

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Pemilihan material untuk sebuah kebutuhan didasarkan pada sifat mekanik, ketahanan korosi, dan *machinability*. Setiap jenis material memiliki keterbatasan, material yang memiliki kekuatan dan kekerasan permukaan tinggi biasanya memiliki keuletan yang rendah. Sementara material yang memiliki keuletan tinggi biasanya memiliki kekuatan dan kekerasan permukaan yang rendah. Lebih jauh lagi, material yang memiliki kekuatan, kekerasan, serta keuletan yang baik, harganya akan mahal (Widiyono, 2017)

Untuk memenuhi kebutuhan akan material yang memiliki sifat baik tersebut, banyak metode alternatif yang dilakukan. Salah satunya adalah proses perlakuan panas (Heat Treatment). Perlakuan panas merupakan salah satu proses yang berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses maintenance maupun proses produksi (Widiyono, 2017).

*Hardening* adalah proses pemanasan baja sampai temperatur austenit dan kemudian dilakukan pencelupan cepat, proses ini dilakukan untuk meningkatkan sifat kekerasan baja (Yuri, 2016). Quenching merupakan proses pendinginan secara cepat berupa pencelupan plat baja pasca pengelasan pada wadah media pendingin yang telah disediakan berupa air garam, air sumur dan oli (Trihutomo, 2015). Pendinginan pengelasan banyak digunakan untuk mendapatkan kekuatan sambungan las yang baik (Priyanto, 2017). Penggunaan media pendingin yang lazim digunakan para juru las seperti media air udara dan oli akan tetapi para juru las belum mengetahui bahwa larutan air garam baik dalam mempercepat pendinginan terhadap hasil lasan, karena larutan air garam memiliki sifat mendinginkan secara cepat tingkat viskositas yang rendah serta massa jenis yang lebih besar, sehingga laju pendinginannya cepat jika dibanding dengan media

pendingin yang lain (Rizal, 2015). 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 (Khakim, 2020).

Berikut ini menerangkan tentang perkembangan terkini tentang topik penelitian yaitu berupa hasil-hasil apa saja yang telah dicapai oleh penelitian sejenis, yang berasal dari jurnal ilmiah, makalah, laporan penelitian, maupun tesis.

No	Penulis	Judul	Tahun	Kesimpulan
1.	Syaifudin Yuri, Sofyan Djamil dan M. Sobrom Yamin Lubis	PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PROSES <i>HARDENING</i> MATERIAL BAJA S45C	2016	Hardening adalah proses pemanasan baja sampai temperatur austenit dan kemudian dilakukan pencelupan cepat, proses ini dilakukan untuk meningkatkan sifat kekerasan baja. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan buku literatur dan jurnal. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanik baja yang didinginkan dengan media pendingin air garam, oli, air dan udara dalam media pendingin terhadap tingkat kekerasan pada baja S45C setelah dikeraskan dalam proses hardening dan struktur mikro. Penelitian dimulai dari pemotongan specimen uji kekerasan dengan diameter 65 mm x 7 mm x 10 mm dan uji impact dengan diameter 10 mm x 10 mm x 55 mm. Hasil yang diperoleh uji kekerasan air garam memiliki nilai rata-rata kekerasan 95 BHN, nilai rata-rata kekerasan oli 89

				<p>BHN, nilai rata-rata kekerasan air 94 BHN, nilai rata-rata kekerasan udara 87 BHN dan nilai kekerasan tanpa di hardening 88 BHN. uji impact pada udara memiliki nilai rata-rata 1,175 J/mm<sup>2</sup>, nilai rata-rata impact air garam 0,257 J/mm<sup>2</sup>, nilai rata-rata impact air 0,369 J/mm<sup>2</sup>, nilai rata-rata impact oli 1,128 J/mm<sup>2</sup> dan nilai rata-rata impact tanpa dihardening 0,955 J/mm<sup>2</sup>.</p>
2.	Akhmad Lutful Khakim	<p>PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN PADA SIFAT MEKANIS BAJA KARBON RENDAH UNTUK AS RODA SEPEDA MOTOR</p>	2020	<p>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. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sistem <i>hardening</i> Air garam, Oli SAE 40, dan Air Kelapa terhadap kekuatan tarik, <i>impact</i>, kekerasan dan pengaplikasiannya pada sepeda motor. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimen berupa variasi <i>hardening</i> Air Garam, Oli SAE 40, dan Air Garam dengan tiga kali percobaan untuk tiap variasi pendingin dengan volume pendingin 1,5 L.</p>

				<p>Setelah dilakukan penelitian didapatkan hasil menggunakan air garam menghasilkan nilai uji tarik 428,81 MPa, Oli SAE menghasilkan nilai 367,99 MPa, dan Air Kelapa mendapatkan nilai tarik 396,19 MPa. Dan nilai impact Air garam mendapatkan nilai impact 2.538 j/mm<sup>2</sup>, Oli SAE menghasilkan nilai 2.645 j/mm<sup>2</sup>, nilai yang tertinggi pada uji impact adalah Air kelapa dengan nilai impact 3.295 j/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada uji kekerasan Air garam menghasilkan nilai kekerasan 144,5 VHN. Oli SAE 40 menghasilkan nilai 134,6 VHN, dan Air kelapa menghasilkan nilai kekerasan 165,7 VHN.</p>
3.	Indra Priyanto	<p>PENGARUH TEMPERATUR MEDIA PENDINGIN (AIR, COLLANT, OLI) PADA PENGELASAN GMAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN PADA BAJA ST 37</p>	2017	<p>Pendinginan pengelasan banyak digunakan untuk mendapatkan kekuatan sambungan las yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari akibat proses pendinginan pengelasan dengan menggunakan temperatur media pendingin air, collant, dan oli pada pengelasan GMAW terhadap struktur mikro, kekuatan tarik dan kekerasan pada baja ST37. Metode penelitian yang digunakan yaitu eksperimen dengan menggunakan analisis</p>

				<p>data berupa analisis deskriptif. Pendinginan pengelasan menggunakan media pendingin air, collant dan oli yang divariasikan dengan temperatur 15°C, 25°C, 50°C, 75°C, 100°C. Proses pendinginan pengelasan merubah fasa baja menjadi perlit dan ferit halus sehingga kekerasan bahan meningkat berbanding lurus dengan kekuatan tarik karena laju pendinginan cepat. Hasil penelitian struktur mikro pada pengelasan dengan pendinginan pengelasan menyebabkan perubahan struktur mikro sangat terlihat pada daerah HAZ dan logam lasan, semakin besar input panas yang terjadi semakin membuat butir dari perlit dan ferit semakin kasar dan merata. Nilai kekuatan tarik tertinggi pada temperatur media pendingin air yaitu temperatur 15°C sebesar 541,66 MPa. Nilai kekuatan tarik tertinggi pada temperatur media pendingin collant yaitu temperatur 15°C sebesar 568,65 MPa. Nilai kekuatan tarik tertinggi pada temperatur media pendingin oli yaitu temperatur 15°C sebesar 653,36 MPa. Nilai kekerasan tertinggi pada temperatur media</p>
--	--	--	--	--

				<p>pendingin air yaitu pada temperatur 15°C pada daerah weld metal sebesar 191 VHN, pada daerah HAZ sebesar 238,3 VHN dan pada daerah base metal sebesar 172,3 VHN. Nilai kekerasan tertinggi pada temperatur media pendingin collant 15°C yaitu pada daerah weld metal sebesar 214,6 VHN, daerah HAZ sebesar 247,3 VHN dan daerah base metal sebesar 192,6 VHN. Nilai kekerasan tertinggi pada temperatur media pendingin oli yaitu pada temperatur 15°C pada daerah weld metal sebesar 240,6 VHN, pada daerah HAZ sebesar 250,3 VHN dan pada daerah base metal sebesar 219 VHN.</p>
4.	Eddy Widiyono, Gatot Dwi W, Atria P, Winarto, dan Dimas Wisnu Wardana	ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN GARAM DI MEDIA PENDINGIN AIR TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA KARBON AISI 1050	2018	<p>Baja karbon AISI 1050 merupakan baja karbon yang banyak digunakan sebagai komponen otomotif dan komponen mesin lainnya. Perlakuan panas merupakan salah satu proses yang berperan dalam industri manufaktur dengan tujuan untuk proses maintenance maupun proses produksi. Penelitian yang dilakukan adalah pengaruh variasi perbandingan campuran antara air dan garam sebagai media pendingin terhadap kekuatan tarik dan struktur Mikro pada baja karbon AISI 1050 dengan temperatur</p>

				<p>Austenisasi 850°C dan waktu penahanan 15 menit.</p> <p>Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa benda uji yang memiliki jumlah martensit dan nilai kekuatan tarik yang paling tinggi ialah pada benda uji dengan media pendingin air 80% + garam 20% sebesar 92% dan 1304 N/mm<sup>2</sup> dan benda uji yang memiliki jumlah martensit dan nilai kekuatan tarik yang paling rendah ialah pada benda uji dengan media pendingin air 100% + garam 0% sebesar 83% dan 1208 N/mm<sup>2</sup>.</p> <p>Kandungan garam pada media pendingin makin banyak, maka fase martensit yang terbentuk makin tinggi dan kekuatan Tarik, juga makin tinggi.</p>
5.	JOKO SANTOSO	PENGARUH ARUS PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KETANGGUHAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7018	2017	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik, ketangguhan, kekerasan dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7018. Penelitian ini menggunakan bahan baja paduan rendah yang mengandung kadar C = 0,098 %, Si = 0,228 %, Mn = 1,489 %, S = 0,007 %, P=0,014 %, Ni = 0,151 %, Nb = 0,06, Cr=0,085%, V=0,05%, W=0,05 %,</p>

				<p>Ti=0,01%. Bahan diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 100 Amper, 130 Amper dan 160 Amper dengan menggunakan las SMAW DC polaritas terbalik dengan elektroda E7018 diameter 3,2 mm. DC polaritas terbalik yaitu pemegang elektroda dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 70°. Spesimen dilakukan pengujian tarik, ketangguhan, kekerasan dan foto mikro. Kekuatan tarik sambungan las tertinggi terjadi pada kelompok spesimen 160 Amper yaitu sebesar 684,7 MPa yang mengalami kenaikan sebesar 44,8 MPa atau sebesar 6,54 % dari raw materials. Kekuatan luluh tertinggi terjadi pada variasi arus 160 Amper yaitu 553,1 MPa yang mengalami kenaikan sebesar 48,9 MPa atau sebesar 8,84 % dari raw materials. Kekuatan tarik tertinggi untuk daerah lasan terjadi pada kelompok spesimen 100 Amper yaitu 688,9 MPa yang mengalami kenaikan sebesar 19,1 MPa atau sebesar 2,77 % dari</p>
--	--	--	--	--



				<p>kelompok spesimen 130 Amper dan sebesar 33,7 MPa atau sebesar 4,89 % dari arus 160 Amper. Ketangguhan pada daerah las tertinggi pada kelompok spesimen arus 100 Amper yaitu sebesar 1,809 Joule/mm<sup>2</sup>, hal ini mengalami kenaikan 43,17 % dari raw materials. Kelompok arus 130 Amper dan 160 Amper mengalami kenaikan terhadap raw materials yaitu masing-masing sebesar 37,55 % dan 32,05%. Tingkat kekerasan tertinggi terjadi pada daerah HAZ sebesar 274 kg/mm<sup>2</sup> dari variasi arus 130 Amper, hal ini terlihat pada struktur mikronya terlihat lebih lembut dibandingkan variasi arus pengelasan yang lain. Sesuai hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan variasi arus pengelasan terjadi perubahan struktur akibat pendinginan sehingga berpengaruh terhadap kekuatan bahan yaitu terjadi peningkatan terhadap raw materials.</p>
--	--	--	--	--

## 2.2 Landasan Teori

Bagian ini menerangkan tentang teori-teori yang mendukung penelitian serta perhitungan-perhitungan yang diperlukan dalam penelitian ini

### 2.2.1 Pengertian Las

Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Mengelas menurut Alip (1989) adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (filler metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan juga dapat diartikan sebagai proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan pengelasan. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan (Santoso, 2006)

Untuk saat ini ada beberapa metode pengelasan yang sering digunakan pada dunia industri misalnya metode las SMAW, GMAW, GTAW, dan SAW.

1. Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) merupakan salah satu metode pengelasan busur listrik elektroda terumpan, dengan menggunakan busur listrik sebagai sumber panas. Panas yang dihasilkan pada busur listrik yang terjadi antara elektroda dengan benda kerja, mencairkan ujung elektroda las dengan benda kerja, kemudian membeku menjadi lasan.

2. Las GMAW (Gas Metal Arc Welding)

GMAW (Gas Metal Arc Welding) atau yang sering disebut dengan las busur gas merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Gas yang digunakan sebagai pelindung adalah gas helium (He), gas argon (Ar), atau campuran dari kedua gas tersebut (Priyanto, 2017).

3. Las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)

Metode pengelasan ini mempunyai prinsip kerja yang tidak jauh berbeda dengan metode pengelasan GMAW. Pada proses ini juga digunakan gas pelindung seperti Argon dan Helium sebagai pelindung logam las. Perbedaannya terletak pada penggunaan material elektroda. Jika pada GMAW, elektroda juga berperan sebagai penyuplai logam las oleh karena itu elektroda ini terbuat dari logam yang mirip dengan logam induk dan ikut mencair. Sedangkan pada GTAW, elektroda terbuat dari Tungsten (Wolfram) yang tidak ikut mencair. Untuk menyuplai logam las diperlukan kawat las yang diberikan secara manual.

#### 4. Las SAW (Submerged Arc Welding)

Metode pengelasan busur listrik lainnya yaitu las busur rendam (SAW). Dalam metode pengelasan ini, busur listrik dan proses suplai logam las dari kawat las berlangsung dalam keadaan tertutupi oleh serbuk fluks. Selama proses pengelasan, busur listrik selain mencairkan ujung kawat las juga ikut mencair sebagian logam induk dan sebagian serbuk fluks. Oleh karena itu selama pembekuan, logam las terlindungi oleh terak dan serbuk fluks yang tersisa.

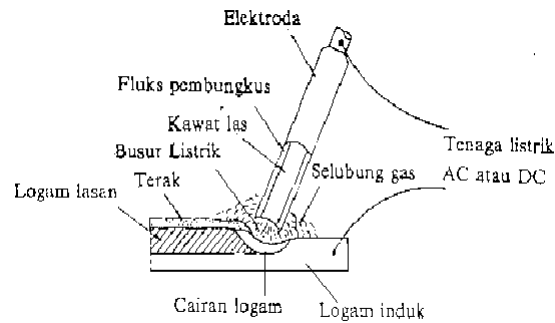
### 2.2.2 Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

*Shielded Metal Arc Welding* adalah suatu proses penyambungan dua buah keping logam atau lebih dengan memanfaatkan panas yang terjadi dari loncatan elektroda pada 2 buah kutub yang berbeda, dengan menggunakan bahan tambah yang disebut elektroda terbungkus. Menurut Santoso, J. (2006) Logam induk dalam pengelasan ini akan mengalami proses pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Menurut Santoso, J (2006) Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus

elektroda selama pengelasan akan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



**Gambar 2.1** Las SMAW (Wiryosumarto, 2000)

Dalam pengelasan kita juga harus memperhatikan *Weld-ability* atau mampu las dimana kita harus mengetahui kemampuan suatu logam atau paduan logam yang dilas menjadi suatu konstruksi yang memiliki karakteristik dan sifat sehingga sanggup memenuhi persyaratan yang diinginkan dalam pengelasan. Suatu logam bisa dikatakan mempunyai sifat mampu las yang tinggi apabila spesimen logam yang dilas tidak memerlukan banyak usaha dalam pengelasan seperti tidak memerlukan *preheat*, *post weld heat treatment* dan tidak memerlukan langkah-langkah pengelasan khusus. Selain perlu tidaknya *preheat* dan *post weld heat treatment*, logam dapat dikatakan memiliki sifat mampu las tinggi apabila selama dan setelah pengelasan tidak terdapat retak/cacat pada hasil pengelasan. Penulis menggunakan Baja karbon rendah dalam penelitian ini dimana memiliki sifat mampu las tinggi karena pengelasan baja karbon rendah tidak memerlukan *preheat* dan *post weld heat treatment*

**Tabel 2.1** Sifat mampu las logam

Logam	Sifat mampu las
Baja karbon	Baja karbon rendah : tinggi Baja karbon sedang : cukup Baja karbon tinggi : rendah
Baja paduan rendah	Serupa dengan baja karbon medium
Baja paduan tinggi	Umumnya baik dibawah kondisi terkontrol
Baja tahan karat	Sifat mampu lasnya tergantung pada proses pengelasan
Paduan aluminium	Paduan yang mengandung seng dan tembaga sifat mampu las sangat rendah
Paduan tembaga	Serupa dengan paduan aluminium
Paduan magnesium	Mampu dilas dengan penggunaan gas pelindung dan fluks
Paduan nikel	Serupa dengan baja tahan karat

### 2.2.3 Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Elektroda berfungsi sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah dalam pengelasan (Santoso, 2006).

Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (fluks) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fluks berfungsi untuk melindungi logam cair dari udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur. Ukuran diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan Panjang antara 350 mm sampai dengan 450 mm. Jenis-jenis selaput fluks pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida, mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan, dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda. Tebal selaput elektroda berkisar antara 10% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput.

### 2.2.4 Klasifikasi Elektroda

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik dinyatakan dengan tanda EXXXX yang artinya sebagai berikut:

- E = elektroda untuk jenis SMAW
- E70XX = dua digit pertama (angka 70) menunjukkan kekuatan tariknya dalam Ksi (Kilopound square inch). Dalam ukuran Psi (Pound square inch) sama dengan 70000 Psi, dimana 1 Ksi = 1000 Psi
- EXX1X = digit ketiga (angka 1) adalah posisi pengelasan  
Kode angka 1, untuk semua posisi  
Kode angka 2, untuk posisi flat dan horizontal  
Kode angka 3, hanya untuk posisi flat

- EXXX2 = digit keempat (angka 2) menunjukkan jenis selaput serbuk besi dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Flux	Posisi* pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
E6010	Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm <sup>2</sup>					
E6027						
E7016	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E7028	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6012	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
E6027		F	AC atau DC polaritas ganda			
E7024	Serbuk besi, oksida besi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
E6027		F	AC atau DC polaritas ganda			

**Gambar 2.3** Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak (Wiryosumarto, 2000).

E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,5	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

**Gambar 2.2** Spesifikasi elektroda untuk baja karbon(Wiryosumarto, 2000)

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.2** Spesifikasi Arus Menurut Tipe dan Diameter Elektroda (Soetardjo, 1997).

Diameter		Tipe elektroda dan amper yang digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6013	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,6	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	3/32	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250
5,5	7/32	-	260-340	360-430	275-375	250-350	275-365
6,3	1/4	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

## 2.2.5 Besar Arus Listrik

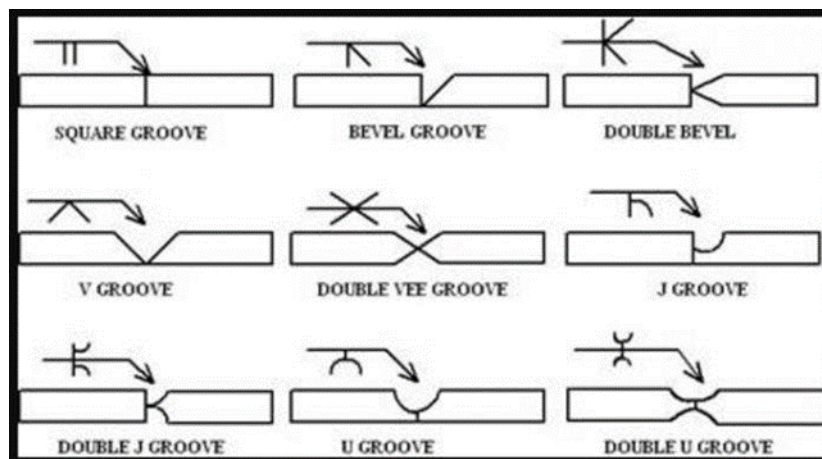
Besarnya arus pengelasan tergantung pada diameter elektroda yang di pakai, ukuran spesimen yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi, untuk itu diperlukan arus yang tinggi.

Arus las merupakan parameter las yang mempengaruhi langsung penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Menurut Sonawan dan Suratman (2004) Semakin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus listrik pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah mengakibatkan perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik tidak stabil. Panas yang dihasilkan tidak

cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan yang kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

### 2.2.6 Kampuh Pengelasan

Kampuh las merupakan bagian dari logam induk yang sengaja dibentuk sedemikian rupa yang nantinya akan diisi oleh logam las, kampuh las awalnya berupa cekungan celah yang sengaja dibentuk untuk nantinya diisi dengan logam las. Sambungan las yang memakai alur kampuh dikategorikan dalam sambungan las tumpul (Nur Aji, 2019) Dalam pengaplikasiannya terdapat beberapa macam jenis kampuh atau groove yang biasa digunakan, yaitu: *V groove* (kampuh V), *single bevel*, *J groove*, *U Groove*, *Square Groove*



**Gambar 2.4** Jenis-Jenis Kampuh Las (Nur aji, 2019)

### 2.2.7 Sifat Cacat Las

Dalam proses pengelasan juga harus diperhatikan hasil pengelasan yang telah dibuat untuk tidak mengalami kecacatan agar menghasilkan sambungan yang baik. Berikut beberapa macam cacat las yang sering terjadi pada proses pengelasan:

#### 1. *Undercut*

*Undercut* merupakan salah satu jenis cacat las dimana terjadinya pengerukan berlebihan maupun hasil penegelasan yang terlalu melebar terhadap material logam. Biasanya disebabkan oleh beberapa hal berikut:

- 1) Besar arus listrik yang terlalu tinggi
- 2) Terlalu tingginya kecepatan pengelasan
- 3) Tidak teraturnya ayunan elektroda
- 4) Posisi elektroda yang tidak tepat

#### 2. *Porosity*

*Porosity* merupakan jenis cacat las dimana pada saat proses pengelasan ada udara atau gas yang terkurung oleh las, sehingga menyebabkan adanya rongga-rongga dalam hasil pengelasan. Berikut beberapa hal yang menyebabkan terjadinya *porosity*:

- 1) Nyala busur yang terlalu Panjang
- 2) Besar arus listrik yang terlalu rendah
- 3) Kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi
- 4) Kandungan belerang yang terlalu tinggi

#### 3. *Slag*

*Slag* merupakan cacat las dimana pada proses pengelasan adanya slag atau material lain yang tertinggal didalam hasil penegelasan. Hal ini biasanya disebabkan beberapa hal berikut:

- 1) Tidak tepatnya kecepatan gerak elektroda
- 2) Kurang tepatnya sudut elektroda
- 3) Besar arus listrik yang terlalu rendah

#### 4. *Incomplete Penetration*

*Incomplete Penetration* merupakan cacat las dimana pada proses pengelasan penetrasi yang terjadi kurang sempurna. Untuk cacat las ini biasanya disebabkan oleh beberapa hal berikut:

- 1) Panas busur tidak mencairkan logam
- 2) Kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi
- 3) Sudut elektroda yang salah

### **2.2.8 Baja 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. Kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja. Penggunaan



dari masing-masing baja berbeda-beda berdasarkan kandungan karbon pada baja tersebut (Khakim, 2020).

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,30% C. Sifatnya mudah ditempa dan mudah pada proses permesinan.
  - 0,05% - 0,20% C, digunakan untuk bahan bangunan, perpipaan, rantai, skrup, dan pasak
  - 0,20% - 0,30% C, digunakan untuk *gear, shaft, bolt*, jembatan, dan bahan bangunan
2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*). kandungan karbon pada besi sebesar 0,30% C – 0,60% C. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong, dan kekuatannya lebih tinggi dari baja karbon rendah.
  - 0,30% - 0,40% C, digunakan untuk pembuatan *connecting rods, crank pin*, dan *axles*.
  - 0,40% - 0,50% C, digunakan untuk *crankshaft, rail*, dan *screwdrivers*
  - 0,50% - 0,60% C, digunakan untuk pembuatan palu dan linggis
3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*). memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% – 1,50% C. digunakan untuk pembuatan palu dan linggis

### 2.2.9 Media Pendingin

Quenching merupakan proses pendinginan secara cepat berupa pencelupan plat baja pasca pengelasan pada wadah media pendingin yang telah disediakan berupa air garam, air sumur dan oli. Kemampuan suatu jenis media dalam mendingin specimen biasa berbeda-beda, semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras logam tersebut (Trihutomo, 2015). Penggunaan media pendingin yang lazim digunakan para juru las seperti media air udara dan oli akan tetapi para juru las belum mengetahui bahwa larutan air garam baik dalam mempercepat pendinginan terhadap hasil lasan, karena larutan air garam memiliki sifat mendinginkan secara cepat tingkat viskositas yang rendah serta massa jenis yang lebih besar, sehingga laju pendinginannya cepat jika dibanding dengan media pendingin yang lain (Rizal, 2015).

Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Air garam

Garam adalah kumpulan senyawa kimia dengan komponen utamanya Natrium Klorida (NaCl) sama saja dengan garam dapur. Proses pembuatan garam di Indonesia pada umumnya dengan cara menguapkan air laut dengan menggunakan sinar matahari atau

dengan sumber panas lainnya. Tetapi ada juga yang diperoleh melalui penambangan dari tanah di bekas daerah lautan.

Menurut Yuri, S (2016) Air garam memiliki viskositas yang rendah dan densitas yang tinggi dibandingkan dengan media pendingin pada umumnya, sehingga nilai kekerasan menggunakan media pendingin air garam menjadi yang paling tinggi. Menurut Widiyono, E (2018) Kandungan garam pada media pendingin makin banyak, maka fase martensit yang terbentuk makin tinggi dan kekuatan Tarik, juga makin tinggi.

- Air laut

Air laut merupakan campuran dari air murni dan material lainnya seperti garam-garam, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Air laut memang berasa asin karena memiliki kadar garam rata-rata 3,5%.

### 2.2.10 Pengujian kekerasan

Kekerasan adalah tahanan yang dilakukan oleh bahan terhadap desakan kedalam perubahan yang tetap, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji. Untuk mengetahui kekerasan suatu material, kita dapat melakukan pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur ukuran bekas penekan yang terbentuk diatas benda uji (Surdja dan Saito 1999).

Pengujian kekerasan yang dilakukan terhadap suatu benda uji dapat dilakukan dengan berbagai metode *Rockwell*, *Brineell* dan *Vickers* yang masing-masing memiliki perbedaan dalam cara menentukan angka kekerasannya.

#### 1. Metode Pengujian Rockwell

Uji kekerasan dengan Rockwell merupakan salah satu pengujian kekerasan bahan yang banyak digunakan, pada metode ini benda uji ditekan dengan penetrator (bola baja dan kerucut intan dengan besar sudut  $120^\circ$ ). Harga kekerasan diperoleh dari perbedaan kedalaman dari beban mayor dan minor. Beban minor merupakan beban awal yang diberikan untuk pengujian Rockwell yang sudah ditentukan, sedangkan beban mayor merupakan beban minor ditambah dengan beban tambahan yang diberikan saat pengujian kekerasan (Priyanto, 2017).

Nilai kekerasan berdasarkan penekanan indentor dan hasilnya dapat langsung dibaca pada jarum penunjuk indikator di mesin Rockwell. Penembusan yang kecil, menghasilkan penunjukan angka kekerasan yang tinggi. Angka kekerasan Rockwell didefinisikan sebagai kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan (Djaprie, 1993) RHN dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$RHN = E - \frac{e}{0,002mm} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Dimana:

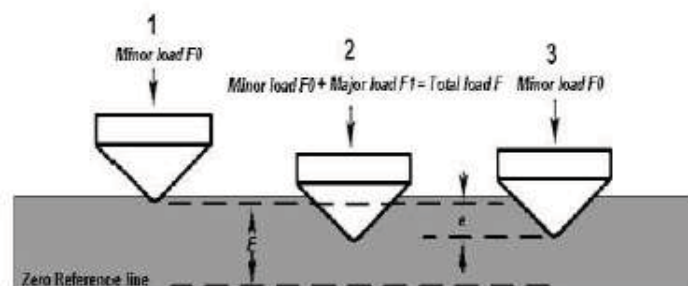
RHN = Besar nilai kekerasan dengan metode Rockwel (kg/mm<sup>2</sup>)

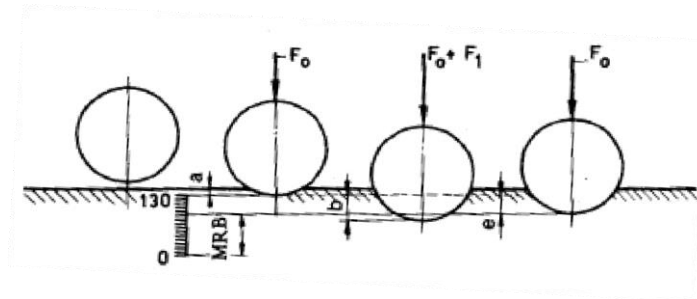
E = jarak antara indentor saat diberi *minor load* dan *zero reference*

e = jarak antara kondisi 1 dan 3

F0 = beban minor (*minor load*), kg

F1 = beban mayor (*major load*), kg





**Gambar 2.5** Pengujian rockwell (Groenendijk, 1980)

## 2. Metode Pengujian Brinell

Uji kekerasan dengan metode brinell dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja krom yang dikeraskan dengan ukuran diameter tertentu oleh gaya tekan statis ke dalam permukaan logam yang diuji tanpa sentakan. Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih.

Angka kekerasan Brinell (BHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pengukuran diameter pada jejak lekukan yang berarah tegak lurus. BHN dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{BHN} = \frac{p}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana:

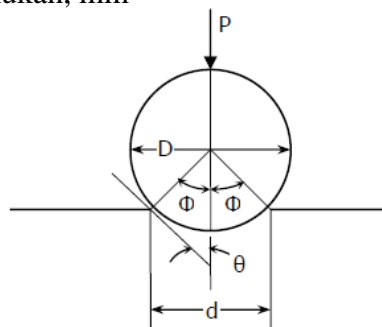
BHN = Nilai kekerasan dengan metode brinell (kg/mm<sup>2</sup>)

P = beban yang diterapkan, kg

D = diameter bola, mm

d = diameter lekukan, mm

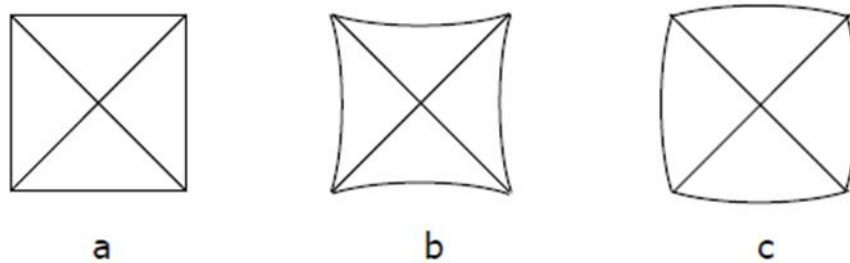
t = kedalaman lekukan, mm



**Gambar 2.6** Pengujian Brinell (Djaprie S, 1993)

## 3. Metode Pengujian Vickers

Metode Vickers merupakan pengujian dengan menggunakan indenter piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan besar sudut antara permukaan-permukaan yang berhadapan adalah  $136^\circ$ . Pengujian vickers lumayan banyak dilakukan pada penelitian, karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala pada logam yang lunak maupun logam sangat keras. Tipe lekukan yang terjadi pada pengujian Vickers, yaitu 1) lekukan sempurna; 2) lekukan bantal jarum; 3) lekukan berbentuk tong.



**Gambar 2.7** Tipe-tipe lekukan piramida intan (Djaprie S, 1993)

Angka kekerasan Vickerst (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Luas dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} (\text{kg/mm}^2)$$

Dimana:

VHN = Nilai kekerasan dengan metode Vickers (kg/mm<sup>2</sup>)

P = beban yang diterapkan, kg

L = panjang diagonal rata-rata, mm

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )