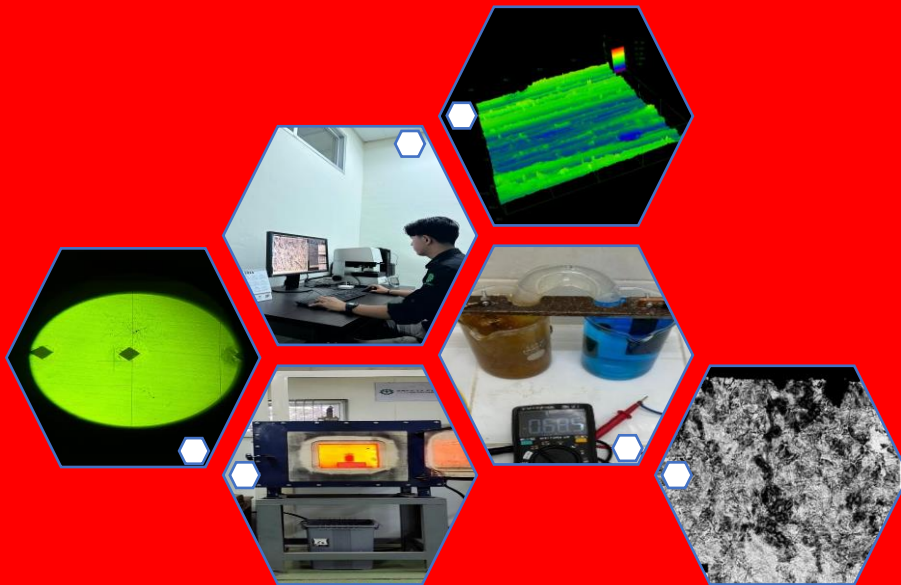


**ANALISA *PACK CARBURIZING* TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA
ASTM A36 SETELAH PERLAKUAN *GALVANIC***



**AHMAD MUDZAKKIR
D021191005**



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

**ANALISA *PACK CARBURIZING* TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA
ASTM A36 SETELAH PERLAKUAN *GALVANIC***

**AHMAD MUDZAKKIR
D021191005**



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

**ANALISA *PACK CARBURIZING* TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA
ASTM A36 SETELAH PERLAKUAN *GALVANIC***

AHMAD MUDZAKKIR
D021 19 1005

Skripsi

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana S1 pada 19 November
2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan pada

Program Studi Sarjana Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan,

Pembimbing Tugas Akhir Utama,



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

Pembimbing Tugas Akhir Kedua,



Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T.
NIP. 19570914 198703 1 001

Mengetahui

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul "*Analisa Pack Carburizing* Temperatur Rendah Pada Baja ASTM A36 Setelah Perlakuan *Galvanic*" adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko. Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

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

Gowa, 25 November 2024



AHMAD MUDZAKKIR

AHMAD MUDZAKKIR
D021191005

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 Hasan Basri dan ibu Sunarti dan juga kepada saudara saya yang baik telah membantu, motivasi dan semangat untuk penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini
2. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT, Selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Bapak dan Ibu dosen serta Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Andi Thatia Rezky Pajallangi, saya ingin persembahkan terima kasih karena telah menjadi sumber kekuatan dan inspirasi selama proses ini. Terima kasih atas semua dukungan, kesabaran, pengertian, serta doa yang tak pernah putus. Kehadiranmu di setiap perjalanan ini memberikan semangat yang luar biasa dan membantu saya melewati setiap tantangan yang ada.
7. Semoga skripsi ini menjadi langkah awal dari banyak impian yang akan kita capai bersama.
8. Seluruh mahasiswa yang sedang mengambil TA di Lab Metalurgi Fisik yang selalu

mendukung dan memberikan motivasi.

9. 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

Gowa, 25 November 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'M' and 'A'.

Ahmad Mudzakkir

ABSTRAK

AHMAD MUDZAKKIR. **ANALISA PACK CARBURIZING TEMPERATUR RENDAH PADA BAJA ASTM A36 SETELAH PERLAKUAN GALVANIC** (dibimbing oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT, dan Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T).

Latar belakang. *Pack Carburizing* baja ASTM A36 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 ASTM A36. **Metode.** Tahapan penelitian dimulai dari: 1) *proses galvanic treatment* pada spesimen baja ASTM A36 selama 3 hari; 2) *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 baja ASTM A36 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: Baja ASTM A36, *Galvanic Treatment*, *Vacancy*, *Pack Carburizing* Temperatur Rendah 500°C, dan 750°C, Kekerasan, Difusi Karbon

ABSTRACT

AHMAD MUDZAKKIR. **ANALYSIS OF LOW TEMPERATURE PACK CARBURIZING ON ASTM A36 STEEL AFTER GALVANIC TREATMENT** (supervised by Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT, and Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng, M.T).

Background. Pack Carburizing of ASTM A36 steel at low temperature of 500°C and 750°C, but before that galvanic treatment was carried out to create vacancies on the surface of the specimen. **Purpose.** 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 ASTM A36 steel. **Method.** The stages of the study began with: 1) galvanic treatment process on ASTM A36 steel specimens for 3 days; 2) pack carburizing at low temperatures of 500°C and 750°C and high temperatures of 900°C with a holding time of up to 6 hours then cooled with air cooling media; and 4) Hardness test, metallography and EDS mapping and EDS spot analysis. **Results.** ASTM A36 steel specimens after undergoing galvanic treatment for 3 days experienced a decrease in hardness value of up to 7% at the surface point, and a decrease in Fe elements of 3.57% when compared to iron elements 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 experienced an increase in 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 of 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 fulfilled.

Keywords: ASTM A36 Steel, Galvanic Treatment, Vacancy, Low Temperature Pack Carburizing 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 TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Manfaat penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Baja karbon.....	4
2.1.1 Baja karbon rendah	4
2.1.2 Baja Karbon Sedang	4
2.1.3 Baja Karbon Tinggi	5
2.2 <i>Carburizing</i>	5
2.4.1 <i>Pack carburizing</i>	6
2.4.2 <i>Liquid Carburizing</i>	6
2.4.3 <i>Gas Carburizing</i>	6
2.3 <i>Pack carburizing</i>	6
2.4 <i>Difusi</i>	8
2.5 <i>Galvanic Cell</i>	11

2.6 <i>Hardness Test</i>	13
2.7 Pengujian Mikrostruktur	15
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	16
3.2 Variabel Penelitian	16
3.2.1 Variabel Independen	16
3.2.2 Variabel Dependen	16
3.3 Alat dan Bahan	17
3.3.1 Alat	17
3.3.2 Bahan	21
3.4 Prosedur Penelitian	23
3.5 Diagram Alir Penelitian	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Hasil	26
4.1.1 Karakterisasi baja ASTM A36.....	26
4.1.2 <i>Pack carburizing</i> tanpa perlakuan <i>galvanic</i> pada spesimen baja ASTM A36.....	31
4.1.3 <i>Pack carburizing</i> dengan perlakuan <i>galvanic</i> pada spesimen baja ASTM A36 47	47
4.2 Pembahasan.....	64
4.2.1 Pembahasan hasil pengujian kekerasan	64
4.2.2 Pembahasan Hasil Pengamatan Metalografi.....	68
4.2.3 Pembahasan pengujian komposisi	77
4.2.3.1 <i>Mapping</i> dan <i>point analysis</i> spesimen galvanic treatment ASTM A36.....	77
4.2.3.2 Pembahasan pengujian EDS <i>mapping</i> dan <i>line analysis</i> spesimen <i>galvanic carburizing treatment</i>	81
BAB 5 PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. <i>Tabulation of diffusion data</i>	11
2. Jadwal Penelitian	16
3. Jumlah spesimen yang mengalami perlakuan <i>Galvanic</i> dan <i>Pack carburizing</i> ..	17
4. <i>Chemical composition</i> spesimen ASTM A36 (wt%)	18
5. <i>Chemical composition at ASTM A36 using mapping and spot analysis</i>	31
6. <i>Chemical Composition at Surface point Speciment Car ASTM A36 on 500°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	44
7. <i>Chemical Composition at Surface point Speciment Car ASTM A36 on 750°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	45
8. <i>Chemical Composition at Surface point Speciment Car ASTM A36 on 900°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	46
9. <i>Chemical Composition at Surface point Speciment Galvanic Carburizing on 500°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	60
10. <i>Chemical Composition at Surface point Speciment Galvanic Carburizing on 750°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	62
11. <i>Chemical Composition at Surface point Speciment Galvanic Carburizing on 900°C with 6 Hours Holding time Using Line Analysis</i>	63
12. <i>Chemical Composition at Speciment Galvanic Treatment ASTM A36 Using EDS Mapping Analysis</i>	79
13. Chemical composition Spesimen ASTM A36 using Optical Emission Spectroscopy (OES)	79
14. <i>Chemical Composition at Speciment Galvanic Treatment ASTM A36 Using EDS Mapping Analysis</i>	80
15. Chemical composition Spesimen ASTM A36 using Optical Emission Spectroscopy (OES)	81

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Mekanisme <i>pack carburizing</i>	7
2. <i>Difusi vacancy</i>	8
3. Difusi interstisi	9
4. <i>Fick's first law</i>	9
5. <i>Fick's second law</i>	10
6. Proses <i>galvanic cell</i>	12
7. Deret <i>galvanic</i>	13
8. Pengujian <i>vickers</i>	15
9. <i>Voltmeter</i>	17
10. Pipa u	18
11. <i>Beaker glass</i>	18
12. Kabel jumper	19
13. Ayakan	19
14. <i>Muffle furnace</i>	20
15. <i>Vicker's hardness test</i>	20
16. 3d confocal laser scanning microscope	20
17. <i>Mild steel</i>	21
18. Tembaga (cu)	21
19. Serbuk arang tempurung kelapa	21
20. Larutan elektrolit FeSO_4 dan CuSO_4	22
21. <i>Alcohol</i>	22
22. Kalium chloride	22
23. Aquades <i>water one</i>	23
24. Titik pengujian kekerasan pada spesimen astm a36	27
25. Nilai kekerasan baja ASTM A36	27
26. Struktur mikro spesimen ASTM A36. fasa <i>ferrite</i> dan ditunjukkan sebagai simbol F dan P. (A) pembesaran 1000× (B) pembesaran 500×	28
27. Permukaan spesimen ASTM A36 pada pembesaran 200×. (A) Sebelum <i>galvanic treatment</i> (B) Setelah <i>galvanic treatment</i>	28
28. Nilai kekasaran spesimen ASTM A36 pada pembesaran 200×. (A) Sebelum <i>galvanic treatment</i> (B) Setelah <i>galvanic treatment</i>	29

29. Mapping analysis pada baja ASTM A36 setelah <i>galvanic treatment</i>	30
30. Titik pengujian EDS pada baja ASTM A36 setelah <i>galvanic treatment</i>	30
31. Nilai kekerasan spesimen <i>pack carburizing</i> (car) pada temperatur 500°C, 750°C, dan 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam dan 4 jam	32
32. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	32
33. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	33
34. Struktur mikro di <i>mid point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	33
35. Struktur mikro di <i>mid point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	34
36. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	34
37. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	35
38. Persentase fasa ferrite dan pearlite spesimen car ASTM A36 pada temperatur 500°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	35
39. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	36
40. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	36
41. Struktur mikro di <i>mid point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	37
42. Struktur mikro di <i>mid point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	37
43. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	38
44. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	38
45. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	39
46. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .	39

47. Struktur mikro di <i>mid point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .40	
48. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .40	
49. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× .41	
50. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×. 41	
51. Persentase fasa ferrite dan pearlite spesimen car ASTM A36 pada temperatur 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....42	
52. EDS <i>mapping</i> di <i>surface point</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 500°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....43	
53. EDS <i>line analysis</i> di <i>surface point</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 500°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....43	
54. EDS <i>mapping</i> di <i>surface point</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 750°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....44	
55. EDS <i>line analysis</i> di <i>surface point</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 750°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....45	
56. EDS <i>mapping</i> di <i>surface point</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....46	
57. EDS <i>line analysis</i> di <i>surface point</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....46	
58. Persentase karbon dalam pengujian <i>line analysis</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 500°C dan 750°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....47	
59. Nilai kekerasan spesimen <i>pack carburizing</i> dengan perlakuan <i>galvanic</i> pada temperatur 500°C dengan <i>holding time</i> 6 jam dan 4 jam48	
60. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×49	
61. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×49	

62. Struktur mikro di *mid point* pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan *holding time* 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 50
63. Struktur mikro di *mid point* pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 50
64. Struktur mikro di *core point* pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan *holding time* 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 51
65. Struktur mikro di *core point* pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 500°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 51
66. Persentase fasa ferrite dan pearlite spesimen galv-car ASTM A36 pada temperatur 500°C dengan *holding time* 6 jam 52
67. Struktur mikro di *surface point* pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 53
68. Struktur mikro di *surface point* pada spesimen galv-car+BaCO₃ ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 53
69. Struktur mikro di *mid point* pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 54
70. Struktur mikro di *mid point* pada spesimen galv-car+BaCO₃ ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 54
71. Struktur mikro di *core point* pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 55
72. Struktur mikro di *core point* pada spesimen galv-car+BaCO₃ ASTM A36 dengan temperatur 750°C dan *holding time* 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000× 55

73. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×	56
74. Struktur mikro di <i>surface point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×	56
75. Struktur mikro di <i>mid point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×	57
76. Struktur mikro di <i>mid point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×	57
77. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 4 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×	58
78. Struktur mikro di <i>core point</i> pada spesimen galv-car ASTM A36 dengan temperatur 900°C dan <i>holding time</i> 6 jam. (A) pembesaran 500× (B) pembesaran 1000×	58
79. Persentase karbon dalam pengujian <i>line analysis</i> spesimen car ASTM A36 pada temperatur 500°C dan 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam	59
80. EDS <i>mapping</i> di <i>surface point</i> spesimen galv-car ASTM A36 pada temperatur 500°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	60
81. EDS <i>line analysis</i> spesimen galv-car ASTM A36 pada temperatur 500°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	61
82. EDS <i>mapping</i> di <i>surface point</i> spesimen galv-car ASTM A36 pada temperatur 750°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	61
83. EDS <i>line analysis</i> spesimen galv-car ASTM A36 pada temperatur 750°C dengan <i>holding time</i> 6 jam	62
84. EDS <i>mapping</i> di <i>surface point</i> spesimen galv-car ASTM A36 pada temperatur 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	63
85. EDS <i>Line analysis</i> spesimen Galv-car ASTM A36 pada temperatur 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	63
86. Persentase karbon dalam pengujian <i>line analysis</i> spesimen galv-car ASTM A36 pada temperatur 500°C, 750°C, dan 900°C dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	64

87. Perbandingan hasil uji kekerasan baja ASTM A36 pada temperatur 500°C dengan <i>holding time</i> 4 jam dan 6 jam	65
88. Perbandingan hasil uji kekerasan baja ASTM A36 pada temperatur 750°C dengan <i>holding time</i> 4 jam dan 6 jam	66
89. Perbandingan hasil uji kekerasan baja ASTM A36 pada temperatur 900°C dengan <i>holding time</i> 4 jam dan 6 jam	67
90. Pengukuran kedalaman difusi pembesaran 200× (A) Car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam.....	68
91. Struktur mikro <i>surface point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 500°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	69
92. Struktur mikro <i>mid point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 500°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	69
93. Struktur mikro <i>core point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 500°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	69
94. Struktur mikro <i>surface point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 750°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	70
95. Struktur mikro <i>mid point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 750°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	71
96. Struktur mikro <i>core point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 750°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	71
97. Struktur mikro <i>surface point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	72
98. Struktur mikro <i>mid point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	72

99. Struktur mikro <i>core point</i> pembesaran 500×. Fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i> ditunjukkan sebagai simbol F dan P (A) Car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam (B) Galv-car ASTM A36 900°C <i>holding time</i> 6 jam	73
100. Diagram persentase fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i>	74
101. Diagram persentase fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i>	75
102. Diagram persentase fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i>	76
103. Diagram persentase fasa <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i>	77
104. EDS <i>mapping</i> di <i>surface point</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> ASTM A36	78
105. EDS <i>mapping</i> di <i>core point</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> ASTM A36 ...	78
106. Spektrum persentase elemen unsur pada spesimen <i>galvanic treatment</i> ASTM A36	79
107. Titik pengujian EDS <i>Spot Analysis</i> spesimen <i>galvanic treatment</i> ASTM A36	80
108. Spektrum persentase elemen unsur EDS <i>spot analysis</i> pada spesimen <i>galvanic treatment</i> ASTM A36	80
109. EDS <i>mapping</i> karbon di <i>surface point</i> spesimen car ASTM A36 dengan <i>holding time</i> 6 jam. (A) Temperatur 500°C (B) Temperatur 750°C (C) Temperatur 900°C	81
110. EDS <i>mapping</i> karbon spesimen galv-car ASTM A36 dengan <i>holding time</i> 6 jam (A) Temperatur 500°C (B) Temperatur 750°C (C) Temperatur 900°C	82
111. EDS <i>mapping</i> karbon spesimen Car dan Galv-car ASTM A36 dengan <i>holding time</i> 6 jam.....	83
112. Persentase massa karbon pengujian EDS <i>line analysis</i> spesimen Car dan Galv-car ASTM A36 pada temperatur 500°C dan 750°C dengan <i>holding time</i> 6 jam	84

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Rincian pelaksanaan penelitian	Error! Bookmark not defined.
2. Alat dan Bahan.....	91
3. Proses <i>Galvanic Treatment</i>	Error! Bookmark not defined.
4. Proses <i>Pack carburizing</i>	96
5. Pengujian kekerasan	98
6. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan	99
7. Grafik Persentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i>	101
8. Pengujian Nilai Kekerasan.....	103
9. Pengujian EDS dan <i>Spot Analysis</i>	104
10. Pengujian EDS <i>mapping</i>	106
11. Hasil pengamatan metalografi & pengukuran kedalaman difusi	110

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Besi murni (*Ferrite*, BCC) tentulah tidak mengandung karbon (C). Besi ini relatif lunak dan liat serta mampu tempa, tetapi tidak kuat. Hampir semua besi murni mempunyai suatu kekuatan tarik batas sekitar 40.000 psi. Penambahan karbon (C) ke dalam besi murni dalam jumlah yang berkisar dari 0,05-1,7 %, menghasilkan apa yang dikenal sebagai baja (Yudha Kurniawan Afandi, 2015).

Baja merupakan logam yang banyak dipergunakan dalam bidang teknik. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon (C) dalam besi sebesar 0,2%-2,14%, dimana kandungan karbon (C) tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja (Majanasastra, 2013). Sifat baja karbon dipengaruhi oleh persentase karbon (C) dan struktur mikro, sedangkan struktur mikro pada baja dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Fungsi karbon (C) dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*Crystal Lattice*) atom besi (Rasyid, 2021).

Pada umumnya, untuk memperoleh kekerasan pada baja dapat dilakukan dengan proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) dan proses kimia (*Chemical Heat Treatment*). *Heat Treatment* adalah suatu proses pemanasan sampai temperatur tertentu dan selama waktu tertentu kemudian diikuti dengan pendinginan menurut laju pendinginan tertentu untuk mengubah sifat-sifat fisik dan mekanik logam (Ammar, 2012). Salah satu metode proses kimia yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kekerasan bahan adalah melalui proses *carburizing* (*Carburizing*). Proses *Carburizing* merupakan proses perlakuan panas pada permukaan benda kerja dengan memanfaatkan karbon (C) sebagai unsur penguat (Adi Dermawan, 2017).

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* (I Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, 2015)

Pack carburizing merupakan salah satu metode yang sering dilakukan untuk keperluan tersebut 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 kekerasan permukaan baja pun akan meningkat (Negara, 2015). Jika besi dipanaskan dalam lingkungan yang kaya akan karbon (C), maka pada permukaan material terbentuk lapisan yang kaya akan karbon (C). Setelah temperatur pemanasan tercapai dan ditahan pada temperatur tersebut dengan selang waktu tertentu, maka karbon (C) akan berdifusi sampai kedalaman tertentu (M, 2011).

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* dan melihat perbedaan kekerasan yang terjadi. Difusi karbon (C) dalam austenit dipengaruhi oleh konsentrasi karbon (C) dan temperatur karbon (C). Pada proses *pack carburizing* biasanya dilakukan pada temperatur 815-955 °C (1500-1750 °F), dimana baja berada dalam fase austenit. Tujuan dari temperatur austenit yaitu karena pada temperatur ini kelarutan karbonnya paling tinggi. Kelarutan karbon (C) berupa kelarutan intertisi. Kelarutan akan ditingkatkan dengan cara menambah *vacancy* yang dapat diisi oleh karbon (C). *Vacancy* ditimbulkan dengan cara *galvanic treatment* dengan melepaskan atom-atom logam dalam struktur logam, dimana *galvanic cell* atau sel volta ialah sel elektrokimia yang dapat menyebabkan terbentuknya energi listrik dari reaksi anoda dan katoda yang disebut juga reaksi redoks spontan atau 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).

Galvanic cell yaitu sel yang menghasilkan arus listrik, terdapat tiga komponen, 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 *galvanic cell* (Mertin, 2021), dan ada tegangan yang memiliki deret potensial yang berbeda dalam suatu larutan elektrolit (Ahmad Pauzi, 2019). Perbedaan potensial elektroda diantara logam yang membentuk *galvanic cell* merupakan penentu dari daya dorong terjadinya zona anoda dan katoda. *Galvanic treatment* dilakukan karena pada perlakuan ini dapat mengaktifkan difusi substitusi, difusi interstisi dan *cloud electron*. Dalam penentuan waktu ideal untuk proses *galvanic treatment* diantara variasi beberapa waktu perendaman, menurut penelitian (Annisa, 2023) 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.

Berdasarkan latar belakang di atas dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang salah satunya adalah mahasiswa S2 Universitas Hasanuddin di mana dia menggunakan temperatur 900°C, maka peneliti tertarik untuk meneliti lebih lanjut mengenai baja karbon rendah yang telah melalui perlakuan *galvanic* yang kemudian didifusikan dengan karbon (C) menggunakan metode *pack carburizing* dengan temperatur rendah untuk menganalisa karakteristik mekaniknya.

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur dan *holding time* pada proses *pack carburizing* terhadap nilai kekerasan?

2. Bagaimana distribusi kekerasan pada baja karbon rendah ASTM A36 setelah mengalami perlakuan galvanik dan proses *pack carburizing*?
3. Bagaimana mikrostruktur pada baja karbon rendah ASTM A36 setelah mengalami perlakuan galvanik dan proses *pack carburizing*?

1.3 Tujuan penelitian

1. Menganalisa pengaruh temperatur dan *holding time* pada proses *pack carburizing* terhadap nilai kekerasan.
2. Menganalisa distribusi kekerasan pada baja karbon rendah ASTM A36 setelah mengalami perlakuan *galvanic* dan proses *pack carburizing*.
3. Menganalisa mikrostruktur pada baja karbon rendah ASTM A36 setelah mengalami perlakuan *galvanic* dan proses *pack carburizing*.

1.4 Manfaat penelitian

Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai Analisa *Pack Carburizing* Temperatur Rendah Pada Baja ASTM A36 Setelah Perlakuan *Galvanic*.

1.5 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 ASTM A36 yang merupakan baja karbon rendah.
2. Media yang digunakan pada proses perlakuan *galvanic* adalah baja karbon rendah dan tembaga, yang akan di rendam di dalam 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 mekanik adalah uji kekerasan dan pengujian metalografi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja karbon

Baja karbon merupakan baja struktur yang sering digunakan untuk keperluan konstruksi maupun untuk pembuatan komponen-komponen mesin-mesin (Muslih, 2018). Baja adalah logam campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Jadi baja berbeda dengan besi (Fe), aluminium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu), dan titanium (Ti) yang merupakan logam murni. Dalam senyawa antara besi dan karbon (C) (unsur non-logam) tersebut besi menjadi unsur yang lebih dominan dibanding karbon (C). Kandungan karbon (C) berkisar antara 0.2-2.1% dari berat baja tergantung dari tingkatannya (Rizki Wahyudi, 2019).

Diantara berbagai jenis baja terdapat baja karbon, yaitu baja yang sifatnya ditentukan oleh kandungan karbonnya. Kandungan karbon (C) secara khusus memberikan pengaruh ekstrim terhadap sifat-sifat mekaniknya dan mikrostrukturnya, sehingga secara konvensional dapat diklasifikasikan menurut persentase kadar karbon (C) yang terkandung yaitu (Nasution, 2018) (Yudha Kurniawan Afandi, 2015):

2.1.1 Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) merupakan baja yang mengandung karbon antara 0,05-0,30 wt%C. Memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) 275 MPa (40.000 psi), kekuatan tarik (*tensile strength*) antara 415 dan 550 MPa (60.000 dan 80.000 psi), dan keuletan (*ductility*) dari 25% EL. Baja karbon rendah memiliki beberapa karakteristik diantaranya; tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk martensit, metode penguatnya dengan pengerjaan *cold working*, struktur mikronya terdiri dari ferrit dan perlit, relatif lunak dan lemah, ulet dan tangguh. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit. Baja karbon rendah dapat dibagi menjadi 4 (empat) bagian menurut penggunaannya, yaitu:

1. Baja karbon rendah yang mengandung 0,04%C digunakan untuk plat-plat strip
2. Baja karbon rendah yang mengandung 0,05%C digunakan untuk badan kendaraan
3. Baja karbon rendah yang mengandung 0,05%C digunakan untuk konstruksi jembatan dan bangunan
4. Baja karbon rendah yang mengandung 0,25% s/d 0,3%C digunakan untuk baut, paku keeling, dan lain-lain.

2.1.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang atau baja karbon medium memiliki konsentrasi karbon berkisar antara 0,30-0,60 wt%C. Baja karbon medium ini dapat dinaikkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas *austenitizing*, *quenching*, dan *tempering*. Jenis baja karbon medium ini banyak digunakan dalam kondisi hasil *tempering* sehingga struktur mikronya martensit dan lebih kuat dari baja karbon rendah. Memiliki tingkat kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon rendah. Mempunyai sifat yang

sulit dibengkokkan, di las, dan dipotong. Baja karbon menengah berdasarkan kandungan karbonnya dapat dibagi atas beberapa jenis, yaitu:

1. Baja karbon menengah yang mengandung 0,35% - 0,45%C digunakan untuk roda gigi dan poros
2. Baja karbon menengah yang mengandung 0,4%C digunakan untuk keperluan industri kendaraan seperti baut dan mur, poros engkol, dan batang torak
3. Baja karbon menengah yang mengandung 0,55-0,6%C digunakan untuk roda gigi
4. Baja karbon menengah yang mengandung 0,55-0,6%C digunakan untuk pegas-pegas

2.1.3 Baja Karbon Tinggi

Biasanya mengandung karbon sebesar 0,60-1,4 wt%C. Merupakan baja karbon yang paling sulit untuk dibentuk, ditempa, di las, dan dipotong tetapi memiliki tingkat keuletan paling tinggi. Memiliki sifat yang sangat keras dan tahan aus. Baja karbon tinggi ini biasa digunakan untuk mesin pemotong, pisau, pisau gergaji besi, per (*spring*), dan kawat baja berkekuatan tinggi. Baja karbon tinggi dibagi menurut kandungan karbon yang dikandungnya pada material adalah sebagai berikut:

1. Baja karbon tinggi yang mengandung 0,60-0,75%C digunakan untuk keperluan pembuatan pegas, alat perkakas mis. landasan mesin, martil dan alat potong
2. Baja karbon tinggi yang mengandung 0,75-1,7%C digunakan untuk pembuatan pisau cukur, mata gergaji dan bantalan mesin

2.2 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 dilakukan pada temperatur 815°C-955°C dengan media yang mempunyai potensi karbon yang tinggi, sehingga dapat terjadi difusi atom karbon (C) dari media masuk ke dalam lapisan permukaan baja. Dimana proses difusi ini dapat menghasilkan gradian karbon (C) dari permukaan hingga ke inti, yang dapat memungkinkan permukaan baja bisa dikeraskan melalui cara *quenching*. *Carburizing* dapat dilakukan dalam beberapa macam lingkungan diantaranya, *gas carburizing*, *liquid carburizing*, dan *pack carburizing*. Pada dasarnya proses *carburizing* yang tepat akan menambah 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:

2.4.1 *Pack carburizing*

Proses *pack carburizing* merupakan salah satu metode pengerasan permukaan pada logam yang diaplikasikan pada komponen yang membutuhkan sifat keras pada permukaan dan ulet pada inti seperti poros, *crankshaft* dan roda gigi. Metode karburasi padat (*pack carburizing*) saat ini adalah metode yang paling banyak digunakan pada proses pengerasan permukaan dikarenakan prosesnya yang sederhana dan juga biaya yang relatif murah (Negara, 2016).

2.4.2 *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)

2.4.3 *Gas Carburizing*

Gas carburizing merupakan proses *carburizing* dengan menggunakan hidrokarbon atau gas alam, dan gas karbit yang dijadikan sebagai media *carburizingnya*.

2.3 *Pack carburizing*

Pack carburizing atau *solid carburizing* menggunakan bahan *carburizing* padat sebagai sumber karbon (C) (Hassan, 2015). *Pack carburizing* merupakan salah satu metode yang sering dilakukan 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 kekerasan permukaan baja pun akan meningkat (I Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, 2015).

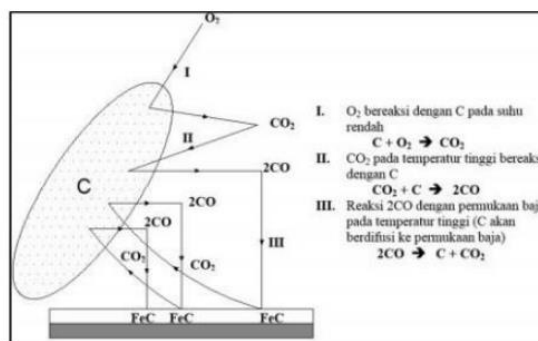
Pack carburizing merupakan metode *carburizing* yang paling mudah untuk dilakukan karena prosesnya dapat dilakukan menggunakan peralatan yang sederhana, dan sumber karbon (C) yang digunakan dapat berasal dari media padat diantaranya arang kayu, arang tempurung kelapa, arang sekam padi, dan lain-lainnya. Bahan-bahan tersebut sangat mudah didapatkan di sekitar kita. 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 prosesnya media *carburizing* menggunakan persentase bahan karbon aktif yang berupa bahan kimia yang berfungsi sebagai *energizer* yang akan menghasilkan kekerasan yang berbeda pada baja sesudah dan sebelum mengalami proses *pack carburizing* (Nurharyanto, 2019). Perlakuan panas adalah suatu perlakuan (*treatment*) yang diterapkan pada logam agar diperoleh sifat-sifat yang diinginkan. Dengan cara pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam dalam keadaan fase padat sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu dari logam. Salah satu cara adalah dengan menggunakan proses pengerasan atau *hardening*. Proses ini dilakukan pada temperatur tinggi yaitu pada

temperatur austenisasi yang digunakan untuk melarutkan sementit dalam austenit yang kemudian didinginkan dengan cepat (Gunawan, 2017)

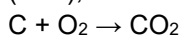
Pada proses *pack carburizing* biasanya dilakukan pada temperatur 815-955 °C (1500-1750 °F), dimana baja berada dalam fase austenit. Seiring dengan peningkatan temperatur, total kandungan karbon (C) akan meningkat karena kelarutan karbon (C) dalam austenit juga semakin meningkat. Biasanya distorsi juga 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).

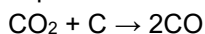


Gambar 1. Mekanisme *pack carburizing*

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



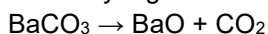
Pada permukaan spesimen CO_2 yang terbentuk kembali bereaksi dengan C, seperti reaksi berikut:



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

$$2CO \rightarrow C + CO_2$$

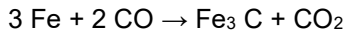
Atom-atom karbon (C) secara difusi interstisi masuk ke dalam baja, dimana kecepatan *carburizing* juga dapat ditingkatkan dengan menambahkan 10-20% $BaCO_3$ yang reaksi kimianya dapat dijelaskan:



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

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

Gas CO yang terbentuk kemudian larut ke dalam fase austenite dan bereaksi dengan Fe sebagai berikut:



Dengan adanya difusi atom-atom, maka akan mengikat nilai kekerasan pada permukaan spesimen.

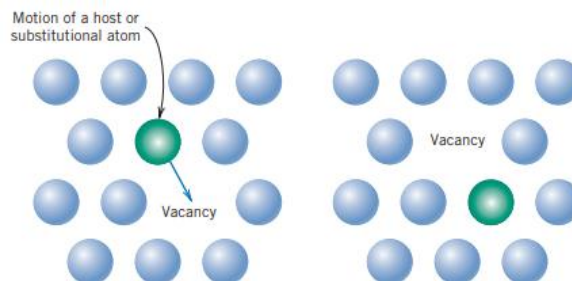
2.4 Difusi

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 (Dedek Noviyani, 2019).

Dari perspektif atom, difusi hanyalah migrasi bertahap atom dari satu kisi ke kisi lain. Faktanya, atom-atom dalam bahan padat terus bergerak dan berubah posisi dengan cepat. Agar sebuah atom dapat melakukan pergerakan seperti itu, dua syarat harus dipenuhi: (1) harus ada tempat kosong di dekatnya, dan (2) atom harus mempunyai energi yang cukup untuk memutuskan ikatan dengan atom-atom tetangganya dan kemudian menyebabkan distorsi kisi selama pergerakan tersebut. Energi ini bersifat vibrasi. Pada temperatur tertentu, sebagian kecil dari jumlah total atom mampu melakukan gerakan difusi, berdasarkan besarnya energi vibrasinya. Fraksi ini meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Pada umumnya difusi atom dibedakan atas 2 berdasarkan mekanisme difusinya ialah sebagai berikut: (William D. Callister, 2007)

1. Difusi Kekosongan (*Vacancy*)

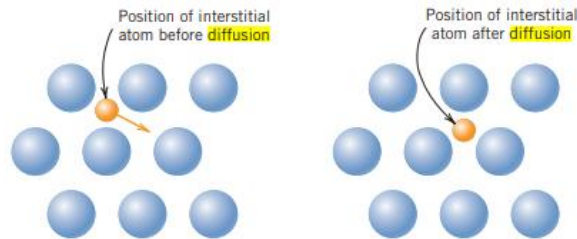
Difusi *vacancy* adalah mekanisme yang melibatkan perpindahan atom dari posisi normal ke kisi kosong yang berdekatan karena adanya kekosongan, pada proses ini mengharuskan adanya kekosongan dan sejauh mana difusi dapat terjadi konsentrasi yang signifikan karena berada dalam temperatur yang tinggi.



Gambar 2. Difusi *vacancy*

2. Difusi Interstisi (*Interstitial*)

Difusi jenis ini melibatkan perpindahan atom dari posisi interstisial ke posisi tetangga yang kosong atau adanya perpindahan atom akibat pergerakan dalam rongga atom. Mekanisme ini biasanya ditemukan pada interdifusi dari impurity seperti hidrogen (H), karbon (C), dan oksigen (O₂) yang memiliki atom cukup kecil untuk ke posisi interstisi. Atom-atom yang terinterstisi tersebut bergerak masuk ke dalam rongga atom yang terbentuk oleh atom besar seperti yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. Difusi interstisi

Fick's First Law menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan spesimen merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi (Intisari, 2016).

Fick's First Law:

$$(1) \quad J = -D \frac{dC}{dx}$$

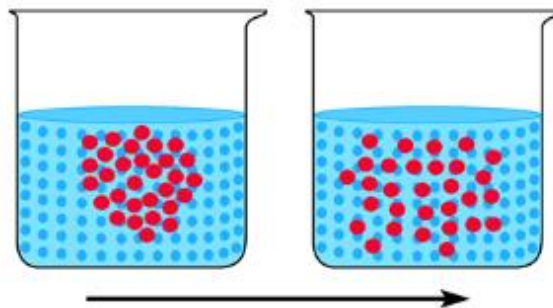
dimana:

D = Koefisien difusi (cm²/det)

C = Konsentrasi (g/cm³)

x = Jarak (cm)

Difusi partikel dari konsentrasi tinggi ke rendah



Gambar 4. Fick's first law

Tanda negatif yang terdapat pada persamaan diatas merupakan ekspresi yang menunjukkan bahwa difusi bergerak berlawanan dengan meningkatnya gradien konsentrasi. Dalam reaksi difusi, terdapat beberapa gaya yang dimungkinkan akan tetapi apabila difusi menurun maka persamaan diatas maka gradien konsentrasi merupakan kekuatan dorong (*driving force*).

Pada *Fick's Second Law*, difusi fluks dan gradien konsentrasi yang terdapat pada beberapa titik tertentu di dalam padatan bervariasi dengan waktu, dimana akumulasi atau dihasilkan penyebaran penipisan spesimen. Hukum Fick yang kedua ini merupakan suatu persamaan untuk transport massa sangat menekankan pada perubahan dalam konsentrasi terhadap waktu pada temperatur tertentu. Persamaan difusi ini dituliskan sebagai berikut:

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

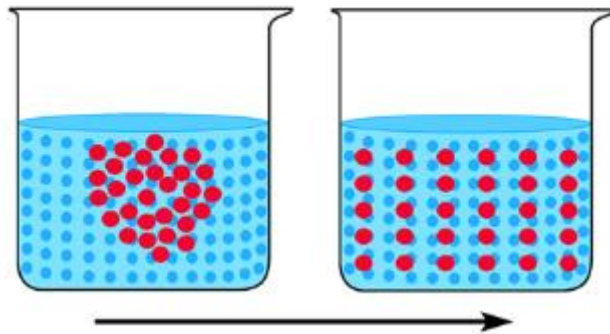
dimana:

D = Koefisien difusi (cm²/det)

C = Konsentrasi (g/cm³)

x = Jarak (cm)

t = Waktu



Konsentrasi menjadi beraturan seiring berjalannya waktu

Gambar 5. Fick's second law

Pada *Fick's Second Law*, menyatakan bahwa perubahan dari konsentrasi terhadap waktu yang ada pada daerah tertentu sebanding dengan perubahan gradien konsentrasi pada titik tersebut di dalam sistem. Konsentrasi C, dalam elemen volume tertentu hanya sebagai akibat dari aliran bersih molekul yang berdifusi ke dalam dan keluar dari suatu daerah.

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

1. Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap koefisien laju difusi karena temperatur aktivasi termal, laju difusi bertambah seiring dengan meningkatnya temperatur. Energi aktivasi dianggap sebagai energi yang sangat dibutuhkan untuk menghasilkan gerak difusi satu mol atom. Besarnya energi aktivasi menghasilkan koefisien difusi yang relatif kecil, dapat dilihat pada persamaan berikut:

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

Keterangan :

D₀ = Pra-eksponensial yang tidak tergantung pada suhu (m²/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 relatif kecil seperti yang dapat dilihat pada tabel 000 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^{-12}
					900	1.7×10^{-10}
C	γ -Fe	2.3×10^{-5}	148	1.53	900	5.9×10^{-12}
					1100	5.3×10^{-11}
Cu	Cu	7.8×10^{-5}	211	2.19	500	4.2×10^{-19}
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^{-5}	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^{-5}	256	2.65	500	1.3×10^{-22}

sumber: callister, (2000)

2. Komposisi

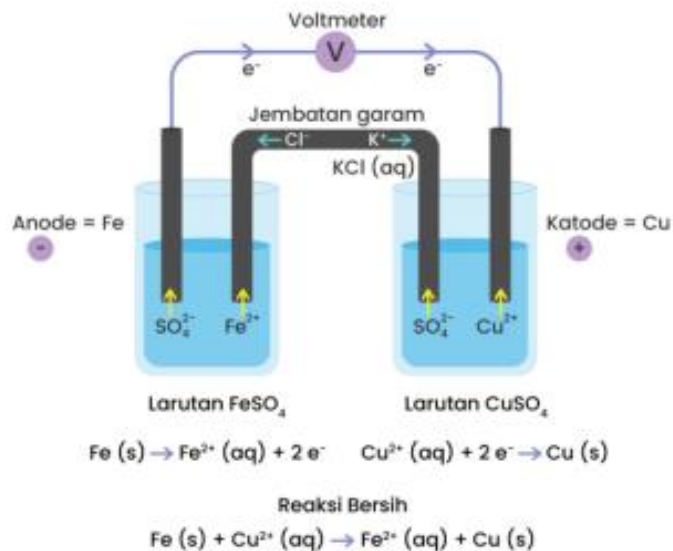
Difusi yang terjadi pada karbon aktif relatif lebih rendah pada baja perkakas apabila dibandingkan dengan baja yang lainnya dikarenakan mengandung banyak unsur yang membentuk karbida dan juga dapat mengurangi derajat dari difusi karbon. Dan harus juga diketahui bahwa dengan meningkatnya laju difusi dan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

2.5 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. Anoda sebagai elektroda bermuatan negatif dan elektroda yang bermuatan positif merupakan katoda.

Elektrolit digunakan dalam sistem *galvanic cell* untuk menghantarkan ion-ion dari anoda menuju katoda, reaksi yang terjadi bila keduanya dihubungkan menggunakan larutan garam akan mengakibatkan terjadi perindahan elektron dari elektroda satu ke yang lainnya melalui jembatan garam tersebut. Reaksi yang terjadi pada *galvanic cell* ini berlangsung spontan (Farandy, 2020). Syarat – syarat *galvanic cell* yaitu:

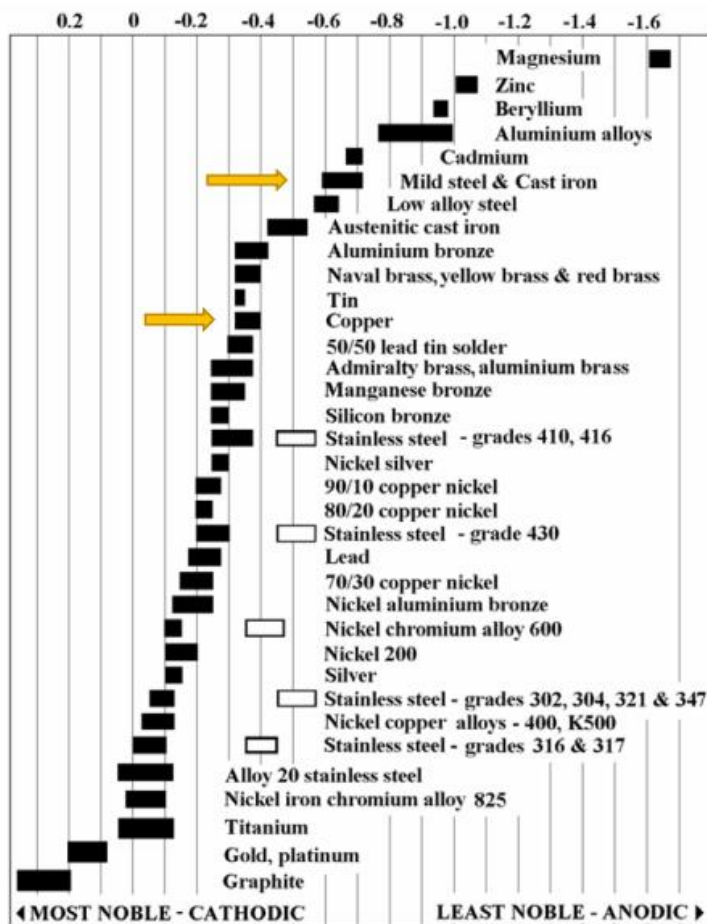
1. Reaksi redoks terjadi secara spontan
2. Hasil reaksi menghasilkan energi
3. $Go < 0$ dan Eo sel adalah positif



Gambar 6. 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 di dalam 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 ditunjukkan pada gambar 2, di mana deret ini merupakan daftar dari potensial dari berbagai logam paduan yang ada di dalam lingkungan yang spesifik.



Gambar 7. Deret galvanic

2.6 Hardness Test

Kekerasan adalah daya tahan suatu material untuk melawan benda lain yang ditusukkan kepadanya atau ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis dan ketahanan suatu material terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (Bagus Surono, 2011).

Uji kekerasan (*Hardness test*) adalah uji salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan dinilai dari ukuran sifat mekanis material yang diperoleh dari deformasi plastis (deformasi yang diberikan dan setelah dilepaskan, tidak kembali ke bentuk semula akibat indentasi oleh suatu benda sebagai alat uji) (Henry Carles, 2019). Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengevaluasi perlakuan panas, dan mendeteksi pengerasan atau pelunakan akibat *overheating*, dekarburisasi ataupun pengerasan permukaan (Intisari, 2016).

Kekerasan yang baik umumnya berarti bahwa bahan tersebut tahan terhadap goresan dan keausan untuk banyak aplikasi rekayasa, karakteristik penting dari

kekerasan yang baik pada sebagian besar perkakas yang digunakan dalam manufaktur adalah anti gores dan ketahanan terhadap aus. Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang banyak dipengaruhi oleh unsur-unsur paduannya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kekerasan diantaranya ialah sebagai berikut (Novi Tri Nugraheni, 2014):

1. Kadar karbon (C) dari suatu material, dimana semakin tinggi kadar karbon (C) di dalam logam maka akan semakin keras namun rapuh logam tersebut.
2. Unsur paduan.
3. Perlakuan panas (*Heat Treatment*), pengaruh perlakuan panas ini akan sangat mempengaruhi kekerasan logam berdasarkan pada perlakuan yang diberikan terhadap material. Proses *annealing* dapat menurunkan kekerasan baja, *hardening* akan meningkatkan kekerasan baja, perlakuan *tempering* akan menurunkan nilai kekerasan pada baja dibawah perlakuan *hardening* dan pada proses *normalizing* akan meningkatkan nilai kekerasan baja dibandingkan dengan keadaan awal pada paja tanpa perlakuan panas.
4. Bentuk dan dimensi butir.
5. Homogenitas, semakin *homogen* suatu material maka pergerakan kristalnya aka semakin searah sehingga material tersebut bersifat ulet, sedangkan apabila strukturnya *heterogen* maka material tersebut bersifat keras dan getas.

Untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material maka dapat digunakan mesin uji kekerasan yang dikenal juga sebagai *Harndess tester*. Terdapat tiga metode pengujian kekerasan yang kita kenal pada umumnya diantaranya yaitu: (Novi Tri Nugraheni, 2014)

1. Uji Kekerasan Brinell (*Brinell Hardness Test*)

Pengujian kekerasan dengan metode ini bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*indenter*) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (*spesiment*). Idealnya, pengujian ini diperuntukkan 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*)

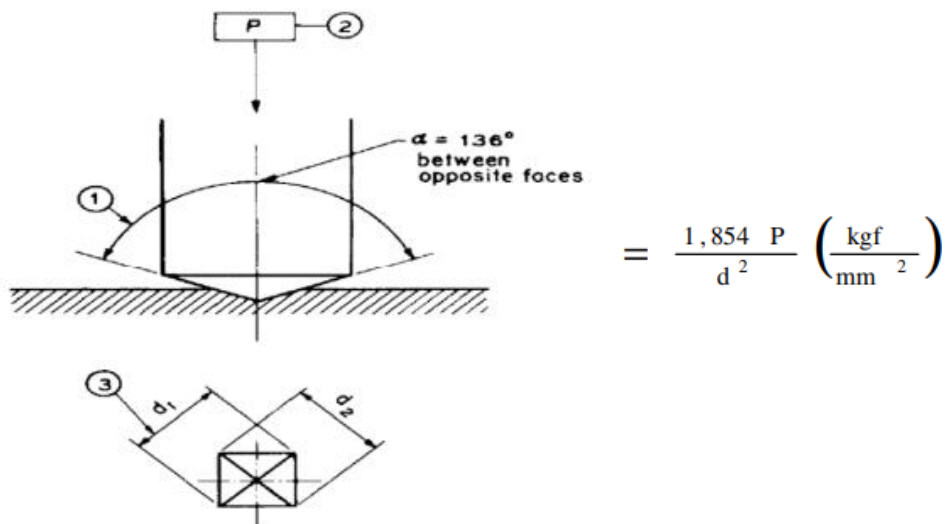
Rockwell merupakan metode yang paling umum digunakan karena simple dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi *indenter* dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras

3. Uji Kekerasan Vickers (*Vickers Hardness Test*)

Vickers adalah hampir sama dengan uji kekerasan *Brinell* saja dapat mengukur sekitar 400 VHN. Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 derajat yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.

Pada pengujian *Vickers*, pembebanan 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):



Gambar 8. Pengujian *Vickers*

2.7 Pengujian Mikrostruktur

Mikrostruktur adalah kumpulan fase-fase dan stuktur yang ada di logam yang sudah diamati dengan metode metalografi. Mikrostruktur melingkupi struktur kristal, parameter kisi, densitas kristal, dan berbagai fase yang terbentuk. Mikrostruktur ini dipengaruhi juga oleh metode sintesis, bahan baku, temperatur sintesis, konsentrasi prekursor dan presipitan serta *treatment* panas seperti *annealing* dan kalsinasi (Pinaka Elda Swastika, 2021). Uji mikrostruktur adalah uji yang dilakukan untuk mengetahui kenampakan permukaan produk dengan perbesaran mikroskopik (Herbudhi Cahyo Nugroho, 2019).