

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penulisan tugas akhir dibutuhkan beberapa studi *literature* terlebih dahulu, yang diharapkan dapat menghasilkan teori ataupun rumus sehingga tujuan dan manfaat dapat tercapai. Berikut adalah beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai pembandingan hasil-hasil apa saja yang telah dicapai dan yang belum dilakukan terkait dengan penelitian ini.

Menurut W. Karmawan dkk (2020) penelitian ini menggunakan variasi arus las *SMAW* dengan elektroda E7018 bahan baja *ST 42* terhadap sifat mekanis. Pengujian tarik tertinggi pada baja *ST 42* ada pada arus 60 ampre yaitu sebesar 31,91 N/mm², pada arus 80 ampre sebesar 31,33 N/mm², arus 100 ampre sebesar 29,20 N/mm² dan pada *raw material* nilai kekuatan tariknya sebesar 28,90 N/mm². Nilai Tegangan geser tertinggi berada pada arus 60 ampre yaitu sebesar 9,50 N/mm², arus 80 ampre Tegangan geser sebesar 9,13 N/mm² dan arus 100 ampre nilai tegangan geser sebesar 9,41 N/mm² lebih besar dari arus 80 ampre. Nilai regangan tertinggi berada pada arus 60 ampre sebesar 23% dan arus 100 ampre adalah arus yang paling kecil nilai regangannya yaitu sebesar 17,33%.

Menurut Azwinur dkk (2018) penelitian ini mengkaji sifat mekanik sambungan *las butt weld* dan *double lap joint* pada material baja karbon rendah. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jenis sambungan sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan pengelasan. Berdasarkan data pengujian diperoleh bahwa kekuatan uji tarik paling tinggi adalah pada sambungan las *butt weld* sebesar 49.8 kgf/mm² dibandingkan nilai kekuatan tarik untuk sambungan las *double lap joint* sebesar 48.65 kgf/mm². Sedangkan nilai kekuatan bending lebih besar pada jenis sambungan las *double lap joint* dari pada sambungan *las butt weld* baik untuk kategori *root bend* maupun *face bend*.

Menurut Ferry Setiawan (2016) penelitian ini tentang pengaruh variasi sudut kampuh v dan kuat arus dengan las *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) pada baja A36 terhadap sifat mekanik. Dari analisa nilai kekerasan hasil uji didapat semakin

besar kuat arus pengelasan menyebabkan semakin besar nilai kekerasannya dan untuk kuat arus 110 Ampere dengan sudut kampuh 90° memiliki kekerasan tertinggi di daerah *HAZ* sebesar 234.5 HV dan *weld metal* sebesar 230.5 HV. Sementara itu untuk kuat arus 70 Ampere dipadukan dengan sudut kampuh 50° memiliki nilai kekerasan terendah pada daerah *base metal* sebesar 168.5 HV. Hasil dari analisa kekuatan tarik terbesar yang menggunakan sudut 70° nilai kekuatan tariknya sebesar 495.84 MPa dan untuk besaran sudut 90° nilai kekuatan tariknya terendah yaitu sebesar 482.71 Mpa. Dan sudut 50° nilai kekuatan tarik 494.2 Mpa.

Menurut Yayan Cahyo, Nur Yanu (2019) penelitian ini tentang sifat fisik dan mekanik baja astm A36 pengelasan *SMAW* dengan ketebelan pelat berbeda terhadap variasi jenis kampuh menggunakan metode *chamfering*. Dari hasil analisa sifat fisik dan mekanik untuk pengujian struktur makro setelah dianalisa secara visual kampuh *V groove* memiliki nilai *HAZ* paling rendah dan tidak memiliki cacat pengelasan dan uji kekerasan (*hardness test*) spesimen pengelasan yang menggunakan *V groove* memiliki nilai kekerasan paling tinggi dari pada kedua jenis kampuh lainnya yakni 174,4 HVN pada daerah *HAZ*. Jenis kampuh (*groove*) dengan ketebelan pelat berbeda yang lebih efektif ketika menggunakan metode *chamfering* adalah *V groove*.

Menurut Syaripudin dkk (2014) peneltian ini membahas tentang pengaruh jenis kampuh las terhadap kekuatan tarik bada paduan rendah (*ASTM A36*) menggunakan las *SMAW*. Dari proses pengujian tarik yang telah dilakukan pada spesimen baja kontruksi Bj. 44 yang telah dilakukan proses pengelasan *SMAW* menggunakan dan DC+ dengan variasi arus 100 ampere, 110 ampere, 120 ampere dan 130. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan arus pengelasan 130 ampere dengan nilai sebesar 547 N/mm², dimana terdapat 2 dari 3 spesimen mengalami patahan pada logam induk. Kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen dengan arus pengelasan 100 Ampere dengan nilai sebesar 497,67 N/mm² dimana terdapat 2 dari 3 spesimen mengalami patahan pada logam las.

2.2 Landasan Teori

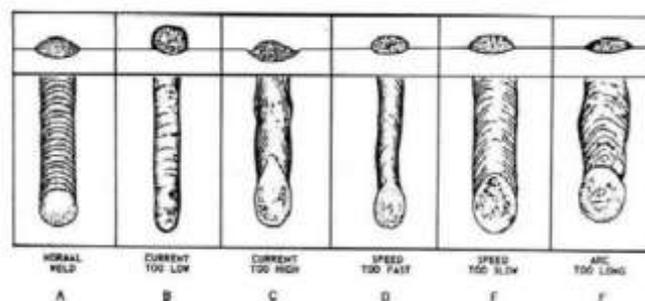
Bagian ini menerangkan tentang teori-teori yang mendukung penelitian serta perhitungan-perhitungan yang diperlukan dalam penelitian ini.

2.2.1 Pengertian Las Listrik Atau SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Proses pengelasan di mana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Elektroda terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (*filler*). Kawat ini dibungkus dengan bahan fluks. Biasanya dipakai arus listrik yang tinggi (10-500 A) dan potensial yang rendah (10-50 V). Selama pengelasan, fluks mencair dan membentuk terak (*slag*) yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam las terhadap udara sekitarnya. Fluks juga menghasilkan gas yang bisa melindungi butiran-butiran logam cair yang berasal dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan (Wirjosumarto dan Okumura, 2000). Ada beberapa macam proses las yang dapat digolongkan kedalam proses las listrik antara lain yaitu:

- a. Las listrik dengan elektroda karbon, misalnya:
 - Las listrik dengan elektroda karbon tunggal.
 - Las listrik dengan elektroda ganda.
- b. Las listrik dengan elektroda logam, misalnya:
 - Las listrik dengan elektroda berselaput.
 - las listrik TIG (*Tungsten Inert Gas*).

Dalam pengelasan SMAW Anda harus memperhatikan beberapa parameter las agar hasil maksimal, berikut ini parameternya:



Gambar 2.1 Hasil pengelasan dengan bermacam parameter [10]

a. Arus Pengelasan

Ampere las sangat berpengaruh terhadap hasil las, mulai dari penetrasi, lebar las dan tebal dari hasil pengelasan. Jika arus terlalu kecil maka penetrasi dangkal, namun jika terlalu besar maka material dapat jebol dan juga dapat menyebabkan daerah HAZ menjadi lebih besar. Lihat juga cara mengetahui amper las.

Tabel 2.1 Spesifikasi besar arus listrik

Diameter Elektroda (mm)	Arus Las (Ampere)
1,5	20-40
2,0	30-60
2,6	40-80
3,2	70-120
4,0	120-170
5,0	140-230

b. Voltase Pengelasan

Voltase ini hampir sama pengaruhnya dengan arus las, yaitu berpengaruh terhadap lebar lasan dan kecepatan mencairnya elektroda.

c. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan las yang benar diperlukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan syarat keberterimaan. Jika terlalu cepat maka hasil pengelasan cenderung lebih kecil, sedangkan jika terlalu lambat maka akan terlalu tebal.

d. Polaritas

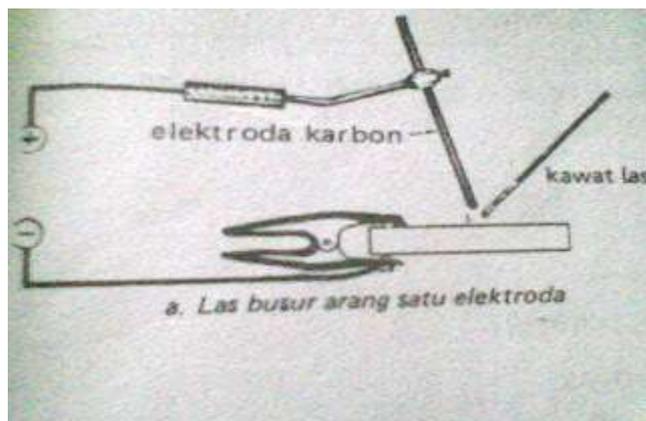
Untuk SMAW, polaritas DCEN hasil penetrasinya lebih dangkal dibandingkan dengan DCEP. Hal tersebut berbanding terbalik dengan pengelasan GTAW.

2.2.2 Prinsip-prinsip Las Listrik

Pada dasarnya las listrik yang menggunakan elektroda karbon maupun Logam menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas. Busur listrik yang dapat mencapai *temperature* tinggi yang dapat melelehkan Sebagian bahan yang akan dilas.

a. Las listrik dengan elektroda karbon

Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda karbon dengan logam akan memanaskan dan mencairkan logam yang akan dilas. Sebagai mana bahan tambahan dapat dipakai elektroda dengan bahan *fluks* atau elektroda yang berselaput *fluks*.



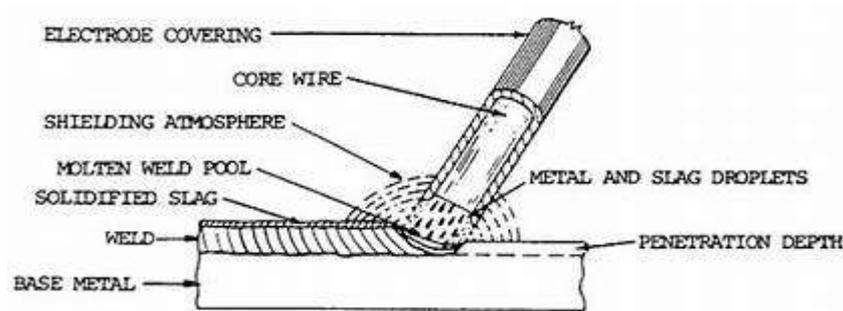
Gambar 2.2 Las listrik dengan elektroda karbon [10]

b. Las listrik dengan elektroda berselaput

Las listrik ini menggunakan elektroda berselaput sebagai bahan tambahannya. Busur listrik yang terjadi diantara ujung elektroda dan bahan dasar akan mencairkan ujung elektroda dan Sebagian bahan dasar. Selaput elektroda yang akan mencair dan menghasilkan gas yang melindungi ujung elektroda, kawat las, busur listrik, dan daerah las disekitar busur listrik terhadap pengaruh daerah luar. Cairan selaput elektroda yang membeku akan menutupi permukaan las yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap pengaruh luar.

Las *TIG* (*Tungsten Inert Gas*) menggunakan elektroda *walfram* yang bukan merupakan bahan tambah. Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda *walfram* dan bahan dasar adalah sumber panas untuk pengelasan. Titik cair dari elektroda *walfram* sedemikian tingginya tidak ikut mencair pada saat terjadi busur listrik. Tangkai las dilengkapi oleh *nozle* keramik untuk penyemburan gas pelindung yang melindungi daerah las dari pengaruh luar ada saat pengelasan.

Sebagai bahan tambahan dipakai elektroda tanpa selaput yang digerakkan dan didekatkan ke busur listrik yang terjadi antara elektroda *woolfram* dengan bahan dasar. Sebagai gas pelindung dipakai argon, helium atau kedua campuran gas tersebut yang pemakaiannya tergantung dari jenis logam yang akan dilas. Tangkai las *TIG* biasanya didinginkan dengan air yang bersirkulasi.



Gambar 2.3 Las listrik dengan elektroda berselaput [10]

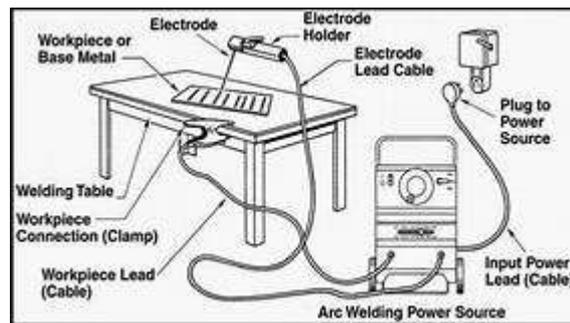
2.2.3 Mesin Las

Menurut (Tom Myers, 2015) mesin las pada unit peralatan las berdasarkan arus yang dikeluarkan pada ujung-ujung elektroda dibedakan mejadi 2, yaitu:

a. Mesin las arus bolak-balik (mesin AC)

Arus listrik bolak-balik atau arus AC yang dihasilkan pembangkit listrik (PLN atau generator AC), dapat digunakan sebagai sumber tenaga dalam proses pengelasan. Tegangan listrik yang berasal dari pembangkit listrik belum sesuai dengan tegangan yang digunakan untuk pengelasan. Bisa terjadi tegangan terlalu tinggi atau terlalu rendah, sehingga besarnya tegangan perlu disesuaikan terlebih dahulu dengan cara menurunkan atau menaikkan tegangan. Alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan disebut *transformator* atau *trafo*. Kebanyakan *trafo* yang digunakan pada peralatan las adalah *trafo step-down*, yaitu *trafo* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Hal ini disebabkan listrik dari pembangkit listrik mempunyai tegangan yang tinggi (110 *volt* sampai 240 *volt*), padahal kebutuhan tegangan yang dikeluarkan oleh mesin las untuk pegelasan hanya 55 *volt* sampai 85 *volt*. Trafo yang digunakan untuk pengelasan mempunyai daya yang cukup besar. Untuk mencairkan sebagian logam induk dan elektroda

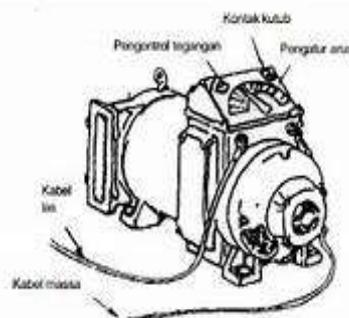
dibutuhkan energi yang besar. Untuk menghasilkan daya yang besar maka perlu arus yang besar. Dengan aliran arus yang besar maka perlu kabel lilitan sekunder yang berdiameter besar. Arus yang digunakan untuk pengelasan busur listrik berkisar antara 10 *ampere* sampai 500 *ampere*. Besarnya arus listrik dapat diatur sesuai dengan keperluan pengelasan.



Gambar 2.4 Mesin las arus AC [5]

b. Mesin las arus searah (mesin DC)

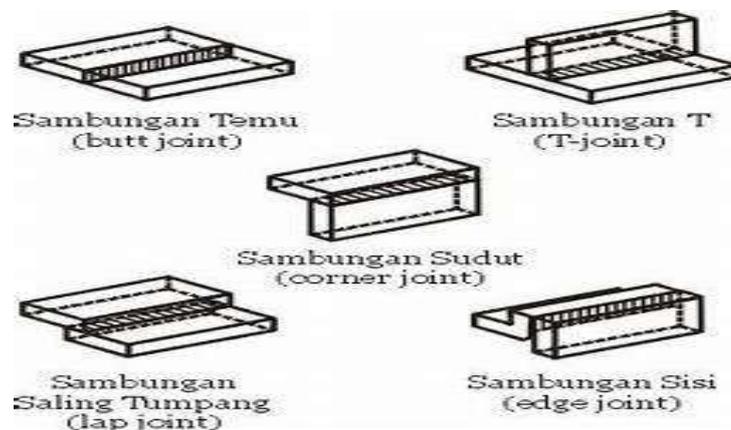
Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Arus searah ini berasal dari mesin las yang berupa dinamo motor listrik searah. Dinamo dapat digerakkan oleh motor listrik, motor bensin, motor diesel dan penggerak mula lainnya. Mesin arus searah yang menggunakan penggerak mula memerlukan peralatan yang berfungsi sebagai penyearah arus. Penyearah atau rectifier berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC).



Gambar 2.5 Mesin las arus DC [5]

2.2.4 Jenis Sambungan Las

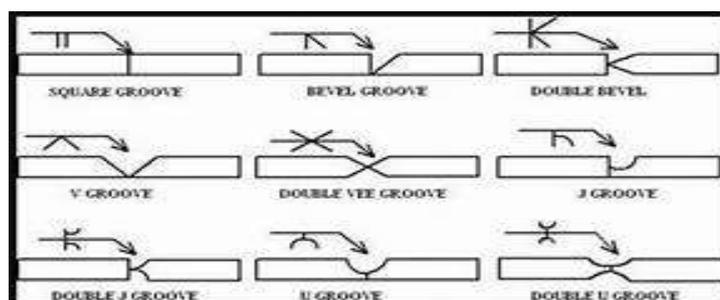
Sambungan las dalam konstruksi baja dibagi menjadi beberapa sambungan antara lain sambungan tumpul sambungan T, sambungan sudut, sambungan tumpang, sambungan silang, sambungan dengan penguat, dan sambungan sisi. Pemilihan jenis sambungan las terutama berdasarkan pada ketebalan pelat yang dilas. Dalam pengelasan ada yang disebut dengan pelat tipis dan pelat tebal. Menurut AWS (American Welding Society) disebut pelat tipis apabila ketebalannya kurang dari 1 inch atau sama dengan 25.4 mm, dan disebut pelat tebal jika ketebalannya lebih dari 1 inch (Wiryosumarto, 1996).



Gambar 2.6 Jenis-jenis sambungan las [11]

2.2.5 Jenis Kampuh Las

Bentuk kampuh las sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan, dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk kampuh las sangat penting. Adapun jenis-jenis kampuh las pada sambungan tumpul dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7 Jenis-jenis Kampuh las [11]

2.2.6 Jenis-jenis Cacat Pada Pengelasan

Beberapa jenis-jenis cacat pada pengelasan, antara lain:

- a. *Undercat* adalah cacat pada bagian sambungan las yaitu *fillet*, *butt lap*, *cornen*, dan *eidge*. Penyebabnya arus pengelasan terlalu besar.
- b. *Porasitas* adalah cacat pada logam las yang membentuk sebuah lubang-lubang kecil. Penyebabnya arus pengelasan masih rendah atau elektroda yang digunakan masih lembab.
- c. *Slag inclusion* adalah cacat pada dalam bagian las yaitu *slag* (*flux* yang mencair) biasanya terjadi pada awal pengelasan dan berhentinya proses pengelasan.
- d. *Incomplete fusion* adalah cacat pada samping lasan seperti penyambungan antara logam las dan logam induk.

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. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang terbungkus (*fluks*) dan tidak terbungkus yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari *fluks* adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Elektroda terbungkus terdiri dari bagian inti dan zat pelindung atau *fluks*. Pelapisan *fluks* pada bagian inti dapat dilakukan dengan destrusi, semprot atau celup. Selaput yang ada pada elektroda berfungsi untuk melindungi cairan las, busur listrik, dan sebagian benda kerja dari udara luar. Udara luar mengandung gas oksigen, yang dapat mengakibatkan bahan las mengalami oksidasi, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanis dari logam yang dilas. Oleh karena itu, elektroda yang terbungkus digunakan untuk pengelasan benda-benda yang butuh kekuatan mekanis.

Bila ditinjau dari logam yang dilas kawat elektroda dibedakan menjadi lima bagian besar yaitu, baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam *non ferro*. Karena *filler metal* hanya mempunyai kesamaan sifat dengan

logam induk maka sekaligus ini berarti bahwa tidak ada elektroda yang dapat dipakai untuk semua jenis dari pengelasan. Pemilihan ukuran diameter tergantung dari perencanaan, ukuran las posisi pengelasan, input panas, serta keahlian dalam pengelasan. Ini berarti bahwa tiap ukuran diameter elektroda mempunyai kaitan dengan besarnya kuat arus yang harus lewat pada elektroda tersebut. Di mana elektroda tersebut mempunyai selubung atau *coating*.

Elektroda perlu disimpan di tempat yang kering dan hangat dan digunakan berurutan misalnya elektroda baru tidak ditumpuk di atas yang lama. Biasanya elektroda yang sudah sangat lama mempunyai lapisan bulu berwarna putih yang disebabkan oleh kaca air pada elektroda. Elektroda harus ditumpuk dengan hati-hati dan jangan dijatuhkan yang akan menyebabkan retak dan terkelupasnya lapisan. Las yang berkualitas jelek biasanya sebagai akibat jika digunakan elektroda terlelupas, lembab, atau rusak. Jika elektroda kering digetarkan di tangan menghasilkan bunyi logam yang kuat, akan tetapi yang lembab mempunyai bunyi yang teredam (Kenyon, 1985).

2.3.1 Fungsi Elektroda

Beberapa fungsi lapisan elektroda, antara lain:

- a. Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair dan dengan demikian mencegah oksigen dan nitrogen dari tadara memasuki logam las.
- b. Membuat busur api stabil dan mudah dikontrol.
- c. Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat-sifat mekanis yang memuaskan.
- d. Menyediakan suatu terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan pendingin logam las dan dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan.
- e. Membantu mengontrol (bersama-sama dengan arus las) ukuran dan frekuensi tetesan logam cair.
- f. Memungkinkan dipergunakannya posisi-posisi yang berbeda.

2.3.2 Pemilihan Elektroda

Dilihat dari fungsinya, maka untuk pemilihan jenis elektroda yang digunakan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Jenis logam yang akan dilas.
- b. Tebal bahan yang akan dilas.
- c. Kekuatan mekanis yang diharapkan dari hasil pengelasan.
- d. Posisi pengelasan
- e. Bentuk kampuh benda kerja

2.3.3 Kode Elektroda

Kode elektroda sudah distandarkan oleh badan standarisasi kode elektroda yaitu AWS (*American Welding Society*) ASTM (*American Society for Testing Material*), Simbol atau kode yang diberikan yaitu satu huruf E yang diikuti oleh empat atau lima angka dibelakangnya, contoh E7016. Sedangkan simbol standar JIS (*Japan Industrial Standard*), kode yang diberikan yaitu satu huruf D yang diikuti oleh empat atau lima angka dibelakangnya, comoh D5016. Elektroda dengan kode E7016, untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing-masing, yaitu:

- | | | |
|----|---|---|
| E | : | Elektroda untuk las busur listrik |
| 70 | : | Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 psi, jadi 70.000 psi atau Mpa. |
| 1 | : | Menyatakan posisi pengelasan, angka 1 bearti dapat digunakan untuk semua posisi. |
| 6 | : | Menunjukkan jenis <i>fluks_hidrogen</i> rendah. |

2.4 Baja Karbon Rendah ASTM A36

Penelitian ini menggunakan baja SS400/JIS G3101/ASTM A36, baja sejenis "*Steinless Steel*" (baja tahan karat) yang diterangkan bahwa SS400 bukanlah baja steinless steel. SS berarti "Structural Steel" atau baja kontruksi. Berbeda dengan penamaan pada SS304, SS316 SS410, dsb. Pada SS304, SS316, SS410, dsb,

memang jenis baja stainless steel dari standard ASTM (*American Society for Testing Materials*). Adapun stainless steel standard JIS (*Japanese Industrial Standard*) mereka memberi kode dengan awalan SUS (*Steel Use Stainless*) misalnya SUS304, SUS316, SUS410, dsb. Pada kasus SS400, SS disini bukanlah kepanjangan dari stainless steel tapi “Structural Steel”.

SS400/JIS G3101/ASTM A36 ialah baja umum (*Mild Steel*) dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), *Manganese* (Mn), Silikon (Si), *Sulfur* (S) dan *Phosphor* (P) yang diaplikasikan untuk struktur/konstruksi umum (*General Purpose Structural Steel*) misalnya jembatan, plat kapal laut, oil tank dll. SS400/JIS G3101 ekivalen dengan DIN: St37-2, EN235JR, ASTM: A283C dan UNI: FE360B, SS400/JIS G3101/ASTM A36, baja dengan kadar karbon rendah (max 0,17% C) *Low C Steel*, material ini tidak dapat dikeraskan atau pelakuan panas melalui proses *quench* dan temper. Material ini dapat dikeraskan melalui pengerasan permukaan seperti karburisasi, nitriding atau carbonitriding, dimana kekerasan permukaan bisa mencapai 500 *Brinell* (kira – kira 500 HRC) pada kedalaman permukaan 10 sampai 20 *mikron* tergantung prosesnya (*Steelindo Metals*, 2013).

2.5 WPS (*Welding Procedure Specification*)

Welding procedure specification ialah prosedur yang digunakan sebagai acuan untuk proses pembuatan konstruksi pengelasan yang sesuai dengan rencana dan spesifikasinya dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Oleh karena itu mereka yang menentukan prosedur pengelasan harus mempunyai pengetahuan dalam hal pengetahuan bahan dan teknologi pengelasan serta dapat menggunakan pengetahuan tersebut untuk efisiensi dari suatu aktivitas produksi.

Didalam pembuatan prosedur pengelasan (*WPS*) *code* atau standar yang biasanya digunakan dinegara kita ialah *American Standard* (*ASME*, *AWS* dan *API*). Selain *American Standard design* dan fabrikasi yang sering kita temui adalah *British Standard* (*BS*), *Germany Standard* (*DIN*), *Japanese Standard* (*JIS*) dan *International Standard of Organization*.

2.5.1 Langkah-langkah Pembuatan Prosedur Pengelasan (WPS)

Pada umumnya langkah pertama dalam pembuatan WPS adalah dengan menyusun *draft / preliminary* prosedur pengelasan yang terdiri dari aktivitas:

- a. Melakukan pengelasan pada *test coupon* sesuai dengan parameter-parameter pengelasan yang telah tertulis dalam *draft* prosedur tersebut.
- b. Membuat *test specimen* dan melakukan uji *specimen* dengan *Destructive Test*.
- c. Mengevaluasi hasil *Destructive Test* dengan *Standard / code* yang digunakan.
- d. Mencatat dan mensertifikasi hasil uji tersebut pada lembar prosedur kualifikasi *record (PQR)*.

2.5.2 Faktor Utama Penyusunan Pengelasan (WPS)

Berikut ini adalah factor utama dalam menyusun WPS yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a. Apakah jenis material induknya (*Base Metal*).
- b. Jenis proses *welding* yang digunakan.
- c. Jenis kawat yang digunakan.
- d. Kondisi pemakaian alat yang akan di las.

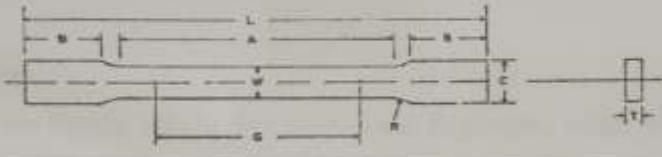
2.6 Jenis Pengujian

Pada penelitian ini pengujian hanya difokuskan pada karakter yang dihasilkan oleh uji tarik dan uji bending. Berikut masing-masing penjelasannya:

2.6.1 Uji Tarik

Uji tarik adalah yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan satu bahan terhadap beban statis yang diberikan secara lambat, dalam hal ini beban statis tersebut adalah tarikan. Metode uji tarik yaitu dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah dalam satu garis lurus. Melalui uji tarik juga dapat diketahui elongasi dari suatu bahan. Pada penelitian ini standar pengujian tarik mengikuti standar *ASTM E8/E8M-9*

 E8/E8M - 09



Dimensions	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material 12.5 [0.500]	6 [0.250]
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	60 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Gambar 2.8 Spesimen uji tarik [9]

Secara sederhana tegangan tarik yang bekerja pada suatu material dapat di rumuskan oleh persamaan:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Σ : Tegangan tarik (N/mm²)

F_{\max} : Beban normal atau beban yang diberikan searah tegak lurus terhadap penampang *specimen* (N)

A_0 : Luas awal penampang *specimen* sebelum diberikan pembebanan (mm²)

Tegangan pada suatu system akan menyebabkan terjadinya regangan, yaitu perubahan Panjang atau perubahan ukuran benda. Regangan dapat dirumuskan dengan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

Keterangan:

ε : Regangan

Δl : Pertambahan panjang pada specimen (mm)

l_0 : Panjang spesimen awal sebelum pembebanan (mm)

l : Panjang spesimen setelah mengalami uji tarik (mm)

Dari dua besaran ini didapatkan suatu besaran lain yang dinamakan sifat elastisitas benda atau lebih umum dinamakan modulus. Modulus elastisitas adalah sifat mekanik material yang menunjukkan seberapa besar material untuk Kembali ke bentuk semula setelah diberikan tegangan tertentu. Modulus elastisitas dapat dirumuskan persamaan dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Keterangan:

E : Modulus elastisitas (N/mm²)

σ : Tegangan tarik (N/mm²)

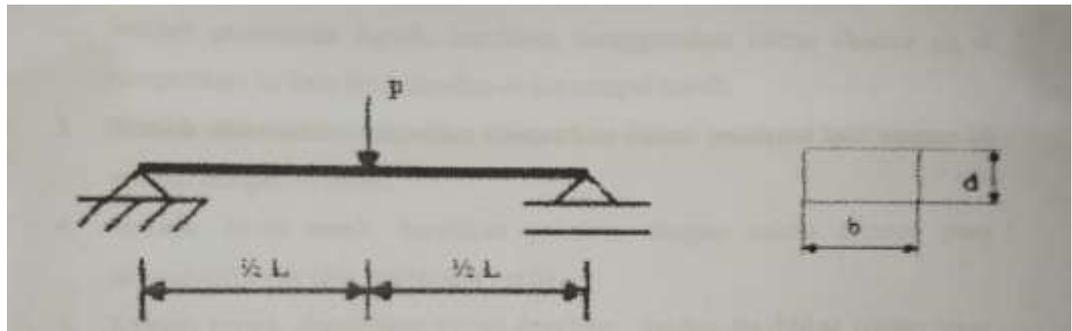
ε : Regangan tarik (N/mm²)

2.6.2 Uji *Bending*

Secara umum proses pengujian bending memiliki 2 cara pengujian, yaitu: *three point bending* dan *four point bending*. Kedua cara pengujian ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing karena tiap cara pengujian memiliki cara

perhitungan yang berbeda-beda. Namun, pada penelitian ini hanya akan dilakukan pengujian *three point bending*, berikut penjelasannya:

Threepoint bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan.



Gambar 2.9 *Three point bending* [13]

Perhitungan yang digunakan:

$$\sigma f = \frac{3 PL}{2 bd^2} \quad (2.4)$$

2.7 ANOVA

Anova adalah sebuah analisis statistic yang menguji perbedaan rerata antar grup. Grup disini bisa berarti kelompok atau jenis perlakuan. Anova ditemukan dan diperkenalkan oleh seorang ahli statistic bernama Ronald Fisher.

Anova merupakan singkatan dari *Analysis of Variance* yang merupakan prosedur uji statistic yang mirip dengan t test. Namun kelebihan dari anova adalah dapat menguji perbedaan lebih dari dua kelompok.

Anova digunakan sebagai alat analisis untuk menguji hipotesis penelitian yang mana menilai adakah perbedaan rerata antar kelompok. Hasil akhir dari analisis anova adalah nilai F hitung, F hitung ini yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai pada tabel F. Jika nilai F hitung lebih dari F tabel, maka dapat

disimpulkan bahwa menerima H_1 dan menolak H_0 atau yang berarti ada perbedaan bermakna rerata pada semua kelompok. (Sudjana, 1994 dan Philip J. Ross, 1989) Adapun langkah-langkah menghitung dengan *Two-Way* ANOVA, yaitu:

- a. Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak.
- b. Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal.
- c. Menentukan hipotesis:
 - $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = \dots \mu_a$ (tidak ada efek terhadap perlakuan)
 - $H_1 : b_1 \neq b_j$ (terdapat efek terhadap perlakuan)

- d. Menentukan jumlah kuadrat total:

$$SS_T = [\sum_{i=1}^N y_i^2] - \frac{T^2}{N} \quad (2.5)$$

- e. Menentukan jumlah kuadrat faktor A:

$$SS_A = [\sum_{i=1}^{k_A} (A_i^2)] - \frac{T^2}{N} \quad (2.6)$$

- f. Menentukan jumlah kuadrat faktor B:

$$SS_B = [\sum_{i=1}^{k_B} (B_i^2)] - \frac{T^2}{N} \quad (2.7)$$

- g. Menentukan jumlah kuadrat interaksi faktor A dan B:

$$SS_{A \times B} = [\sum_{i=1}^b \left(\frac{(A \times B)_i^2}{n_{A \times B_i}} \right)] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_{A \times B} \quad (2.8)$$

- h. Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*):

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B} \quad (2.9)$$

- i. Menentukan derajat kebebasan total:

$$v_T = N - 1 \quad (2.10)$$

- j. Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) A:

$$v_A = k_A - 1 \quad (2.11)$$

- k. Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) B:

$$v_B = k_B - 1 \quad (2.12)$$

- l. Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan B:

$$v_{A \times B} = (v_A)(v_B) \quad (2.13)$$

- m. Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*pure error*):

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_{AXB} \quad (2.14)$$

- n. Melengkapi tabel hasil pengukuran dimensi untuk *analysis of variance* dari data yang didapat.
- o. Menentukan taraf signifikan (α).
- p. Jika $F_{HITUNG}(F_0) < F_{TABEL}$, maka hipotesis (H_0) dapat diterima.
- q. Menentukan persentase kontribusi faktor terhadap respon:

$$\% \text{ Kontribusi faktor} = \frac{(SS - S_e)}{SS_T} \quad (2.15)$$

Tabel 2.3 ANOVA Table for select Factorial Model

Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
Overall Model	SS_{model}	$(k_A \cdot k_B) - 1$	$SS_{\text{model}} / (k_A \cdot k_B) - 1$	MS_{model} / MS_E
Main Effect of A	SS_A	V_A	SS_A / V_A	MS_A / MS_E
Main Effect of B	SS_B	V_B	SS_B / V_B	MS_B / MS_E
A x B interaction	SS_{AB}	V_{AB}	SS_{AB} / V_{AXB}	MS_{AB} / MS_E
Error	SS_E	V_E	SS_E / V_E	
Total	SS_{Total}	V_{Total}		

2.8 Hipotesa

Berdasarkan variable yang digunakan dalam penelitian ini, maka dapat dibuat hipotesa sebagai berikut:

H_0 = Tidak ada pengaruh variasi panjang serat terhadap tingkat kekuatan pada komposit. Jika $F_{\text{Hitung}} < F_{\text{Tabel}}$ maka H_1 ditolak.

H_1 = Ada pengaruh variasi panjang serat terhadap tingkat kekuatan pada komposit. Jika $F_{\text{Hitng}} > F_{\text{Tabel}}$ maka H_0 ditolak.