

**STUDI PENGARUH PERLAKUAN GALVANIC PADA PROSES
CARBURIZING TERHADAP KARAKTERISTIK BAJA
KARBON RENDAH**

*Study of the Effect of Galvanic Treatment on Carburizing Process
on Characteristics Low Carbon Steel*

**CITRA WAHYU ANNISA. R
D022211004**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



PENGAJUAN TESIS

**STUDI PENGARUH PERLAKUAN *GALVANIC* PADA PROSES
CARBURIZING TERHADAP KARAKTERISTIK BAJA
KARBON RENDAH**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

CITRA WAHYU ANNISA R.
D022211004

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH PERLAKUAN GALVANIC PADA PROSES CARBURIZING TERHADAP KARAKTERISTIK BAJA KARBON RENDAH

Disusun dan diajukan oleh

CITRA WAHYU ANNISA. R

D022211004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

pada tanggal 19 September 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



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

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Ir. Muhammad Isran Ramli,
„IPM„,ASEAN. Eng
9730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT
NIP. 19791112 200812 2 002



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Citra Wahyu Annisa. R

Nomor Mahasiswa : D022211004

Program Studi : S2 Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Studi Pengaruh Perlakuan *Galvanic* Pada Proses *Carburizing* Terhadap Karakteristik Baja Karbon Rendah” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Ir. Ilyas Renreng, MT selaku Pembimbing Utama dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. 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 tesis ini. Sebagian dari isi tesis initelah dipublikasi di Jurnal/Prosiding (International Journal of Engineering (EPIJE)) sebagai artikel dengan judul “*Study Experimental of Normalizing Treatment and Galvanic Pack Carburizing Process on Mechanical Properties of Low Carbon Steel*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 30 Agustus 2023



Citra Wahyu Annisa. R



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil'Alamin, puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis tesis ini dapat diselesaikan.

Gagasan utama Studi Pengaruh Perlakuan *Galvanic* pada Proses *Carburizing* Terhadap Karakteristik Baja Karbon Rendah yang diharapkan selanjutnya proses dari penelitian ini dapat diterapkan di sektor industri manufaktur untuk pemanfaatan baja karbon rendah.

Bukan hal yang mudah untuk penulis mewujutkan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan tesis, berkat bimbingan, arahan dan motivasi dari berbagai pihak maka tesis ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan, dan untuk itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Ilyas Renreng, MT sebagai pembimbing I
2. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT sebagai pembimbing II
3. Rektor universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Tekni Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya dalam menempuh program magister, serta para dosen, staf administrasi dalam penelitian.
4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT yang telah mengizinkan untuk melaksanakan dan menggunakan fasilitas dan peralatan di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga saya sampaikan kepada bapak Edi Iskandar, ST sebagai laboran yang telah banyak membantu dalam preparasi specimen selama proses penelitian.

Akhirnya, kepada kedua orang tua tercinta saya mengucapkan terima kasih atas segala doa, pengorbanan dan motivasi yang telah diberikan selama saya menempuh pendidikan magister. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada Keluarga besar J4/4 (Tante, Om, dan Saudara-saudara saya terkasih) atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai. Rekan- rekan mahasiswa Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, baik senior dan junior yang telah mensupport dalam penyelesaian penelitian ini.



Penulis
Citra Wahyu Annisa. R

ABSTRAK

CITRA WAHYU ANNISA.R. *Studi Pengaruh Perlakuan Galvanic Pada Proses Carburizing Terhadap Karakteristik Baja Karbon Rendah* (dibimbing oleh **Ilyas Renreng** dan **Lukmanul Hakim Arma**).

Penelitian ini adalah studi eksperimental yang dilakukan untuk menganalisa karakteristik baja karbon rendah ASTM-A36 terhadap pengaruh perlakuan *galvanic* dengan variasi perendaman 1 hari, 3 hari, 5 hari, dan 7 hari. Kemudian dilakukan proses *pack carburizing* pada temperatur 900°C dengan *holding time* 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui mempengaruhi sifat mekanik, struktur mikro dan *chemical composition* dari baja A36. Hasil pengujian kekerasan pada permukaan raw material baja A36 sebesar 173.9 HV, dan terjadi penurunan nilai kekerasan, setelah *galvanic treatment* 7 hari sebesar 141.9 HV, disebabkan reaksi oksidasi atom Fe yang membentuk *vacancy* dan membuat permukaan *specimen* menjadi lebih lunak. Ditetapkan bahwa waktu ideal untuk *galvanic treatment* yaitu 3 hari. Hasil pengujian kekerasan pada *specimen galvanic treatment* yang di *carburizing* menunjukkan peningkatan nilai kekerasan pada *surface point* dengan *galvanic* 3 hari dan *carburizing time* 4 jam sebesar 255.5 HV, karena proses difusi karbon yang terjadi pada permukaan *specimen*. Hasil pengujian *structure micro* baja A36 dan setelah *galvanic treatment* menunjukkan komposisi fasa *ferrite* dan *pearlite* yang tidak jauh berbeda, sedangkan pada *specimen pack carburizing galvanic treatment* terbentuk struktur *pearlite* yang lebih padat sehingga terbentuk struktur Fe₃C yang dapat mendukung meningkatnya sifat mekanik dari baja A36. Hasil pengujian EDS menunjukkan peningkatan persentase massa unsur C (karbon) pada permukaan sebesar 2.12% dan sebarannya dapat ditunjukkan dari hasil pengujian *mapping* yang menunjukkan sebaran konsentrasi atom C (karbon) terlihat dengan penyebaran yang luas dan lebih padat dibandingkan dengan konsentrasi atom Fe yang lebih sedikit pada permukaan sehingga baja ASTM-A36 merupakan baja *hyper-eutectoid*.

Kata kunci: Baja Karbon Rendah A36, *Galvanic Treatment*, *Pack Carburizing*, *Hardness*



ABSTRACT

CITRA WAHYU ANNISA.R. *Study of the Effect of Galvanic Treatment on the Carburizing Process on the Characteristics of Low Carbon Steel* (supervised by **Ilyas Renreng** and **Lukmanul Hakim Arma**).

This research is an experimental study conducted to analyze the characteristics of ASTM-A36 low-carbon steel on the effect of galvanic treatment with variations of 1 day, 3 days, 5 days, and 7 days of immersion. Then the pack carburizing process was carried out at a temperatur of 900°C with a holding time of 1 hour, 2 hours, 3 hours, and 4 hours. This study aimed to determine the effect on the mechanical properties, microstructure, and chemical composition of A36 steel. The results of the hardness test on the surface of the A36 steel raw material were 173.9 HV, and there was a decrease in the hardness value, after 7 days of galvanic treatment of 141.9 HV, due to the oxidation reaction of the Fe atom, which formed vacancy and made the specimen surface softer. It was determined that the ideal time for galvanic treatment was 3 days. The results of the hardness test on the carburized galvanic treatment specimens showed an increase in the hardness value at the surface point with 3 days galvanic and 4 hours carburizing time of 255.5 HV due to the carbon diffusion process that occurs on the specimen surface. The results of testing the microstructure of A36 steel and after galvanic treatment showed that the composition of the ferrite and pearlite phases was similar. In contrast, in the carburizing galvanic treatment specimen pack, a denser pearlite structure was formed, resulting in a Fe₃C structure that could support the increased mechanical properties of A36 steel. The results of the EDS test showed an increase in the mass percentage of element C (carbon) on the surface by 2.12%. Its distribution can be shown from the mapping test results, which shows the distribution of the concentrations of C atoms (carbon) seen with a broader distribution and denser than the concentration of Fe atoms which is less on the surface. Hence, ASTM-A36 steel is a hyper-eutectoid steel.

Keywords: Low Carbon Steel A36, Galvanic Treatment, Pack Carburizing, Hardness



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	7
2.2 Karakteristik Baja Karbon	12
2.3 Pasangan <i>Galvanic</i>	14
2.4 Carburizing	16
2.5 Pack carburizing	17
2.6 Difusi	19
2.7 Karbon Aktif	24
2.8 Larutan Elektrolit.....	25
2.9 Kekerasan.....	26
Pengujian Metalografi.....	27
.....	29
E PENELITIAN	29



3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.2	Alat dan Bahan.....	29
3.3	Prosedur Penelitian.....	36
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	38
BAB IV		39
HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	HASIL	39
4.1.1	Karakterisasi Baja A36	39
4.1.2	<i>Galvanic Treatment</i> (Gal) Baja A36.....	41
4.1.3	<i>Pack Carburizing Treatment</i> Baja A36 (Car).....	43
4.1.4	<i>Pack Carburizing</i> dengan <i>Galvanic Treatment</i> (Car-Gal).....	45
4.2	PEMBAHASAN	48
4.2.1	Pembahasan hasil pengujian kekerasan.....	48
4.2.2	Pembahasan Struktur mikro	53
4.2.3	Pembahasan Pengujian Komposisi.....	55
BAB V.....		62
PENUTUP.....		62
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....		64
LAMPIRAN.....		68



DAFTAR TABEL

Table 1 Chemical Composition Mild Steel	13
Table 2 Mechanical Properties Mild Steel	14
Table 3 A Tabulation of diffusion data	23
Table 4 Kandungan Karbon Arang Tempurung Kelapa	24
Table 5 Persyaratan Karbon Aktif.....	25
Table 6 Variable penelitian terhadap ASTM-A36	36
Table 7 Chemical Composition A36	39
Table 8 Chemical composition specimen Gal-Car.....	46
Table 9 Chemical composition.....	56
Table 10 Hasil pengujian EDS pada specimen pack caburizing dengan galvanic treatment 3 Hari 2 jam.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pengujian sel galvanic	15
Gambar 2 Deret Galvanic	16
Gambar 3 Mekanisme proses pack carburizing.....	18
Gambar 4 Difusi vacancy	20
Gambar 5 Difusi Interstial	20
Gambar 6 Teknik pengujian kekerasan	27
Gambar 7 Zoyi ZT102A Voltmeter.....	29
Gambar 8 Pipa U dan Wooden tube stopper	30
Gambar 9 Beaker Glass	30
Gambar 10 Kabel.....	31
Gambar 11 Carburizing Tube	31
Gambar 12 Muffle Furnace	32
Gambar 13 Alat Uji Kekerasan	32
Gambar 14 JEOL JCM 6000 Plus	33
Gambar 15 Baja karbon rendah A36	33
Gambar 16 Tembaga (Cu)	34
Gambar 17 Alcohol 95%	34
Gambar 18 Larutan Elektrolit FeSO_4 dan CuSO_4	34
Gambar 19 Sebuk Arang Tempurung Kelapa	35
Gambar 20 Kalium chloride (KCl).....	35
Gambar 21 Aquades water one.....	35
Gambar 22 Diagram Alir.....	38
Gambar 23 Titik pengujian kekerasan.....	40
Gambar 24 Nilai kekerasan baja A36.....	40
Gambar 25 Struktur Mikro Baja A36.....	41
Gambar 26 Hasil EDS specimen galvanic treatment.....	42
Gambar 27 Nilai Kekerasan Galvanic Treatment (Gal)	42
Gambar 28 Struktur Mikro Galvanic Treatment	43
Gambar 29 Nilai kekerasan carburizing treatment (Car).....	44
Gambar 30 Struktur mikro specimen carburizing Treatment.....	44
Gambar 31 Kekerasan specimen galvanic 3 hari carburizing time 1 - 4 jam.....	45
Gambar 32 Sturktur mikro pack carburizing dengan galvanic treatment.....	46
Gambar 33 Mapping specimen pack carburizing galvanic treatment	47
Gambar 34 Perbandingan kekerasan baja A36 dan Galvanic treatment	48
Gambar 35 Pengaruh galvanic treatment terhadap kekerasan carburizing time 1 jam.....	49
Gambar 36 Pengaruh galvanic treatment terhadap kekerasan carburizing time 3	50
Gambar 37 Perubahan warna larutan dan salt bridge	51
Gambar 38 Distribusi nilai kekerasan specimen Gal- Car	51
Gambar 39 Stuktur mikro (a) Baja A36, (b) Galvanic 7 hari	53



Gambar 40 Struktur mikro (a) pack carburizing (car), (b) pack carburizing galvanic treatment (gal-car)	54
Gambar 41 Titik pengujian EDS pack carburizing dengan perlakuan galvanic..	56
Gambar 42 Persentase elemen unsur pada (a) surface point, (b) core point	59
Gambar 43 Mapping specimen pack carburizing galvanic treatment	60



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Jadwal penelitian.....	68
Lampiran 2. Alat dan Bahan	69
Lampiran 3. Galvanic treatment proses.....	72
Lampiran 4. Pack carburizing proses	74
Lampiran 5. Pengujian kekerasan	75
Lampiran 6. Grafik hasil pengujian kekerasan.....	76
Lampiran 7. Hasil pengujian metalografi.....	81
Lampiran 8. Hasil pengujian EDS.....	87



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja adalah sebuah senyawa antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana sering juga ditambahkan unsur lain untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang dikehendaki. Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang industri permesinan dan konstruksi. Unsur karbon merupakan unsur yang paling dominan, presentase unsur karbon akan sangat berdampak pada sifat mekanik baja seperti dalam nilai kekerasan, keuletan dan sifat mekanik lainnya.

Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penambahan kandungan unsur kimia lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn) dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14%, dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur pengeras dalam struktur baja (Majanasastra, 2013). Sifat baja karbon dipengaruhi oleh persentase karbon dan struktur mikro, sedangkan struktur mikro pada baja dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi (Rasyid et al., 2021). Karbon dengan campuran unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, ketahanan pada goresan dan ketahanan pada temperatur. Ada beberapa metode perlakuan panas yang dapat dilakukan pada logam atau baja karbon rendah diantaranya, *normalizing*, *annealing*, *hardening*, dan *tempering*, pada penelitian ini dilakukan perlakuan panas dengan penambahan karbon yang disebut juga dengan *pack carburizing* atau lebih dikenal dengan proses karburasi.

Karburasi atau *carburizing* merupakan salah satu proses perlakuan panas, yang biasanya diterapkan pada jenis baja yang mudah dikeraskan, proses karburasi nya dilakukan pada baja karbon rendah untuk meningkatkan sifat ya. Ini disebabkan karena proses carburizing yang dapat dijadikan sebagai untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis dari logam atau baja karbon



rendah dan dapat dimanfaatkan sebagai komponen permesinan, alat bantu potong dan material konstruksi. Proses perlakuan panas yang dilakukan pada baja akan mengakibatkan transformasi austenite yang nantinya dapat menentukan sifat mekanik dan fisik baja (Illiynal Muttaqin et al., 2019).

Proses karburasi merupakan proses penambahan karbon pada permukaan baja dimana atom-atom masuk kedalam permukaan baja dengan cara difusi interstisi, mekanisme perpindahan atom akibat adanya gerakan atom dalam rongga. Difusi dibedakan menjadi dua macam diantaranya *vacancy diffusion* (difusi kekosongan), yang memerlukan kekosongan struktur atom pada proses pergerakannya agar atom yang berada di sekitarnya dapat berpindah ke daerah kosong tersebut. Sedangkan *interstitial diffusion* (difusi interstisi) difusi ini merupakan perpindahan atom dari posisi interstisial ke tetangganya yang kosong. Dimana atom-atom tersebut memiliki ukuran yang berbeda dengan atom lain, sehingga atom tersebut dapat terselip atau masuk ke posisi interstisial (Callister & Rethwisch, 2012).

Temperatur memiliki pengaruh yang besar terhadap laju difusi, ketergantungan temperatur dan laju difusi ini terjadi karena adanya peningkatan suhu yang terjadi karena adanya perlakuan energi aktivasi dengan cara dipanaskan. Energi aktivasi dapat dianggap sebagai energi yang diperlukan untuk menghasilkan gerakan difusi satu mol atom. Energi aktivasi yang besar menghasilkan koefisien difusi yang relatif kecil. Untuk melihat lebih lanjut mengenai difusi maka akan dilakukan rekayasa permukaan dengan menggunakan material baja karbon rendah.

Rekayasa permukaan yang dapat dilakukan pada *steel alloy* (logam) salah satunya ialah dengan meningkatkan nilai kekerasan. Dimana kekerasan merupakan sifat mekanik baja yang berkaitan dengan ketahanan aus dan nilai kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan holding time. Rekayasa permukaan dapat dilakukan baik dengan cara memberikan lapisan pada permukaan atau dengan metode lainnya untuk memperoleh sifat teknik dan mekanik sesuai dengan persyaratan dan ketentuan yang ada, terdapat beberapa proses rekayasa permukaan yang dapat dilakukan seiring dengan perkembangan industri

ur saat ini seperti *friction surfacing*, pelapisan logam (*coating*), dan proses ng yang merupakan proses penambahan unsur karbon juga merupakan 1 metode untuk rekayasa permukaan dimana penambahan karbon dapat



dilakukan dengan *heatretment* menggunakan metode karburasi padat (*pack carburizing*.)

Dengan metode pack carburizing ini dapat meningkatkan sifat mekanik dan fisik dari sebuah material seperti nilai kekerasan permukaan, ketahanan aus, ketahanan terhadap korosi dan erosi, serta ketahanan terhadap goresan dan benturan. Pada proses rekayasa permukaan ini material akan mendapatkan *treatment* yang dapat mengubah struktur mekanik dan mikro dari spesimen yang salah satunya ialah dengan perlakuan sel *galvanic*, dimana sel *galvanic* 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 sel galvani yang diperoleh dari gabungan ilmuwan yang bernama Alexander Volta dan Luigi Galvani pada tahun 1786 (Harahap, 2016).

Sebuah sel *galvanic* akan mampu mengubah panas menjadi potensial listrik dalam keadaan tertentu. Itu dapat terjadi karena perubahan kapasitas panas pada sel *galvanic* (Mertin et al., 2021), dan ada tegangan yang memiliki deret potensial yang berbeda dalam suatu larutan elektrolit (Ahmad Pauzi et al., 2019). Perbedaan potensial elektroda diantara logam yang membentuk sel *galvanic* merupakan penentu dari daya dorong terjadinya zona anoda dan katoda. Pada penelitian ini menggunakan dua logam yang berbeda nilai *galvanic*nya, setelah dilakukan proses perendaman dan dikarburasi di dalam tungku. Logam dengan potensial elektroda yang lebih rendah yaitu logam yang posisinya lebih tinggi dalam daftar seri elektrokimia dan akan menghasilkan reaksi oksidasi dan anodik, sedangkan logam dengan nilai potensial elektroda lebih tinggi akan menghasilkan reaksi katodik atau reduksi pada permukaannya.

Faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya *galvanic* ialah adanya perbedaan potensial, kondisi lingkungan, dan perbandingan luas permukaan katoda dan anoda. Apabila konduktifitas listrik rendah, maka laju kerusakan akan terjadi pada seluruh permukaan logam (Supriadi et al., 2020). Metode sel *galvanic*

1 karena pada perlakuan ini dapat membentuk vacancy dan mengaktifkan substitusi, difusi interstisi dan cloud elektron.



Berikut beberapa penelitian yang menggunakan perlakuan *galvanic* dan proses carburizing. Adapun peneliti yang menggunakan perlakuan *galvanic* dan carburizing ialah sebagai berikut (Illiyinal Muttaqin et al., 2019) melakukan penelitian mengenai simulasi efek *galvanic* pada baja karbon sedang hasil perlakuan panas menggunakan *boundary element method* (BEM)-3d, dimana metode elemen batas diasumsikan bahwa elektrolit yang ada disekitar anoda-katoda tidak ada ion yang ke luar atau masuk, sehingga dimodelkan sebagai *domain laplace*. Penelitian ini menggunakan 2 kombinasi diantaranya kombinasi yang pertama baja di anil sebagai anoda dan baja yang di *normalizing* sebagai katoda, kombinasi yang ke dua ialah baja pengerasan sebagai anoda dan baja *normalizing* sebagai katoda. Hasil dari penelitian ini di simpulkan bahwa kombinasi dari baja anil dan *normalizing* menunjukkan efek *galvanic* yang relatif kecil, dibandingkan dengan kombinasi dari baja *hardening* dan *normalizing* memberikan efek yang relatif besar.

Peneliti selanjutnya (Wibowo, 2016) melakukan penelitian dengan analisis sifat korosi *galvanic* berbagai plat logam, pada penelitian ini menggunakan lima plat logam diantaranya plat tembaga, plat aluminium, plat stainless steel, plat seng galvanis, plat baja karbon rendah yang akan di recelupkan pada larutan NaCl 3% dengan voltmeter selama 7 hari. Penelitian ini mendapatkan hasil pengukuran pasangan logam tembaga-seng memiliki tegangan *galvanic* tertinggi yaitu 0.6 Volt dan pasangan seng-aluminium mendapatkan tegangan terendah yaitu 0.05 Volt.

Sulaiman *et al.*, (2016) melakukan kajian dengan meneliti penggunaan baja tahan karat yang kemudian di *carburizing* dengan penambahan 50gram serbuk karbon yang di panaskan pada suhu 900°C dan 950°C selama 8 jam. Untuk laju korosi dilakukan uji *weight loss* dan merendam sampel di dalam tiga macam larutan berbeda diantaranya akuades, asam klorida, dan natrium klorida. Kesimpulan dari penelitian ini bahwa dengan proses *carburizing* didapatkan lapisan karburasi yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan kemampuan ketahanan terhadap korosi.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ramezani et al., 2015) dengan judul *Evaluation of Carbon diffusion in heat treatment of H13 Tool Steel under different*

eric Conditions pada penelitian ini melakukan beberapa percobaan perlakuan panas dengan kondisi atmosfer yang berbeda diantaranya, perlakuan kontrol atmosfer, perlakuan panas dengan menggunakan *wrapping foil*



stainless steel, *pack carburizing* (karburasi padat), dan perlakuan panas vakum, dengan ukuran spesimen yang sama yaitu 7 mm x 10 mm x 60 mm dengan nilai kekerasan awal 12 HRC. Dimana proses *heat treatment* dilakukan dalam tungku listik (*muffle furnace*) dengan suhu 1020°C, kecuali pada proses perlakuan panas vakum dilakukan dalam tungku vakum dengan suhu 650°C dan 850°C. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa walaupun setiap kondisi dari perlakuan panas ini menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda itu tidak dapat mempengaruhi hasil dari nitridasi gas dimana semua specimen yang melalui proses ini menghasilkan lapisan luar yang dikeraskan dengan nilai rata-rata 70-72 HRC.

Penelitian dengan menggunakan metode *carburizing* untuk meningkatkan sifat mekanik baja karbon telah banyak dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya, dimana metode yang digunakan adalah dengan melakukan *heat treatment* pada material yang langsung dikarburasi menggunakan karbon aktif tanpa adanya perlakuan, dan dari beberapa proses *carburizing* yang telah dilakukan sebelumnya hanya memberikan variasi pada temperatur, dan *holding time* untuk mendapatkan hasil difusi atom terbaik, namun pada penelitian ini akan dilakukan penelitian dengan “studi pengaruh perlakuan *galvanic* pada proses *carburizing* terhadap karakteristik baja karbon rendah”. Melalui perlakuan *galvanic* ini dimaksudkan agar terbentuk difusi *subtitutial* dan difusi *interstitial* yang akan memiliki peran penting pada proses *pack carburizing* yang akan dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perlakuan sel *galvanic* pada permukaan baja karbon rendah?
2. Bagaimana waktu ideal perendaman dari material pada proses perlakuan sel *galvanic*?
3. Bagaimana karakteristik mekanik dan stuktur mikro pada baja karbon rendah setelah mengalami perlakuan *galvanic* dan proses *carburizing*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa pengaruh perlakuan sel *galvanic* pada permukaan baja karbon rendah.
2. Menganalisa waktu ideal perendaman dari material pada proses perlakuan sel *galvanic*.
3. Menganalisa karakteristik mekanik dan stuktur mikro pada baja karbon rendah setelah mengalami perlakuan *galvanic* dan proses *carburizing*.



3. Menganalisa karakteristik mekanik dan stukturmikro pada baja karbon rendah setelah mengalami perlakuan *galvanic* dan proses *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 dua logam dengan nilai *galvanic* yang berbeda yaitu, baja karbon rendah (*mild steel*) dan tembaga (*copper*).
2. Media yang digunakan pada proses perlakuan sel *galvanic* adalah baja karbon rendah dan tembaga, yang akan di rendam di dalam larutan FeSO_4 dan CuSO_4 .
3. Media yang digunakan untuk proses *carburizing* merupakan serbuk arang batok kelapa sebagai sumber karbon.
4. Pendinginan setelah karburasi dilakukan dengan metode pendinginan udara.
5. Pengujian karakteristik mekanik adalah uji kekerasan dan pengujian metalografi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk penulis dan pembaca, sebagai berikut:

1. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja terkhusus pemilihan bahan dan proses baik itu pada proses perlakuan panas, dan proses pengujian bahan.
2. Pengembangan metode baru yang dilakukan pada proses peningkatan nilai kekerasan material baja karbon.
3. Dapat dijadikan sebagai tambahan referensi pengembangan ilmu pada bidang rekayasa permukaan seperti proses pengerasan dengan penambahan karbon (*carburizing*).
4. Penelitian ini juga dapat menjadi bahan pembelajaran untuk mahasiswa pada praktikum laboratorium.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



Penelitian Sebelumnya

Analisis Sifat Korosi Galvanic Berbagai Plat Logam Di Laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Batam

Pada penelitian ini menggunakan lima plat logam diantaranya plat tembaga, plat aluminium, plat stainless steel, plat seng galvanis, plat baja karbon rendah yang akan dicelupkan pada larutan NaCl 3% dengan voltmeter selama 7 hari. Penelitian ini mendapatkan hasil pengukuran pasangan logam tembaga-seng memiliki tegangan *galvanic* tertinggi yaitu 0.6 Volt dan pasangan seng-aluminium mendapatkan tegangan terendah yaitu 0.05 Volt (Wibowo, 2016).

2.1.2 *Effect of Australian and Nickel Titanium Orthodontic Arch Wire Galvanic Cells with Amalgam on Nickel Ion Release: A Laboratory Research in Artificial Saliva Environment with Normal pH*

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan oleh dokter gigi dimana tujuan dari penelitiannya ini ialah untuk mengetahui proses sel *galvanic* terhadap kawat busur ortodonik dan nikel titanium terhadap pelepasan ion yang disebabkan kawat busur ortodonik. Proses perendamannya menggunakan cairan saliva tiruan dan akan di remdam selama 3 hari, 5 hari dan sampai 7 hari. Dan pada penelitian ini akan menghitung jumlah pelepasan ion nikel selama proses perendaman berlangsung (Triawan, 2007).

2.1.3 *Study on The Effect of Corrosion Behavior of Stainless Steel Before and After Carburizing Heat Treatment*

Penelitian ini digunakan baja tahan karat yang kemudia di *carburizing* dengan penambahan 50gram serbuk karbon yang di panaskan pada suhu 900°C dan 950°C selama 8 jam. Untuk laju korosi dilakukan uji *weight loss* dan merendam sampel di dalam tiga macam larutan berbeda diantaranya akuades, asam klorida, dan natrium klorida. Kesimpulan dari penelitian ini bahwa dengan proses *carburizing* didapatkan lapisan karburasi yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan kemampuan ketahaan terhadap korosi. (Sulaiman et al., 2016)

2.1.4 *Evaluation of Carbon diffusion in heat treatment of H13 Tool Steel under different Atmospheric Conditions*

Penelitian ini melakukan beberapa percobaan *heat treatment* dengan kondisi yang berbeda diantaranya, perlakuan panas tanpa kontrol atmosfer, 1 panas dengan menggunakan *wrapping foil stainless steel*, *packing* (karburasi padat), dan perlakuan panas vakum, dengan ukuran



spesimen yang sama yaitu 7 mm x 10 mm x 60 mm dengan nilai kekerasan awal 12 HRC. Dimana proses heatreatment dilakukan dalam tungku listik (*muffle furnace*) dengan suhu 1020°C, kecuali pada proses perlakuan panas vakum dilakukan dalam tungku fakum dengan suhu 650°C dan 850°C. dari peneilitian ini disimpulkan bahwa walaupun setiap kondisi dari perlakuan panas ini mengasilkkan nilai kekerasan yang berbeda itu tidak dapat mempengaruhi hasil dari nitridasi gas dimana semua specimen yang melalui proses ini menghasilkan lapisan luar yang dikeraskan dengan nilai rata-rata 70-72 HRC (Ramezani et al., 2015).

2.1.5 *The effect of temperatur and volume fraction of mahoni (Swietenia mahogani) wood charcoal on SS400 steel using pack carburizing method: Study of hardness and microstructure characteristics*

(Asrofi et al., 2020) penelitian ini untuk meningkatkan kualitas dan ketangguhan dari baja, dengan menggunakan metode *pack carburizing* dengan variasi pada perbandingan volume media karbon (*swietenia mahogani*) dan *energizer* (BaCO_3) dengan temperatur 850 dan 900°C yang di tahan selama 1 jam. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu *hardness test* dan *structure micro*. Hasil dari pengujian kekerasan di tentukan nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada perbandingan fraksi volume 60% arang kayu mahoni dengan 40% energizer BaCO_3 dan pada temperatur tertinggi yaitu 900°C. Hasil pengujian *structure micro* terbentuk fasa *martensite* karena terjadi proses *quenching* (pendinginan cepat) terhadap sampel.

2.1.6 *Hardness Distribution and Effective Case Depth of Low Carbon Steel After Pack Carburizing Process under Different Carburizer*

Penelitian dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan, *case depth* dari difusi karbon terhadap baja karbon rendah setelah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan menggunakan media karbon arang tulang kambing dan arang bambu dan *energizer* BaCO_3 dengan 5 komposisi yang berbeda pada temperatur 950°C dengan *holding time* 4 jam, dan akan di *quenching* menggunakan air. Hasil pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada fraksi volume 20%

BaCO_3 dan 80% arang tulang kambing namun didapatkan nilai *case depth* dan *case depth* tertinggi terdapat pada fraksi 20% BaCO_3 + 60% arang mbing + 20% arang bambu dengan kedalaman 1 mm dari *surface*. Hasil



pengujian *structure micro* terjadi perubahan fasa dari *ferrite* dan *pearlite* menjadi fasa *martensite* setelah proses *pack carburizing* (Putra Negara et al., 2015).

2.1.7 *Pack Carburization of Mild Steel, using Pulverized Bone as Carburizer: Optimizing Process Parameters*

Penelitian yang dilakukan oleh (Aramide et al., 2010) dengan menggunakan *pulverized bone* sebagai karburator untuk proses *pack carburizing* pada logam *mild steel* ini dilakukan dengan memberikan variasi pada *temperatur* 850°C, 900°C, dan 950°C dengan lama proses *carburizing* selama 15 dan 30 menit yang akan di *quenching* menggunakan minyak pada temperatur 550°C. Setelah proses *pack carburizing* akan dilakukan *tensile test* dan *impact test* dengan pengujian standar dan *hardness test* juga dilakukan pada penelitian ini. Melalui penelitian ini diketahui bahwa sifat mekanik dari *mild steel* sangat dipengaruhi oleh proses *carburizing*, *temperatur*, dan lama waktu menahan. Peneliti mendapatkan hasil yang terbaik dari proses *pack carburizing* ini terdapat pada temperatur 900°C dengan holding time 15 menit dan 8500C holding time 30 menit yang diikuti dengan *oil quenching*, menghasilkan *mild steel* dengan permukaan yang getas dan inti yang lebih lunak (*ductile*).

2.1.8 *Analisis SS400 Hasil Carburizing Media Arang Tempurung Kelapa-BaCO₃ Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Dan Holding Time Ditinjau Dari Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro.*

Abidah Faizatul melakukan penelitian ini dengan tujuan untuk mendapatkan material dengan permukaan yang keras, maka dari itu peneliti memilih menggunakan SS400 yang akan dikarburasi dengan metode *pack carburizing* dengan suhu 845°C dengan holding time 2 dan 3 jam, dan pada suhu 955°C dengan holding time yang sama. Proses karburasi dilakukan menggunakan arang tempurung kelapa 250 gram dan 20% BaCO₃, rockwell hardness test dan pengujian struktur mikro dilakukan setelah melalui proses *pack carburizing*, melalui pengujian kekerasan diketahui bahwa semakin lama holding time dan tingginya
ir maka semakin meningkat pula nilai kekerasan dari permukaan material dengan terbentuknya banyak fase martensit yang dapat dilihat pada hasil



pengujian struktur mikro karena dilakukan proses quenching terhadap specimen (Abidah, 2019).

2.1.9 *The Study on Mechanical Properties of Pack Carburized Low Carbon Steel Using BaCO₃ as Energizer*

(Negara & Widiyarta, 2019) melakukan penelitian pada sifat mekanik baja karbon rendah melalui proses *pack carburizing* dengan menggunakan BaCO₃ sebagai *energizer*, pada penelitian ini proses karburasi dilakukan dengan menggunakan jenis karbon yang berbeda yaitu arang tulang kambing (*goat bone charcoal*), dan arang bambu (*bamboo charcoal*) yang di buat menjadi serbuk yang akan dicampurkan dengan barium karbonat (BaCO₃) sebagai *energizer*. Proses karburasi dilakukan dengan metode *pack carburizing* dan persentasi media karburasi dengan perbandingan arang tulang kambing sebanyak 80% dan 20% barium karbonat (BaCO₃) dengan perbandingan yang sama pula untuk arang bambu 80% yang dicampur dengan 20% barium karbonat, pada suhu *pack carburizing* 950°C dengan holding time 4 jam, dan akan di *quenching* menggunakan minyak (*oil quenching*). Pada penelitian ini dilakukan pengujian, tensil test, hardness test, dan pengujian struktur mikro. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan barium karbonat (BaCO₃) pada karbon yang menjadi media untuk karburasi maka sifat mekanik dari baja karbon rendah meningkat dan baja yang dikarburasi menggunakan arang tulang kambing (*goat bone charcoal*) mendapatkan sifat mekanik yang lebih besar dibandingkan dengan baja yang dikarburasi menggunakan arang bambu (*bamboo charcoal*) karena hasil yang didapatkan lebih tinggi dan mencapai pada ultimate strength.

2.1.10 *Simulasi Efek Galvanic pada Baja Karbon Sedang Hasil Perlakuan Panas Menggunakan Boundary Element Method (BEM)-3D*

Penelitian ini membahas mengenai simulasi efek *galvanic* pada baja karbon sedang hasil perlakuan panas menggunakan *boundry element method* (BEM)-3d, dimana metode elemen batas diasumsikan bahwa elektrolit yang ada disekitar anoda katoda tidak ada ion yang keluar atau masuk, sehingga dimodelkan sebagai *aplace*. Penelitian ini menggunakan 2 kombinasi diantaranya kombinasi pertama baja di anil sebagai anoda dan baja yang di *normalizing* sebagai katoda. Kombinasi yang ke dua ialah baja pengerasan sebagai anoda dan baja



normalizing sebagai katoda. Hasil dari penelitian ini di simpulkan bahwa kombinasi dari baja anil dan *normalizing* menunjukkan efek *galvanic* yang relatif kecil, dibandingkan dengan kombinasi dari baja *hardening* dan *normalizing* memberikan efek yang relatif besar (Illiynal Muttaqin et al., 2019).

2.2 Karakteristik Baja Karbon

Baja karbon merupakan jenis baja paduan yang terbentuk dari unsur utama besi (Fe) dan unsur kedua yang berpengaruh pada sifat-sifatnya adalah karbon (C), di dalam pemrosesan baja banyak ditemukan unsur-unsur lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silicon (Si), mangan (Mg), dan unsur kimia lainnya sedangkan unsur sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja memiliki kandungan unsur karbon yang dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14% dimana kandungan karbon yang ada pada besi dapat berfungsi sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi.

Penambahan unsur karbon pada baja juga dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan tariknya yang membuat baja karbon menjadi semakin getas (*brittle*) namun menurunkan tingkat keuletannya (*ductile*). Ada tiga jenis baja karbon diantaranya baja karbon rendah, baja karbon sedang, baja karbon tinggi. Menurunkan tingkat keuletannya (*ductile*). Ada tiga jenis baja karbon diantaranya baja karbon rendah, baja karbon sedang, baja karbon tinggi.

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) merupakan baja dengan kandungan utama besi dan karbon dengan komposisi karbon $< 0,3\%$. Baja karbon di bawah 0.15% dinamakan dead mild steel yang banyak digunakan pada sheet, strip, wire, dan ship plate. Baja karbon rendah memiliki beberapa karakteristik diantaranya; tidak responsive terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk martensit, metode penguatnya dengan pengerjaan cold working, struktur mikronya terdiri dari ferrit dan perlit, relative lunak dan lemah, ulet dan Tangguh, mampu mesin dan mampu las yang baik. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan

tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

Karbon Sedang

Baja karbon sedang atau baja karbon medium memiliki kandungan karbon 0,3-0.8%. 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.

3. Baja Karbon Tinggi

Kandungan karbon pada baja karbon tinggi berkisar antara 0,8-2%. Sifat mekaniknya dapat dinaikkan dengan melalui proses perlakuan panas *austenitizing*, *quenching* dan *tempering*. Baja karbon tinggi ini banyak digunakan dalam kondisi hasil tempering sehingga struktur mikronya martensit, kemudian jenis baja karbon ini merupakan yang paling keras, paling kuat, dan paling getas diantara baja karbon lainnya serta tahan aus.

Dapat dilihat pada table di bawah ini *chemical composition* dan *mechanical properties* dari baja karbon rendah (*mild steel*).

Table 1 *Chemical Composition Mild Steel*

Grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb/N	V/Mo
A36	0.1443	0.197	1.067	0.0160	0.0024	0.20	0.005	0.006	0.002	0.004
SS400	0.1986	0.149	0.298	0.0127	0.0045	-	-	-	-	-
ST37-2	0.17-0.20	0.05 Max	1.4	0.05 Max	0.05 Max	-	-	0.55	/0.009 Max	-
BS4360	0.25-0.30	0.5-0.55	-	0.5-0.6	0.5-0.6	-	-	-	-	/1.5-1.6
S275JR	0.21 Max	0.05 Max	1.50 Max	0.035 Max	0.035 Max	-	-	0.55 Max	/0.012 Max	-
Q235B	0.12-0.20	0.30 Max	0.30-0.70	0.045 Max	0.045 Max	-	-	-	-	-

Sumber: metal.beyond-steel.com



Table 2 Mechanical Properties Mild Steel

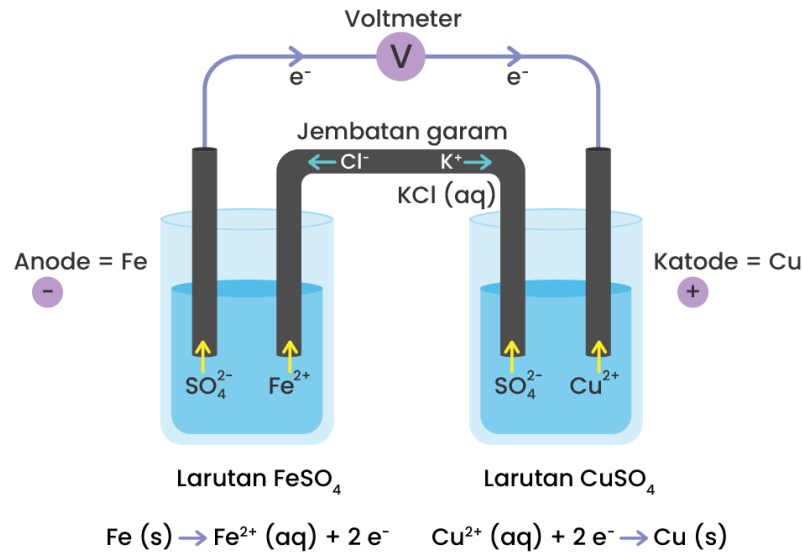
Properties	SS400	A36	ST37	S275JR
Tensile Strength (MPa)	400 – 510	400 – 552	627	380 – 540
Yield Strength (MPa)	205 – 245	281 – 301	294	275
Elongation (96)	27 – 30	31	12	23
Young's Modulus (GPa)	190 – 210	200	210	210
Poisson's Ratio	0.26	0.32	0.32	0.3
Density (kg/m ³)	7860	7800	7850	7800
Hardness, Brinnel (HB)	160	119-159	141	121 – 163

Sumber: metal.beyond-steel.com

2.3 Pasangan Galvanic

Pasangan galvaik merupakan dua logam yang bersentuhan dan akan membentuk sel galvani. Sel galvani merupakan sel yang menghasilkan arus listrik yang mempunyai deret potensial yang berbeda dalam suatu larutan elektrolit. Dimana anoda sebagai elektoda bermuatan negatif dan elektroda yang bermuatan positif merupakan katoda. Reaksi yang terjadi bila keduanya di hubungkan menggunakan larutan garam akan mengakibatkan terjadi perindahan elektron dari elektroda satu ke yang lainya melalui jembatan garam tersebut. Dimana reaksi yang terjadi pada sel *galvanic* ini berlangsung spontan (Farandy, 2020). Seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut:





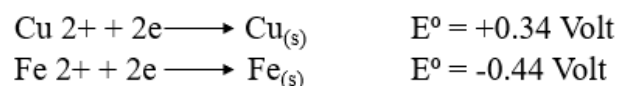
Reaksi Bersih



Gambar 1 Pengujian sel *galvanic*
(Sumber. <https://roboguru.ruangguru.com>)

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).

Berikut ini merupakan nilai potensial (E^0) dari Fe dan Cu



$$E^0 \text{ sel} = E^0 \text{ reduksi} - E^0 \text{ oksidasi}$$

$$E^0 \text{ sel} = +0,34 - (-0,44)$$

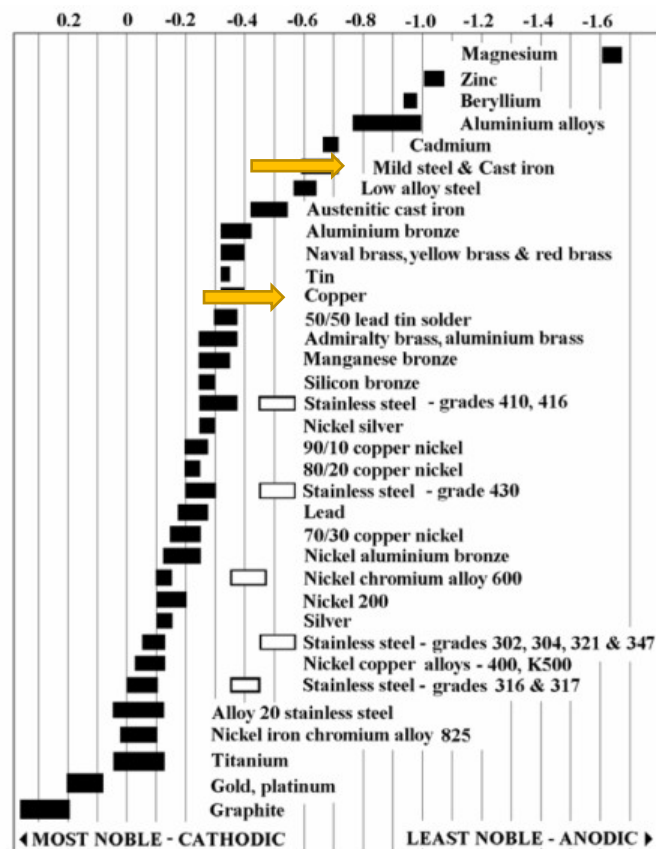
$$= +0,78 \text{ Volt}$$

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

karena adanya perbedaan potensial sistem logam pada media larutan yang anal dengan deret tegangan logam atau deret *galvanic* seperti yang di



tunjukkan pada gambar 2. Dimana deret ini merupakan daftar dari potensial dari berbagai logam paduan yang ada di dalam lingkungan yang spesifik.



Gambar 2 Deret Galvanic

(Sumber. <https://www.siranah.de/html/sail082c.htm>)

2.4 Carburizing

Suatu komponen mesin yang terbuat dari baja biasanya diperlukan material baja yang keras dan tahan aus yang terdapat pada permukaannya, namun pada bagian inti dari baja tersebut tetap dalam keadaan yang lunak dan *ductile*. Oleh karena itu akan didapatkan kombinasi yang sesuai antara bagian permukaan specimen yang keras dan tahan saat menerima beban, serta tahan aus yang pada bagian inti specimen tetap lunak dan ulet. Proses carburizing sendiri merupakan proses penambahan karbon (C) pada permukaan benda yang dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja di dalam lingkungan yang mengandung banyak karbon aktif yang nantinya karbon akan terdifusi masuk ke permukaan baja. Umumnya carburizing ini diterapkan pada beberapa jenis baja yang tidak mudah dengan metode pendinginan langsung (*Direct Quenching*) karena



prosesnya dapat terpengaruhi oleh kandungan karbon yang berada di bawah 0,3% seperti kandungan karbon pada baja karbon rendah. (Wisnujati et al., 2017)

Pada prosesnya, carburizing dilakukan dengan memanaskan baja sampai pada temperatur austenite. Umumnya dilakukan pada temperatur $815^{\circ}\text{C} - 955^{\circ}\text{C}$ dengan media yang mempunyai potensi karbon yang tinggi, sehingga dapat terjadi difusi atom karbon dari media masuk ke dalam lapisan permukaan baja. Dimana proses difusi ini dapat menghasilkan gradien karbon dari permukaan hingga ke inti, yang dapat memungkinkan permukaan baja bisa dikeraskan melalui cara *quenching*.

Carburizing dapat dilakukan dalam beberapa macam lingkungan diantaranya, karburasi gas (*gas carburizing*), karburasi cair (*liquid carburizing*), dan karburasi padat (*pack carburizing*). Pada dasarnya proses karburasi yang tepat akan menambah nilai kekerasan pada permukaan yang bagian intinya tetap liat (*ductile*). (Sani et al., 2018) Carburizing dapat dilakukan dengan 3 macam perlakuan yang telah di sebutkan di atas yaitu;

1. *Pack carburizing* (karburasi padat)

Pack carburizing, adalah proses penambahan unsur karbon (C) kedalam logam terkhusus pada bagian permukaan dimana unsur karbon yang didapatkan dari bahan-bahan yang memiliki kandungan unsur karbon sehingga dapat meningkatkan kekerasan logam.

2. *Liquid carburizing* (karburasi cair)

Karburasi cair, proses karburasi dimana baja dipanaskan pada suhu tertentu di dalam dapur yang mengandung garam *cyanide* agar karbon dan nitrogen dapat berdifusi kesalam lapisan kulit luar specimen. Sehingga pada bagian kulit akan mengandung kadar karbon yang lebih tinggi dan kadar nitrogen yang rendah.

3. *Gaz carburizing* (karburasi gas)

Karburasi gas, merupakan proses karburasi dengan menggunakan hidrokarbon atau gas alam, dan gas karbida yang dijadikan sebagai media karburasinya.

2.5 *Pack carburizing*

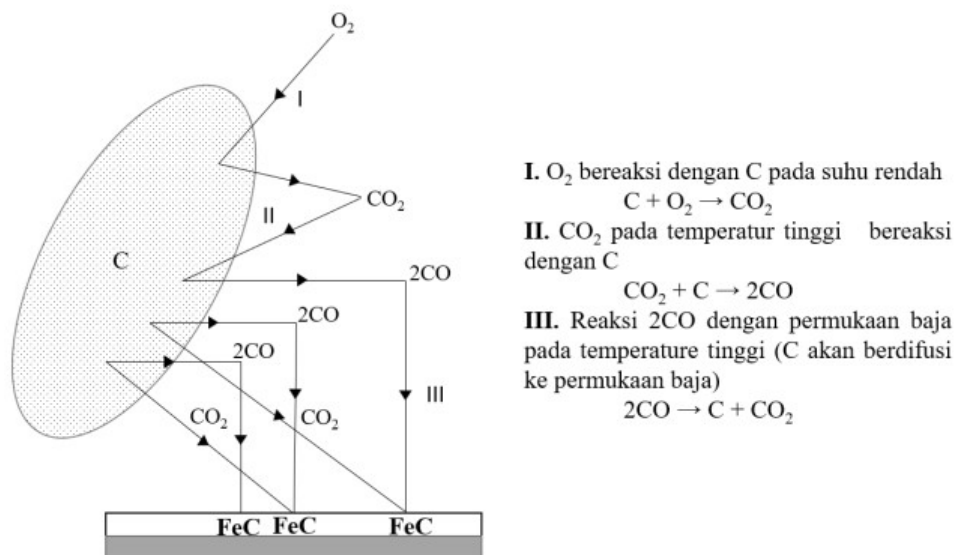


Pack carburizing merupakan metode karburasi yang paling mudah untuk dilakukan karena prosesnya dapat dilakukan menggunakan peralatan yang sederhana, dan sumber karbon yang digunakan dapat berasal dari media padat seperti arang kayu, arang tempurung kelapa, arang sekam padi, dan lain-

lainnya. Bahan-bahan tersebut sangat mudah didapatkan di sekitar kita. Proses carburizing dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, waktu penahanan atau lamanya proses karburasi, temperatur pemanasan, media karburasi yang digunakan, dan lamanya proses pendinginan.

Pada prosesnya media karburasi 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 et al., 2019). Pengarbonan biasanya menggunakan arang yang dicampurkan dengan larutan tertentu berupa NaCO_3 , CaCO_3 dan BaCO_3 . Pada temperatur tinggi, energizer berfungsi mempercepat pembentukan gas CO yang kemudian larut kedalam fasa *austenite* atau bereaksi dengan Fe (Besi). Proses *pack carburizing* dilakukan pada temperatur $815\text{-}955^\circ\text{C}$ dimana baja berada pada fasa *austenite*, kandungan karbon meningkat karena karbon dalam *austenite* juga meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur.

Lamanya (*holding time*) waktu penahanan tergantung pada dalamnya difusi karbon yang diinginkan. Dimana tujuan dari holding time ialah untuk difusi karbon kepermukaan baja secara homogen. Mekanisme *pack carburizing* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



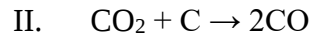
Gambar 3 Mekanisme proses *pack carburizing*



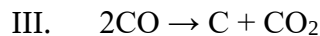
Mekanisme proses *pack carburizing*, pada saat *heat treatment* oksigen (O_2) bereaksi di sekitar sumber medium karbon yang membentuk karbon dioksida (CO_2), dimana bentuk reaksi kimia dijelaskan sebagai berikut:



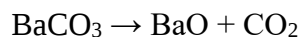
Pada permukaan specimen CO_2 yang terbentuk kembali bereaksi dengan C, seperti reaksi berikut:



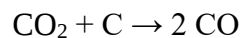
Meningkatnya temperatur, reaksi akan bergerak ke sebelah kanan yang menghasilkan CO yang semakin banyak. Kemudian reaksi kimia yang terbentuk ialah:



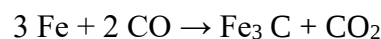
Atom-atom karbon (C) secara difusi interstisi masuk ke dalam baja. Dimana kecepatan *carburizing* juga dapat di tingkatkan dengan menambahkan 10-20% $BaCO_3$ yang reaksi kimianya dapat dijelaskan:



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



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



Dengan adanya difusi atom-atom, maka akan meningkatkan nilai kekerasan pada permukaan specimen.

2.6 Difusi

Perlakuan difusi dapat diterapkan untuk penambahan unsur-unsur tertentu seperti karbon pada permukaan benda kerja yang akan membuat permukaan keras. Difusi merupakan gerakan spontan dari atom atau molekul dalam zat yang cenderung membuat komposisi homogen pada seluruh bagian. Kekuatan pendorong adalah gradien konsentrasi. Energi dan waktu merupakan faktor utama yang dapat menyebabkan terjadinya difusi. Pada umumnya difusi atom dibedakan

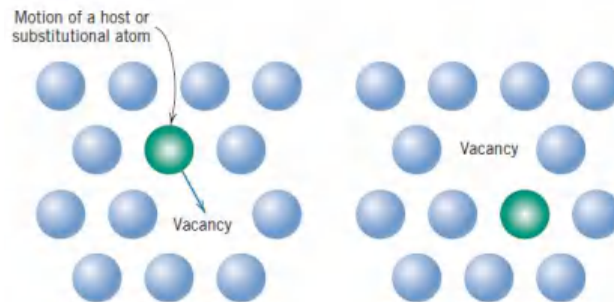
· berdasarkan mekanisme difusinya ialah sebagai berikut:

Berdasarkan Mekanisme

Kekosongan (*Vacancy*)



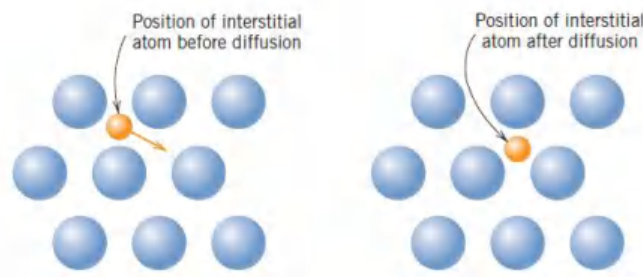
Difusi *vacancy* adalah mekanisme yang melibatkan perpindahan atom dari posisi normal ke kisi kosong yang berdekatan karena adanya kekosongan, pada proses ini mengharuskan adanya kekosongan dan sejauh mana difusi dapat terjadi konsentrasi yang signifikan karena berada dalam temperatur yang tinggi.



Gambar 4 Difusi *vacancy*
(Callister & Rethwisch, 2012)

b. 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, karbon, dan oksigen yang memiliki atom cukup kecil untuk ke posisi interstisial. Atom-atom yang terinstisi tersebut bergerak masuk ke dalam rongga atom yang terbentuk oleh atom besar seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5 Difusi Interstitial
(Callister & Rethwisch, 2012)

2. Hukum Difusi

Logam murni, *self diffusi* (difusi diri) dapat diamati dengan menggunakan radio aktif. Paduan homogen, difusi dari setiap komponen yang ada dapat dengan metode pelacak, namun pada paduan inhomogen difusi dapat diamati menggunakan analisa kimia berdasar pada pelebaran permukaan kedua logam. Pada paduan inhomogen, difusi dapat diamati dengan menggunakan analisa kimia berdasar pada pelebaran permukaan kedua logam sebagai fungsi waktu, dimana paduan inhomogen ini yang paling banyak



didapati dalam metalurgi. Sebuah logam apabila di panaskan selama beberapa jam dan pada temperatur yang tinggi maka akan terjadi migrasi atom yang cepat. Walaupun pergerakan atom bergerak secara acak, akan selalu lebih banyak atom yang bergerak sesuai dengan gradien konsentrasinya, dibandingkan dengan yang bergerak dalam arah berlawanan (Raheem, 1999). Terdapat 3 persamaan dalam hukum difusi (Fick's Law) ialah sebagai berikut:

Difusi merupakan proses yang bergantung pada waktu, dimana dalam pengertian makroskopiknya, jumlah suatu elemen yang berpindah ke dalam elemen yang lain ialah fungsi waktu dan seringkali penting untuk diketahui seberapa cepat difusi terjadi, atau laju perpindahan massa. Persamaannya dituliskan dalam bentuk matematika seperti di bawah ini:

$$J = \frac{dM}{S \cdot dt}$$

Keterangan:

J = Fluks (g/cm²s)

M = Jumlah massa (g atau mol)

S = Luas permukaan (cm²)

Fluks berbanding lurus dengan gradien konsentrasi, dC/dx, maka apabila terjadi difusi yang ada pada arah penurunan konsentrasi fluks, maka nilai fluks selalu bernilai positif, dan difusi akan berhenti apabila tidak terdapat lagi gradien konsentrasi (jika dC/dx = 0). Persamaan difusi pada keadaan *steady-state single* (x) dengan arah yang relatif sederhana kerana gradien konsentrasi sebanding dengan fluks, dan disebut dengan Fick's first law, dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

Keterangan:

D = Koefisien difusi (cm²/det)

C = Konsentrasi (g/cm³)

x = Jarak (cm)

Tanda negatif yang terdapat pada persamaan di atas merupakan ekspresi untuk menunjukkan bahwa difusi bergerak berlawanan dengan meningkatnya gradien konsentrasi. Dalam reaksi difusi, terdapat beberapa gaya yang dimungkinkan akan terjadi difusi menurun maka persamaan di atas, maka gradien konsentrasi



merupakan kekuatan dorong (*driving force*). Salah satu contoh difusi ini ditemukan pada pemurnian gas hidrogen.

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 specimen. 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:

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

Keterangan:

C = Konsentrasi (g/cm³)

t = Waktu

x = Jarak (cm)

D = Koefisien difusi (cm²/det)

Hukum Fick's yang kedua ini 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 kedalam dan keluar dari suatu daerah.

3. Faktor yang mempengaruhi difusi

Besarnya koefisien difusi menunjukkan laju gerak atom, menjadi sangat tergantung pada peningkatan secara eksponensial dengan meningkatnya suhu.

a. Temperatur

Suhu memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap koefisien laju difusi karena suhu aktivasi termal, laju difusi bertambah seiring dengan meningkatnya *temperatur*. Misalnya untuk difusi Fe di dalam α -Fe dimana koefisien difusinya meningkat enam orde dengan peningkatan *temperatur* dari 500°C sampai 900°C.

Energi aktivasi dianggap sebagai energi yang sangat dibutuhkan untuk akan gerak difusi satu mol atom. Besarnya energi aktivasi menghasilkan difusi yang relatif kecil, dapat dilihat pada persamaan berikut:

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



Keterangan:

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

Q_d = Energi aktivasi untuk difusi (J/mol, cal/mol, atau V/atom)

R = Konstanta Gas, 8.31 J/mol-K, 1.987 cal/mol-K, atau 8.62×10^{-5} eV/atom-K

T = Temperatur Absolut (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 3 yang juga di dalamnya terdapat nilai Q_0 dan Q_d untuk beberapa jenis difusi. Di bawah ini merupakan tabel tabulasi dari data difusi.

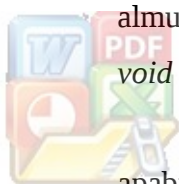
Table 3 A Tabulation of diffusion data

Diffusing Species	Host Metal	$D_0(m^2/s)$	Activation Energy Q_d		Calculated Values	
			kJ/mol	eV/atom	T(°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}

b. Komposisi

Dislokasi dan batas butir berperan penting dan dapat menghasilkan peningkatan difusi, difusi terjadi pada pengerjaan (*cold-worked*) dari pada kondisi anil walaupun rekristalisasi terjadi dan cenderung memengaruhi dan menutupi. Karena ikatan yang kuat antara atom, tekanan hampir tidak mempunyai efek. Dengan meningkatnya transportasi material melalui proses dislokasi yang terjadi pada aluminium dengan *void* yang dihubungkan oleh dislokasi dengan permukaan bebas, aluminium mengalami anil dengan laju yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *void* terisolasi. (Raheem, 1999).

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 suhu, dapat juga dipengaruhi oleh komposisi kimia, seiring dengan meningkatnya waktu dan kedalaman dekarburasi (Ramezani et al., 2015).

2.7 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan arang yang mudah dipadatkan dan melalui proses aktivasi, sehingga mempunyai daya serap yang baik (*Absorbent*) dan sifat termal yang baik. Sehingga menjadi salah satu alternatif bahan bakar setelah dibentuk menjadi briket ataupun serbuk. Meningkatnya 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 karena 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 aktif jenis ini terbuat dari batu bara, tempurung kelapa, sekam padi, cangkang kerang mutiara, dan bahan baku lainnya yang bersifat keras. Kandungan kimia tempurung kelapa ialah selulosa 34%, Hemiselulosa 21%, dan lignin 27%. Sedangkan komposisi unsur karbonnya dapat dilihat pada table berikut:

Table 4 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%



(Tamado et al., 2013)

dasarakan persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) kualitas dari karbon aktif dapat dilihat pada table di bawah:

Table 5 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 750 mg/g
Daya serap terhadap benzena	Min 25%

Sumber; (Ramadhani et al., 2020)

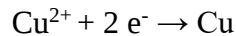
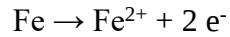
2.8 Larutan Elektrolit

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

Larutan elektrolit dapat juga dapat digunakan untuk reaksi elektrokimia dimana reaksi ini merupakan perubahan energi kimia yang dapat menimbulkan arus listrik begitupun sebaliknya. Keseimbangan dari reaksi elektrokimia ini berperan penting 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 spontan. Pada sel *galvanic* terdapat dua elektron diantaranya katoda sebagai kutup positif dan anoda sebagai kutup 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 yang dilepaskan oleh atom besi akan bergerak menuju larutan tembaga yang akan bereaksi dengan ion dari elektrolit sehingga terbentuk ikatan atom tembaga.





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

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

2.9 Kekerasan

Hardness atau kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk tahan terhadap deformasi plastis dan ketahanan suatu materia terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras. 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:

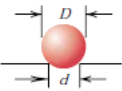
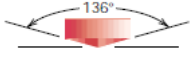
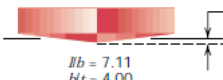
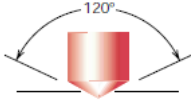
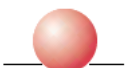
1. Kadar karbon dari suatu material, dimana semakin tinggi kadar karbon di dalam logam maka akan semakin keras namun rapuh logam tersebut
2. Unsur paduan
3. Perlakuan panas (*Heat Treatment*), pengaruh perlakuan panas ini akan sangat mempengaruhi kekerasan logam berdasarkan pada perlakuan yang diberikan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



Untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material maka dapat digunakan beberapa metode pengukuran kekerasan yang dikenal juga sebagai *Hardness tester*. Terdapat tiga metode pengukuran kekerasan yang kita kenal pada umumnya yaitu *Vickers*

Hardness Test, Brinell Hardness Test, dan Rockwell Hardness Test namun pada penelitian ini digunakan uji kekerasan dengan metode *vickers hardness test*.

Kekerasan *vickers* atau biasa juga disebut piramida intan dengan geometri indenter *pyramidal* sangat kecil yang ditekan pada permukaan specimen. Dimana pada pengujian *vickers* ini memiliki nilai pembebanan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *rockwell* dan *Brinell*, yang berkisar antara 1 sampai 1000 g. jejak yang dihasilkan diamati di bawah mikroskop dan diukur dan kemudian di *convert* menjadi nilai kekerasan (Callister & Rethwisch, 2012).

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres	 	 	{ 60 kg 100 kg 150 kg } Rockwell { 15 kg 30 kg 45 kg } Superficial Rockwell	

Gambar 6 Teknik pengujian kekerasan

2.10 Pengujian Metalografi

Dalam dunia teknik metalurgi pengujian metalografi merupakan proses pengujian yang sangat umum dilakukan. Metalografi merupakan ilmu yang mempelajari struktur mikro dan karakteristik dari suatu material. pengujian ini dilakukan untuk melihat perubahan struktur yang terjadi pada material dan juga untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi terhadap suatu material. Menurut (Thornton & Roberts, 2014) metalografi merupakan suatu penerapan teknik mikroskop yang dilakukan pada permukaan suatu material yang telah dipoles atau di amplas untuk mendapatkan informasi tentang komposisi dan komponen mikro, tingkat korosi dan metode fabrikas.

penelitian ini dilakukan pengujian struktur mikro menggunakan alat 3D *g laser microscope OLS4100* untuk melihat perubahan struktur mikro dan



fasa yang terbentuk terhadap sampel baja A36 setelah melalui beberapa proses *treatment*. Selanjutnya juga akan dilakukan proses pengujian komposisi dengan SEM-EDS (*Scanning Elektron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk mengetahui perubahan massa unsur baja A36 setelah proses *pack carburizing galvanic treatment*.

