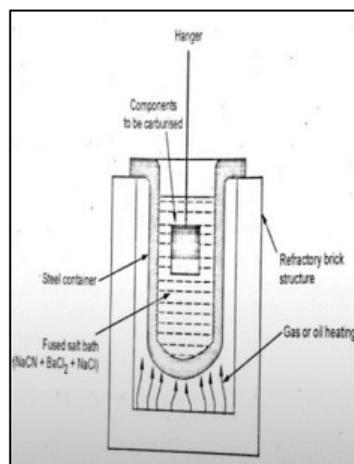


Gambar 1. Proses gas carburizing

2.6.3 Liquid Carburizing

Liquid Carburizing adalah salah satu teknik perlakuan panas permukaan baja. Dengan cara ini, lapisan permukaan diproduksi dengan kekerasan tinggi, ketahanan yang baik, dan korosi yang baik. Prosesnya terdiri dari menempatkan potongan-potongan yang akan diperlakukan secara superfisial dalam media cair yang mengandung unsur yang akan ditambahkan secara bebas atau dalam bentuk senyawa kimia yang dapat terurai (Mohammed Z. Hasan, 2019).

Carburizing proses cair adalah proses pengerasan baja dengan cara mencelupkan baja yang telah ditempatkan pada keranjang kawat ke dalam campuran garam cianida, kalsium cianida (KCN), atau natrium cianida (NaCN).



Gambar 2. Proses liquid carburizing



Proses karburisasi ini selain terserapnya karbon, nitrogen juga ikut terserap. Banyaknya karbon dan nitrogen yang terserap ini tergantung pada kadar cyanida dalam salt bath dan temperatur kerjanya. (Nurhilal, 2017)

2.7 Pack carburizing

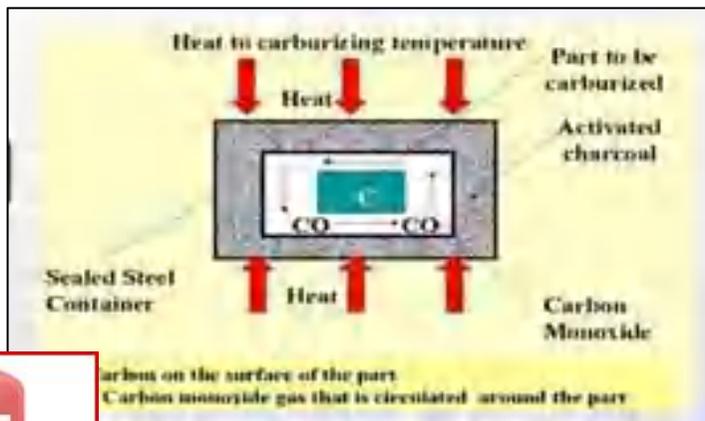
Pack carburizing adalah proses karburisasi pada permukaan benda kerja dengan menggunakan karbon yang didapat dari bubuk arang. Bahan karburisasi ini biasanya adalah arang tempurung kelapa, arang kokas, arang kayu, arang kulit atau arang tulang. Benda kerja yang akan dikarburising dimasukkan ke dalam kotak karburisasi yang sebelumnya sudah diisi media karburisasi. Selanjutnya benda kerja ditimbuni dengan bahan karburisasi dan benda kerja lain diletakkan di atasnya demikian selanjutnya (Suherman, 1998: 150)

Kandungan karbon dari setiap jenis bahan yang digunakan sebagai karbon adalah berbeda-beda. Pada proses *pack carburizing*, bahan karbonat (activator) ditambahkan pada arang untuk mempercepat proses karburisasi. Bahan activator yang sering digunakan adalah barium karbonat (BaCO_3) dan soda abu (NaCO_3) yang ditambahkan bersama-sama dalam 10 – 40 % dari berat arang (Lakhtin, 1975: 255)

Reaksi yang terjadi adalah :



Dengan temperatur yang semakin tinggi kesetimbangan reaksi makin cenderung ke kanan makin banyak CO (Nurhilal, 2017).



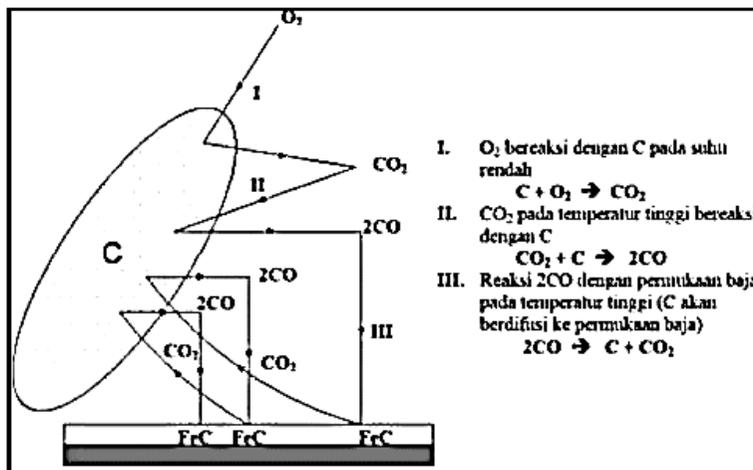
Gambar 3. Proses pack carburizing



Pack carburizing merupakan salah satu metode yang sering dilakukan, dikarenakan proses serta peralatan yang digunakan relatif sederhana dan sumber carbon yang mudah ditemukan disekitar kita (Sujita, 2016). Untuk keperluan *carburizing* yaitu penambahan unsur karbon (C) secara difusi sehingga karbon (C) dari media *carburizing* akan masuk ke permukaan baja dan meningkatkan kadar karbon (C) pada permukaan baja tersebut. Dengan meningkatnya kadar karbon (C) pada permukaan maka akan meningkatkan kekerasan pada permukaan baja (Negara, 2015).

Proses *carburizing* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, *holding time* atau lamanya proses *carburizing*, temperatur pemanasan, media *carburizing* yang digunakan, dan lamanya proses pendinginan (Sujita, 2016). Pada proses *pack carburizing* biasanya dilakukan pada temperatur 815-955°C (1500-1750°F), dimana baja berada dalam fasa austenit. Seiring dengan peningkatan temperatur, total kandungan karbon (C) akan meningkat karena kelarutan karbon (C) dalam austenit juga semakin meningkat. Biasanya distorsi juga sering terjadi seiring dengan peningkatan temperatur terutama pada benda kerja berbentuk tipis dan kompleks (Gerri Rinaldi, 2014).

Lamanya *holding time* tergantung pada dalamnya difusi karbon (C) yang diinginkan. Dimana tujuan dari *holding time* ialah untuk difusi karbon (C) kepermukaan baja secara homogen. Semakin lama *holding time*-nya maka akan semakin banyak karbon yang berdifusi dengan besi (Kristofol Waas, 2020). Mekanisme *pack carburizing* dapat dilihat pada gambar dibawah ini (Gerri Rinaldi, 2014).



Gambar 4. Mekanisme *pack carburizing*



Mekanisme proses *pack carburizing*, pada saat *heat treatment* oksigen (O_2) bereaksi disekitar sumber medium karbon (C) yang membentuk karbon dioksida (CO_2), dimana bentuk reaksi kimia dijelaskan sebagai berikut:



Pada permukaan spesimen CO_2 yang terbentuk kembali bereaksi dengan C, seperti reaksi berikut:



Meningkatnya temperature, reaksi akan bergerak ke sebelah kanan yang menghasilkan CO yang semakin banyak. Kemudian reaksi kimia yang terbentuk ialah :



Atom-atom karbon (C) secara difusi interstisi masuk kedalam baja. Dimana kecepatan *carburizing* juga dapat di tingkatkan dengan menambahkan 10-20% $BaCO_3$ yang reaksi kimianya dapat dijelaskan:



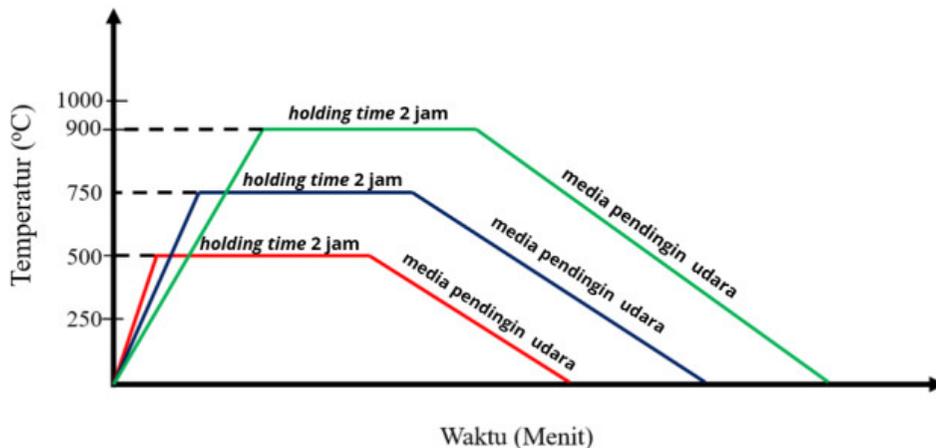
Terjadi reaksi diantara CO_2 dengan karbon (C) dan membentuk 2CO



Gas CO yang terbentuk kemudian larut kedalam fasa austenit dan bereaksi dengan Fe sebagai berikut:



Dengan adanya difusi atom-atom, maka akan mengikat nilai kekerasan pada permukaan spesimen. Berikut mekanisme yang akan dilakukan melalui *Pack carburizing* yang terjadi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Mekanisme *pack carburizing* pada *holding time* 6 jam



ur pemanasan *carburizing* akan digunakan spesimen dan waktu Berbeda beda. Waktu *holding time* yang akan digunakan pada n 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Namun pada grafik diatas merupakan *g time* selama 2 jam.

Setelah baja di transformasi menjadi baja martensit AISI 1040, selanjutnya baja tersebut akan melewati proses *carburizing*. Dimana setiap spesimen baja martensit AISI 1040 akan dipanaskan pada media padat atau melalui *pack carburizing* dengan arang batok kelapa sebagai sumber karbon berdasarkan variasi temperturnya yaitu 500°C, 750°C dan 900°C. Tujuannya adalah agar karbon tersebut dapat berdifusi ke permukaan baja martensit AISI 1040 yang telah melalui proses *galvanic cell*. Setelah temperatur pemanasan tercapai, maka temperatur tersebut akan di tahan beberapa saat, setelah itu baja martensit AISI 1040 kemudian di dinginkan menggunakan media udara.

Proses *pack carburizing* pada temperatur 500°C bekerja dibawah temperatur kritis maka proses *pack carburizing* pada temperatur ini akan bekerja sebagai proses *pack carburizing* dan *temper* dalam waktu yang sama. Oleh karena itu peneliti juga ingin mencari bagaimana efek *temper* pada proses *pack carburizing*

2.8 Difusi

Difusi adalah gerak spontan dari atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam. Difusi adalah fenomena pengangkutan material melalui gerakan atom (Budinski dan Budinski, 1999: 302)

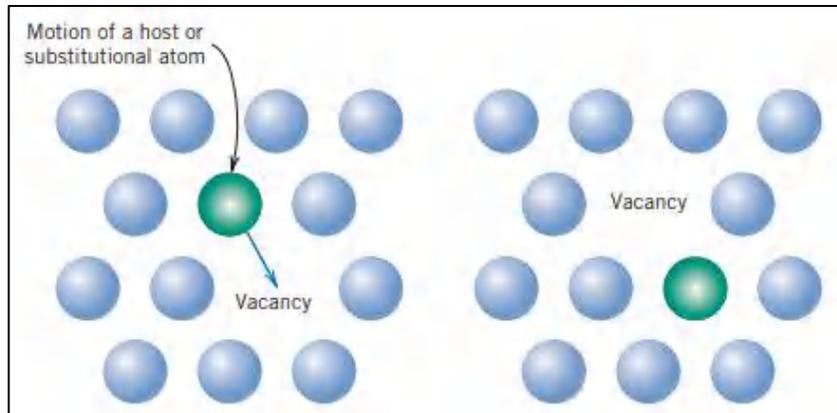
Gaya pendorong terjadinya proses difusi adalah gradien konsentrasi yaitu jumlah atom/molekul yang terdapat di sekitar komponen dibandingkan dengan jumlah atom/molekul yang terdapat di dalam komponen.

Proses penting saat terjadinya transfer massa pada material adalah difusi atom. Terdapat dua bentuk mekanisme difusi atom dalam fasa padat, mekanismenya itu tergantung pada tipe tempat yang tersedia dalam sel satuan. Mekanisme tersebut yaitu substitusi dan interstisi (Arianto, Mujiyono, 2009)

2.8.1 Difusi Substitusi

Difusi substitusi terjadi apabila atom yang berpindah memiliki ukuran yang relatif sama dengan atom induknya. Atom substitusi dapat berpindah jika disekitarnya terdapat kekosongan dan energi vibrasi atom mencukupi untuk melewati energi hambatan atom tetangga. Energi vibrasi setiap atom meningkat secara proporsional dengan temperatur, dan meningkat dengan meningkatnya amplitudo osilasi. Gerakan atom substitusi ketempat kosong dirintangi oleh atom sekitarnya. Agar terjadi lompatan, atom harus bergerak menciptakan celah yang cukup agar atom dapat berpindah ke tempat tersebut. Kemungkinan semua atom dapat melompat menuju tempat yang kosong pada kemungkinan ia dapat menyediakan energi vibrasi yang cukup (Arianto, Mujiyono, Tiwan 2005).

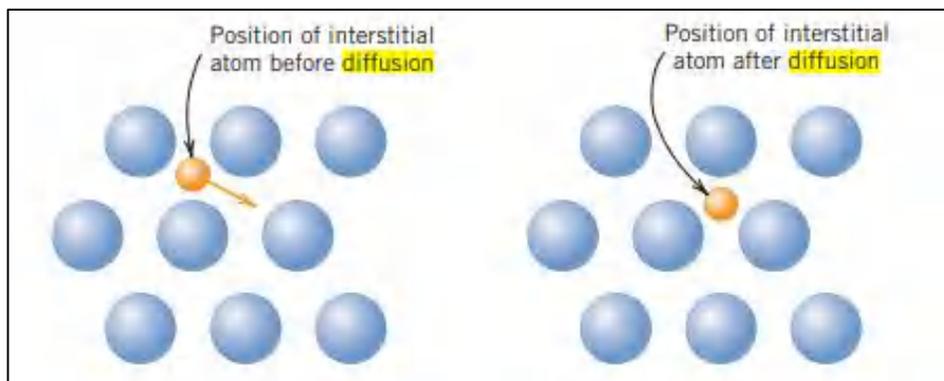




Gambar 6 Difusi substitusi

2.8.2 Difusi Interstisi (Interstitial)

Difusi interstisi terjadi apabila ukuran atom yang berpindah memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dari atom induknya (Sirod Hantoro, Tiwan 2005).



Gambar 7. Difusi interstisi

Difusi interstisial pada gambar diatas merupakan pergerakan atom ke posisi interstisi yaitu daerah kosong di antara atom-atom substrat. Mekanisme ini dapat ditemui pada pergerakan atom-atom hidrogen, karbon, nitrogen, dan oksigen yang ukurannya cukup kecil sehingga dapat menyisip pada posisi interstisi (Callister, 2001:



g terjadinya proses difusi adalah gradien konsentrasi yaitu jumlah terdapat di sekitar komponen dibandingkan dengan jumlah terdapat di dalam komponen. Pada proses difusi ternyata ada dua berdasarkan hukum Ficks pertama dan hukum Ficks Kedua.

Fick's first law menyatakan bahwa kecepatan dari difusi itu dipengaruhi oleh fungsi gradien dan garis konsentrasi. (Callister, 2009). Pada gambar dibawah menjelaskan bahwa terdapat aliran atom terlarut. Atom mengalir dari konsentrasi tinggi titik 1 ke konsentrasi lebih rendah titik 2. Konsentrasi atom pada titik 1 dan 2 tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu, maka dapat dikatakan aliran atom pada titik 1 ke titik 2 berdifusi secara *steady state* atau tunak. Aliran tersebut dapat kita nyatakan sebagai J Flux yang mendefinisikan sebagai jumlah atom yang melewati satuan luas bidang yang tegak lurus terhadap arah difusi. Dikarenakan difusi ini bergerak dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, maka digunakan tanda negatif pada persamaan. Fluks tersebut dapat dinyatakan sebagai :

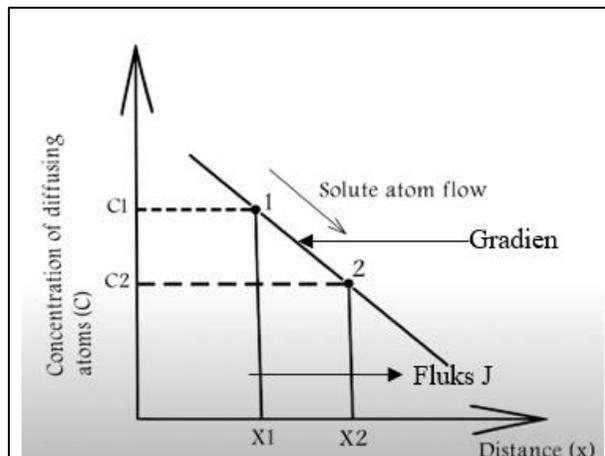
$$j = -D \frac{dc}{dx} \quad (9)$$

dimana,

j = Aliran Fluks ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

D = Koefisien Difusi ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

$\frac{dc}{dx}$. = gradien konsentrasi ($\text{atom} \cdot \text{cm}^{-4}$)



Gambar 8. Aliran terlarut atom konsentrasi tinggi titik 1 ke konsentrasi lebih rendah titik 2

Fick's second law menyatakan bahwa difusi, profil dari konsentrasi atom pada itu bergantung pada fungsi waktu. Dimana gradien dari konsentrasi difusi itu berubah sesuai dengan bentuk fungsi waktu. Sehingga dapat dikatakan bahwa atom berdifusi secara *non steady state* (Callister, 2009)



Gambar bahwa konsentrasi diilustrasikan dari titik 1 yang sama si waktu yang berbeda maka dihasilkan laju akumulasi konsentrasi a. Laju akumulasi dengan fungsi waktu kecil t_1 memiliki laju asi yang lebih tinggi dibandingkan dengan t_2 dan t_3 . Pada grafik yang dibentuk dari fungsi waktu t_1 akan lebih curam dibandingkan ang lebih landai. Digunakan diferensial fungsi waktu terhadap

konsentrasi atom yang berdifusi pada hukum fick pertama untuk memperoleh hukum Fick kedua yaitu :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (10)$$

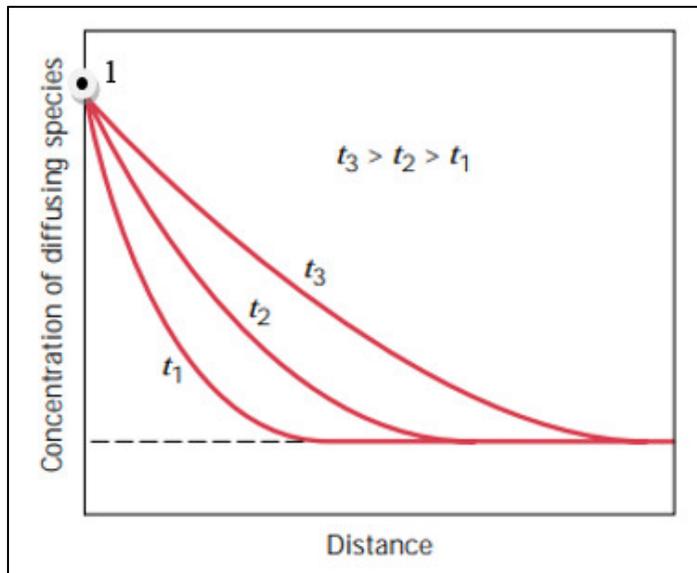
dimana,

D = Koefisien difusi (cm²/det)

C = Konsentrasi (g/cm³)

x = Jarak (cm)

t = Waktu



Gambar 9. Profil konsentrasi untuk difusi keadaan non steady state diambil pada angka tiga waktu yang berbeda, t_1 , t_2 , dan t_3

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan difusi yaitu temperatur dan *liquid*.

a. Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap koefisien laju difusi karena temperatur aktivasi termal, laju difusi bertambah seiring dengan meningkatnya temperature. Misalkan untuk difusi Fe di dalam alpha-Fe dimana koefisien difusinya meningkat enam orde dengan peningkatan temperatur dari



energi aktivasi dianggap sebagai energi yang sangat dibutuhkan untuk memungkinkan gerak difusi satu mol atom. Besarnya energi aktivasi koefisien difusi yang relatif kecil, dapat dilihat pada persamaan

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right) \quad (11)$$

Keterangan :

D_0 = Pra-eksponensial yang tidak tergantung pada suhu (m^2/s)

Q_d = Energi aktivasi untuk difusi (J/mol, cal/mol-K, atau
8.62 x 10⁵ eV/atom-K)

Energi aktivasi dapat dianggap sebagai energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan pergerakan difusi dari satu mol atom. Energi aktivasi menghasilkan koefisien difusi yang relative kecil seperti yang dapat dilihat pada tabel 1 yang juga didalamnya terdapat nilai D_0 dan Q_d untuk beberapa jenis difusi. Di bawah ini merupakan tabel tabulasi dari data difusi.

Tabel 1. *Tabulation of diffusion data*

Diffusing Species	Host Metal	$D_0(m^2/s)$	Activation Energy Q_d		Calculated Values	
			kJ/mol	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Fe	α -Fe (BCC)	2.8×10^{-4}	251	2.60	500	3.0×10^{-21}
					900	1.8×10^{-15}
Fe	γ -Fe (FCC)	5.0×10^{-5}	284	2.94	900	1.1×10^{-17}
					1100	7.8×10^{-16}
C	α -Fe	6.2×10^{-7}	80	0.83	500	2.4×10^{-32}
C	γ -Fe	2.3×10^{-5}	148	1.53	900	1.7×10^{-10}
					1100	5.9×10^{-12}
Cu	Cu	7.8×10^{-5}	211	2.19	500	4.2×10^{-18}
Zn	Cu	2.4×10^{-5}	189	1.96	500	4.0×10^{-18}
Al	Al	2.3×10^{-4}	144	1.49	500	4.2×10^{-14}
Cu	Al	6.5×10^{-3}	136	1.41	500	4.1×10^{-14}
Mg	Al	1.2×10^{-4}	131	1.35	500	1.9×10^{-13}
Cu	Ni	2.7×10^{-3}	256	2.65	500	1.3×10^{-22}

sumber: callister, (2000)

b. Komposisi

Difusi yang terjadi pada karbon aktif relatif lebih rendah pada baja perkakas apabila dibandingkan dengan baja yang lainnya dikarenakan mengandung banyak unsur yang membentuk karbida dan juga dapat mengurangi derajat dari difusi karbon. Dan harus juga diketahui bahwa dengan meningkatnya laju difusi dan temperatur, dapat juga dipengaruhi oleh komposisi kimia, seiring dengan meningkatnya waktu dan kedalaman *decarburizing* (Ramezani, 2015).

2.9 Karbon Aktif



Optimization Software:
www.balesio.com

akan arang yang mudah didapatkan dan melalui proses aktivasi, memiliki daya serap yang baik (*Absorbent*) dan sifat termal yang baik. Salah satu alternatif bahan bakar setelah dibentuk menjadi briket meningkatkan daya serap dari arang ini karena proses pembuatan

karbon aktif melalui proses pirolisis yang dilanjutkan dengan proses aktivasi yang dapat memperbesar pori-pori pada arang (Tamado et al., 2013)

Karbon aktif dibedakan atas dua tipe berdasarkan pada fungsinya yaitu karbon aktif yang berperan sebagai penyerap dan karbon aktif yang berperan sebagai pemucat, dimana pada penelitian ini menggunakan karbon aktif yang berfungsi sebagai penyerap karbon aktif dengan bentuk *pellet* atau granul digunakan sebagai penyerap karena memiliki diameter pori yang lebih kecil dan juga memiliki sifat fisik yang keras. Karbon jenis ini terbuat dari baru bara, tempurung kelapa, sekam padi, cangkang dan mutiara, dan bahan baku lainnya yang bersidat keras. Kandungan kimia tempurung kelapa ialah selulosa 34%, hemiselulosa 21%, dan lingin 27%. Sedangkan komposisi unsur karbonnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Kandungan Karbon Arang Tempurung Kelapa

Kandungan	Persentase (%)
Karbon	74.3 %
Oksigen	21.9 %
Silikon	0.2 %
Kalium	1.4 %
Sulfur	0.5 %
posfor	1.7 %

Sumber: Tamado et al., (2013)

Berdasarkan persyarata Standar Nasional Indonesia (SNI) kualitas dari karbon aktid dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. Persyaratan Karbon Aktif

Persyaratan	Parameter
Kadar air	Maks 15 %
Kadar abu	Maks 10 %
Kadar zat menguap	Maks 25 %
Kadar karbon terikat	Min 65 %
Daya serap terhadap yodium	Min 750mg/g
Daya serap terhadap benzena	Min 25 %

Sumber: Ramadhani et al., (2020)

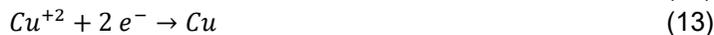


2.10 Larutan Elektrolit

Larutan merupakan campuran yang terdiri dari dua zat atau lebih. Zat dengan jumlah yang lebih banyak dari zat yang lain di dalam lingkungan disebut *solvent* atau pelarut, sedangkan zat yang jumlahnya sedikit di dalam lingkungan disebut sebagai solut atau zat terlarut. Contoh dari solut adalah larutan garam dan *solven* yang paling umum digunakan adalah air. Larutan yang dapat menghantarkan arus listrik disebut dengan larutan elektrolit, larutan yang digunakan pada sel *galvanic* merupakan lingkungan yang dapat menghantarkan ion-ion dari anoda ke katoda yang dapat menghasilkan arus listrik atau sebagai penyeimbang antara ion positif dan ion negatif.

Larutan elektrolit juga dapat digunakan untuk reaksi elektrokimia di mana reaksi ini merupakan perubahan energi kimia yang dapat menimbulkan arus listrik begitupun sebaliknya. Kesetimbangan dari reaksi elektrokimia ini berperan serta pada proses sel *galvanic* dimana perpindahan elektron-elektron dari satu logam ke komponen lain yang disebut juga sebagai reaksi redoks, dimana reaksi ini terjadi pada sel *galvanic* yang berlangsung secara spontan. Pada sel *galvanic* terdapat dua elektroda diantaranya katoda sebagai kutub positif dan anoda sebagai kutub negatif.

Metode yang digunakan untuk penyebaran ion untuk menghasilkan reaksi ini ialah dengan menggunakan material baja karbon rendah (Fe), dan tembaga (Cu) dan larutan elektrolit. Dimana pada proses ini elektron dari atom besi akan terlepas dan elektron yang dibiarkan oleh atom besi akan bergerak menuju larutan tembaga sulfat yang akan bereaksi dengan ion dari elektrolit sehingga terbentuk ikatan atom pada permukaan tembaga.



Reaksi bersih : $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu$

Pada reaksi ini terjadi perpindahan dari ion-ion negatif menuju Fe dan ion-ion positif bergerak menuju ke Cu.

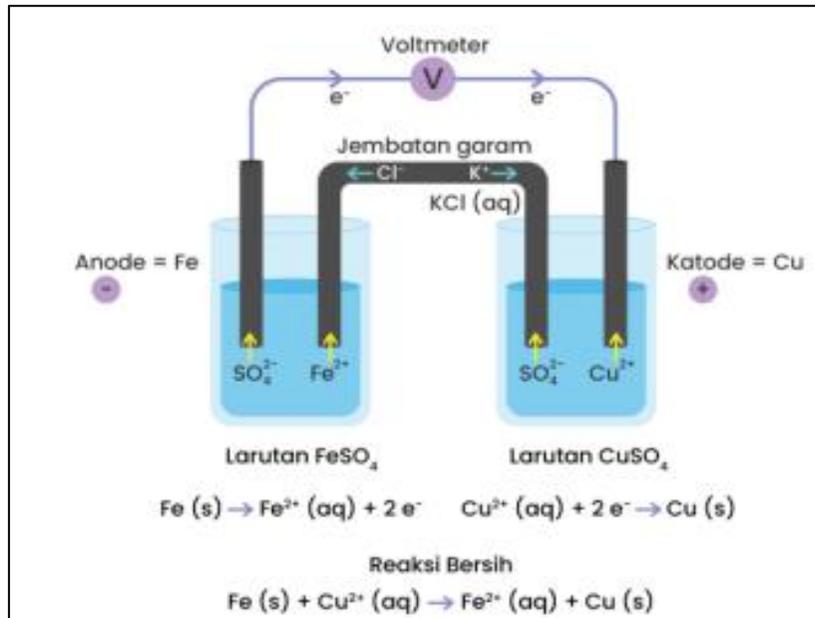
2.11 Galvanic Cell

Galvanic cell merupakan sel yang menghasilkan arus listrik yang mempunyai deret potensial yang berbeda dalam suatu larutan elektrolit. *Galvanic cell* terdapat tiga komponen, yaitu anoda, katoda, dan elektrolit. Dimana anoda sebagai elektroda bermuatan negatif dan elektroda yang bermuatan positif merupakan katoda.

Elektroda digunakan dalam sistem *galvanic cell* untuk menghantarkan ion-ion dari anoda ke katoda, reaksi yang terjadi bila keduanya dihubungkan menggunakan jembatan garam tersebut. Dimana reaksi yang terjadi pada sel *galvanic cell* berlangsung spontan (Farandy, 2020). Syarat – syarat *galvanic cell*



1. Reaksi redoks terjadi secara spontan
2. Hasil reaksi menghasilkan energi gambar perbesar
3. $G_0 < 0$ dan E_0 sel adalah positif

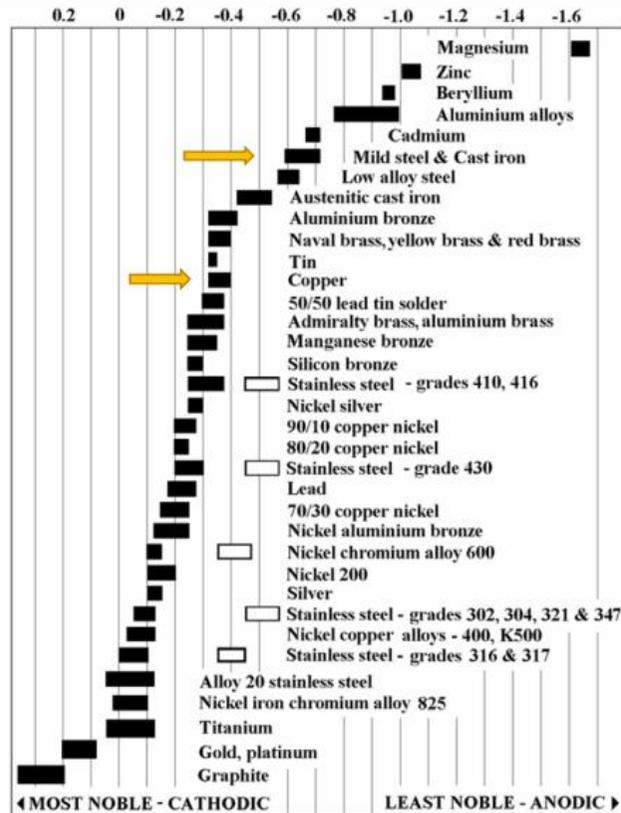


Gambar 10. Proses *galvanic cell*

Logam dengan potensial elektroda lebih tinggi akan menghasilkan reaksi katoda atau reaksi reduksi pada permukaannya atau pada logam ini akan menempel ion-ion dari logam anoda, sedangkan logam yang memiliki potensial rendah merupakan logam dengan posisi yang lebih tinggi didalam daftar seri elektrokimia dan akan menghasilkan reaksi anodik atau reaksi oksidasi (Wibowo, 2016).

Dasar dari munculnya reaksi ini karena adanya logam dengan potensial yang lebih positif biasanya disebut dengan nobel dan lebih bersifat katodik apabila dihubungkan dengan logam dengan potensial yang lebih negatif. Paduan yang lebih aktif selalu akan bersifat anodik apabila berkontak dengan listrik dan paduan lainnya. Karena adanya perbedaan potensial sistem logam pada media larutan yang lebih dikenal dengan deret tegangan logam atau deret *galvanic* seperti yang di tunjukkan pada gambar dibawah. Dimana deret ini merupakan daftar dari potensial dari berbagai logam paduan yang ada didalam lingkungan yang spesifik.





Gambar 11. Deret galvanic

2.12 Uji Kekerasan

Kekerasan menyiratkan ketahanan akan deformasi, dan untuk logam/baja kekerasan merupakan ukuran resistensi terhadap perubahan deformasi plastis maupun permanen (Dieter, 1987). Deformasi adalah perubahan bentuk suatu material. Deformasi plastis terjadi pada permukaan benda atau material yang lunak, sedangkan deformasi permanen terjadi pada permukaan benda atau material yang lebih keras (Maulana, 2018).

Untuk mencari nilai kekerasan atau *Hardness* dari suatu spesimen, terdapat tiga metode yang dapat kita gunakan melalui *Hardness tester*. Metode tersebut ialah (Novi Tri Nugraheni, 2014)



Brinell (*Brinell Hardness Test*)

Ball hardness test bertujuan untuk menentukan kekerasan dari material dengan bentuk ketahanan material dari sebuah bola baja diberi gaya tekan tegak lurus dengan permukaan material yang di Pengujian ini diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan

Brinell sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian *Rockwell* ataupun *Vickers*.

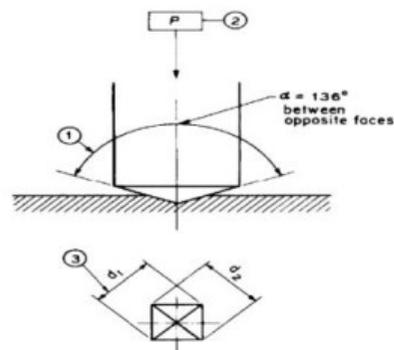
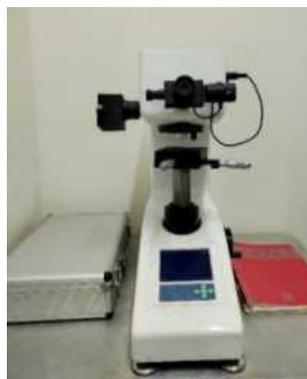
2. Uji Kekerasan Rockwell (Rockwell Hardness Test)

Rockwell merupakan metode yang paling umum digunakan karena simple dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi *indenter* dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras

3. Uji Kekerasan Vickers (Vickers Hardness Test)

Vickers hardness test merupakan metode yang mirip dengan metode pengujian *Brinell* dimana mampu mengukur kekerasan sekitar 400 VHN. Bedanya adalah pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* ini menggunakan intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 derajat yang ditekan pada permukaan material uji untuk menentukan kekerasannya.

Pada pengujian *Vickers*, pembebanan akan diberikan secara perlahan tanpa adanya beban kejut dan ditahan 10-15 detik. Setelah *indenter* terangkat, kedua diagonal bekas injakan diukur dan diambil rata-ratanya, kemudian kekerasan indentasi *Vickers* (HV) dihitung dengan persamaan (Intisari, 2016). Pada pengujian ini, kekerasan material uji akan diukur dengan metode *vickers*.



Gambar 12. Alat uji dan pengujian kekerasan *vickers*

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right) \quad (14)$$

dimana,

d = diagonal rata-rata (mm)

P (g)

sudut puncak (136°)



2.13 Uji Mikro Struktur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari bentuk struktur mikro dari logam, termasuk didalamnya besar butiran dan arah struktur. Struktur mikro sangat menentukan sifat mekanis logam yang diuji (Saputra dan Tyastomo, 2016).

Pengujian mikro bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro sebuah material. Melalui proses ini kita dapat mengetahui struktur dari suatu bahan dengan memperjelas batas-batas butir bahan sehingga dapat langsung dilihat dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya. Pengujian mikrografi dimaksudkan untuk melihat perubahan struktur pada bahan (Murtiono, 2012).

Selain itu, dengan menggunakan *3D Confocal Laser Scanning Microscope* kita dapat mengukur kedalaman difusi karbon pada permukaan baja.



Gambar 13. *3D Confocal Laser Scanning Microscope*

