

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi yang saat ini masih banyak dipergunakan didunia. Namun ketersediaan bahan bakar fosil didunia semakin menipis, hal ini disebabkan bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Jika keadaan tersebut dibiarkan terus- menerus tanpa adanya pengganti energi alternatif maka akan mempercepat terjadinya krisis energi. Maka usaha manusia untuk menemukan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan penyediaanya sangat banyak ditemukan dalam kehidupan manusia terutama energi yang dapat di perbaharui. (Dedy Rudianto,2022)

Sel bahan bakar atau *fuel cell* merupakan alat konversi elektrokimia yang dapat menghasilkan suatu energi dari hasil reaksi antara hidrogen dan oksigen. Sel bahan bakar dapat dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC). seperti *proton exchange membrane (PEM)*, *molten carbonate*, *solid oxide*, dan lainnya. Cara kerjanya hampir mirip dengan batrai, tetapi *fuel cell* tidak memerlukan pengisian ulang dikarenakan *fuel cell* untuk menghasilkan listrik atau energi hanya memerlukan bahan bakar seperti oksigen dan hidrogen sesuai kebutuhan yang telah ditetapkan. Maka *fuel cell* merupakan salah satu jalan keluar dari kekurangan bahan bakar fosil, sehingga untuk kedepanya energi *fuel cell* ini dapat di kembangkan (Suhada, 2001).

Sel bahan bakar atau *fuel cell* di defenisikan sebagai sel-sel listrik yang dapat menyimpan energi listrik terus menerus sehingga dapat menyimpan daya listrik berkelanjutan tanpa batas waktu. (Dedy Rudianto,2022)

Karbon aktif telah diakui sebagai elektrokatalis yang efektif dalam banyak aplikasi, termasuk dalam sistem *fuel cell*. Sifat pori-porinya yang luas, struktur permukaannya yang unik, dan kemampuannya dalam meningkatkan reaksi elektrokimia menjadikannya pilihan yang menarik untuk digunakan dalam memperbaiki efisiensi dan kinerja sistem *fuel cell*. (R. Dash dkk,2018)

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasar beratnya. *Stainless steel* memiliki sifat tidak mudah terkorosi sebagaimana logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dari baja biasa dari kandungan kromnya. Baja karbon akan terkorosi ketika diekspos pada udara yang lembab. Besi oksida yang terbentuk bersifat aktif dan akan mempercepat korosi dengan adanya pembentukan oksidasi besi yang lebih banyak lagi. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut. (Summarji,2012)

Tipe *stainless steel* 316L adalah salah satu jenis yang populer karena memiliki sifat anti-korosi yang sangat baik dan ketahanan terhadap lingkungan yang keras. Selain itu, *stainless steel* juga memiliki sifat mekanik yang sangat baik, dan konduktivitas listrik yang memadai. Kombinasi sifat-sifat ini menjadikannya pilihan yang sesuai sebagai substrat elektroda dalam aplikasi sistem *fuel cell*. (ASM International. 1995)

Elektrolisis adalah proses kimia di mana arus listrik digunakan untuk memicu reaksi kimia. Penggunaannya dalam pelapisan logam dengan material lain telah menjadi fokus penelitian untuk meningkatkan sifat-sifat permukaan logam, seperti konduktivitas, ketahanan terhadap korosi, dan aktivitas katalitik. Elektrolisis sebagai metode pelapisan, yang dimana proses menghasilkan pelapisan material pada permukaan logam melalui reaksi elektrokimia. Penggunaan metode ini untuk melapisi *stainless steel* dengan karbon aktif menjadi fokus penelitian untuk meningkatkan kinerja sistem *fuel cell*. (G.Liu,2019)

Fokus utama adalah pada penggunaan metode elektrolisis untuk melapisi *stainless steel* 316L dengan karbon aktif. Tujuannya adalah untuk memahami bagaimana pelapisan ini dapat meningkatkan aktivitas elektrokatalis dan kinerja sistem *fuel cell* secara keseluruhan.

Namun, penelitian mengenai deposisi lapisan tipis karbon aktif pada permukaan *stainless steel* 316L menggunakan metode elektrolisis masih belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu, judul dari penelitian ini adalah:

“PELAPISAN STAINLESS STEEL 316L DENGAN KARBON AKTIF MELALUI METODE ELEKTROLISIS UNTUK APLIKASI SISTEM FUEL CELL”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun Rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana microstruktur *Stainless steel* 316L setelah pelapisan karbon aktif?
2. Bagaimana pelapisan ini memengaruhi sifat permukaan, konduktivitas, serta aktivitas elektrokatalis dalam aplikasi sistem *fuel cell*?
3. Bagaimana pengaruh temperature dan waktu pemanasan dalam pemanasan terhadap karakteristik lapisan karbon aktif yang terdeposisi pada permukaan *stainless steel* 316L?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan :

1. Menganalisis microstruktur dari pelapisan *Stainless Steel* 316L menggunakan karbon aktif.

2. Menganalisis pelapisan sifat permukaan, konduktivitas, serta aktivitas elektrokatalis dalam aplikasi sistem *fuel cell*.
3. Menganalisis pengaruh temperature dan waktu pemanasan dalam karakteristik lapisan karbon aktif yang terdeposisi pada permukaan *stainless steel 316L*.

1.4 Batasan Penelitian

Agar dalam Penelitian ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah antara lain :

1. Sampel yang digunakan yaitu *Stainless Steel 316L*.
2. Lapisan *Stainless Steel 316L* yaitu karbon aktif.
3. Melakukan heating pada temperature 100°C, 150°C, 250°C.
4. Melakukan pemanasan dengan waktu 60 menit, 90 menit, dan 120 menit
5. Menggunakan *spray gun* yang dialiri medan listrik elektrostatis dan *stainless steel 316L*
6. Menggunakan kompressor untuk memberikan tekanan udara di alat *powder coating*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

- a. Bagi Penulis
 1. Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar sarjana teknik Departemen Teknik mesin Fakultas teknik Universitas hasanuddin
 2. Memberikan informasi mengenai *stainless steel 316L* dengan pelapisan karbon aktif melalui metode elektrolisis.
- b. Bagi Universitas
 1. Dapat menjadi referensi untuk penelitan dan pengembangan *stainless steel 316L* sebagai pengganti elektroda HHO pada sistem *fuel cell*.
 2. Penelitian ini dapat membawa kontribusi signifikan pada bidang elektrokimia dan aplikasi energi terbarukan, meningkatkan reputasi universitas dalam riset dan inovasi.
- c. Bagi Industri
 1. Pelapisan karbon melalui metode elektrolisis, permukaan *stainless steel 316L* dimodifikasi sifatnya sehingga dapat diaplikasikan lebih optimal dalam sistem *fuel cell* ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Stainless Steel*

Stainless Steel adalah sistem paduan yang luar biasa bukan larutan encer. Baja paduan mungkin mengandung beberapa persen elemen paduan, seperti karbon, mangan, nikel, molibdenum, kromium, dan silikon, selain pengotor belerang, oksigen, dan fosfor. Paduan baja biasanya mengandung jumlah yang sangat kecil titanium, niobium, dan aluminium. Jumlah seluruhnya elemen paduan ini jarang melebihi 5%. Hal yang sama berlaku untuk kebanyakan aluminium paduan. Sebaliknya, baja tahan karat tidak mengandung kurang dari sekitar 11% kromium saja. Paduan *stainless* lainnya memiliki mangan, silikon, karbon, dan nikel dalam jumlah sedikit yang berarti secara termodinamika serta konsentrasi yang besar nikel dan/atau molibdenum. (Michael Mcguire,2008)

Stainless Steel didefinisikan sebagai besi paduan dasar yang mengandung setidaknya 10,5% kromium. Tipis tapi film kromium oksida padat yang terbentuk pada permukaan *stainless* baja memberikan ketahanan korosi dan mencegah oksidasi lebih lanjut. Ada lima jenis baja tahan karat tergantung paduan lainnya penambahan kromium, dan mereka berkisar dari austenitik penuh menjadi feritik penuh.

Karakteristik utama dari baja adalah ketahanan terhadap korosi basah, atau korosi elektrokimia, lingkungan yang tidak agresif seperti air tawar, air laut, larutan berbasis air yang terkontaminasi, lingkungan asam dan basa, lingkungan industri, dll. Karakteristik penting lainnya dari kategori baja adalah ketahanan terhadap oksidasi pada suhu tinggi, atau korosi kimia, seperti yang biasanya terjadi pada gas proses panas. Bidang aplikasi khusus untuk baja tahan karat adalah bidang industri kimia, industri minyak, bahan makanan dan pembuatan kertas, sektor farmasi, biomedis, dan transportasi, pembangunan lepas pantai, peralatan rumah tangga, dan sektor konstruksi dan perabotan perkotaan. Sesuai dengan standar Eropa EN 10088, baja digolongkan sebagai baja tahan karat jika komposisi kimianya memiliki kandungan kromium minimal 10,5%. Namun, perlu dicatat bahwa di hampir semua jenis baja tahan karat yang tersedia di pasaran, kandungan kromium jauh lebih besar dari nilai ini, biasanya berkisar, dalam kasus yang paling umum, dari 13% hingga 18%. Hal ini disebabkan fakta bahwa kandungan kromium sekurang-kurangnya 12% diperlukan untuk memperoleh ketahanan yang memuaskan terhadap korosi dalam larutan berbasis air. (Marco Boniardi, and Andrea Cosaroli, 2014)

Standar Eropa EN 10088 (EN 2005) mendefinisikan baja tahan karat sebagai besi paduan berbasis yang mengandung setidaknya 10,5% kromium dan maksimum 1,2% karbon. Kromium membuat kelompok paduan yang

besar dan kompleks ini mengalami korosi tahan. Baja tahan karat dapat mengandung hingga 38% nikel sebagai bahan utama lainnya unsur paduan. Sifat baja tahan karat dapat disesuaikan dengan beberapa elemen paduan selain kromium dan nikel. Unsur-unsur tersebut antara lain karbon, belerang, aluminium, molibdenum, tungsten, nitrogen, tembaga, titanium, niobium, zirkonium, serium, mangan, kalsium dan silikon. Kunci terhadap ketahanan korosi baja tahan karat adalah kandungan kromiumnya, di bawah pengaruh oksigen dari udara atau air, kromium dengan cepat membentuk sangat tipis film oksida kaya kromium (III) pada permukaan baja. Lapisan pasivasi ini sangat efektif memisahkan material dari sekitarnya. Lapisan ini berfungsi membantu mempertahankan tampilan baja tahan karat yang mengkilap dan bersih dengan mencegah karat dan korosi. Setiap efek dari elemen lain hanya untuk mempengaruhi efektivitas kromium dalam membentuk atau mempertahankan film (misalnya nikel mendorong re-pasivasi, terutama di lingkungan yang berkurang dan molibdenum menstabilkan film pasif dengan adanya klorida). Meningkatkan kandungan kromium, dari minimal 10,5% yang diperlukan untuk baja tahan karat, hingga 17 hingga 20%, sangat meningkatkan stabilitas film pasif. Unsur-unsur seperti tembaga, nitrogen, nikel, dan molibdenum membantu ketahanan baja korosi tetapi efeknya terbatas jika kromium tidak ada.

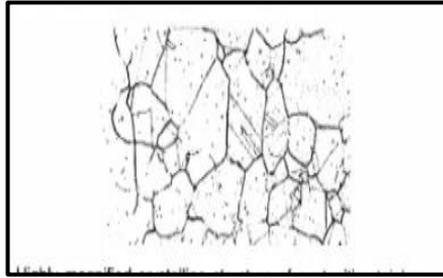
2.2 Macam-Macam *Stainless Steel*

Stainless Steel dapat dibagi menjadi lima kelompok utama, empat yang pertama didasarkan pada struktur kristal umum dari baja di dalam kelompok tersebut. Kelompok kelima, yang dikenal sebagai *precipitation hardening steels*, terdiri dari paduan yang dapat dikeraskan dengan perlakuan penuaan. Berikut ini macam macam *stainless steel* berdasarkan struktur kristal:

2.2.1 *Austenitik Stainless Steel*

Baja tahan karat *austenitik* yang mengandung kromium dan nikel diberi klasifikasi seri 300 dan baja austenitik yang mengandung kromium, nikel, dan mangan diberi klasifikasi seri 200. Perlu dicatat, bagaimanapun bahwa beberapa baja tahan karat austenitik tidak memiliki sebutan seri 200 dan 300. Baja dalam kelompok *austenitik* ini memiliki banyak komposisi dan sifat, tetapi memiliki banyak kesamaan karakteristik. Dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin tetapi tidak dengan perlakuan panas. Dalam kondisi normal disebut nonmagnetik, tetapi beberapa mungkin menjadi sedikit magnetis dengan kerja dingin. Dalam kondisi normal sifat baja membentuk sangat baik. Berbagai tingkat baja austenitik memiliki ketahanan korosi yang sangat baik di banyak lingkungan, menahan serangan atmosfer dan banyak gas industri dan banyak bahan kimia. Mereka memiliki ketahanan berskala pada suhu setinggi 2000°F (1095°C).

Banyak dari baja ini memiliki kekuatan yang baik pada suhu tinggi yang menyebabkan penggunaannya secara luas pada suhu tinggi. Mereka juga termasuk bahan utama yang dipilih untuk digunakan pada suhu yang sangat rendah karena tidak rapuh seperti jenis baja lainnya. Semua baja tahan karat austenitik sensitif ketika sampai pada taraf tertentu. (Werendele,1999)



Gambar 1 Struktur kristal *Austenitik Stainless Steel*

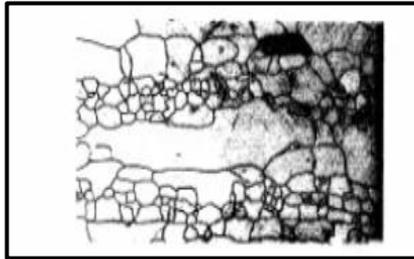
2.2.2 Ferritic Stainless Steel

Baja yang mengandung jumlah yang lebih besar Cr (16-18%) dan sekitar 0,12 persen karbon disebut feritik besi tahan karat. Ferit SS (seri AISI 400 misalnya, 410, 430) bersifat magnetis dan mengeras dengan perlakuan panas selain dari kromium yang dikandungnya hanya sejumlah kecil nikel ini cukup tahan korosi. Resistensi dampak berkurang secara signifikan pada suhu rendah, memiliki ketangguhan retak rendah tetapi kekuatan yang lebih baik dan Resistensi SCC dibandingkan dengan SS austenitik. Karena tinggi Resistensi SCC tinggi sehingga mereka lebih sulit untuk dibuat dan dilas. Nilai SS feritik digunakan untuk lingkungan pengoksidasi kuat (misalnya, asam nitrat). Pada dasarnya tahan terhadap klorida SCC , tetapi rentan terhadap IGA (*Inert Granular Attack*), *pitting*, dan korosi celah . Baja tahan karat feritik relatif lemah pada suhu tinggi, dan pada bagian yang lebih berat mungkin kurang tangguh pada suhu di bawah lingkungan. (Dewanga AK.2015)

Tipe 430 adalah baja tujuan umum dari kelompok feritik. Ini memiliki komposisi nominal kromium 17% dan digunakan untuk aplikasi trim yang sangat halus di atmosfer ringan. Itu juga digunakan dalam pengolahan makanan dan untuk barang-barang konsumen.

Tipe 409 dan variasinya yang baru-baru ini distandarisasi adalah grade feritik yang paling banyak digunakan dari semua baja tahan karat bebas-nikel. Baja tahan karat ini termasuk yang paling murah. Baja tahan

karat ini memiliki komposisi nominal kromium 11% dan penggunaan utamanya adalah dalam sistem pembuangan otomotif. (Werendele, 1999)



Gambar 2 Struktur kristal *Ferritic Stainless Steel*

2.2.3 *Martensitic Stainless Steel*

Kelompok pertama baja tahan karat adalah SS *martensitik*. Ini hanya mengandung sekitar 13% kromium (dan sebagainya mereka adalah baja tahan karat yang paling murah) tetapi memiliki tingkat yang tinggi karbon (bahkan sampai 1%). Tingkat karbon yang tinggi di martensitik baja tahan karat membuatnya sulit untuk dibentuk dan dilas, itu juga membuatnya sangat keras dan kuat, dan perlakuan panas dapat membuatnya rata lebih keras. Baja tahan karat ini ideal di tempat yang tidak ramah lingkungan sangat agresif, tetapi ketahanan terhadap keausan itu penting. AISI 440C mengandung 1% karbon dan sangat keras sehingga digunakan untuk memakai bagian pompa. *Grade* AISI 420 mengandung minimal 0,15% karbon dan ideal untuk bilah pisau. (Dewanga Ak, 2015)

Baja tahan karat martensitik, seperti baja feritik, adalah jenis kromium lurus dalam Seri 400. Mereka memiliki 11 hingga 18% kromium dengan atau tanpa sedikit tambahan nikel atau elemen lainnya. Baja ini bersifat magnetis. Berbeda dengan baja austenitik dan baja feritik, baja martensitik dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dan umumnya digunakan dalam pengerasan. (Werendele, 1999)



Gambar 3 Struktur Kristal *Martensitic Stainless Steel*

2.2.4 Duplex Stainless Steel

Duplex SS memiliki keduanya karakteristik austenit dan ferit dalam struktur mikronya. Mereka memiliki kekuatan tinggi dan keuletan yang baik, membuatnya berpotensi cocok untuk pengolahan makanan. Di lingkungan yang sangat korosif seperti itu seperti mustard dan pembuat cuka, tanaman keju atau tanaman pengalengan ikan, mungkin perlu menggunakan salah satu dari kelompok kedua baja tahan karat besi-karbon kromium-nikel adalah baja '*dupleks*'. Ini sangat kadar kromium tinggi 22% pada grade AISI 2205 dan 23% pada *grade* AISI 2304 dan, dalam kasus AISI 2205, sekitar 3% molibdenum digunakan. Sebagian besar baja *dupleks* juga lebih mahal daripada *SS austenitik*. *SS dupleks* memiliki ketahanan terhadap korosi, mirip dengan *stainless austenitic* tetapi kekuatan mekanik jauh lebih tinggi. Mereka juga punya banyak ketahanan yang lebih baik terhadap *stress corrosion cracking* dibandingkan baja tahan karat austenitik dan ketahanan terhadap korosi celah dan *pitting* lebih unggul dari AISI 316 austenitik. (Dewanga Ak,2015)

Kelompok baja ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan baja austenitik. *SS dupleks* sangat tahan terhadap retak korosi tegangan klorida, mereka memiliki ketahanan korosi *pitting* dan celah yang sangat baik serta memiliki kekuatan luluh sekitar dua kali lipat dari nilai austenitik. Tipe 329 dan Paduan 2205 adalah nilai baja dupleks tipikal baja tahan karat dupleks yang memiliki struktur anil, biasanya terdiri dari bagian austenit dan ferit yang sama. Baja ini memiliki 18 sampai 29% kromium, 3 sampai 8% nikel dan berbagai elemen lainnya, khususnya nitrogen dan molybdenum. (Werendele, 1999)



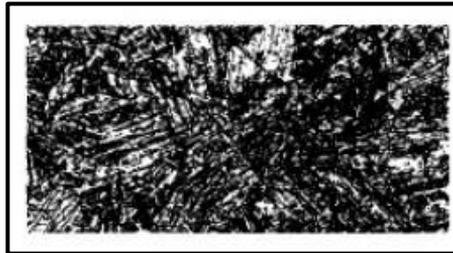
Gambar 4 Struktur Kristal *Duplex Stainless Steel*

2.2.5 Precipitation Hardening Stainless Steel

Baja pengerasan presipitasi tidak dicirikan oleh struktur kristal tunggal, melainkan oleh mekanisme penguatan tertentu di salah satu struktur. *Stainless* ini mengandung 11 sampai 18% kromium, 3 sampai 27% nikel dan sejumlah kecil logam. *Stainless* ini menggabungkan kekuatan dan kekerasan tinggi dengan ketahanan korosi yang lebih unggul dari baja

tahan karat martensit kromium. *Stainless* ini dapat diperkeras dengan perlakuan larutan dan penuaan untuk mengembangkan kekuatan tarik setinggi 240 ksi (1655 MPa) untuk *grade* yang ditunjuk sebagai UNS S17700 (17-7PH), misalnya kandungan inklusi nonlogam yang lebih rendah daripada produk konvensional ketika tuntutan aplikasi membenarkan biaya tambahan. . (Werendele, 1999)

Bahan muatan yang dipilih dapat dilebur seluruhnya di bawah vakum tinggi untuk mencegah oksidasi dan pengambilan nitrogen dan untuk menghilangkan kotoran yang mudah menguap. Peleburan induksi listrik adalah metode yang paling umum, tetapi peleburan berkas elektron juga dapat digunakan. Bahan yang dilelehkan secara konvensional atau dilelehkan dengan vakum dapat disempurnakan lebih lanjut dengan peleburan ulang elektroda yang dapat dikonsumsi. Dalam proses ini, bahan awal secara bertahap dilebur dan dibiarkan menetes ke dalam cetakan logam yang diinginkan dimana bahan tersebut secara progresif memadat untuk membentuk ingot. (Werendele, 1999). Operasi ini dapat dilakukan di bawah vakum [(*vacuum arc remelting* (VAR) atau *electron beam remelting* (EBR) atau di bawah lapisan slag cair (yaitu, *electroslag remelting* (ESR)]. Proses ESR biasanya dirancang untuk mengurangi kadar sulfur lebih lanjut dan untuk menyediakan struktur mikro tuang yang lebih cocok untuk pengerjaan panas dibandingkan dengan ingot yang dicor secara statis. Proses ESR biasanya beroperasi pada tekanan atmosfer dan juga mampu beberapa penampang ingot, seperti bulat, persegi, persegi panjang, oktagonal, dan bulat berongga.. (Werendele, 1999)



Gambar 5 Precipitation Hardening Stainless Steel

2.2.6 *Stainless Steel type 304*

Stainless Steel Tipe 304 Baja paduan SS 304 merupakan jenis *stainless steel austenitic* yang memiliki komposisi 0.042%C, 1.19%Mn, 0.034%P, 0.006%S, 0.049%Si, 18.24%Cr, 8.15%Ni, dan sisanya Fe. Beberapa sifat mekanik yang dimiliki baja karbon tipe 304 ini antara lain: kekuatan tarik 646 Mpa, *yield strength* 270 Mpa, *elongation* 50%, kekerasan 82 HRB. *Stainless steel* tipe 304 merupakan jenis baja tahan karat yang serbaguna dan paling banyak digunakan. Komposisi kimia, kekuatan mekanik, kemampuan las dan ketahanan korosinya sangat baik dengan harga yang relatif terjangkau.

Stainless steel tipe 304 ini banyak digunakan dalam dunia industri maupun skala kecil. Penggunaannya antara lain untuk: tanki dan container untuk berbagai macam cairan dan padatan, peralatan pertambangan, kimia, makanan, dan industri farmasi. (Sumarji,2011)

2.2.7 Stainless Steel Type 316L

Stainless steel 316 L adalah *stainless steel molibdenum austenitic*. Kandungan nikel dan molibdenum yang lebih tinggi di kelas ini memungkinkannya untuk menunjukkan sifat tahan korosi keseluruhan yang lebih baik daripada 304, terutama yang berkaitan dengan korosi pitting dan celah di larutan klorida. Selain itu, *Alloy 316L* memberikan kekuatan tarik, *creep*, dan tegangan yang sangat baik, serta kemampuan bentuk dan kemampuan las yang luar biasa. 316L adalah versi karbon yang lebih rendah dari 316 dan kebal dari kepekaan. Oleh karena itu, sangat sering digunakan dalam komponen yang dilas berat. (Arga jeremia Sinaga,2020)

Tabel 1. Komposisi Stainless Steel 316 L

C	SI	S	P	MN	NI	CR	MO	FE
0,029	0,390	0,035	0,050	1,648	9,930	16,860	2,057	-

Tabel 2. Sifat Mekanik SS 316L

Tensile (MPa)	Yield (MPa)	Elongation (%in50mm)	Hardness Rocwell (HRB)	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Specific Heat (J/Kg.K)	Electric Resistivity (nΩ.m)
485	170	40	95	8000	193	500	740

Stainless steel biasanya tidak digunakan sebagai elektroda langsung di dalam *fuel cell* karena dalam lingkungan *fuel cell*, terutama di sel pemutih atau elektrolit yang bersifat asam atau basa, *stainless steel* bisa terkorosi atau bereaksi dengan komponen-komponen tersebut. Ini dapat mengganggu reaksi elektrokimia yang diinginkan di dalam *fuel cell*. Materail Pt/C (*platinum on carbon*) adalah bahan elektroda standar yang digunakan untuk *fuel cell* tipe DMFC (*Direct Methanol Fuel Cell*) karena aktivitas katalitik dan selektivitasnya yang tinggi. (Abdullah, N., Kamarudin, S.K., dan Daud, W.R.W. 2017)

Biasanya, elektroda *fuel cell* terbuat dari material yang memiliki sifat kimiawi yang stabil dalam lingkungan elektrolit *fuel cell* dan memiliki aktivitas katalitik yang baik untuk reaksi redoks yang terjadi. Material seperti platina, nikel, atau oksida logam sering digunakan karena sifat-sifat mereka yang cocok untuk memfasilitasi reaksi elektrokimia yang diperlukan dalam proses pembangkitan listrik pada *fuel cell*. Penggunaan elektroda berbasis karbon Pt (*Platinum*) sebagai elektroda standar *fuel cell* PEM (*Proton Exchange Membrane*) dengan variasi kandungan *Nafion*. Tidak disebutkan penggunaan *stainless steel*. (Sasikumar, G., Ihm, J.W., dan Ryu, H. 2004).

Keunggulan *stainless steel* 316L antara lain kekuatan dan ketangguhan yang baik, stabil pada temperatur tinggi, serta sangat tahan terhadap asam, basa, garam, dan berbagai larutan elektrolit. Oleh karena itu, baja ini banyak diaplikasikan untuk peralatan kimia, farmasi, makanan dan minuman, serta komponen otomotif dan pesawat. (Prajitno, D.H., 2019.)

2.3 Karbon Aktif

Pada abad XV, diketahui bahwa karbon aktif dapat dihasilkan melalui komposisi kayu dan dapat digunakan sebagai adsorben warna dari larutan. Aplikasi komersial baru dikembangkan pada tahun 1974 yaitu pada industri gula sebagai pemucat dan menjadi sangat terkenal karena kemampuannya menyerap uap gas beracun yang digunakan pada Perang Dunia I.



Gambar 6 karbon aktif
Sumber: Laboratorium Motor Bakar

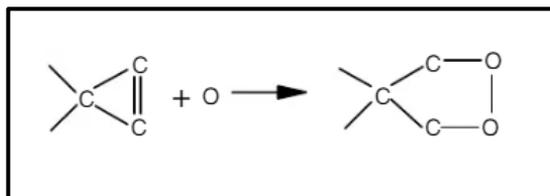
Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsi selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif. (Darmawan, 2008)

Karbon aktif dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

- Karbon aktif sebagai pemucat biasanya berbentuk *powder* yang halus dengan diameter pori 1000 Å, digunakan dalam fase cair dan berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu.
- Karbon aktif sebagai penyerap uap biasanya berbentuk granular atau pelet yang sangat keras, diameter porinya 10-200 Å, umumnya digunakan pada fase gas yang berfungsi untuk pengembalian pelarut, katalis, dan pemurnian gas.

Karbon aktif pada umumnya memiliki permukaan internal yang sangat berkembang dan biasanya dicirikan oleh struktur berpori *polidisperse* yang terdiri dari pori-pori dengan ukuran dan bentuk yang berbeda. Beberapa metode berbeda yang digunakan untuk menentukan bentuk pori-pori telah menunjukkan bentuk botol tinta, bentuk celah biasa, bentuk V, kapiler

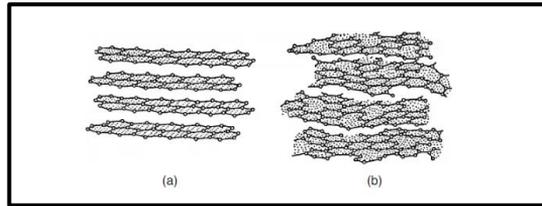
terbuka di kedua ujungnya, atau dengan satu ujung tertutup, dan banyak lagi. Namun, sulit untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang bentuk sebenarnya dari pori-pori tersebut. Sekarang diterima dengan baik bahwa karbon aktif mengandung pori-pori dari kurang dari satu nanometer hingga beberapa ribu nanometer.



Gambar 7 Struktur Kristal karbon aktif

Klasifikasi pori-pori yang disarankan oleh *Dubin* dan diterima oleh *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)* didasarkan pada lebarnya, yang mewakili jarak antara dinding pori berbentuk celah atau jari-jari pori silinder: Pori-pori dalam karbon aktif dibagi menjadi tiga kelompok: mikropori dengan diameter kurang dari 2 nm, mesopori dengan diameter antara 2 dan 50 nm, dan makropori dengan diameter lebih besar dari 50 nm. Mesopori membentuk luas permukaan yang besar (sekitar 95% dari total luas permukaan karbon aktif) dari volume mikropori, oleh karena itu, sangat menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif tertentu, asalkan dimensi molekuler dari adsorbat tidak terlalu besar untuk memasuki mikropori. Upaya inilah yang dilakukan untuk mempersiapkan karbon mesopori. (Chand and Goyal, 2005)

Karbon aktif memiliki struktur *mikrokristalin*. Tetapi struktur mikrokristalin ini berbeda dari grafit sehubungan dengan jarak antar lapisan, yaitu 0,335 nm untuk grafit dan berkisar antara 0,34 dan 0,35 nm dalam karbon aktif. Orientasi tumpukan lembaran aromatik juga berbeda, kurang tertata dalam karbon aktif. Studi ESR (*Erythrocyte Sedimentation Rate*) telah menunjukkan bahwa lembaran aromatik pada karbon aktif mengandung struktur radikal bebas atau struktur elektron tidak berpasangan. Elektron tak berpasangan ini distabilkan oleh resonansi dan terperangkap selama proses karbonisasi, karena pemutusan ikatan di tepi lembaran aromatik, dan dengan demikian, mereka menciptakan atom karbon tepi. Atom karbon tepi ini memiliki *valensi* tak jenuh dan karenanya dapat berinteraksi dengan *heteroatom* seperti oksigen, hidrogen, nitrogen, dan belerang, sehingga menimbulkan berbagai jenis kelompok permukaan. Komposisi unsur karbon aktif tipikal telah ditemukan menjadi 88% C, 0,5% H, 0,5% N, 1,0% S, dan 6 sampai 7% O, dengan keseimbangan mewakili lebih besar abu anorganik. Kandungan oksigen dari karbon aktif dapat bervariasi, tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi proses aktivasi. (Chand and Goyal, 2005)



Gambar 8 Perbandingan kisi kristal tiga dimensi grafit (a) dan struktur turbostratik (b). (After Bokros, J.C. in Chemistry and Physics of Carbon, Vol. 5, Marcel Dekker, New York, 1969. With permission.)

Franklin," berdasarkan studi X-raynya, mengklasifikasikan karbon aktif menjadi dua jenis, berdasarkan kemampuan grafitisasinya. karbon non-grafitisasi selama karbonisasi, mengembangkan ikatan silang yang kuat antara kristalit elementer berorientasi acak yang berdekatan, menghasilkan pembentukan massa yang tidak bergerak. Karbon yang diperoleh keras dan menunjukkan struktur mikropori yang berkembang dengan baik yang diawetkan bahkan selama perlakuan suhu tinggi. Dalam kasus Karbon PVDC (*polivinilidena klorida*), yang merupakan contoh dari non- *graphitizing* karbon, sekitar 65% karbon tersusun dalam lapisan grafit dengan diameter rata-rata 16A. Karbon yang tersisa sangat tidak teratur. 55% lapisan grafit dikelompokkan dalam pasangan bidang paralel yang berjarak 0,37 nm. Jarak rata-rata antara dasar kristalit sekitar 2,5 nm. Karbon PVDC (*polivinilidena klorida*), tidak membentuk grafit bahkan pada suhu lebih tinggi dari 3000°C, itulah pembentukan non-grafitisasi. (Chand and Goyal, 2005)

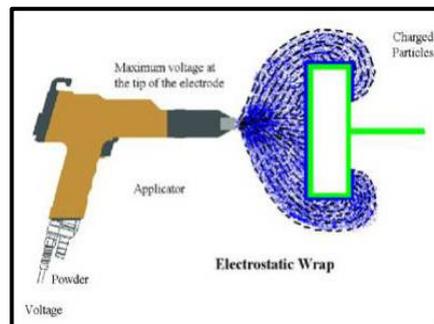
2.3 Coating

Coating adalah pelapisan pada permukaan benda kerja, biasanya disebut juga substrat. Pelapis digunakan untuk memperbaiki sifat permukaan substrat, seperti penampilan, adhesi, ketahanan korosi, ketahanan aus, tahan air dan tahan gores. Dalam kasus lain, khususnya dalam proses pencetakan dan perangkat semikonduktor, lapisan tersebut membentuk suatu bagian penting dari produk jadi tersebut.

2.5.1 Powder Coating

Powder coating adalah jenis lapisan yang diterapkan sebagai serbuk kering. Perbedaan utama antara cat cair konvensional dan *powder coating* adalah tidak memerlukan pelarut untuk menjaga bagian *binder* dan *filler* dalam bentuk suspensi cair. Lapisan ini biasanya diterapkan elektrostatis dan kemudian dipanaskan untuk memungkinkan agar serbuk mengalir dan membentuk "kulit". Serbuk bisa termoplastik atau polimer yang tidak mendapat mencair. Hal ini biasanya digunakan untuk membuat *hard finish* yang lebih keras dari cat konvensional. *Powder coating* terutama digunakan untuk pelapisan logam atau baja, seperti *whiteware*, ekstrusi aluminium, dan mobil dan bagian-bagian sepeda. Teknologi baru yang memungkinkan

menjadi bahan pelapisan, seperti MDF (*medium-density papan serat*), menjadi serbuk dilapisi dengan menggunakan metode yang berbeda. (Abidin Husein.2018)



Gambar 9 Proses Powder Coating

2.4 Korosi

Korosi didefinisikan sebagai penghancuran atau kerusakan material karena reaksi dengan lingkungannya. Reaksi tersebut dengan mudah terjadi karena tingkat keadaan yang sedemikian rupa ingin merubah keadaan ke bentuk lain. Hasil yang di peroleh dari reaksi adalah bentuk dan keadaan logam cocok dengan lingkungan tersebut. Beberapa definisi lain juga dibatasi untuk logam, tetapi korosi harus mempertimbangkan logam dan bukan logam untuk solusi dari masalah yang diberikan. (Margono Sugeng,2022)

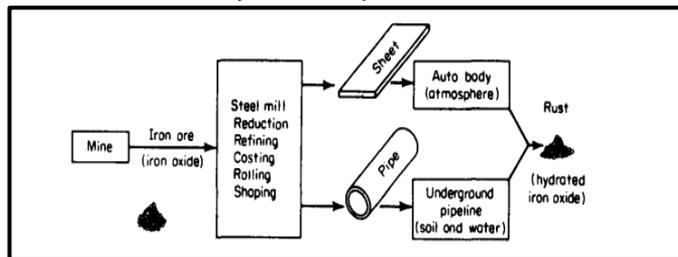
Reaksi anoda adalah reaksi utama untuk korosi. Akan tetapi, berbagai reaksi katoda mendapat perhatian khusus karena reaksi yang menyerap elektron (katodik) selalu serentak dengan reaksi korosi anodik (menghasilkan elektron). Reaksi yang paling dominan tergantung pada variabel lingkungan elektrolit, seperti suhu dan konsentrasi. (Djapri, 1989: 490)

Ditinjau dari mekanisme korosi dari sudut elektrokimia, pada prinsipnya korosi terjadi karena:

- a) Adanya ketidakhomogenan baik dalam jenis mikro termasuk ketidakhomogenan dalam beban fisik dan kimia (tegangan, suhu, konsentrasi oksigen dan sebagainya).
- b) Adanya kontak (adanya degradasi terhadap senyawa yang tidak dikehendaki).
- c) Adanya larutan, air atau embun yang mengandung garam sebagai elektrolit. (Wahyudin, 1994: 6)

Korosi bisa cepat atau lambat. Baja tahan karat 18-8% Fe yang tersensitisasi rusak parah dalam beberapa jam oleh asam *politionik*. Rel

kereta api misalnya sedikit karatan tidak mempengaruhi kinerjanya selama bertahun-tahun. Pilar besi *Delhi* yang terkenal di India dibuat hampir 2000 tahun yang lalu dan hampir sama bagusnya dengan yang baru. Tingginya sekitar 32 kaki dan diameter 2 kaki. Perlu dicatat, bagaimanapun, bahwa sebagian besar telah terkena kondisi gersang. Korosi logam dapat dianggap sebagai metalurgi ekstraktif secara terbalik seperti yang diilustrasikan oleh Gambar di bawah. Metalurgi ekstraktif terutama diperhatikan dengan memenangkan logam dari bijih dan pemurnian atau paduan logam. Sebagian besar besi mengandung oksida, dan karat baja oleh air dan oksigen menghasilkan oksida besi terhidrasi. Karat adalah istilah yang digunakan untuk korosi baja dan besi, meskipun banyak logam lain membentuk oksidanya saat terjadi korosi.



Gambar 10 Korosi logam secara terbalik

2.6.1 Jenis-jenis korosi

- Keresi Antar Butir (*latergranlar Corrosion*)

Korosi antar butir sering terjadi pada baja tahan karat sebagai akibat perlakuan panas atau pengelasan. Dalam keadaan tertentu bidang antar muka butiran menjadi sangat reaktif dan menyebabkan korosi antar butir, yaitu korosi lokal di sekitar butiran, yang menyebabkan penurunan kekuatan bahan.

Bila material tahan korosi dipanaskan pada suhu 500-800°C, akan mudah mengalami korosi antar butir, membentuk karbida krom (Cr₂₃C₆) yang tidak larut dan mengendap di batas butir. Pada kondisi ini akan terbentuk daerah yang kekurangan krom (disekitar batas butir) yang sangat mudah mengalami serangan korosi.

- Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)

Korosi galvanik terjadi bila dua logam atau lebih yang berbeda berada dalam suatu lingkungan dan saling berhubungan. Pada kondisi ini akan timbul suatu tegangan listrik sedemikian sehingga logam yang lebih anodik (logam yang pada kondisi tidak terhubungkan mempunyai potensial yang lebih negatif) akan bertindak sebagai anoda, sedangkan logam lainnya menjadi katoda. Pada daerah anoda akan terjadi pelarutan logam karena terjadi oksidasi.

Dibandingkan dengan sifat masing-masing logam sebelum saling berhubungan, maka dalam kondisi tersebut diatas, laju korosi logam yang lebih anodik akan dipercepat, sedangkan laju korosi logam yang lebih katodik akan ditekan atau berhenti sama sekali. Logam yang potensialnya lebih negatif atau aktif (M) akan melepaskan elektron menuju logam yang mempunyai potensial yang lebih aktif (N). (M.Mukhlis Roziqin.2005)

2.5 Metode Polarisasi

Mekanisme korosi pada lingkungan larutan adalah reaksi elektrokimia. Oleh karena itu berbagai macam pengujian elektrokimia telah banyak dikembangkan. Keuntungan dari metode elektrokimia ini adalah kemampuannya mendeteksi laju korosi yang sangat rendah, durasi percobaan yang relative singkat dan mudah dilakukan.

Metode elektrokimia melibatkan penentuan sifat antar muka yang spesifik dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

(a) Perbedaan potensial pada antarmuka. Potensial pada permukaan terkorosi diperoleh dari polarisasi anodik-katodik. Potensial merupakan parameter yang mudah diamati. Nilai potensial ini berhubungan dengan sistem termodinamika, yang memberikan informasi tentang keadaan suatu sistem.

(b) Laju reaksi sebagai densitas arus. Densitas arus dapat diketahui melalui polarisasi anodik-katodik logam, sehingga diperoleh densitas arus ikor.

(c) Impedansi permukaan. Permukaan logam yang terkorosi dan tidak terkorosi dapat dibedakan melalui karakteristik impedansinya. (Roberge, 2000)

Metode polarisasi dapat digunakan untuk uji korosi. Pada metode polarisasi *potensiodinamik*, potensial elektroda (spesimen logam) divariasikan dengan diberi arus listrik pada elektrolit. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk uji ketahanan korosi. (Roberge, 2000)

Polarisasi *potensiodinamik* adalah suatu metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik/katodik. Jika logam berada dalam kontak dengan larutan yang bersifat korosif, maka pada permukaan logam dapat terjadi reaksi reduksi dan reaksi oksidasi secara bersamaan disebabkan pada permukaan logam terbentuk banyak mikrosel, mikroanoda dan mikrokatoda.

Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang di berikan dari luar sistem. Hal ini disebabkan ada perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya. Beda potensial ini dinamakan potensial korosi (*E_{corr}*). Jika ke dalam sistem sel elektrokimia diberikan arus searah dari luar (Sumber DC) atau ditambah zat yang dapat mempengaruhi potensial sel, maka potensial logam akan lebih positif atau lebih negatif dibandingkan potensial korosinya, menghasilkan arus anodik atau arus katodik. Perubahan potensial pada logam dinamakan polarisasi atau *over potensial*. Karakteristik polarisasi logam ditentukan berdasarkan kurva polarisasi potensio dinamik yang menyatakan aliran arus atau log arus sebuah fungsi potensial yang dibangkitkan. Polarisasi atau *over potensial* (η) adalah perubahan potensial elektrokimia setengah sel dari posisi kesetimbangan dengan lingkungannya pada suatu proses elektrodik. Hubungan *over potensial* dan arus dapat digunakan untuk mengungkapkan laju korosi. (Margono Sugeng.2022)

2.6 Uji *Microstructure*

Struktur material berskala sangat kecil, yang didefinisikan sebagai struktur permukaan material yang telah disiapkan seperti yang terlihat oleh mikroskop optik dengan pembesaran di atas 25 kali. Struktur mikro suatu bahan (seperti logam , polimer , keramik , atau komposit) dapat sangat mempengaruhi sifat fisik seperti kekuatan, ketangguhan, keuletan, kekerasan, ketahanan terhadap korosi, perilaku suhu tinggi/rendah, atau ketahanan aus. Sifat-sifat ini mengatur penerapan bahan-bahan ini dalam bidang industri.

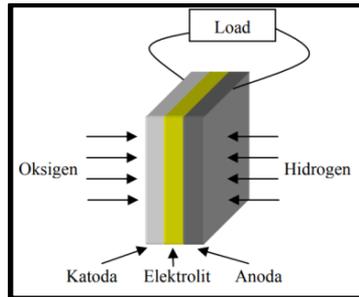
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui suatu fisik logam yang nampak pada bagian luar dan untuk mengetahui susunan fasa pada benda uji spesimen. Standar pengujian yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari ASTM E3 yang menjelaskan tentang tahap preparasi pada pengujian mikrostruktur, ASTM E7 sebagai standar yang digunakan dalam proses sebelum dilakukan pengambilan gambar spesimen. (M.Hermawan · 2015).

2.7 Fuel Cell

Fuel cell merupakan alat konversi energi yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi. *Fuel cell* dapat menguraikan gas hidrogen menjadi energi listrik. Dengan memanfaatkan gas hidrogen sebagai bahan bakar, *fuel cell* dapat melakukan reaksi bahwa kandungan *electron* dan *proton* dari gas *hydrogen* bisa dipisahkan sehingga bisa menghasilkan energi listrik. Beberapa komponen yang digunakan untuk memisahkannya yaitu *anoda* (sebagai kutub negatif), *katoda* (sebagai kutub positif), serta katalis (untuk membantu proses pemisahan atom elektron dan proton dari hidrogen), *membrane* (sebagai konduktor yang mengakibatkan proton mengalir ke

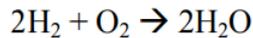
katoda). Dikarenakan hasil dari *fuel cell* adalah energi listrik, maka aplikasinya dapat diterapkan pada mobil listrik sebagai sumber pengisian baterai atau sebagai alat penerangan lainnya. (Banham et.al ,2016)

2.9.1 Prinsip kerja *fuel cell*



Gambar 11 Struktur dasar fuel cell; katoda – elektrolit – anoda
Sumber: (Eniya Listiani Dewi,2008)

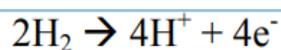
Prinsip kerja fuel cell merupakan kebalikan proses elektrolisis, dimana hidrogen direaksikan dengan oksigen dan menghasilkan listrik



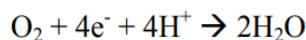
Pada reaksi tersebut diatas dibebaskan energi panas yang kemudian dapat dihasilkan energi listrik. Arus listrik yang dihasilkan sangat kecil. Hal ini disebabkan beberapa hal :

- (a) Rendahnya kontak area antara gas, elektroda dan elektrolit;
- (b) Jarak yang jauh antara elektroda dan elektrolit menyebabkan tahanan pada arus listrik. Sehingga untuk meningkatkan kinerjanya, elektroda dibuat menjadi plat dengan lapisan tipis dari elektrolit (seperti terlihat pada gambar dibawah ini). Struktur elektroda terbuat dari material berporous yang menyebabkan elektrolit pada sisi satu dan sisi lainnya bisa menembus. (Eniya Listiani Dewi,2008)

Pada anoda, asam dari elektrolit, hidrogennya akan terionisasi menghasilkan elektron dan ion hidrogen (proton). Reaksi ini akan



membebaskan energi.



Sementara di katoda, oksigen bereaksi dengan electron yang diambil dari elektroda dan proton (ion hidrogen) membentuk air.(Eniya Listiani Dewi,2008)

2.9.2 Jenis jenis *fuel cell*

Penggunaan hidrogen yang terdapat pada *fuel cell* dapat di desain menjadi suatu sistem *portable* yang dapat dipindah-pindahkan serta mempunyai massa yang ringan. Berbeda dengan sistem pembakaran yang terdapat pada alat transportasi konvensional (penggunaan piston pada mobil/motor), Rangkaian *fuel cell* tersebut tidak mempunyai bagian yang bergerak ataupun bergetar sehingga tidak menimbulkan polusi. (Mukhsilin Riadi,2013)

Fuel cell mempunyai beberapa kelebihan, diantara lain adalah:

- a) Tidak mengeluarkan emisi suara (tidak berisik).
- b) Efisiensi energy yang cukup tinggi.
- c) Bebas emisi polutan sehingga tidak mencemari lingkungan.
- d) Dapat digunakan dalam berbagai jenis aplikasi penggunaan.

Fuel cell dapat diaplikasikan dalam berbagai jenis aplikasi yang menggunakan energi seperti dalam *cell phones*, *personal computer*, *power station* seperti pada rumah sakit, gedung perkantoran, sekolah dan juga pada kendaraan transportasi seperti motor dan mobil. Secara umum, *fuel cel* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Pengklasifikasian jenis-jenis *fuel cell* tersebut berdasarkan elektrolit yang digunakan, temperature operasi, Klasifikasi dari *fuel cell* tersebut terangkum dalam tabel dibawah ini.(Mukhsilin Riadi,2013)

Tabel 1 jenis jenis klasifikasi elektrolit

Jenis	Elektrolit	Katalis	Temperatur Operasi (oC)	Karakteristik
Alkaline <i>Fuel cell</i> (AFC)	KOH	Platinum	60-120	Efisiensi energi tinggi.
Phosphoric Acid <i>Fuel cell</i> (PAFC)	Phosphoric Acid (H+)	Platinum	160-200	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO2(<1,5% Vol)
Molten Carbonate <i>Fuel cell</i> (MCFC)	Molten Carbonate (CO2-)	Electrode Material	500-650	Rentan korosi temperature tinggi
Solid Oxide <i>Fuel cell</i> (SOFC)	Lapisan Keramik(O2-)	Electrode Material	800-1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu direduksi
Polymer Electrolyte Membrane <i>Fuel cell</i> (PEMFC)	Polymer Electrolyte (H+)	Platinum	60-100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)
Direct Methanol <i>Fuel cell</i> (DMFC)	Electrolyte Polymer(H+)	Platinum	60-120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda

2.9.3 Aplikasi *Fuel cell*

Perkembangan teknologi *fuel cell* di negara-negara industri maju seperti Amerika dan Eropa dewasa ini semakin terpacu dengan semakin digalakkannya swastanisasi pembangkit listrik tipe *desentralisasi*. Hal ini sejalan pula dengan kesadaran cinta lingkungan dan sumber energi terpusat aplikasi *fuel cell* tersebut akan menjadi industri yang berkembang di seluruh dunia.

Pada jangka pendek, produksi hidrogen yang terdistribusi melalui *reform* gas alam atau dengan elektrolisis akan menjadi pendekatan yang paling memungkinkan untuk memperkenalkan teknologi hidrogen dan awal untuk membangun sebuah infrastruktur hidrogen.(BRIN,2023)

Pada jangka panjang, fasilitas produksi hidrogen skala besar yang tersentralisasi berbasis pada produksi hidrogen melalui gasifikasi batubara dan melalui gasifikasi biomassa akan memberi keuntungan skala ekonomi serta akan dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan hidrogen dan di masa yang akan datang akan memberikan efek yang positif bagi ekonomi nasional.(BRIN,2023)

2.10 Elektrolisis

Elektrolisis adalah proses kimia yang menggunakan arus listrik searah (DC) untuk menggerakkan reaksi kimia yang tidak spontan. Proses ini melibatkan pemisahan unsur-unsur dari senyawa mereka melalui penggunaan arus listrik, dan sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, seperti produksi logam dan pemisahan air menjadi hidrogen dan oksigen.(Huiyu Shang dkk, 2024)

2.10.1 Prinsip Kerja Elektrolisis

Elektroda: Terdapat dua elektroda dalam sel elektrolisis:

- **Katoda:** Tempat terjadinya reaksi reduksi, di mana ion positif menerima elektron.
- **Anoda:** Tempat terjadinya reaksi oksidasi, di mana ion negatif melepaskan elektron.

Hukum Faraday: Jumlah substansi yang dihasilkan di elektroda berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang mengalir melalui sel. Hukum ini menjelaskan hubungan antara arus listrik dan jumlah produk yang dihasilkan selama proses elektrolisis.

2.10.2 Aplikasi Elektrolisis

Produksi Logam: Elektrolisis digunakan untuk mengekstraksi logam dari bijihnya, seperti aluminium dari bauksit.

Pengolahan Air: Proses ini juga digunakan dalam desalinasi air laut.

Pembuatan Bahan Kimia: Elektrolisis digunakan untuk memproduksi bahan kimia penting seperti klorin dan natrium hidroksida. (Huiyu Shang dkk,2024)