

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material

Material merupakan komponen utama dalam setiap sistem teknik. Dalam bidang teknik mesin, material digunakan sebagai bahan dasar pembentuk komponen-komponen mekanik, struktur rangka, transmisi daya, dan berbagai sistem lainnya. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat menjadi salah satu aspek paling krusial dalam proses perancangan teknik. Pemilihan ini harus mempertimbangkan sifat fisik, mekanik, termal, kimia, serta kemudahan dalam proses manufaktur.

Menurut Callister dan Rethwisch (2018), material teknik secara umum diklasifikasikan ke dalam empat kelompok utama, yaitu logam (*metal*), keramik (*ceramic*), polimer (*polymer*), dan komposit (*composite*). Masing-masing kelompok memiliki karakteristik yang khas. Logam umumnya memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik serta sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan daktilitas yang tinggi. Polimer cenderung ringan dan fleksibel, sementara keramik bersifat keras dan tahan terhadap temperatur tinggi, tetapi rapuh. Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih jenis material untuk menghasilkan sifat gabungan yang lebih unggul dibandingkan material tunggal.

Baja sebagai salah satu jenis logam *ferrous* (mengandung besi) merupakan material yang paling luas digunakan dalam aplikasi teknik. Hal ini disebabkan oleh kombinasi sifatnya yang baik, seperti kekuatan tinggi, kemampuan bentuk yang baik, dan kompatibilitas terhadap berbagai proses manufaktur seperti pengecoran,

permesinan, serta pengelasan (Kalpakjian & Schmid, 2014). Baja juga memiliki struktur makro yang dapat dimodifikasi melalui perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu yang diinginkan, misalnya meningkatkan kekerasan, ketangguhan, atau ketahanan aus.

Pemahaman terhadap sifat dasar suatu material sangat penting, terutama jika material tersebut akan dikenai perlakuan panas atau proses penyambungan seperti pengelasan. Proses pengelasan tidak hanya menyatukan dua bagian logam, tetapi juga dapat mengubah struktur mikro dan sifat mekanik logam di sekitar daerah las, khususnya pada zona yang terkena panas (*heat affected zone*). Oleh karena itu, studi tentang sifat material terutama sifat mekanik, termal, dan mikrostruktur menjadi landasan penting dalam kajian performa material terhadap pengaruh proses pengelasan (Smith & Hashemi, 2011).

2.1.1 Sifat Material

Sifat material merupakan karakteristik fundamental dari suatu bahan yang menentukan bagaimana bahan tersebut merespons terhadap beban, perubahan suhu, lingkungan, serta proses manufaktur seperti pembentukan, pemesinan, atau pengelasan. Dalam ilmu material teknik, pemahaman terhadap sifat-sifat ini sangat penting karena akan memengaruhi pemilihan material untuk aplikasi tertentu dan juga memengaruhi desain proses produksi.

Secara umum, sifat material diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok utama, yaitu sifat mekanik, sifat fisik, sifat termal, dan sifat kimia. Sifat mekanik meliputi kekuatan tarik, kekerasan, daktilitas, dan ketangguhan, yang sangat penting

untuk menilai kemampuan material menahan beban. Sifat termal berkaitan dengan kemampuan material dalam menghantarkan dan menahan panas, sedangkan sifat kimia mencerminkan ketahanan material terhadap korosi atau reaksi dengan zat lain.

A. Sifat fisik

Sifat fisik merupakan karakteristik suatu zat yang berkaitan dengan perubahan fisiknya tanpa menyebabkan perubahan komposisi kimianya. Sifat ini umumnya digunakan untuk menjelaskan penampilan atau bentuk luar suatu bahan. Beberapa parameter yang termasuk dalam sifat fisik antara lain sebagai berikut:

1. Bau: berkaitan dengan senyawa volatil (gas atau uap) yang dilepaskan oleh suatu zat dan dapat terdeteksi oleh indera penciuman.
2. Rasa: berkaitan dengan interaksi zat dengan indera pengecap, yang dipengaruhi oleh komposisi kimianya, meskipun dalam teknik mesin biasanya tidak menjadi parameter pengukuran.
3. Kerapatan (massa jenis): menyatakan jumlah massa per satuan volume suatu bahan, biasanya dinyatakan dalam satuan gram per mililiter (g/mL) atau kilogram per meter kubik (kg/m^3). Sebagai contoh, jika suatu zat memiliki massa jenis 0,5 g/mL, maka setiap 1 mL zat tersebut memiliki massa sebesar 0,5 gram.
4. Titik didih: suhu pada saat suatu zat cair mulai berubah menjadi gas (mendidih).
5. Titik lebur: suhu di mana suatu zat padat mulai mencair menjadi cairan.
6. Titik beku: suhu ketika suatu zat cair mulai berubah menjadi padat (membeku).
7. Daya hantar (konduktivitas): menunjukkan kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan panas atau arus listrik.

8. **Kemagnetan:** kemampuan suatu bahan, umumnya logam, untuk dipengaruhi atau tertarik oleh medan magnet.
9. **Kelarutan:** menggambarkan sejauh mana suatu zat dapat larut dalam suatu pelarut tertentu.
10. **Kekerasan:** merujuk pada kemampuan suatu bahan untuk menahan goresan atau deformasi, dan sering digunakan untuk mengklasifikasikan bahan dari lunak hingga sangat keras.

B. Sifat Kimia

Sifat kimia merupakan karakteristik suatu material yang berkaitan dengan reaktivitasnya terhadap zat lain, terutama dalam konteks perubahan kimia. Sifat ini menggambarkan sejauh mana suatu bahan dapat mengalami reaksi kimia, baik secara spontan maupun akibat paparan terhadap lingkungan tertentu. Beberapa aspek penting dalam sifat kimia mencakup ketahanan terhadap korosi, potensi elektrokimia, daya larut, serta kemampuan untuk bereaksi dalam kondisi asam atau basa.

Material yang memiliki kemampuan tinggi untuk menahan serangan korosif dari lingkungan disebut sebagai material tahan korosi. Sebaliknya, bahan yang dapat melarutkan bahan lain dikenal sebagai pelarut. Dalam praktik rekayasa, sifat kimia suatu logam atau material lainnya dapat diidentifikasi dan diukur secara kuantitatif melalui serangkaian pengujian laboratorium yang terstandarisasi.

Pemahaman mengenai sifat kimia menjadi penting, terutama dalam pemilihan material yang akan digunakan di lingkungan ekstrem atau korosif, seperti pada industri kimia, kelautan, dan energi. Adapun contoh sifat kimia pada material meliputi:

1. Ketahanan terhadap korosi: kemampuan material untuk bertahan dari degradasi akibat reaksi kimia dengan lingkungan, seperti air laut, udara lembap, atau bahan kimia agresif.
2. Ketahanan terhadap panas: kemampuan material untuk tidak bereaksi atau terurai pada temperatur tinggi.
3. Tingkat toksisitas (racun): sifat kimia yang menunjukkan potensi bahaya suatu bahan terhadap makhluk hidup jika terpapar.

C. Sifat Mekanik

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu. Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut. Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan

ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impak, kekuatan mulur, kekuatan.

D. Sifat Teknologi

Selanjutnya sifat yang sangat berperan dalam pemilihan material adalah sifat teknologi yaitu kemampuan material untuk dibentuk atau diproses. Produk dengan kekuatan tinggi dapat dibuat dengan proses pembentukan, misalnya dengan pengerolan atau penempaan. Produk dengan bentuk yang rumit dapat dibuat dengan proses pengecoran. Mengetahui dari pada hal yang menyangkut tentang sifat-sifat teknologi diantaranya sifat mampu las material terdiri dari, sifat mampu cor, sifat mampu mesin dan sifat mampu bentuk. Sifat- sifat mekanik yang merupakan sifat material terhadap pengaruh yang berasal dari luar serta sifat-sifat fisik yang ditentukan oleh komposisi yang dikandung oleh material itu sendiri dengan cara yang modern dari wilayah tersendiri serta dengan sifatnya yang berlaku.

2.1.2 Klasifikasi Material

Material adalah segala sesuatu yang mempunyai massa dan menempati ruang untuk perekayasaan dan perancangan di bidang teknik.

A. Logam

Logam adalah material yang mempunyai daya hantar listrik yang tinggi dengan sifat konduktor yang baik dan tahan terhadap temperatur tinggi, mempunyai titik didih tinggi, keras, mengkilap, tidak tembus cahaya, dan dapat dideformasi sehingga banyak digunakan pada banyak konstruksi.

Jenis logam juga terbagi menjadi 2 jenis yaitu logam ferro dan non ferro dan jenis material teknik yang dipakai secara luas dalam teknologi modern adalah baja. Baja adalah material logam yang dapat dipakai secara fleksibel dan mempunyai beberapa karakteristik. Material ini kuat dan siap dibentuk menjadi bermacam-macam keperluan teknik. Material ini berspektrum luas dan mempunyai kemampuan berdeformasi secara permanen yang merupakan modal penting dalam menentukan harga tegangan luluh pada berbagai beban.

B. Keramik

Keramik merupakan campuran antara unsur logam dan nonlogam, kebanyakan dalam bentuk oksida, nitrida dan karbida. Material yang termasuk dalam kelompok ini tersusun atas clay, semen dan gelas. Material ini bersifat insulator terhadap listrik dan panas dan lebih tahan pada temperatur tinggi dan lingkungan.

C. Polymer

Polimer adalah molekul rantai panjang yang mengandung beberapa ikatan mer. Mer dalam sebuah polimer adalah sebuah molekul hidrokarbon tunggal seperti etilen (C_2H_4). Karet dan plastik termasuk dalam kelompok ini. Kebanyakan berupa senyawa organik yang secara kimia tersusun atas unsur karbon, hidrogen, dan nonlogam lainnya. Density yang rendah dan fleksibilitas yang tinggi merupakan ciri khas material ini. Pemakaian plastik juga sangat luas, mulai peralatan rumah tangga, interior mobil, kabinet radio/televisi, sampai konstruksi mesin.

D. Komposit

Komposit merupakan material hasil kombinasi dari dua material atau lebih, yang sifatnya sangat berbeda dengan sifat masing-masing material asalnya. Komposit selain dibuat dari hasil rekayasa manusia, juga dapat terjadi secara alamiah, misalnya kayu, yang terdiri dari serat selulose yang berada dalam matriks lignin. Komposit saat ini banyak dipakai dalam konstruksi pesawat terbang, karena mempunyai sifat ringan, kuat dan non magnetik.

2.2 Baja (Steel)

Baja adalah logam paduan, logam besi yang berfungsi sebagai unsur dasar dicampur dengan beberapa elemen lainnya, termasuk unsur karbon. Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya.



Gambar 2. 1 Baja Plat
(Sumber : Dia Adira, 2021)

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.

2.2.1. Klasifikasi Baja Karbon

Baja Karbon (carbon steel) Baja karbon atau yang disebut carbon steel yaitu baja yang tersusun dari elemen-elemen yang persentase maksimum selain bajanya

sebagai berikut: 1) 1.65 % Manganese 2) 0.60 % Copper 3) 1.70 % Carbon 4) 0.60 % Silicon carbon adalah bahan untuk menaikkan tegangan (*strength*) dari baja murni. Baja dikategorikan berdasar material, yaitu dari ingot iron (bongkah) tanpa carbon sama sekali, sampai *cast iron* (baja tuang) yang memiliki carbon sekurang-kurangnya adalah 1.70 %.

3. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon 0,10% s/d 0,30%. Baja karbon rendah ini diaplikasikan dalam pembuatan baja strip, baja batangan atau profil dan plat baja

4. Baja Karbon Menengah

Baja karbon menengah mengandung carbon antara 0,30 % s/d 0,60 C. Baja karbon ini digunakan sebagai keperluan alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan total karbon yang terdapat dalam baja ini maka baja karbon dapat digunakan sebagai keperluan-keperluan industry.

5. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi mengandung kadar carbon antara lain 0,60 % s/d 1,17 % C dan setiap satu ton baja karbon tinggi memiliki karbon sebesar 70 – 130 Kg. Baja ini memiliki tegangan tarik tinggi dan banyak digunakan untuk material peralatan. Contoh aplikasi dari baja ini dalam pembuatan kabel baja dan kawat.

2.2.2. Sifat Baja

Sifat baja pun berbeda-beda sesuai dengan hasil baja yang dibuat dan dibentuk. Baja mencapai 90% lebih dengan campuran untuk tujuan khusus. Baja dalam

perbandingan (presentase) zat arang yang berlainan. semakin tinggi presentase zat arangnya, maka baja menjadi :

1. Kekuatan tariknya bertambah.
2. Sifat regang berkurang.
3. Kekerasannya bertambah, juga sifat dapat dikeraskan (disepuh) maksimum 1,7% karbon.
4. Titik cair berkurang misal 0% karbon titik cair 15390C 17% karbon titik cair 13800C.

Baja mudah sekali berkarat oleh panas maupun lembab. Maka baja untuk transmisi harus dilapisi untuk menahan karat. Untuk pemeriksaan kawat dimasukkan ke dalam oksida tembaga diatas. Karena baja tidak memiliki daya hantar yang baik, maka untuk kabel transmisi di atas tanah biasanya hanya berfungsi sebagai penguat.

Selain sifat ini adapun sifat khas baja:

1. Keras, kuat, awet
2. Sifat magnetnya kuat
3. Koefisien muai rendah
4. Tahan terhadap tekanan/beban
5. Tahan terhadap asam
6. Tahan karat

Baja ASTM A36 adalah baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti konstruksi, otomotif, dan rancang bangun karena kemampuannya untuk dilas dengan baik dan sifat mekanik yang memadai. Komposisi

kimianya meliputi karbon sekitar 0,14–0,25%, silikon, mangan, fosfor, dan sulfur dalam jumlah kecil, yang memengaruhi sifat mekaniknya.

Secara mekanik, baja A36 memiliki kekuatan tarik ultimate sekitar 400–550 MPa dan tegangan luluh sekitar 250–292 MPa, dengan elongasi sekitar 20% yang menunjukkan keuletannya. Pengelasan SMAW pada baja A36 dapat mempengaruhi sifat mekanik, terutama kekuatan tarik dan ketangguhan; perlakuan panas seperti normalizing pada suhu sekitar 880°C dengan variasi waktu penahanan dapat meningkatkan atau menurunkan kekuatan tarik dan sifat impak tergantung durasi perlakuan. Struktur mikro baja A36 setelah pengelasan dan perlakuan panas menunjukkan dominasi fasa ferrit dengan variasi ukuran butir yang memengaruhi kekuatan dan keuletan material. Baja ASTM A36 adalah baja karbon rendah yang memiliki sifat mekanik baik dan mudah dilas, dengan karakteristik yang dapat dioptimalkan melalui pengelasan dan perlakuan panas untuk aplikasi teknik terutama di bidang konstruksi dan perkapalan.

Baja ASTM A36 adalah baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti konstruksi, otomotif, dan rancang bangun karena kemampuannya untuk dilas dengan baik dan sifat mekanik yang memadai. Komposisi kimianya meliputi karbon sekitar 0,14–0,25%, silikon, mangan, fosfor, dan sulfur dalam jumlah kecil, yang memengaruhi sifat mekaniknya.

2.3 Media Pendingin

2.3.1 Air Garam

Penggunaan media pendingin air garam pada hasil las SMAW memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kekerasan material baja karbon rendah.

Berdasarkan penelitian jurnal, variasi kadar garam dalam media pendingin air garam (misalnya 10%, 20%, dan 30%) setelah proses pengelasan SMAW menunjukkan peningkatan nilai kekerasan secara bertahap. Contohnya, media pendingin dengan kadar garam 30% menghasilkan nilai kekerasan tertinggi hingga sekitar 114,1 HRB, lebih tinggi dibandingkan air laut biasa (3,5% garam) yang menghasilkan sekitar 88,37 HRB.

Hal ini disebabkan oleh pendinginan cepat yang dihasilkan oleh media air garam, yang memicu pembentukan struktur mikro keras seperti martensit pada daerah las dan heat affected zone (HAZ). Selain itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa media pendingin air garam memberikan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan media pendingin lain seperti air sumur, oli, dan udara, dengan nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada jalur las dan HAZ.

Kesimpulannya, media pendingin air garam efektif meningkatkan kekerasan hasil las SMAW melalui proses quenching yang lebih cepat, yang mengubah struktur mikro menjadi lebih keras dan meningkatkan sifat mekanik lasan baja karbon

Media pendingin bekerja dengan prinsip perpindahan panas. Kita tahu kalau panas itu merupakan salah satu bentuk energi, dan energi ini tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, Sehingga, untuk mengurangi suhu pada mesin panas tersebut tidak dihilangkan melainkan dipindahkan. Panas dari mesin, akan dipindahkan ke udara bebas melalui serangkaian mekanisme yang kita sebut sebagai sistem pendingin. Proses perpindahan panas ini, memerlukan bantuan sebuah media yang bisa menyerap,

menyimpan dan melepaskan panas, umumnya media yang dipakai adalah air dan udara.

2.3.2. Oli SAE-30

Media pendingin oli SAE 30 pada hasil las SMAW berpengaruh positif terhadap peningkatan kekerasan baja ST 37 post preheating. Penelitian menunjukkan bahwa pendinginan menggunakan oli SAE 30 menghasilkan nilai kekerasan tertinggi dibandingkan media pendingin udara, air, dan oli SAE 20, dengan nilai kekerasan sekitar 108,1 kg/mm². Hal ini terjadi karena viskositas oli SAE 30 yang lebih tinggi menyebabkan laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan air, sehingga struktur mikro yang terbentuk lebih rapat dan keras. Korelasi antara media pendingin dan kekerasan material sangat kuat, dengan nilai korelasi mencapai 99,76%, menandakan bahwa media pendingin sangat mempengaruhi sifat kekerasan hasil las SMAW. Proses preheating pada suhu 200°C selama 15 menit juga berperan dalam meningkatkan kekerasan material setelah pendinginan dengan oli SAE 30.

Oli SAE 30 sebagai media pendingin memberikan hasil las SMAW dengan kekerasan lebih tinggi dan struktur mikro yang lebih baik dibanding media pendingin lain seperti udara dan air.

2.3.2 Udara (Pendingin Alami)

Media pendingin udara pada hasil las SMAW memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik, khususnya nilai energi impak dan struktur mikro sambungan las. Berdasarkan jurnal ilmiah, penggunaan media pendingin udara menghasilkan nilai energi impak rata-rata sebesar 118,54 Joule, lebih tinggi dibandingkan media

pendingin air garam yang hanya sekitar 90,74 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan dengan udara memberikan hasil las yang lebih tahan terhadap ketangguhan (*impact toughness*) pada sambungan lap joint.

Dari segi struktur mikro, media pendingin udara menghasilkan persentase ferrit yang lebih tinggi, yaitu sekitar 90,44%, dibandingkan dengan air garam yang hanya 75,79%. Ferrit yang lebih dominan ini berkontribusi pada peningkatan keuletan dan ketangguhan hasil las. Pendinginan dengan udara juga cenderung menghasilkan struktur mikro yang lebih homogen dan mengurangi risiko retak atau cacat dibandingkan media pendingin yang lebih cepat seperti air garam.

Singkatnya, media pendingin udara pada pengelasan SMAW memberikan keseimbangan yang baik antara kekuatan dan ketangguhan hasil las, dengan struktur mikro yang didominasi ferrite sehingga meningkatkan sifat mekanik sambungan las.

2.3.3. Jenis-Jenis Media Pendingin

1. Sistem pendingin udara (alami)

Sistem pendingin udara adalah mekanisme pendinginan mesin yang menggunakan udara atau angin yang terdapat di luar kendaraan. Sistem pendingin udara memiliki mekanisme lebih sederhana, karena komponen pendinginan ini hanya terdiri dari sirip udara yang diletakan di permukaan blok mesin.

Fungsi sirip udara ini adalah melepaskan panas mesin ke udara yang mengalir melewati mesin. Sirip udara ini, bisa menyerap dan melepas panas karena berbahan konduktor.

a. Kelebihan media pendingin udara

- b. Desain ringkas dan tidak memakan banyak ruang
 - c. Proses pendinginan cepat karena letak mesin yang ada di luar.
 - d. Tidak memerlukan perawatan.
 - e. Kekurangan media pendingin udara
 - f. Proses pendinginan dipengaruhi oleh kelajuan kendaraan, bukan suhu mesin.
 - g. Berpotensi overheat apabila posisi macet.
2. Sistem pendingin air

Sistem pendingin air menggunakan zat cair sebagai media pendinginan, Zat cair ini bisa berupa air mineral, atau cairan khusus sistem pendingin (*coolant*). Berbeda dengan pendingin alami, pendingin air menggunakan komponen tambahan berupa radiator berfungsi melepaskan panas mesin. Secara umum, pendingin air dipakai pada mobil dengan desain mesin tertutup.

- a. Kelebihan media pendingin air
 - b. Mampu mempercepat mesin mencapai suhu kerja.
 - c. Pada mobil modern, sistem ini mampu mendorong pemakaian bahan bakar lebih irit.
 - d. Sistem pendinginan berlangsung tanpa dipengaruhi posisi kendaraan.
 - e. Kekurangan media pendingin air
 - f. Perlu pengecekan air pendingin secara berkala.
 - g. Konstruksi lebih rumit, sehingga kalau ada satu komponen tidak berfungsi maka mesin akan overheating.
3. Sistem pendingin oli

Oil cooler, mungkin anda pernah mendengar. Sistem pendingin oli pada dasarnya hanya berfungsi mendinginkan oli mesin juga bisa berperan sebagai media pendinginan karena oli mampu menyerap dan melepaskan panas. Sirkulasi oli akan dilewatkan pada sebuah oil cooler. Oil cooler adalah komponen seperti radiator yang berfungsi melepas panas yang dibawa oli mesin ke udara bebas. Dari tiga jenis sistem pendingin diatas, tentu yang paling banyak digunakan adalah sistem pendingin air.

2.4 Pengelasan

Proses pengelasan adalah salah satu proses teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Menurut “Welding Handbook” pengelasan adalah proses penyambungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanaskannya dengan suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi. Pengelasan adalah suatu proses penggabungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas las, dengan atau tanpapengaruh tekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. *(AL Ghifari(2018)).*

Pengelasan sebagai metode penyambungan telah banyak digunakan untuk konstruksi bangunan aluminium dan konstruksi mesin. Metode pengelasan disamping digunakan untuk penyambungan juga digunakan untuk reparasi atau perbaikan misalnya membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian- bagian konstruksi yang aus. Metode pengelasan kelihatannya sederhana, tetapi didalamnya

banyak masalah yang harus diatasi dengan pemecahan yang memerlukan pengetahuan. Pengetahuan ini harus didampingi dengan praktek.

Perancangan sambungan konstruksi bangunan dan konstruksi mesin dengan las harus direncanakan cara pengelasan, bahan las dan jenis las yang digunakan, serta cara pemeriksaannya, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang. Berdasarkan definisi dari DIN (*Deutch Industrie Normen*) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Penggunaan teknik pengelasan dalam bidang konstruksi dan mesin sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sistem perpipaan, otomotif, kereta api dan lain sebagainya. Sambungan las banyak digunakan dengan pertimbangan bahwa konstruksi ringan, murah dan pengerjaan cepat (*Iswanto, (2020)*).

Adapun keuntungan dari pengelasan adalah sebagai berikut:

- a. Pengelasan memberikan sambungan yang permanen. Kedua bagian yang disambung menjadi satu kesatuan setelah di las.
- b. Sambungan las dapat lebih kuat dari pada material induk nya jika logam pengisi (*filler metal*) yang digunakan memiliki sifat-sifat kekuatan yang “tinggi dari pada material induknya, dan teknik pengelasan yang digunakan harus tepat.

- c. Pengelasan biasa nya merupakan cara yang paling ekonomis jika ditinjau dari harga pembuatannya dan segi penggunaanya.
- d. Pengelasan tidak dibatasi hanya pada lingkungan pabrik saja, tetapi pengelasan juga dapat dilakukan atau dikerjakan dilapangan.

Berdasarkan masukan panas (*heat input*) utama yang diberikan kepada logam dasar, proses pengelasan dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang berasal dari *fusion* (nyala api las), contohnya: las busur (*arc welding*), las gas (*gas welding*), las sinar elektron (*electron discharge welding*), dan lain-lain.
- b. Pengelasan dengan menggunakan energy panas yang tidak berasaldarinyalaapi las (*non fusion*) contohnya: *friction stirr welding* (proses pengelasan dengan gesekan), las tempa, dan lain-lain.

2.4.1 Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Pengelasan SMAW adalah salah satu metode pengelasan yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi karena kemudahan dan fleksibilitasnya. Proses ini menggunakan elektroda berlapis fluks yang menghasilkan busur listrik untuk melebur logam dasar dan elektroda sehingga terbentuk sambungan las yang kuat. Parameter pengelasan seperti arus listrik, tegangan, dan kecepatan pengelasan sangat mempengaruhi kualitas hasil las. Namun, proses pengelasan ini menghasilkan panas tinggi yang menyebabkan perubahan mikrostruktur dan sifat mekanik pada daerah las dan sekitarnya (Bramantio,2023 & Calvin 2023).

2.4.2 Perangkat Las SMAW

Perangkat Las SMAW dan Fungsinya

1. Mesin Las (Trafo Las / *Power Source*)

Mesin las SMAW berfungsi sebagai sumber energi listrik yang mengubah tegangan listrik dari sumber utama menjadi arus listrik yang sesuai untuk proses pengelasan. Mesin ini dapat menggunakan arus AC (bolak-balik) atau DC (searah) tergantung kebutuhan. Arus listrik ini akan menghasilkan busur listrik antara elektroda dan logam kerja yang mencairkan logam untuk menyambung material.

2. Elektroda Las

Elektroda adalah batang logam berinti yang dilapisi dengan bahan flux pelindung.

3. Kabel Las

Menghubungkan mesin las dengan sumber listrik.

4. Pemegang Elektroda (*Electrode Holder*)

Alat penjepit yang digunakan untuk memegang elektroda selama proses pengelasan. Pemegang ini harus isolatif agar operator terlindungi dari arus listrik dan panas saat mengelas.

5. Penjepit Massa (*Ground Clamp*)

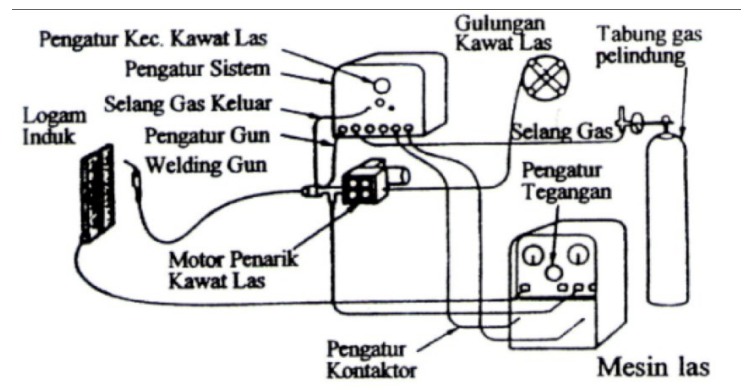
Alat yang menghubungkan benda kerja dengan mesin las untuk menutup rangkaian listrik. Penjepit ini harus dipasang dengan kuat pada benda kerja agar arus listrik mengalir stabil.

6. Alat Bantu Las

Meja las, Palu terak (*chipping hammer*), Sikat kawat (*wire brush*), Gerinda tangan, mistar baja, ragum, kikir, penjepit benda kerja: Alat bantu untuk persiapan dan finishing las.

7. Alat Pelindung Diri (APD)

Melindungi operator dari bahaya pengelasan seperti percikan api, radiasi busur, dan panas



Gambar 2. 2 Skema Las SMAW

(Sumber: Omersin, 2021)

Parameter-parameter yang berpengaruh dalam pengelasan SMAW Parameter-parameter yang berpengaruh dalam pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) meliputi beberapa variabel utama yang sangat menentukan kualitas hasil las, antara lain:

1. Arus Pengelasan (Ampere)

Arus adalah faktor utama yang mempengaruhi kedalaman penetrasi dan fusi logam las dengan benda kerja. Arus yang terlalu besar dapat menyebabkan spatter, undercut, dan burn-through, sedangkan arus terlalu kecil menyebabkan incomplete

fusion dan slag inclusion. Besar arus dipengaruhi oleh diameter elektroda, tebal material, jenis material, posisi pengelasan, dan bagian las yang sedang dikerjakan.

2. Voltase (Tegangan Busur)

Voltase mengontrol panjang busur las dan lebar lasan. Voltase yang tepat memastikan busur stabil dan hasil las rata. Voltase yang terlalu tinggi menyebabkan busur terlalu panjang dan spatter meningkat, sedangkan voltase terlalu rendah menyebabkan busur tidak stabil.

3. Kecepatan Pengelasan (*Travel Speed*)

Kecepatan las menentukan waktu pemanasan dan pendinginan logam las. Kecepatan terlalu cepat menghasilkan penetrasi dangkal dan lasan yang tidak rata, sedangkan kecepatan terlalu lambat menyebabkan lasan terlalu tinggi dan lebar akibat filler metal menumpuk.

4. Diameter Elektroda

Diameter elektroda menentukan besar arus yang dapat digunakan. Elektroda besar memerlukan arus besar untuk mencairkan elektroda dengan baik, sedangkan elektroda kecil digunakan dengan arus kecil.

5. Polaritas

Polaritas busur (DCEN, DCEP, atau AC) dipilih berdasarkan jenis elektroda dan material. Polaritas mempengaruhi stabilitas busur, penetrasi, dan kualitas las.

6. Jarak Busur (*Arc Length*)

Jarak antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja mempengaruhi konsentrasi panas dan stabilitas busur. Jarak busur yang terlalu panjang menyebabkan panas menyebar dan spatter meningkat.

Jenis dan Kondisi Elektroda

Jenis elektroda (misalnya E7018) dan kondisi pelapisan elektroda memengaruhi karakteristik las seperti kekuatan, ketangguhan, dan kemudahan pengelasan. Pemilihan dan pengaturan parameter-parameter tersebut harus sesuai dengan prosedur pengelasan (*Welding Procedure Specification/WPS*) dan karakteristik material agar menghasilkan sambungan las yang kuat, bebas cacat, dan sesuai standar. Pengaturan parameter yang tepat juga memudahkan welder dalam proses pengelasan dan meningkatkan kualitas hasil akhir. Arus sangat mempengaruhi dalam proses pengelasan busur listrik, besar kecil arus yang dipergunakan dalam proses pengelasan tersebut dapat menentukan ukuran dan bentuk hasil penetrasi dan deposit las.

2.4.4 Jenis Sambungan pada Proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Jenis sambungan pada proses *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) umumnya meliputi beberapa tipe sambungan yang digunakan untuk menyambung dua atau lebih bagian logam, yaitu:

- a. Sambungan Tumpul (*Butt Joint*)

Sambungan ini menghubungkan dua bagian logam yang ujungnya disatukan secara sejajar pada satu bidang datar. Sambungan tumpul sering digunakan untuk menyambung pelat atau pipa dengan ketebalan yang sama atau berbeda.

b. Sambungan Sudut (*Corner Joint*)

Sambungan sudut menghubungkan dua bagian logam yang membentuk sudut 90 derajat atau sudut lainnya. Biasanya digunakan pada pembuatan rangka atau struktur sudut.

c. Sambungan Tumpang (*Lap Joint*)

Sambungan tumpang terjadi ketika dua bagian logam saling tumpang tindih sebagian dan disambung pada area tumpang tindih tersebut. Sambungan ini umum digunakan untuk pelat tipis.

d. Sambungan Ujung (*Edge Joint*)

Sambungan ini menghubungkan tepi dua pelat yang sejajar, biasanya digunakan untuk pelat tipis yang akan dilas pada bagian tepinya.

e. Sambungan T (*T-Joint*)

Sambungan T menghubungkan dua bagian logam yang membentuk huruf T, yaitu satu pelat tegak lurus terhadap pelat lainnya.

Jenis-jenis sambungan ini dipilih sesuai dengan kebutuhan konstruksi, ketebalan material, dan posisi pengelasan. Proses SMAW sangat fleksibel dan dapat digunakan untuk semua jenis sambungan tersebut dengan hasil yang kuat dan tahan lama.

2.5 Pengujian Ketangguhan (*Impact*)

Ketangguhan adalah material yang menggambarkan kemampuannya untuk menyerap energi dan mengalami penyelesaian plastis sebelum akhirnya patah atau retak. Dengan kata lain, ketangguhan mengukur kemampuan material untuk menahan beban atau tekanan eksternal tanpa mengalami kerusakan permanen, terutama ketika mengalami beban mendadak atau perubahan suhu ekstrem. Ketangguhan sering diukur dalam kondisi yang lebih ekstrem, seperti suhu rendah atau pengaruh getaran, di mana material dapat lebih mudah rapuh. Dalam konteks pengelasan, ketangguhan sambungan las sangat penting, terutama untuk memastikan bahwa sambungan yang dihasilkan memiliki daya tahan yang baik terhadap berbagai kondisi kerja.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ketangguhan Komposisi Kimia Material Material yang lebih keras atau lebih kuat cenderung memiliki ketangguhan yang lebih rendah. Rumus uji ketangguhan (*Impact*) sebagai berikut:

$$k = \frac{W}{A} \text{-----} 2.1$$

Dimana:

k = ketangguhan

W = kerja patah (joule)

A = luas penampang (mm²)

2.7.1 Jenis-jenis patahan

Adapun patahan sebagai berikut:

1. Patahan ulet (*Ductile Fracture*)

Patahan ulet adalah patahan tipe patahan yang muncul akibat beban statis pada material. Jika beban tersebut di hilangkan, retakan tidak akan meluas. Patahan ulet di tandai dengan penyerapan energi yang tinggi dan perubahan bentuk yang signifikan di sekitar area patahan, menghasilkan permukaan patahan yang kasar, berserat, dan berwarna abu-abu selain beban, komposisi material juga berpengaruh pada jenis patahan yang terbentuk.

Adapun ciri-ciri patahan ulet sebagai berikut:

- Terjadi pengurangan luas penampang patahan akibat tegangan uniaksial.
- Waktu yang di perlukan untuk terjadinya patahan lebih lama.
- Perkembangan retak berlangsung perlahan, tergantung pada beban.
- Permukaan patahan menunjukkan garis-garis serat berserabut (*fibrois*), berserat, menyerap cahaya dan tampilannya buram.

2. Patahan getas (*Brittle fracture*)

Patahan getas adalah jenis patahan pada material yang di mulai dengan retakan yang cepat berkembang, tanpa ada perubahan bentuk sebelumnya dan terjadi dalam waktu singkat. Patahan getas di anggap lebih berbahaya dari pada patahan ulet karena sering terjadi tiba-tiba tanpa peringatan. Umumnya, patahan getas terjadi pada material dengan struktur martensit atau yang mengandung karbon yang tinggi, membuatnya sangat kuat tetapi rapuh.

- Permukaannya tampak terbentuk butiran, mengkilap, dan memantulkan cahaya.
- Terjadinya secara mendadak tanpa deformasi plastis sebelumnya, sehingga tidak menunjukkan gejala-gejala akan terjadi patahan.

- Waktu terjadinya patahan lebih singkat.
- Bidang patahan relatif sejajar dengan tegangan tarik.
- Tidak terjadi pengurangan patahan, akibat tegangan multiaksi.

3. Patahan lelah (*fatigue*)

Patahan lelah (*fatigue*) merupakan salah satu penyebab utama kegagalan bahan dalam konstruksi kelelahan material mengacu pada proses perubahan dinamis (tegangan regangan) yang dapat menyebabkan retak atau patah. Mekanisme patah lelah di mulai dengan pembentukan inti retak yang di sebabkan oleh pergerakan dislokasi. Siklik, kemudian berkembang menjadi mikro retak, dan akhirnya memanjang (propagasi) hingga menyebabkan patah lelah. Umur lelah material dapat diperpanjang melalui proses normalizing atau karbonisasi ulang, dan spesimen ini kemudian menjaga normalizing. Kegagalan material dapat di bedakan menjadi dua kategori utama yaitu, kegagalan yang tergantung pada waktu yang tidak tertentu, dengan patahan lelah termasuk dalam kategori kegagalan yang bergantung pada waktu.



Gambar 2. 5 Mesin ketangguhan
(Sumber: Angga, 2024)

2.5. Struktur Makro

Struktur mikro dari material las sangat penting untuk menentukan sifat mekanik dan ketahanan dari sambungan las. Struktur mikro dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk komposisi kimia material, metode pengelasan, dan media pendingin yang digunakan. Dalam penelitian oleh Haryanto et al. (2020), dijelaskan bahwa struktur mikro pada sambungan las SMAW dapat berupa zona pengaruh panas (HAZ), material dasar, dan material las. Masing-masing zona memiliki karakteristik yang berbeda, yang dapat mempengaruhi kekuatan dan ketangguhan sambungan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi struktur mikro adalah laju pendinginan. Laju pendinginan yang cepat dapat menghasilkan struktur mikro yang lebih halus, sementara laju pendinginan yang lambat dapat menghasilkan struktur yang lebih kasar. Penelitian oleh Wicaksono (2021) menunjukkan bahwa penggunaan air sebagai media pendingin dapat menghasilkan struktur mikro yang lebih halus, yang berkontribusi pada peningkatan sifat mekanik sambungan las. Hal ini menunjukkan pentingnya pengendalian laju pendinginan dalam proses pengelasan.

Dengan memahami pengaruh variasi media pendingin terhadap struktur mikro, para insinyur dan teknisi dapat mengoptimalkan proses pengelasan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Penggunaan media pendingin yang tepat tidak hanya dapat meningkatkan kekerasan sambungan, tetapi juga dapat meningkatkan ketangguhan dan daya tahan sambungan las terhadap beban yang diberikan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi lebih dalam hubungan antara media pendingin, struktur mikro, dan sifat mekanik sambungan las.

2.6 Jurnal Rujukan

Sudarmono Rizki Yuliono, Edi Widodo, (2013). Baja ST 40 tergolong baja karbon rendah, dimana baja karbon rendah merupakan jenis baja yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi dalam berbagai bidang industri sebagai rangka konstruksi. Jenis pengelasan yang tepat sangat dibutuhkan agar sambungan las yang dihasilkan dapat maksimal. Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) adalah salah satu teknik pengelasan yang banyak digunakan dalam perindustrian dan rangka konstruksi. Baja ST.40 adalah baja dengan kandungan C maksimum 0,15%, S = 0,05%, P = 0,16%. Arti dari baja jenis St.40 adalah baja karbon rendah yang mempunyai kekuatan tarik $\leq 40 \text{ kg/mm}^2$. Aplikasi Baja St 40 ini antara lain digunakan untuk kawat, paku, peralatan otomotif dan sebagai bahan baku welded fabrication. Pengujian kekerasan bahan bertujuan untuk menentukan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis apabila bahan tersebut diberi beban dari luar

Fande Febrian N.F, (2018). Proses pengelasan pada baja menyebabkan sifat mekanik seperti tegangan sisa dan penembusan kurang baik, hal ini karena bisa disebabkan penggunaan polaritas pada pengelasan karena menurut teori untuk penggunaan polaritas disesuaikan dengan material yang akan dilas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh polaritas pada material baja pelat ST 40 dengan elektroda E 6013. Metode ini menggunakan dua metode pengelasan yang pertama metode polaritas lurus dan yang kedua menggunakan metode polaritas balik dengan menggunakan material pelat baja ST 40 (60 mm x 27,5 mm x 10 mm), kemudian menggunakan pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro. Hasil penelitian dan

perhitungan yang diketahui nilai yang memiliki kekerasan yang tinggi adalah pada daerah pengelasan (*weld metal*) dengan nilai kekerasan 148,67 HR. Dan untuk hasil uji struktur mikro terdapat struktur mikro ferrite dan perlite pada raw material, dan untuk daerah pengelasan dan daerah HAZ butir menjadi lebih halus dikarenakan terkena panas yang tinggi sehingga struktur berubah menjadi lebih halus, dan struktur yang terbentuk ferrite dan perlite dengan garis-garis yang berupa accicular ferrite. Dengan demikian untuk mengatasi masalah apabila terjadi retak atau patah pada daerah pengelasan pada komponen conveyer antara axle penghubung dengan *drive roll* bisa disebabkan karena penggunaan polaritas yang salah. Kata kunci: Polaritas, Material ST 40, Elektroda E 6013, Uji Struktur Mikro dan Uji Kekerasan.

Reza Agustiawan, (2018). Pengelasan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi pada umumnya adalah pengelasan yang menggunakan metode pengelasan dengan busur nyala logam berpelindung atau biasa disebut Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan saat ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah dioperasikan, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien. penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik baja ST 40, dimana proses pengelasan menggunakan variasi arus 804, 1004, 1204 dengan elektroda E6018 dengan diameter 2.6 mm, sudut ν sebesar 60. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai kekerasan terdapat pada arus 1004 dengan nilai rata-rata tiap daerah las 49,7 kg/mm², HAZ 51 kg/mm², dan base metal 49 kg/mm² nilai kekerasan terendah terdapat pada arus 1204 dengan rata-rata nilai las tiap daerah

sebesar 48,8 kg/mm². HAZ sebesar 497 kg/mm² dan logam dasar sebesar 49,5 kg/mm².