

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Las

Pengelasan (*welding*) dapat didefinisikan sebagai teknik penyatuan material logam dengan memanfaatkan prinsip difusi, sehingga bagian logam yang digabungkan dapat menyatu secara menyeluruh. Proses ini umumnya menggunakan energi panas untuk mencairkan atau melunakkan bagian logam yang akan disambung. Pada keadaan tertentu, proses tersebut juga dapat disertai dengan tekanan agar sambungan yang dihasilkan lebih kuat dan tahan lama.

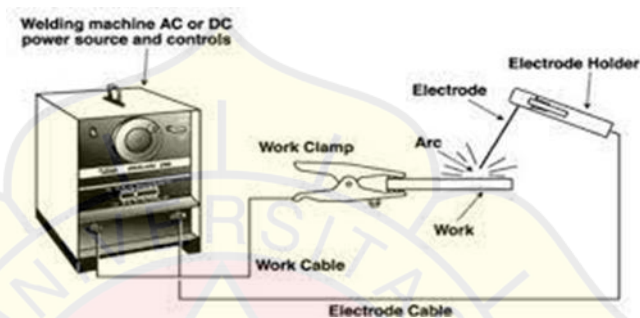
Meskipun prosedur pengelasan tampak sederhana, sebenarnya proses tersebut melibatkan berbagai persoalan teknis yang harus diselesaikan dengan dukungan pengetahuan yang memadai. Oleh sebab itu, dalam kegiatan pengelasan diperlukan keseimbangan antara pemahaman teori dan keterampilan praktik. Dalam perancangan mesin dan konstruksi bangunan yang memanfaatkan sambungan las, perlu dilakukan perencanaan mengenai metode pengelasan, teknik pemeriksaan, pemilihan bahan las, serta menggunakan tipe las yang sesuai dengan fungsi masing-masing komponen yang dirancang.

2.2 Jenis-Jenis Mesin Las

Jangkauan pengelasan sangatlah luas, dan terdapat banyak jenis-jenis pengelasan dan mesin yang digunakan juga berbeda-beda. Dibawah ini merupakan jenis-jenis mesin las dan metode pengelasannya:

1) Mesin Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW dikenal luas dengan istilah las listrik, yaitu metode pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan logam dasar dan elektroda. Panas tersebut dihasilkan dari busur listrik yang muncul karena adanya loncatan ion listrik antara ujung elektroda sebagai katoda dan permukaan plat sebagai anoda yang akan disambung.

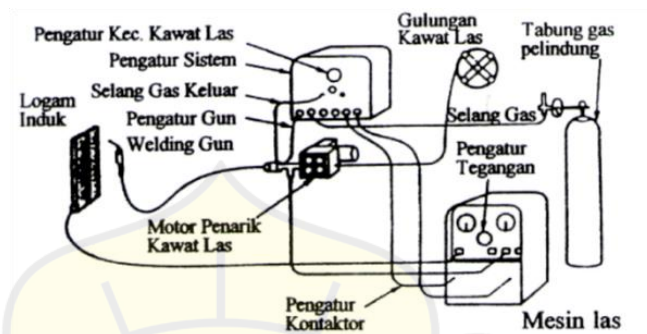


Gambar 2.1 Las SMAW

2) Mesin Pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

FCAW merupakan proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda berinti fluks sebagai pelindung. Metode ini merupakan gabungan dari beberapa proses pengelasan, yaitu SMAW, GMAW, dan SAW. Pada proses FCAW, logam pengisi atau filler elektroda disuplai secara mekanis dan terus-menerus ke dalam busur listrik yang terbentuk antara ujung elektroda dan logam induk. Elektroda yang digunakan berbentuk logam tipis yang digulung secara silinder dan di dalamnya berisi fluks yang disesuaikan dengan kebutuhan pengelasan.

dialirkan secara terus-menerus selama proses pengelasan. Selain itu, proses ini juga menggunakan gas pelindung yang berfungsi untuk mencegah terjadinya oksidasi akibat kontak dengan udara luar pada saat pengelasan berlangsung.



Gambar 2.4 Las GMAW

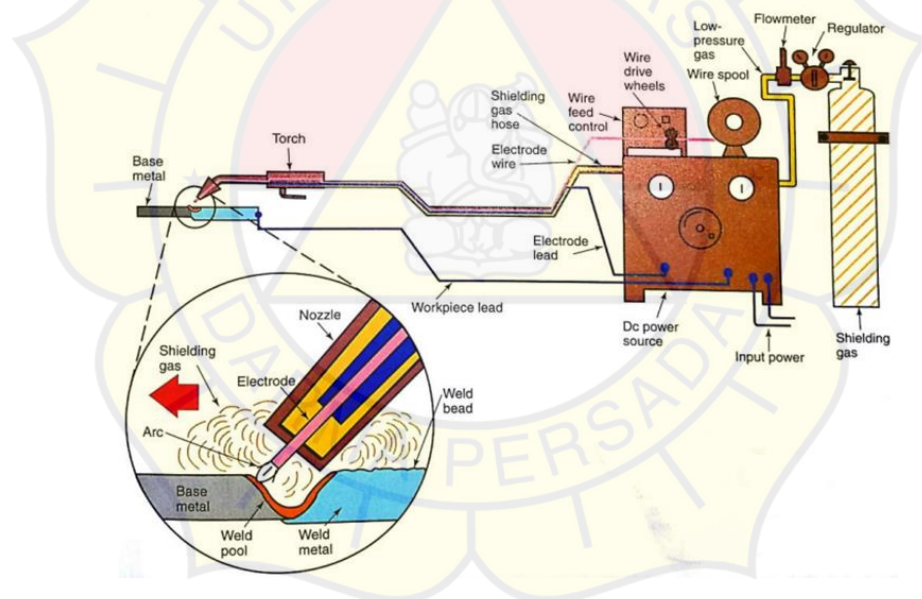
2.3 Pengertian Las GMAW (MIG/MAG)

Gas Metal Arc Welding (GMAW) merupakan salah satu metode pengelasan yang digunakan untuk menyambung logam dengan memanfaatkan panas yang berasal dari energi listrik. Pada proses ini, kawat las yang berbentuk gulungan digunakan sebagai bahan pengisi yang akan mencair dan menyatukan logam yang dilas. Selain itu, proses GMAW juga menggunakan gas pelindung yang berfungsi melindungi logam cair dari pengaruh udara luar agar tidak terjadi kontaminasi selama pengelasan. Dengan adanya perlindungan tersebut, sambungan las dapat terbentuk dengan kuat dan permanen. Dalam penerapannya, metode ini dapat menggunakan gas Argon (Ar) yang dikenal sebagai proses MIG, atau menggunakan gas karbon dioksida (CO_2) yang disebut proses MAG.

Pada proses pengelasan GMAW, penyambungan logam terjadi melalui mekanisme pencairan material. Proses ini diawali dengan terbentuknya busur listrik antara kawat las dan permukaan benda kerja. Busur listrik tersebut menghasilkan

panas yang cukup tinggi sehingga dapat mencairkan kawat las sebagai logam pengisi dan logam dasar secara bersamaan. Setelah logam cair tersebut menyatu dan mengalami pendinginan, terbentuklah sambungan las yang bersifat permanen. Selama proses pengelasan berlangsung, gas pelindung digunakan untuk melindungi logam cair dari pengaruh udara luar.

Dalam suatu proses pengelasan GMAW pada umumnya menggunakan arus searah (DC) yang mana elektroda ditempatkan pada muatan positif, dengan kata lain kondisi ini dikenal dengan istilah polaritas terbalik. Namun, penggunaan polaritas searah tidak umum digunakan karena saat perpindahan logam tidak terjadi dengan sempurna, yang dapat mempengaruhi kualitas sambungan las..

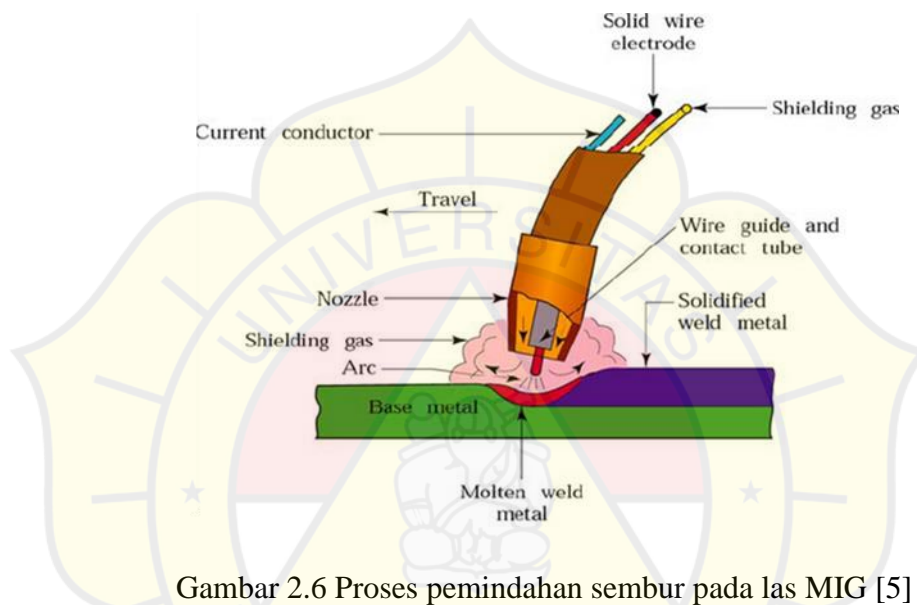


Gambar 2.5 Proses Pengelasan GMAW
(Sumber: *Althouse*, 2013)

1) Proses Las MIG

Prinsip kerja pengelasan MIG pada dasarnya mirip dengan metode GMAW, karena keduanya memanfaatkan kawat las dan gas pelindung untuk menyatukan logam, namun yang membedakan keduanya adalah jenis gas

pelindung yang digunakan. Sesuai dengan namanya, *Metal Inert Gas* (MIG) menggunakan gas pelindung *inert* atau gas mulia, seperti Argon (Ar), Helium, atau campuran Helium dan Argon. Selain itu, gas karbon dioksida (CO₂) juga dapat digunakan sebagai gas pelindung. Pengelasan MIG umumnya diterapkan untuk menyambung material berbahan aluminium atau baja tahan karat.



Gambar 2.6 Proses pemindahan sembur pada las MIG [5]

2) Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan GMAW

Setiap metode pengelasan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Berikut adalah beberapa keunggulan dan keterbatasan dari pengelasan jenis GMAW:

1. Kelebihan:

Penggunaan pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) memiliki sejumlah keunggulan, antara lain:

- a) Proses pengelasan berlangsung efisien dan cepat.
- b) Dapat diterapkan pada berbagai posisi pengelasan.
- c) Tidak menimbulkan fluktuasi atau kerak pada sambungan las.

- d) Membutuhkan operator dengan keterampilan yang baik untuk hasil optimal.

2. Kekurangan:

Pada Proses pengelasan MIG juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain:

- a) Kemungkinan terjadinya *burnback* pada beberapa kondisi tertentu.
- b) Cacat las berupa porositas sering muncul selama pengelasan.
- c) Busur listrik yang digunakan kadang tidak stabil.
- d) Pada tahap awal, pengaturan peralatan *set-up* relatif sulit.

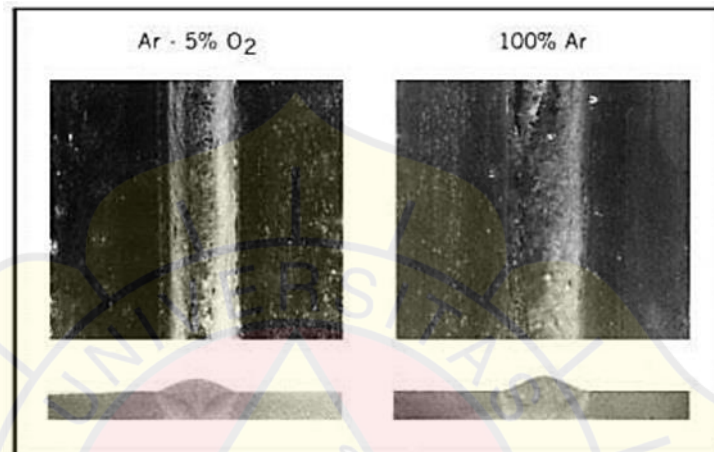
2.4 Jenis-Jenis Gas Pelindung Untuk Las MIG MAG

Gas pelindung memiliki peran penting untuk membentuk lingkungan di sekitar daerah pengelasan yang tidak bereaksi dengan logam las. Pada proses MIG/MAG, gas ini digunakan untuk menjaga kestabilan busur listrik serta melindungi logam cair dari masuknya unsur lain selama pengelasan, khususnya dari atmosfer serta pengotoran di permukaan lasan. Jenis-jenis gas pelindung saat proses pengelasan MIG/MAG dijelaskan sebagai berikut:

1) Gas Argon

Argon merupakan jenis gas pelindung yang dapat digunakan sendiri atau dicampur dengan gas lain untuk mencapai karakteristik busur las yang diinginkan pada logam ferro maupun non-ferro. Hampir semua pengelasan GMAW dapat memanfaatkan gas argon atau campurannya untuk memperoleh penetrasi las yang baik, sifat mekanik yang optimal, karakteristik busur yang stabil, serta produktivitas tinggi. Gas argon murni biasanya digunakan untuk pengelasan logam non-ferro, seperti aluminium,

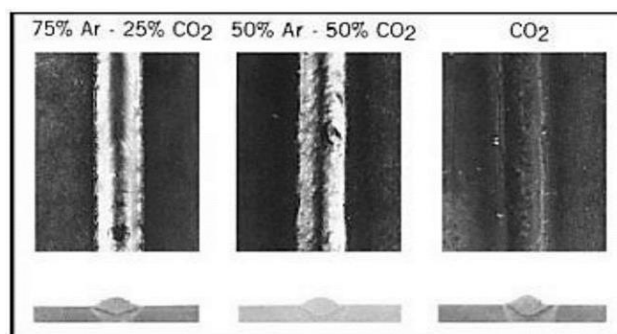
paduan nikel, dan paduan tembaga. Penggunaan argon dapat menghasilkan busur yang stabil pada pengelasan *spray arc* serta membentuk penetrasi dan *bead weld* yang baik. Untuk logam ferro, argon sering dicampur dengan gas lain seperti oksigen atau helium. Karena potensi ionisasinya rendah, gas argon mampu memberikan stabilitas busur yang unggul.

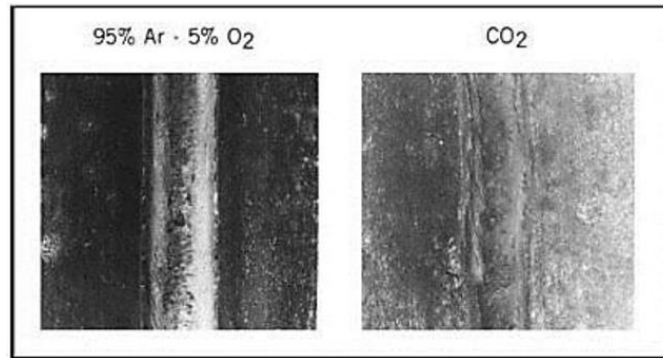


Gambar 2.7 Hasil lasan menggunakan gas argon murni dan campuran
(Sumber: Arif Marwanto)

2) Gas Karbon dioksida

Karbon dioksida (CO_2) sering dimanfaatkan sebagai gas pelindung pada pengelasan logam ferro. Penggunaan CO_2 memiliki keunggulan berupa kecepatan pengelasan yang relatif tinggi dan penetrasi sambungan yang lebih dalam. Gas ini juga dapat dicampur dengan gas pelindung lain untuk meningkatkan atau menyesuaikan sifat kimianya.





Gambar 2.8 Hasil lasan menggunakan gas CO₂ murni dan campuran
(Sumber: Arif Marwanto)

Tabel 2.1 *Shielding gas flow* las GMAW [5]

Shielding Gas Flow Rates				
Metal	Thickness		Shielding gas flow	
	inches	mm	Ft ³ /hr	L/min
Copper and copper alloys	1/8	3.2	25	12
	1/4	6.3	35	16
	3/8	9.6	40	19
	1/16	1.6	25	12
Aluminum and aluminum alloys	1/8	3.2	35	16
	1/4	6.3	35	16
	3/8	9.6	40	19
	3/4	19	90	42
Carbon and low-alloy steels	1/16	1.6	25	12
	1/8	3.2	25	12
	1/4	6.3	30	14
	3/8	9.6	35	16
Stainless steels including nickel alloys	3/4	19	50	24
	1/16	1.6	30	14
	1/8	3.2	30	14
	1/4	6.3	35	16
Magnesium and magnesium alloys	3/8	9.6	35	16
	1/2	12.7	40	19
	1/16	1.6	50	24
	1/8	3.2	50	23
	1/4	6.3	60	28
	3/8	9.6	60	28

2.5 Kawat Elektroda

Hasil pengelasan MIG/MAG akan lebih maksimal apabila kawat elektroda yang digunakan memiliki kesesuaian dengan jenis logam yang akan dilas. Beberapa material yang dapat disambung dengan metode MIG/MAG meliputi:

- a) Baja tahan karat
- b) Baja tegangan tinggi dan menengah
- c) Baja paduan rendah
- d) Tembaga
- e) Tembaga paduan
- f) Alumunium, dll

Kawat elektroda yang sering dipakai pada pengelasan MIG/MAG umumnya terdiri dari dua tipe, yaitu *flux cored wire* dan *solid wire*. Pemilihan jenis kawat harus di sesuaikan dengan jenis pekerjaan pengelasan. *Solid wire* biasanya untuk pengelasan konstruksi ringan hingga sedang dan lebih efektif di ruang yang tertutup agar gas pelindung terhindar dari gangguan angin. Sementara itu, *flux cored wire* lebih sering diterapkan pada konstruksi sedang hingga berat, terutama di lokasi pengelasan yang lebih terbuka dengan sedikit tiupan angin.

1) Faktor-Faktor Penggunaan Kawat Elektroda

Secara umum, pada saat proses pengelasan MIG/MAG terdapat lima faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis elektroda, yaitu:

- a) Campuran kimia dari benda kerja
- b) Karakteristik mekanik benda kerja
- c) Jenis gas pelindung yang digunakan dalam proses.
- d) Jenis layanan atau aplikasi yang dibutuhkan.

e) Bentuk dan jenis sambungan las yang akan dilakukan.

Setelah diketahui faktor-faktor penting dalam memilih elektroda, selanjutnya dapat dijelaskan berbagai jenis kandungan elektroda beserta penggunaannya sesuai kebutuhan pengelasan, diantaranya sebagai berikut :

- a) Paduan aluminium (Al)
- b) Paduan mangan
- c) Paduan silikon (Si)
- d) Paduan karbon
- e) Ferro
- f) Nikel, Krom, Molibdenum
- g) Titanium (Ti)
- h) Zirkonium (Zr)

2) Standar Kode Kawat Elektroda Las MIG

Pada proses pengelasan MIG/MAG memiliki beragam tipe dan model kawat elektroda. Variasi ini muncul karena pengelasan MIG/MAG tidak diperutkan pada jenis material baja karbon saja, tetapi di gunakan juga untuk material seperti *stainless steel* dan aluminium.



Gambar 2.9 Kawat Elektroda.
(Sumber: Arif Marwanto)

Klasifikasi kawat las MIG/MAG menggunakan kode **ER XXS-X**, berikut penjelasan dari masing-masing huruf tersebut:

- Kode ER: Elektroda atau *welding rod*
- Kode XX: Nilai kekuatan tarik kawat las dikalikan 1000 psi, contohnya 70 berarti 70×1000 psi.
- Kode S: *Solid Wire*, menunjukkan bahwa kawat elektroda berbentuk *solid* atau padat.
- Kode X: Merepresentasikan campuran kimia dari kawat tersebut.

Tabel 2.2 Kawat las GMAW baja karbon [5]

AWS Class	Carbon	Mangan	Silicon	Sulfur	Phos	Other
ER70S-2	0.07	0.90-1.40	0.40-0.70	0.035	0.025	0.05-0.15 Ti
						0.02-0.12 Zr
						0.05-0.15 Al
ER70S-3	0.06-0.15	0.90-1.40	0.45-0.75	0.035	0.025	
ER70S-4	0.07-0.15	1.00-1.50	0.65-0.85	0.035	0.025	
ER70S-5	0.07-0.19	0.90-1.40	0.30-0.60	0.035	0.025	0.50-0.90 Al
ER70S-6	0.07-0.15	1.40-1.8	0.80-1.15	0.035	0.025	
ER70S-7	0.07-0.15	1.50-2.00	0.50-0.80	0.035	0.025	

2.6 Parameter Pengelasan

Parameter yang paling mendasar dalam proses pengelasan meliputi ekstensi elektroda, arus pengelasan, kecepatan pergerakan busur (*arc travel speed*), serta tegangan las. Keempat parameter tersebut berperan penting karena secara langsung memengaruhi kualitas dan karakteristik hasil pengelasan. Oleh karena itu, pengaturan setiap parameter harus dilakukan secara tepat agar proses pengelasan dapat berlangsung secara optimal. Ketidaktepatan dalam menentukan nilai parameter dapat berdampak pada kualitas sambungan yang dihasilkan. Dengan demikian, beberapa aspek perlu diperhatikan dalam menetapkan parameter pengelasan yang sesuai:

1) Pengaturan Besar Arus Las

Besar arus dan tegangan dalam pengelasan ditentukan oleh ketebalan bahan, diameter kawat elektroda, serta posisi pengelasan, atau dapat mengikuti WPS (*Welding Procedure Specification*) yang berlaku. Arus las adalah arus listrik yang digunakan untuk menjalankan proses pengelasan. Dalam pengelasan MIG/MAG, arus las berhubungan langsung dengan kecepatan aliran kawat (*wirefeed*). Apabila arus las meningkat, kecepatan *wirefeed* juga sebaiknya ditingkatkan. Hubungan ini dikenal dengan istilah karakteristik “*burn-off*”.

Tabel 2.3 Ketentuan umum penyetelan besaran arus dan tegangan [5]

Diameter kawat	Arus (amper)	Tegangan (volt)	Tebal bahan
0,6 mm	50 – 80	13 – 14	0,5 – 1,0 mm
0,8 mm	60 – 150	14 – 22	0,8 – 2,0 mm
0,9 mm	70 – 220	15 – 25	1,0 – 10 mm
1,0 mm	100 – 290	16 – 29	3,0 – 12 mm
1,2 mm	120 – 350	18 – 32	6,0 – 25 mm
1,6 mm	160 – 390	18 – 34	12,0 – 50 mm

2) Tegangan Las

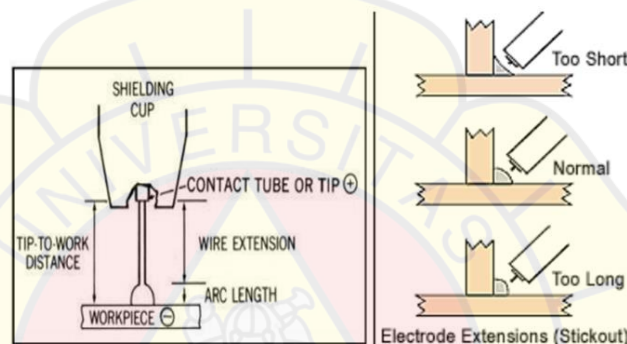
Tegangan busur las adalah beda potensial listrik yang terbentuk antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja selama proses pengelasan berlangsung. Besarnya tegangan tersebut berpengaruh secara langsung terhadap mekanisme perpindahan logam yang terjadi pada proses pengelasan. Pada kondisi transfer logam tipe arus pendek, sistem memerlukan tegangan yang relatif rendah agar proses perpindahan logam dapat berlangsung dengan stabil. Sebaliknya, mekanisme transfer logam tipe *spray* membutuhkan tegangan yang lebih tinggi untuk menghasilkan karakteristik busur yang sesuai. Selain itu, peningkatan nilai arus pengelasan umumnya disertai

dengan kenaikan tegangan guna mempertahankan kestabilan busur selama proses berlangsung.

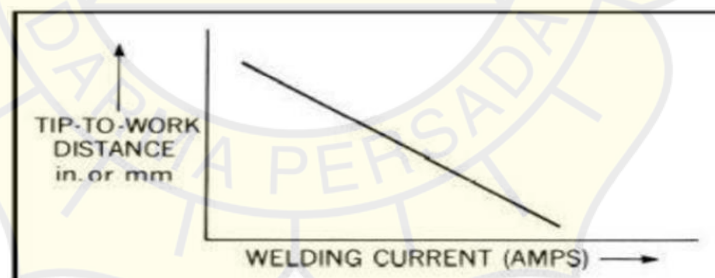
3) Elektroda Ekstensi

Ekstensi elektroda, atau yang sering dikenal juga sebagai “*stick-out*”, adalah jarak antara ujung pipa kontak (titik kontak listrik) dengan ujung elektroda.

Panjang jarak ini memengaruhi tingginya arus listrik yang diperlukan untuk mencairkan elektroda selama proses pengelasan.



Gambar 2.10 Elektroda ekstensi
(Sumber: Arif Marwanto)



Gambar 2.11 Pengaruh elektroda ekstensi
(Sumber: Arif Marwanto)

4) Kecepatan Pengelasan

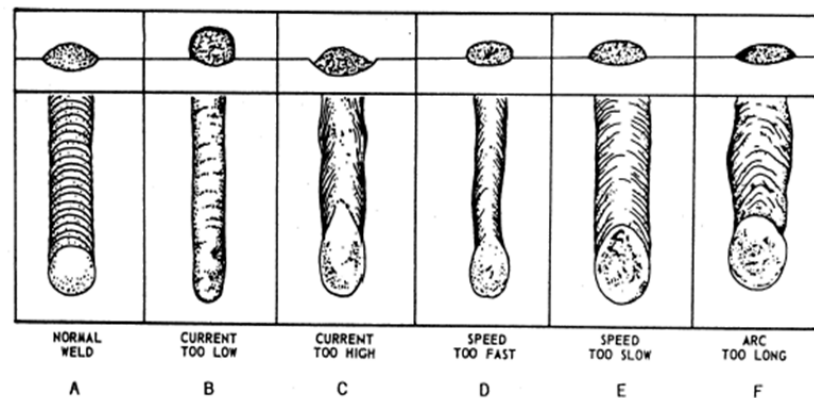
Kecepatan pengelasan menggambarkan pergerakan busur las secara linier di atas benda kerja dan umumnya disebutkan dalam satuan meter per menit. Hal-hal yang bersangkutan dengan kecepatan pengelasan meliputi:

- a) Kecepatan pengelasan perlu dikurangi, ketika material semakin tebal.
- b) Jika material dan tipe sambungan sama, peningkatan arus listrik harus diikuti peningkatan kecepatan pengelasan.
- c) Teknik pengelasan maju (*forehand technique*) dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan pengelasan.

5) Kecepatan Kawat

Gas pelindung serta diameter kawat yang digunakan sangat mempengaruhi kecepatan kawat elektroda. Tingginya tegangan busur di sebabkan oleh campuran argon dan karbon dioksida, sehingga area pengelasan harus disesuaikan pada tingginya tingkat arus. Misalnya, dengan gas standar 18% CO₂ / 82% Ar atau 8% CO₂ / 92% Ar, kawat berdiameter 1,0 mm digunakan dengan kecepatan umpan 24 m/menit, sedangkan kawat 1,2 mm memiliki kecepatan umpan 23 m/menit. Untuk pembuatan rute, kecepatan umpan kawat dapat ditingkatkan hingga 30 m/menit dengan menggunakan gas 92% Ar / 8% CO₂, baik untuk kawat 1,0 mm maupun 1,2 mm.

Parameter las berfungsi sebagai indikator kualitas pengelasan dari sisi visual, kekuatan mekanik, dan ketahanan sambungan. Pengaturan parameter yang tepat menjamin hasil pengelasan sesuai standar dan kode yang berlaku. Berikut ini disertakan gambar yang menunjukkan pemilihan parameter las beserta penjelasannya:



Gambar 2.12 Hasil dari parameter pengelasan
(ASM International Hand Book Comittee,1995)

1) Parameter las yang sesuai (A)

Gambar A memperlihatkan bahwa parameter pengelasan yang diterapkan sudah sesuai, baik dari besaran arus, tegangan, maupun kecepatan. Keselarasan ini terlihat dari ketinggian dan lebar lasan yang konsisten dan seimbang.

2) Ampere terlalu rendah (B)

Gambar B menunjukkan efek penggunaan arus yang terlalu rendah pada proses pengelasan. Lebar lasan menjadi sangat kecil, sementara tinggi atau ketebalan lasan meningkat, sehingga bentuk lasan tidak seimbang.

3) Arus las terlalu tinggi (C)

Gambar C memperlihatkan hasil pengelasan dengan arus yang terlalu tinggi. Kondisi ini menyebabkan lebar lasan menjadi berlebih, sementara ketinggian atau ketebalan lasan berkurang. Selain itu, sering ditemukan cacat las berupa *undercut* pada area logam dasar.

4) *Travel speed* terlalu cepat (D)

Pada Gambar D terlihat bahwa kecepatan pengelasan terlalu cepat. Akibatnya, proses fusi dan penetrasi tidak maksimal, sehingga lebar lasan menjadi kecil dan tidak proporsional dibandingkan dengan ketebalan lasannya.

5) Kecepatan las terlalu rendah (E)

Pengelasan yang dilakukan terlalu lambat akan menghasilkan lasan dengan ketinggian dan lebar berlebih, karena logam pengisi (*filler metal*) yang mencair menumpuk di area las.

6) Busur las terlalu panjang (F)

Jarak elektroda yang terlalu jauh dari benda kerja selama pengelasan menyebabkan busur menjadi terlalu panjang. Kondisi ini meningkatkan panas pengelasan sekaligus mengurangi fokus konsentrasi busur, sehingga lasan menjadi lebih lebar dan sering menghasilkan *spatter*.

2.7 Pengontrolan Distorsi

Tegangan pada proses pengelasan muncul akibat berubahnya bentuk visual pada material yang dilas. Fenomena ini disebabkan oleh pengaruh panas yang membuat logam mengalami pemuaian, kemudian diikuti proses pendinginan yang menyebabkan logam tidak sepenuhnya kembali ke dimensi awalnya. Kondisi tersebut memicu terjadinya distorsi yang cenderung menarik benda kerja menuju daerah pengelasan. Untuk mengurangi distorsi, benda kerja dapat ditahan menggunakan klem atau *fixture* selama proses pengelasan berlangsung. Selain itu, terdapat beberapa metode lain yang dapat diterapkan untuk meminimalkan terjadinya distorsi:

- 1) Mengelas dengan langkah mundur.

- 2) Meminimalkan jumlah lapisan las.
- 3) Menghindari penggunaan logam deposit yang berlebihan.
- 4) Menggunakan teknik pengelasan berselang (*intermittent welding*).
- 5) Menyesuaikan posisi sambungan yang biasanya melengkung akibat tarikan las agar saat pengelasan selesai, bentuknya sesuai yang diharapkan.
- 6) Menggunakan bentuk sambungan las yang benar dan sesuai standar
- 7) Jika pengelasan dilakukan di area berdekatan, lakukan secara bergantian antara sisi satu dengan sisi lainnya.
- 8) Menempatkan sambungan las sedekat mungkin dengan sumbu netral benda kerja.

Walaupun secara visual sambungan las terlihat baik, kondisi tersebut tidak selalu menunjukkan bahwa sambungan bebas dari tegangan internal. Tegangan yang masih tersisa di dalam material setelah proses pengelasan dikenal sebagai *residual stress*. Keberadaan tegangan sisa ini berpotensi memengaruhi kinerja dan ketahanan sambungan apabila tidak dikendalikan dengan baik. Untuk menguranginya, dapat dilakukan perlakuan panas yang disebut *stress relieving*, yaitu dengan memanaskan sambungan las pada suhu tertentu kemudian diikuti proses pendinginan secara bertahap dan terkendali.

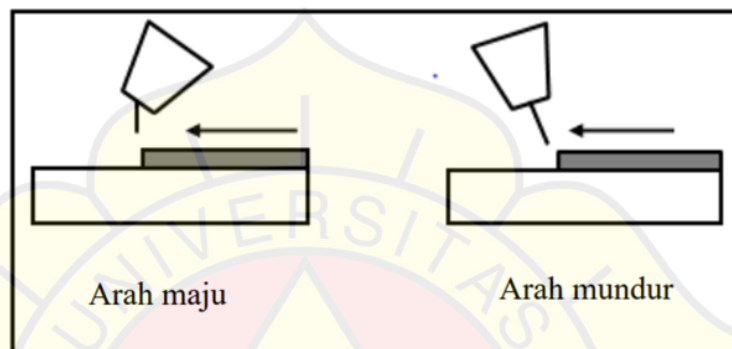
2.8 Metode Pengelasan

Sebelum melakukan proses pengelasan ada beberapa metode pengelasan yang harus diperhatikan, diantaranya sebagai berikut:

1) Arah Pengelasan

Pada proses pengelasan GMAW, dikenal dua teknik arah pengelasan yang umum diterapkan, yaitu arah maju dan arah mundur. Teknik arah maju

dilakukan dengan memegang *holder* atau *welding gun* menggunakan tangan kanan, sementara pergerakan pengelasan dimulai dari sisi kiri menuju ke kanan. Sebaliknya, pada teknik arah mundur posisi *holder* tetap berada di tangan kanan dan arah gerakan pengelasan juga berlangsung dari kiri ke kanan. Perbedaannya terletak pada posisi serta arah pengambilan las selama proses berlangsung.



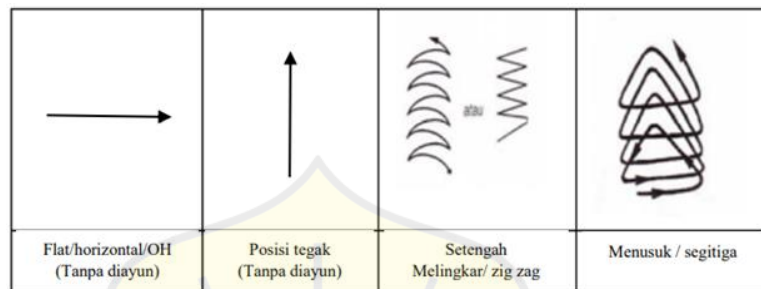
Gambar 2.13 Arah Pengelasan [5]

Pada konstruksi sedang dan berat, arah maju dalam pengelasan GMAW lebih dianjurkan karena permukaan yang dilas akan lebih bersih dan jalur pengelasan dapat diamati dengan lebih jelas. Sebaliknya, arah mundur biasanya digunakan saat mengelas logam tipis.

2) Orientasi Pengelasan

Pergerakan *welding gun* dalam proses pengelasan MIG/MAG dipengaruhi oleh sejumlah faktor teknis, seperti bentuk sambungan, ketebalan material, lebar persiapan sambungan, jenis bahan, serta posisi pengelasan. Pada umumnya, gerakan pengelasan dianjurkan dilakukan secara lurus untuk memperoleh hasil sambungan yang stabil dan merata. Namun, dalam kondisi tertentu seperti pengelasan pada posisi vertikal, gerakan lurus tidak selalu

dapat diterapkan sehingga diperlukan ayunan ke samping dengan batas yang sangat terbatas. Lebar ayunan tersebut sebaiknya tidak melebihi sekitar 15 mm pada setiap jalur las, dan beberapa pola gerakan tertentu sering digunakan dalam pengelasan MIG, khususnya pada posisi tegak.

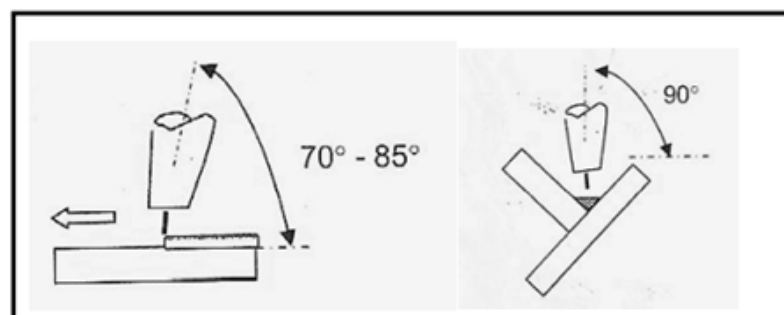


Gambar 2.14 Gerakan atau ayunan dalam las MIG/MAG [5]

3) Sudut Pengelasan

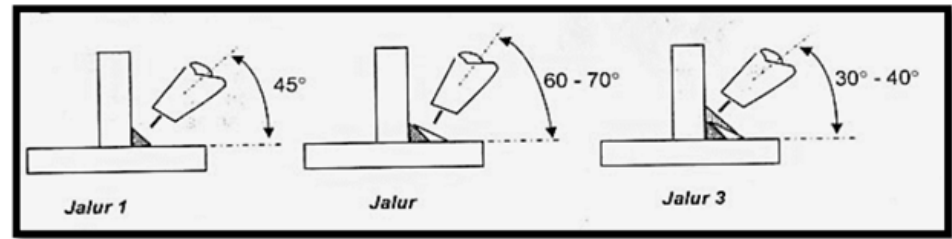
Kualitas hasil pengelasan juga dipengaruhi oleh sudut pengelasan. Sudut ini merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan material dengan *welding gun* saat proses pengelasan berlangsung. Penggunaan sudut yang sesuai akan membantu menghasilkan sambungan las yang lebih baik. Berikut adalah beberapa sudut pengelasan yang dianjurkan untuk berbagai posisi pengelasan:

- a) Posisi *flat* atau horizontal



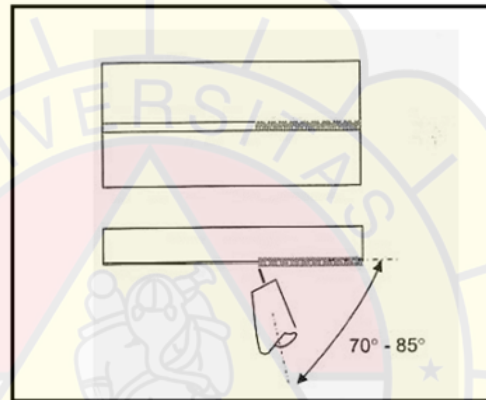
Gambar 2.15 Sudut pengelasan *flat*
(Sumber: Arif Marwanto)

b) Posisi horizontal sambungan T



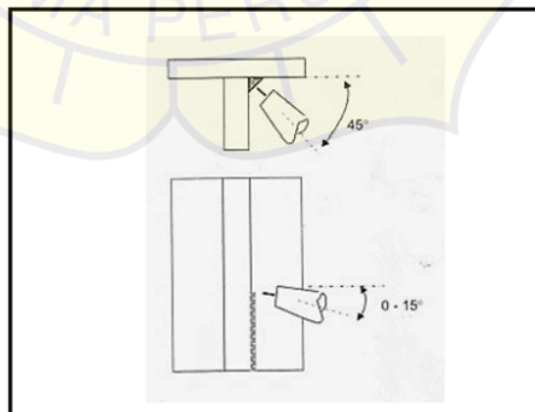
Gambar 2.16 Sudut pengelasan *flat*
(Sumber: Arif Marwanto)

c) Posisi horizontal sambungan tumpul



Gambar 2.17 Sudut pengelasan *flat*
(Sumber: Arif Marwanto)

d) Posisi tegak



Gambar 2.18 Sudut pengelasan *flat*
(Sumber: Arif Marwanto)

4) Posisi Pengelasan

Tingkat kesulitan dalam proses pengelasan sangat dipengaruhi oleh posisi pengelasan yang diterapkan. Secara umum, posisi pengelasan dikategorikan berdasarkan beberapa aspek, yaitu posisi benda kerja, jalur pengelasan, posisi elektroda, serta posisi juru las. Penjelasan lebih rinci mengenai jenis-jenis posisi pengelasan, beserta ilustrasi dan keterangan pendukungnya, akan dibahas pada bagian berikut.

1) *Fillet*

Fillet atau *T-Joint* merupakan jenis sambungan yang membentuk sudut menyerupai huruf T. Sambungan ini banyak digunakan pada pembuatan konstruksi seperti rangka atap, konveyor, dan berbagai jenis konstruksi lainnya. Pada pelat (*plate*), sambungan *fillet* dilambangkan dengan posisi 1F, 2F, 3F, dan 4F. Sementara itu, pada pipa sambungan *fillet* juga dapat digunakan dengan simbol 1F, 2F, 4F, dan 5F. Berikut ini akan dijelaskan berbagai macam sambungan *fillet* pada pelat dan pipa beserta penjelasannya:

Pada material *plate*, posisi *fillet* dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1F : Posisi pengelasan datar (*down hand*).

2F : Posisi horizontal dan vertikal.

3F : Posisi vertikal dengan arah pengelasan dari bawah ke atas.

3F : Posisi vertikal dengan arah pengelasan dari atas ke bawah.

4F : Posisi pengelasan di atas kepala (*overhead*).

Pada pipa, posisi sambungan *fillet* memiliki beberapa klasifikasi sebagai berikut:

1F : Sumbu pipa atau *flens* berada pada kemiringan sekitar 45° dan pipa dapat diputar selama proses pengelasan.

2F : Posisi pipa tegak dengan perbedaan diameter atau sambungan pipa dengan *flens* (pelat berada di bawah) yang masih dapat diputar.

4F : Posisi pipa tegak dengan diameter berbeda atau sambungan pipa dengan *flens* (pipa berada di atas) dan dapat diputar.

5F : Sumbu pipa berada pada posisi mendatar dengan diameter berbeda atau sambungan pipa dengan *flens*, dan pipa tidak dapat diputar sehingga pengelasan dilakukan dengan arah naik maupun turun.

2) *Groove*

Sambungan *groove*, yang sering disebut sebagai sambungan kampuh, merupakan varian sambungan las yang sering diterapkan pada proses pengelasan. Terdapat beberapa varian sambungan *groove* yang dapat diterapkan baik pada *plate* maupun pipa. Pada pelat, posisi sambungan *groove* dilambangkan dengan 1G, 2G, 3G, dan 4G. Sedangkan pada pipa, posisi sambungan *groove* dilambangkan dengan 1G, 2G, 5G, dan 6G. Berikut ini akan dijelaskan berbagai macam sambungan *groove* beserta penjelasannya:

Pada *plate*, posisi sambungan *groove* dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1G : Sambungan tumpul pada *plate*, dengan posisi datar (*down hand*).

2G : Posisi pengelasan horizontal atau mendatar.

3G : Posisi pengelasan vertikal.

4G : Posisi pengelasan di atas kepala (*overhead*).

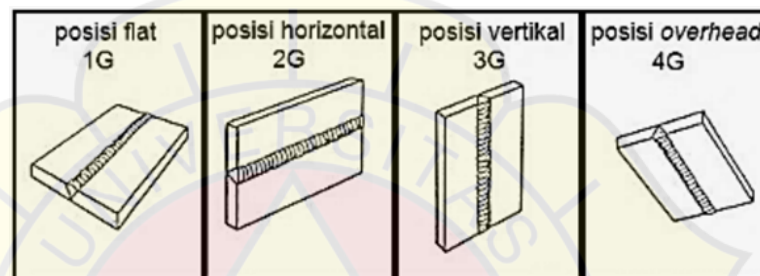
Pada pipa, posisi pengelasan sambungan *groove* dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1G : Posisi sumbu pipa mendatar dan pipa dapat diputar selama proses pengelasan.

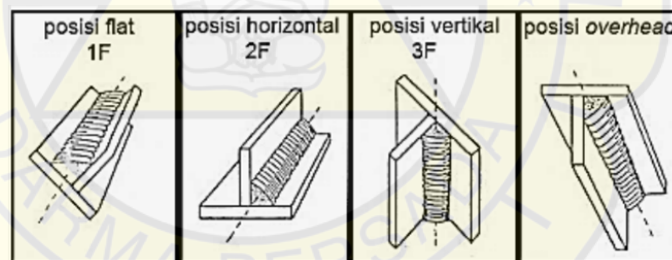
2G : Posisi sumbu pipa tegak dan pipa masih dapat diputar.

5G : Posisi sumbu pipa mendatar, tetapi pipa tidak dapat diputar.

6G : Posisi sumbu pipa miring sekitar 45° dan pipa tidak dapat diputar.



Gambar 2.19 Posisi pengelasan *plate* pada sambungan V
(Sumber: Arif Marwanto)



Gambar 2.20 Posisi pengelasan pada sambungan T atau *fillet*
(Sumber: Arif Marwanto)



Gambar 2.21 Posisi pengelasan pada sambungan pipa
(Sumber: Arif Marwanto)

2.9 Pengertian Baja

Baja adalah paduan logam yang terutama terdiri atas besi dan sejumlah unsur tambahan, dengan karbon sebagai elemen kunci yang sangat menentukan karakteristik material tersebut. Perbedaan kadar karbon menghasilkan variasi sifat mekanik dan fisik pada baja. Berdasarkan perbedaan tersebut, baja dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, antara lain:

- a) Baja karbon (*carbon steel*), yang juga dikenal sebagai baja mesin, merupakan baja yang mengandung sejumlah kecil unsur tambahan seperti mangan, fosfor, dan silikon. Peningkatan kadar karbon pada baja ini akan meningkatkan kekuatan dan kekerasannya, tetapi di sisi lain dapat membuat baja menjadi lebih rapuh dan mengurangi keuletannya.
- b) Baja paduan (*alloy steel*), merupakan baja yang selain karbon, juga mengandung berbagai unsur tambahan seperti aluminium, kromium, tembaga, mangan, molibdenum, nikel, fosfor, silikon, titanium, dan vanadium. Penambahan unsur-unsur tersebut bertujuan untuk meningkatkan kekerasan, ketangguhan, keuletan, dan kekuatan tarik baja.
- c) Baja tahan karat (*stainless steel*), merupakan paduan antara besi dan kromium yang memiliki ketahanan korosi sangat baik. Ketahanan ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan oksida kromium di permukaan baja. Kandungan kromium minimum mencapai 12–18%, dengan 12% diperlukan untuk membentuk lapisan oksida dan 18% untuk menjaga ketahanan terhadap korosi akibat udara. Selain kromium, baja ini juga mengandung elemen lain seperti nikel, aluminium, silikon, dan molibdenum. Baja tahan karat

umumnya digunakan dalam industri kimia, peralatan proses minyak, sistem perpipaan, dan aplikasi lain yang membutuhkan ketahanan korosi tinggi.

- d) Baja struktur (*structural steel*), merupakan baja hasil pengerolan panas yang memiliki berbagai bentuk dan kandungan elemen paduan tertentu, sehingga mampu menahan beban dan gaya yang bekerja. Baja jenis ini banyak digunakan dalam konstruksi seperti jembatan, tiang transmisi dan bangunan. Jenis-jenis baja struktural yang sering dipakai antara lain batang (*bars*), W (*wide flange*), L (*angle bar*), C (*channel*), dan pipa baja.

1) Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), serta mengandung beberapa unsur tambahan seperti silikon (Si), fosfor (P), belerang (S), dan mangan (Mn). Sifat mekanik pada baja karbon sangat ditentukan oleh kadar karbon yang terkandung di dalamnya. Peningkatan kandungan karbon akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan material, namun sebaliknya mengurangi tingkat keuletannya. Berdasarkan perbedaan kadar karbon, baja karbon umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%. Jenis ini tergolong paling ekonomis dari sisi biaya produksi dibandingkan dengan baja karbon lainnya. Baja karbon rendah memiliki keunggulan berupa kemudahan dalam pengelasan, keuletan yang tinggi, serta ketangguhan yang baik, meskipun kekerasannya relatif rendah dan daya tahan terhadap aus terbatas. Sifat-sifat tersebut membuat baja

karbon rendah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, pagar, serta berbagai konstruksi lainnya.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang adalah baja dengan kandungan karbon berkisar antara 0,3% hingga 0,6%. Dibandingkan dengan baja karbon rendah, jenis ini memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi serta kekuatan tarik dan batas regangan yang baik. Namun, sifatnya yang lebih kaku membuat baja karbon sedang lebih sulit dibentuk secara mekanis dan lebih menantang dalam proses pengelasan, meskipun dapat dikeraskan melalui perlakuan *quenching*. Karena karakteristiknya, baja ini banyak digunakan untuk pembuatan poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, serta komponen mesin yang menuntut kekuatan tinggi.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja dengan kandungan karbon antara 0,6% hingga 1,7%. Jenis ini memiliki tingkat kekerasan dan ketahanan panas yang tinggi, meskipun keuletannya lebih rendah dibandingkan baja karbon rendah maupun sedang. Dengan kekuatan tarik tertinggi di antara semua baja karbon, baja karbon tinggi banyak dimanfaatkan sebagai bahan untuk perkakas. Contoh penggunaannya meliputi pembuatan kawat baja, kabel baja, pegas, serta alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, dan pahat, yang menuntut kekuatan dan kekerasan tinggi.

Tabel 2.4 Klasifikasi baja karbon (Wirjosumarto Harsono 2000)

Jenis Dan Kelas	Kadar Karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan brinell	Penggunaan	
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin
	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
Baja karbon tinggi	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, pegas, kawat piano

