

SKRIPSI

**PENGARUH *INTERPASS TEMPERATURE*
TERHADAP DEFORMASI HASIL PENGELASAN
DAN KEKUATAN IMPAK PADA BAJA ASTM A36
DENGAN PROSES LAS SMAW**



MUHAMMAIL

NPM: 22.0505.0014

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
TAHUN 2023**

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Permasalahan

Saat ini, pengelasan masih diperlukan untuk mendukung perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju. Pengelasan sangat memegang peranan penting dalam bidang rekayasa dan pemeliharaan logam. Teknologi pengelasan banyak digunakan di bidang industri mulai dari aplikasi yang paling sederhana hingga aplikasi yang paling kompleks, seperti sambungan *chasis* kendaraan pada industri otomotif, sambungan pelat pada lantai dan dinding kapal, sambungan pada konstruksi jembatan, serta sambungan-sambungan pipa pada industri perminyakan. Gambar 1 menunjukkan salah satu contoh aplikasi teknologi pengelasan pada Galangan kapal.



Gambar 1. Aplikasi sambungan las untuk konstruksi pada industri kapal

Metode penyambungan logam dengan las memiliki beberapa keuntungan dibanding jenis sambungan lain seperti sambungan mur dan baut, sambungan keling. Beberapa keuntungan dimaksud yaitu: (1) efisiensi sambungan yang lebih baik serta dapat digunakan pada konstruksi yang bekerja pada temperature tinggi; (2) tidak ada batas ketebalan logam yang akan disambung; (3) geometri sambungan yang lebih sederhana dan memiliki kedekatan udara, air dan minyak yang sempurna; (4) tidak ada kemungkinan

sambungan longgar; (5) meningkatkan nilai ekonomis, produktivitas, bobot yang lebih ringan; (6) batas mulur (*yield*) lebih baik (Sunaryo, 2008).

Beberapa macam pengelasan yang umum digunakan di industri yaitu *shielded metal arc welding* (SMAW), *gas metal arc welding* (GMAW), *flux core arc welding* (FCAW), *gas tungsten arc welding* (GTAW). Namun diantara proses pengelasan lebur yang ada, pengelasan busur elektroda terbungkus atau SMAW merupakan proses pengelasan yang paling umum digunakan karena merupakan proses las yang paling murah, baik dari segi peralatannya maupun elektrodanya. Selain itu juga lebih sederhana dalam pengoperasiannya, portable dan bisa diterapkan untuk semua jenis sambungan logam dan paduannya (Mulyadi, 2020).

Proses pengelasan membutuhkan tenaga ahli las yang terampil untuk mendapatkan kualitas sambungan yang baik. Dalam praktek pengelasan, masalah yang sering timbul adalah terjadinya deformasi atau deformasi pada material hasil las (Sunaryo, 2008), dimana deformasi ini akan mempengaruhi kepresisian produk atau hasil las. Proses pengelasan yang dilakukan pada umumnya mengabaikan input panas pada material dasar las, dimana di samping mempengaruhi struktur dan sifat mekanik dari material las, juga akan mempengaruhi bentuk dari material dasar. Salah satu faktor yang mempengaruhi, kualitas hasil penyambungan logam adalah sifat logam (Wirjosumarto, 2000). Kondisi ini sangat bergantung pada perubahan suhu yang terjadi pada saat proses penyambungan karena menggunakan panas yang mempunyai peran yang sangat sensitif pada hasil pengelasan. Selama proses pengelasan berlangsung, logam akan mengalami siklus termal yaitu proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi secara cepat di daerah pengelasan sehingga terjadi proses metalurgi, deformasi yang berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan seperti jenis cacat yang dihasilkan, ketangguhan sambungan, kekuatan tarik (*tensile strength*) serta struktur mikro logam (Nugroho, 2018).

Salah satu metode yang sering dilakukan di lapangan untuk mencegah terjadinya deformasi adalah dengan menggunakan penahan sementara pada material las, dimana material dasar dilas ikat menggunakan pelat penyangga (*backing plate*). Pelat penyangga dilas di belakang bahan dasar untuk menahan

sementara selama proses pengelasan yang kemudian dilepas setelah selesai dilas. Bekas las penahan ini akan merusak permukaan bahan pelat dan juga mempengaruhi struktur baja pada area las ikat.

Penelitian yang lain menyebutkan bahwa, variasi temperature interpass dapat mempengaruhi kekuatan tarik material hasil lasan (Muqsalmina, 2019)..

Selanjutnya, peningkatan temperature interpass dengan GMAW memperlihatkan pengurangan jumlah struktur *ferrite* dan penambahan jumlah struktur *bainit* (Ahmadil Amin, 2016). Metode *interpass temperature* dapat meningkatkan ketangguhan dan mengurangi terjadinya intergranular corrotion pada material SA249 type 304 (Choirul Mustofa, 2014). Panjang pengelasan sangat mempengaruhi terjadinya deformasi hasil pengelasan (Lutfi Arifin, 2017). Penelitian selanjutnya menunjukkan, bahwa *welding sequence* dapat menghasilkan penurunan tegangan sisa dan pengurangan deformasi pada *circular patch weld double bevel but-joint* plat ASTM A36 (Akbar Taufik dan Budie Santosa, 2012).

Dari permasalahan-permasalahan penelitian sebelumnya terkait dengan deformasi hasil pengelasan, belum ditemukan penelitian yang secara spesifik meneliti pengaruh *interpass temperature* terhadap deformasi hasil penegelasan. Metode backing plate sangat tidak efektif untuk mencegah dan mengurangi deformasi, karena akan merusak permukaan dan struktur material.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan ditawarkan metode baru untuk mengurangi deformasi hasil pengelasan yaitu dengan penerapan interpass temperatur. Penelitian ini akan membahas pengaruh penerapan metode interpass temperatur terhadap deformasi hasil las type melengkung pada baja ASTM A36 dengan proses las SMAW.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penerapan metode *interpass temperature* terhadap deformasi hasil pengelasan?
2. Berapa *interpass temperature* yang mampu menghasilkan deformasi yang paling kecil?

3. Bagaimana pengaruh penerapan metode *interpass temperature* terhadap kekuatan impact hasil pengelasan?

B. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penerapan metode *interpass temperature* terhadap deformasi hasil pengelasan.
2. Menentukan *interpass temperature* yang mampu menghasilkan deformasi yang paling kecil.
3. Mengetahui pengaruh penerapan metode *interpass temperature* terhadap kekuatan impact hasil pengelasan

C. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Manfaat teoritis

Hasil penelitian ini akan menambah wawasan keilmuan dalam ilmu pengelasan, khususnya dalam pengendalian deformasi hasil lasan.

2. Manfaat praktis

Hasil dari penelitian ini akan memberikan manfaat dalam penerapan teknologi pengelasan berupa metode baru yang mampu mencegah dan mengurangi terjadinya deformasi pada konstruksi pengelasan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Relevan

Penelitian yang pernah dilakukan selama ini terkait dengan pengaruh interpass temperature terhadap logam hasil las sudah banyak, akan tetapi sejauh ini belum ditemukan penelitian secara spesifik yang meneliti pengaruh *interpass temperature* terhadap deformasi logam yang dilas. Demikian pula beberapa penelitian terkait deformasi yang terjadi pada logam yang dilas akibat panas sudah dilakukan, akan tetapi pengaruh penerapan *interpass temperature* terhadap deformasi secara spesifik belum dijelaskan. Penelitian yang pernah dilakukan meneliti pengaruh interpass temperature terhadap sifat mekanik proses pengelasan SMAW. Variasi *interpass temperature* mempengaruhi nilai kekuatan tarik suatu material hasil lasan, namun penelitian ini tidak secara spesifik menyinggung terkait perubahan bentuk logam setelah dilas (Muqsalmina, 2019).

Penelitian selanjutnya, meneliti tentang pengaruh *interpass temperature* terhadap struktur mikro hasil pengelasan GMAW. Peningkatan temperatur interpass memperlihatkan pengurangan jumlah struktur *ferrite* dan penambahan jumlah struktur *bainit*, akan tetapi juga mengabaikan pengaruhnya terhadap bentuk akhir dari benda hasil las (Ahmadil, 2016). Penelitian selanjutnya dilakukan meneliti pengaruh interpass temperature terhadap struktur mikro dan ketahanan korosi pada material *superduplex stainless steel*, menyimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan tidak berpengaruh signifikan terhadap ketahanan korosi. namun mengabaikan perubahan bentuk logam setelah dilas (Augusto, 2021).

Penelitian lainnya (Choirul, 2014) tentang analisis pengaruh *interpass temperature* terhadap ketangguhan dan kecenderungan terjadinya intergranular corrosion pada material SA240 type 304. Penelitian tersebut dilakukan pengelasan dengan variasi *interpass temperature* 32 °C, 145 °C, dan 200 °C. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pengamatan makro, mikro, *scanning electron microscopy* (SEM), dan pengujian impact. Dari hasil

pengujian disimpulkan bahwa material akan mempunyai nilai ketangguhan yang tinggi jika mengalami pengelasan dengan *interpass temperature* tinggi. Namun pengelasan dengan *interpass temperature* tinggi akan memberikan perbandingan yang terbalik terhadap ketahanan korosinya.

Selanjutnya Taufik Akbar, 2012, melakukan penelitian tentang pengaruh dari *welding sequence* terhadap tegangan sisa dan deformasi pada *circular patch weld double bevel butt joint* plat ASTM A36, dimana disimpulkan bawa besar tegangan sisa melingkar dan tegangan sisa radial, bahwa hasil variasi 4 tanggem – backstep welding adalah yang paling baik, sedangkan jika dilihat dari segi deformasinya variasi 4 tanggem – jump welding memiliki deformasi yang paling baik karena deformasi yang dihasilkan paling minimum. Pada penelitian ini terkait dengan pengelasan sepanjang jalur dengan cara pengelasan putus-putus, artinya pengelasan dilakukan tidak secara berurutan dari posisi awal sampai akhir, akan tetapi dengan cara putus-putus. Sehingga berbeda halnya dengan pengelasan multi pass yang dilakukan secara berurutan.

Penelitian tentang pengaruh panjang pengelasan terhadap deformasi hasil pengelasan pada arah memanjang dan arah melintang, menunjukkan hasil bahwa semakin panjang pengelasan maka akan semakin besar pula deformasi yang terjadi pada hasil pengelasan (Arifin, 2017). Pengujian penelitian ini dilakukan pada baja ASTM A36 dengan metode pengelasan satu pass (jalur), bukan dengan pengelasan *multipass*. Jadi, belum ditemukan hasil penelitian yang secara spesifik membahas hubungan antara *interpass temperature* terhadap deformasi hasil las.

B. Dasar Teori

B.1. Jenis-Jenis Pengelasan

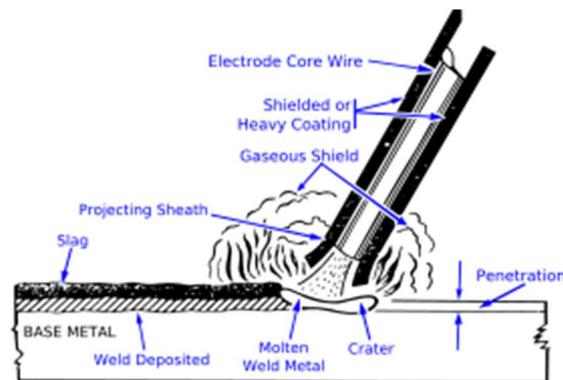
Proses pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas

dan/atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi. Kategori pengelasan lebur banyak digunakan dalam pengelasan logam dari ukuran kecil hingga ukuran yang besar. Adapun pengelasan padat umumnya digunakan pada pengelasan material yang kecil.

Jenis-jenis proses pengelasan, khususnya pengelasan lebur (fusi) yang umum digunakan dalam berbagai industri antara lain:

1. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

SMAW atau pengelasan busur elektroda terbungkus ini menggunakan batang elektrode yang dibungkus dengan fluks, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengelasan SMAW

Panjang batang elektrode biasanya sekitar 9 sampai 18 in (230 sampai 460 mm) dan diameter 3/32 sampai 3/8 in. (2,5 sampai 9,5 mm). Logam pengisi yang digunakan sebagai batang elektrode harus sesuai dengan logam yang akan dilas, komposisinya biasanya sangat dekat dengan komposisi yang dimiliki logam dasar. Lapisan pembungkus terdiri dari serbuk selulose yang dicampur dengan oksida, karbonat, dan unsur-unsur yang lain kemudian disatukan dengan pengikat silikat. Serbuk logam kadang-kadang juga digunakan sebagai bahan campuran untuk menambah logam pengisi dan menambah unsur-unsur paduan (alloy). Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektrode, akibat panas busur listrik, mencair membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang

menggenang di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Pemindahan logam elektrode terjadi pada saat ujung elektrode mencair membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Arus listrik yang digunakan sekitar 30 sampai 300 A pada tegangan 15 sampai 45 V. Pemilihan daya yang digunakan tergantung pada logam yang akan dilas, jenis dan panjang elektrode, serta dalam penetrasi las-an yang diinginkan.

Pengelasan SMAW menggunakan bahan tambah berupa elektroda dengan lapisan flux yang berfungsi melindungi cairan logam dari udara luar saat proses pengelasan. Proses pengelasan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas hasil las, diantaranya adalah bagaimana melaksanakan konstruksi pengelasan sesuai dengan rencana dan spesifikasi dengan menentukan apa yang dibutuhkan dalam pelaksanaannya. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal produksi, proses manufaktur, alat dan bahan yang dibutuhkan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, pemilihan polaritas pengelasan, penunjukan juru las, pemilihan elektroda. Mesin las SMAW terbagi menjadi mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak balik atau *Alternating Current* (AC), dan mesin las (AC/DC). Polaritas direct current elektroda positif (DCEP) atau DC+ yaitu posisi elektroda berada di kutub positif dan benda kerja berada di kutub negative sehingga menghasilkan penetrasi pengelasan yang dangkal, Sedangkan polaritas direct current elektroda negatif (DCEN) atau DC- yaitu posisi elektroda berada di kutub negatif dan benda kerja berada di kutub positif sehingga menyebabkan penetrasi pengelasan yang dalam biasa digunakan untuk proses penembusan.

2. *Gas Metal Arc Welding* (GMAW)

GMAW atau pengelasan busur logam dengan pelindung gas ini merupakan proses pengelasan busur yang menggunakan elektrode terumpan dalam bentuk kawat.

Selama proses pengelasan berlangsung, gas dihembuskan ke daerah las-an untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap atmosfer. Diameter kawat yang digunakan berkisar antara 1/32 sampai 1/4 in. (0,8 sampai 6,4 mm), tergantung pada ketebalan bagian logam yang akan disambung. Gas pelindung yang digunakan adalah gas mulia seperti argon, helium, dan karbon dioksida. Pemilihan gas yang akan digunakan tergantung pada logam yang akan dilas, dan juga faktor-faktor yang lain. Gas mulia digunakan untuk pengelasan paduan aluminium dan baja anti karat, sedang CO₂ biasanya digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah atau medium. Pengelasan busur logam gas banyak digunakan dalam pabrik untuk mengelas berbagai jenis logam ferrous dan nonferrous.

3. *Flux Cored Arc Welding* (FCAW)

FCAW atau pengelasan busur dengan inti flux ini dikembangkan untuk mengatasi kekurangan elektrode terbungkus yang memiliki panjang batang terbatas. Pengelasan busur inti-fluks menggunakan elektrode tabung dengan inti fluks dan ditambah unsur-unsur lain. Unsur lain yang ditambahkan dalam inti fluks tersebut adalah :

- unsur-unsur deoksidiser, dan
- unsur-unsur pepadu (alloying).

Kawat inti-fluks tabular sangat lentur/fleksibel sehingga dapat digulung dan diumpankan secara kontinu melalui pistol las busur (arc welding gun), seperti ditunjukkan dalam gambar

4. *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW)

GTAW atau pengelasan busur elektroda tungsten dengan pelindung gas adalah proses pengelasan busur yang menggunakan elektrode tungsten dan gas mulia sebagai pelindung busur. Pengelasan ini juga dikenal dengan nama *tungsten inert gas welding* (TIG) atau *wolfram inert gas welding* (WIG). Pengelasan busur tungsten gas dapat dilakukan dengan logam pengisi maupun tanpa logam pengisi.

B.2. Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan logam besi dengan unsur karbon (C) pada komposisi tertentu maksimal 2 %. Disamping itu baja karbon juga terdiri dari sejumlah kecil unsur mangan (Mn), silicon (Si), posfor (P) serta belerang (S) sebagai unsur-unsur paduan pembuatan baja. Baja karbon terdiri dari beberapa macam yaitu (Hery Sunaryo, 2008):

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah yang biasanya disebut mild steel mengandung karbon antara 0,1% sampai dengan 0,3% dan dalam perdagangan baja karbon rendah berbentuk batangan (profil), plat-plat baja dan baja strip.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang mempunyai kandungan karbon antara 0,3% sampai dengan 0,6% dan dalam perdagangan baja karbon sedang digunakan untuk bahan baut, mur, poros, piston poros engkol, dan roda gigi.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon antara 0,7% sampai dengan 1,3% dan setelah mengalami prose heat treatment, baja tersebut digunakan untuk pegas, alat-alat perkakas, gergaji, pisau, kikir dan pahat potong.

4. Baja campuran

Baja campuran yang biasa disebut alloy steel, adalah baja yang sudah mengalami penambahan unsur-unsur paduan yang bertujuan untuk memperbaiki sifat kekerasan dan keuletan.

5. Baja tahan karat

Baja tahan karat yang biasanya disebut stainless steel, bersifat memberikan perlawanan terhadap karat. Dan untuk menghasilkan baja tahan karat, baja karbon ditambahkan unsur paduan chromium sebesar 2%.

B.3. *Interpass temperature*

Interpass Temperature adalah proses mengontrol suhu logam las sebelum dilakukan pengelasan berikutnya pada logam las yang

sebelumnya (Muqsalmina, 2019). Metode yang umum dilakukan adalah dengan memonitor suhu logam lasan serta memasang *thermal blanket* bila diperlukan. Pengontrolan Interpass temperature perlu dilakukan dengan tujuan sebagai berikut (Muqsalmina, 2019).

1. Melarutkan hidrogen yang terperangkap saat dilakukan proses pengelasan.
2. Menurunkan laju pendinginan.
3. Untuk mendapatkan ukuran butir yang lebih baik atau struktur mikro yang diharapkan.

B.4. Deformasi

Deformasi las adalah regangan yang terjadi pada bagian logam atau struktur sebagai hasil pengelasan, dan disebut juga "Regangan Pengelasan". Deformasi las secara menyeluruh dikategorikan dalam tipe menyusut (shrink) dan tipe melengkung (bending)

B.5. Pengujian impak

Pengujian impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat dipakai untuk menganalisis karakteristik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik keuletan bahan terhadap perubahan suhu. Alat uji impak merupakan salah satu alat uji yang sering digunakan dalam pengembangan bahan struktur material dalam mengukur kemampuan beban kejut.

Pengujian impak merupakan salah suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan secara tiba-tiba.

Pada pengujian impak banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukan harga impak yang besar dengan menyerap energi potensial dari pendulum

beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu akan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami perubahan bentuk.

Secara umum metode pengujian impact terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Metode *Charpy*

Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.

Pada pengujian charpy, kekuatan impact dinyatakan sebagai besarnya energy yang diserap oleh benda uji sampai patah. Dimana energy dinyatakan dalam satuan *Joule* dapat dibaca langsung pada mesin uji. Rumus harga impact pada metode charpy dapat dilihat pada rumus berikut (Saifuddin A. Jalil, 2017).

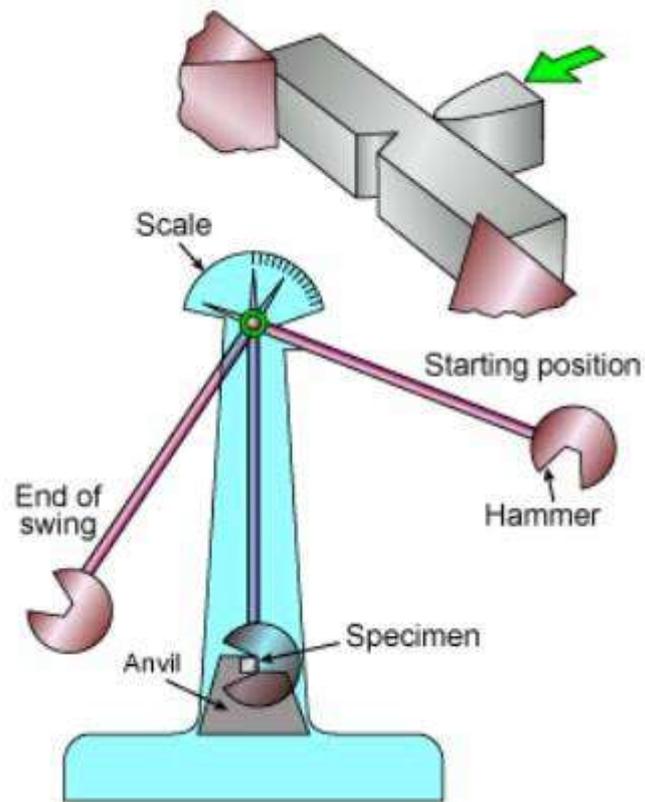
$$HI = \frac{E}{A} \quad \dots\dots\dots 1$$

Dimana:

HI = harga impact (J/mm^2)

E = usaha atau energy yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (Joule)

A = luas penampang di bawah takikan (mm^2)



Gambar 3. Prinsip pengujian impak metode charpy

2. Metode *Izod*

Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan.

Bentuk patahan pada uji impak ada tiga macam yaitu (Saifuddin A. Jalil, 2017):

1. Patahan getas

Patahan getas yaitu patahan yang terjadi pada benda yang getas, misalnya: besi tuang, dapat dianalisis permukaan rata dan mengkilap, potongan dapat dipasangkan kembali, keretakan tidak dibarengi deformasi, nilai pukulan takik rendah.

2. Patahan liat

Patahan liat adalah patahan yang terjadi pada benda yang lunak, misalnya: baja lunak, tembaga. Dapat dianalisis permukaan tidak rata, buram dan berserat, pasangan potongan tidak dapat dipasangkan lagi, terdapat deformasi pada patahan, nilai pukulan takik tinggi.

3. Patahan campuran

Patahan campuran adalah patahan yang terjadi pada bahan yang cukup kuat namun ulet, misalnya pada baja temper. Gabungan patahan getas dan patahan liat, permukaan kusam dan sedikit berserat, potongan masih dapat dipasangkan dan ada deformasi pada patahan.

C. Kerangka Konsep

Sifat mampu las baja dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam baja. Dimana nilai karbon ekuivalen menunjukkan hubungan antara kepekaan baja terhadap timbulnya retak dengan komposisi kimia baja. Sehingga nilai karbon ekuivalen berpengaruh terhadap timbulnya cacat las pada baja. Rumus karbon ekuivalen dapat dilihat pada rumus berikut (T. Kasuya, 1993):

$$C_{ek} = \% C + \frac{\% Mn}{6} + \left(\frac{\% Cr + \% Mo + \% V}{5} \right) + \left(\frac{\% Cu + \% Ni}{15} \right) \dots\dots\dots 2$$

C_{ek} : karbon ekuivalen

C : karbon

Mn : mangan

Cr : krom

Mo : molybdenum

V : vanadium

Cu : tembaga

Ni : nikel

Dari rumus di atas dapat diketahui bahwa unsur-unsur yang terdapat dalam baja memberikan pengaruh terhadap nilai karbon ekuivalen. Nilai karbon ekuivalen memberikan pengaruh pada sifat baja, khususnya sifat mampu las dari baja. Semakin kecil kandungan karbon dan unsur lainnya maka semakin

meningkatkan sifat mampu las dari baja. Dalam hal ini, baja karbon rendah memiliki nilai karbon ekuivalen yang kecil sehingga memiliki sifat mampu las yang paling baik diantara jenis baja karbon.

Faktor yang mempengaruhi terjadinya deformasi hasil pengelasan adalah heat input yang terjadi selama proses pengelasan. Heat input yang digunakan berasal dari busur listrik yang dapat diketahui dengan rumus berikut (Heri Wibowo, 2016):

$$HI = \eta \times \frac{\text{Tegangan las (V)} \times \text{Arus las (I)}}{\text{Kecepatan las (v)}} \dots\dots\dots 3$$

Dimana: η = efisiensi panas las

Besaran tegangan busur las (V) dan arus busur las (I) merupakan parameter yang dapat diatur dari mesin las. Sedangkan kecepatan las (v) dapat diatur dari peralatan *welding rig*.

Dalam penelitian ini metode interpass yang akan diterapkan adalah dengan cara pendinginan secara alami. Yaitu setelah pengelasan tiap jalur dibiarkan dingin hingga mencapai temperatur yang ditentukan. Variasi *interpass temperature* yang digunakan sebanyak tiga yaitu 75 °C, 100 °C dan 150 °C. Digunakan *interpass temperature* tertinggi 150 °C karena pada pengelasan lapisan pertama yaitu *root pass*, temperatur tertinggi rata-rata adalah sebesar 150 °C. sehingga *interpass temperatur* pada spesimen pembanding dapat menggunakan temperatur yang lebih rendah.

Dengan penerapan *interpass temperatur* dengan cara sebagaimana disebutkan di atas, diduga pada interpass temperatur yang lebih rendah akan dapat mengurangi deformasi pada hasil las. Dengan alasan bahwa semakin kecil *interpass temperature* akan semakin kecil pula input panas pada logam las yang tentu akan mengurangi regangan pada logam hasil las.

Selanjutnya dilakukan pengujian kekuatan impak pada setiap spesimen dengan metode pengujian *charpy* untuk mengetahui ketangguhan logam lasan pada masing-masing spesimen dengan variasi *interpass temperature* yang berbeda.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Material dan Alat

Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan elektroda dengan spesifikasi AWS E7016 diameter 3,2 mm, baik pengelasan root pass, hot pass, fill pas hingga cap (*reinforcement*). Mesin las yang digunakan adalah mesin las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) arus DC. Polaritas arus pengelasan menggunakan DCRP (DC+). Adapun posisi pengelasan digunakan posisi yang paling mudah yaitu posisi pengelasan 1G (bawah tangan).

Pada tahap ini, metode pengumpulan data yang dipakai adalah eksperimen, yaitu melakukan serangkaian pengujian pada objek yang diteliti untuk mendapatkan data yang diperlukan sebagai bahan pertimbangan. Bahan yang akan dijadikan sebagai objek penelitian adalah baja ASTM A36. Penelitian ini dilakukan di Workshop LAS BLKI Mandiri Kabupaten Kutai Timur, mulai dari proses pengelasan specimen sampai mengukur hasil pengelasan.

Alat dan bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut: (1) Plat Baja ASTM A36 dengan panjang 200 mm, lebar 150 mm dan tebal 10 mm; (2) Elektroda E 7016 diameter 3,2 mm yang digunakan untuk pengelasan specimen; (3) Mesin las SMAW arus DC; (4) Mesin skator; (5) Mesin gerinda tangan; (6) Welding gauge untuk mengukur sudut deformasi; (7) Paint marker; (8) Infrared thermometer; (9) Mesin uji impact. Komposisi kimia masing-masing material pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

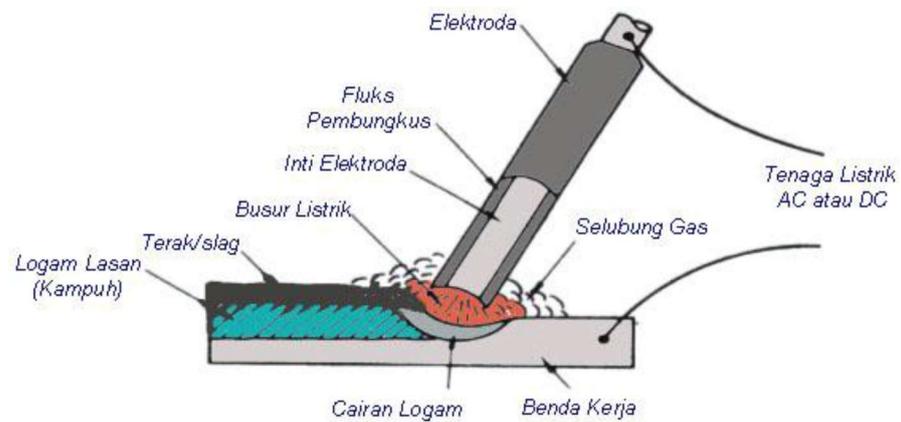
Tabel 1. Komposisi kimia baja ASTM A36 (Heri Wibowo, et al. 2016)

Bahan	Komposisi kimia					
	C (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cu (%)	Mn (%)
Baja A36	Max 0,25	max 0,04	max 0,05	max 0,4	max 0,2	-

Tabel 2. Komposisi kimia elektroda E7016 (AWS.A5.1 2012)

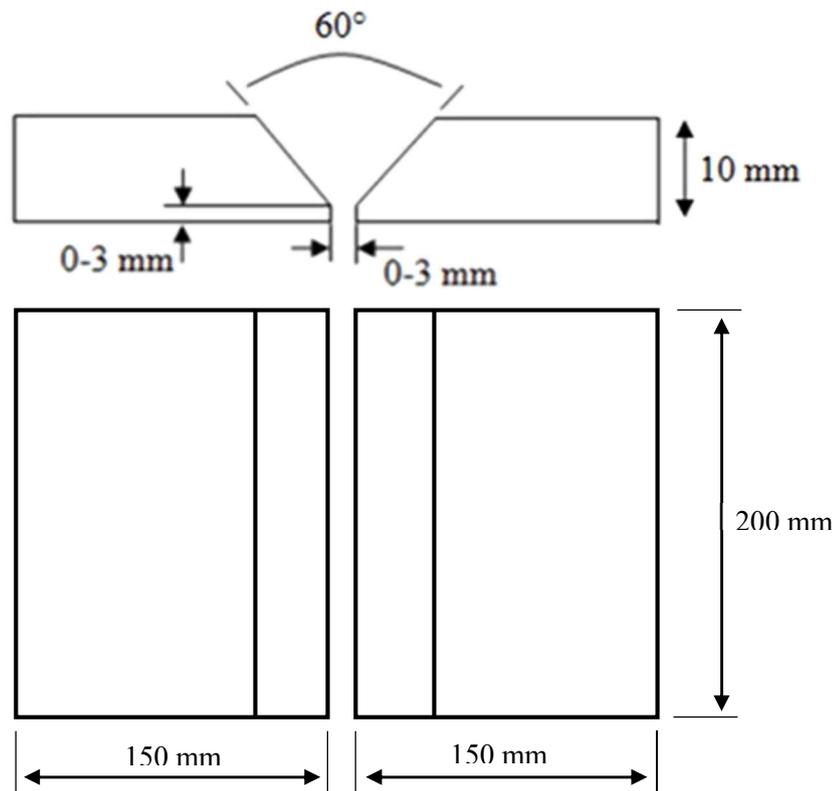
Elektroda	Komposisi Kimia (%)								
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V
E7016	0,15	1,6	0,75	0,035	0,035	0,30	0,20	0,30	0,08

Prosedur penelitian dilakukan dengan melakukan persiapan spesimen uji adalah langkah awal dari penelitian ini, ada tiga tahap dalam melakukan persiapan spesimen uji, yaitu pemilihan material, pemilihan elektroda dan pembuatan kampuh las. Gambar 4 menunjukkan skema pengelasan SMAW dan detail sambungan las kampuh V.



Gambar 4. Skema pengelasan SMAW

Detail sambungan las yang digunakan berdasarkan standard AWS D.1.1/D.1.1M 2020, yang mengatur tentang kode pengelasan struktur pada baja.



Gambar 5. Detail alur las

B. Proses pengambilan data

Data diambil dengan melakukan pengelasan pada setiap spesimen yaitu sebanyak 9 (sembilan) sambungan pengelasan dengan tiga variasi temperatur interpas, yaitu 75 °C, 100 °C dan 150 °C. Sehingga masing-masing variasi temperatur sebanyak 3 (tiga) sambungan pengelasan. Diambil interpass temperature sebesar 75 °C sebagai variable terendah karena pada pengelasan *layer* pertama, temperatur material dasar masih relative rendah bahkan tidak mencapai 100 °C pada titik start setelah selesai sampai titik akhir pengelasan. Demikian pula diambil variable interpass temperatur tertinggi sebesar 150 °C karena pada kenyataannya bahwa temperatur tertinggi pada setiap selesai pengelasan satu *layer* tidak melebihi 200 °C, bahkan pada *layer* pertama dan kedua tidak mencapai 150 °C. Setiap spesimen dilas sebanyak 5 *layer/pass*. Kecepatan pengelasan tiap *layer* berbeda, karena perbedaan lebar alur. *Layer* pertama atau *root pass* alurnya lebih sempit, sehingga kecepatan pengelasannya juga lebih tinggi. Kecepatan pengelasan dan heat input pada setiap *layer* pengelasan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kecepatan pengelasan dan heat input tiap layer

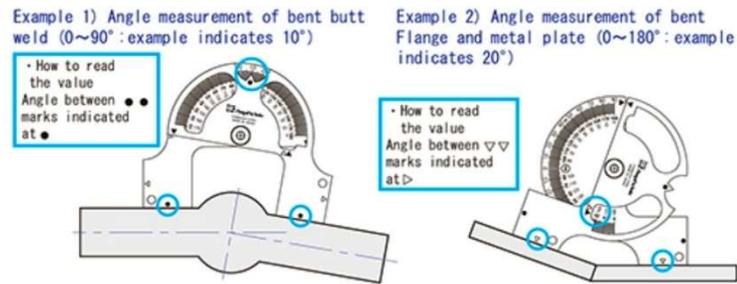
Layer	Kecepatan pengelasan (mm/menit)	Heat Input (Joule/mm)
1	133	14,62
2	100	19,44
3	80	24,3
4	67	29,01
5	57	34,16

Kecepatan pengelasan pada layer pertama atau *root pass* adalah sebesar 133 mm/menit, layer kedua sebesar 100 mm/menit. Layer ketiga sebesar 80 mm/menit, layer keempat sebesar 67 mm/menit dan layer kelima sebesar 57 mm/menit. Oleh karena itu heat input tiap *layer/pass* juga berbeda. Adapun heat input tiap *layer* berturut-turut adalah sebesar 14,62 J/mm pada *layer* pertama, 19,44 J/mm pada *layer* kedua, 24,3 J/mm pada *layer* ketiga, 29,01 J/mm pada *layer* keempat dan 34,16 J/mm pada layer kelima.

Pengukuran temperatur dilakukan setiap selesai satu jalur/lapis pengelasan dengan menggunakan thermometer infrared dengan ketelitian 0,1 °C. pengelasan akar (*root pass*) dilakukan dengan kuat arus pengelasan 80 ampere, dengan tujuan agar tidak terjadi penembusan yang berlebihan (*accessive penetration*) dan tidak meleleh atau jebol (*through burn*) pada lapisan akar. Adapun pengelasan lapisan pengisian dilakukan dengan kuat aru las 90 – 100 ampere.

Pengukuran deformasi hasil las dilakukan dengan menggunakan welding gauge yang fungsi utamanya adalah untuk mengukur sudut seperti pada Gambar 6.



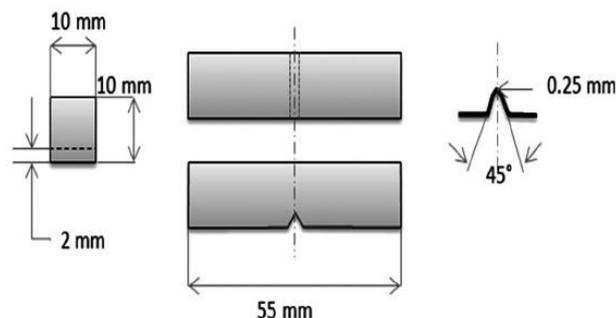


Gambar 6. Welding gauge untuk mengukur sudut

Benda uji yang sudah dilas dibiarkan hingga mencapai suhu kamar, kemudian dilakukan pengukuran besarnya deformasi yang terjadi pada masing-masing spesimen. Dimana setiap variable *interpass temperature* terdiri dari 3 (tiga) spesimen, yaitu pada variable *interpass temperature* 75 °C sebanyak 3 spesimen, *interpass temperature* 100 °C sebanyak 3 spesimen dan *interpass temperature* 150 °C sebanyak 3 spesimen. Hasil pengukuran masing-masing variable temperatur kemudian dicari rata-ratanya untuk setiap variasi *interpass temperature*.

Data yang diperoleh kemudian dibuat dalam grafik sebagai hubungan antara *interpass temperature* dengan besarnya penyimpangan sudut (deformasi) pada hasil pengelasan.

Proses selanjutnya adalah pembuatan sampel uji impak untuk masing-masing specimen. Masing-masing specimen dipotong dengan *hack saw* dengan ukuran panjang 75 mm dan lebar yang sama yaitu 10 mm. setelah itu benda uji dibersihkan dari sisa potongan dan sisa pengelasan dengan menggunakan gerinda tangan. Selanjutnya dibuat *notch* pada masing-masing specimen pada area tengah logam lasan dengan ukuran standar ASTM E23 tentang metode standar uji impak pada material logam dengan notch seperti Gambar 7.

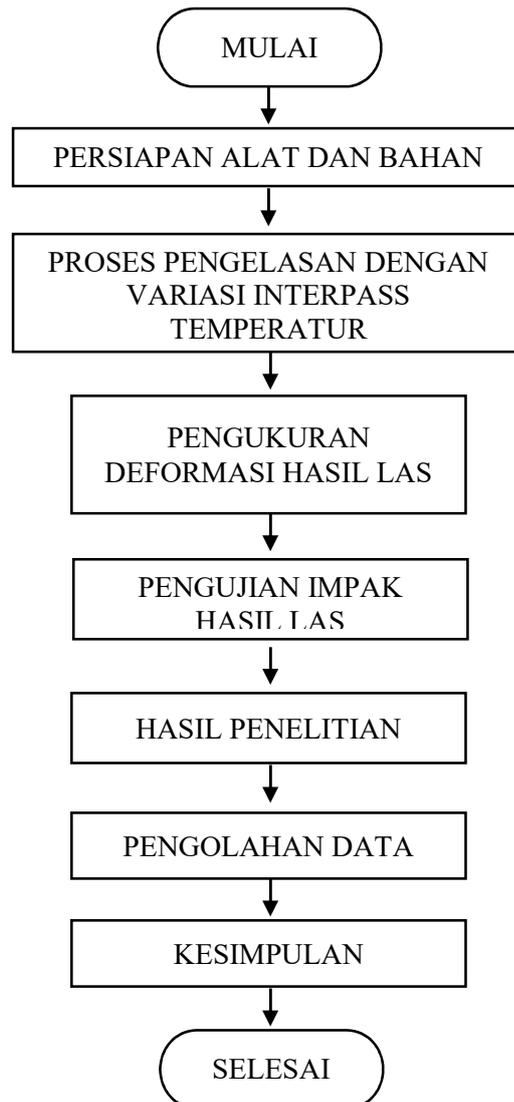


Gambar 7. Bentuk spesimen uji impak

Setelah itu dilakukan pengujian impak pada 9 spesimen dan hasil pengujian dicatat dalam table pengujian hasil uji.

C. Alur penelitian

Gambar 8 menjelaskan tahapan pelaksanaan penelitian dalam skripsi ini.



Gambar 8. Alur penelitian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan *interpass temperature* akan menyebabkan perbedaan deformasi yang terjadi pada logam dasar.
2. Semakin kecil *interpass temperature* semakin kecil pula deformasi yang terjadi pada logam dasar. Sebaliknya semakin besar *interpass temperature* semakin besar pula deformasi yang terjadi pada logam dasar. Dimana dalam penelitian ini *interpass temperatur* yang paling rendah yaitu 75 °C mengalami deformasi paling kecil dengan rata-rata 2,2°.
3. Kekuatan impak hasil lasan dengan *interpass temperature* 75 °C dan 100 °C lebih besar dibanding kekuatan impak hasil lasan dengan *interpass temperature* 150 °C.
4. Bentuk patahan hasil lasan dengan *interpass temperature* 75 °C dan 100 °C adalah patahan campuran, sedangkan patahan hasil lasan dengan *interpass temperature* 150 °C adalah patahan getas.
5. *Interpass temperature* berpengaruh terhadap kekuatan impak, dimana *interpass temperatur* yang tinggi menghasilkan kekuatan yang rendah dan getas.

B. Saran

Untuk menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, sebaiknya para peneliti berikutnya melakukan percobaan dengan spesimen yang lebih tebal dan juga dengan jenis elektroda yang berbeda untuk hasil yang lebih optimal serta melakukan pengujian mikro untuk mengetahui karakteristik baja setelah dilas dengan *interpass temperature* yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam Pradnya Paramita*. Pradnya Paramita.
<http://opac-perpusbunghatta.perpusnas.go.id/detail-opac?id=4917>
- Siswanto, R. (2018). *Buku Ajar Teknologi Pengelasan*. Universitas Lambung Mangkurat.
https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=10512520527761671131&hl=id&as_sdt&scioldt=0,5
- Muqsalmina, Syukran, Hanif. (2019). Pengaruh *Interpass Temperature* Terhadap Sifat Mekanik Proses Pengelasan SMAW Matrial *Carbon Steel* SS400. *Journal of Welding Technology*, 1(1), 17-21. https://e-jurnal.pnl.ac.id/Welding_Technology/article/view/1454/0
- Amin, A. (2016). Pengaruh Variasi Temperatur Interpas Terhadap Struktur Mikro dan Fraktorafi HAZ Hasil Pengelasan GMAW Metode *Temper Bead Welding* pada Baja Karbon Sedang. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 2(1), 9-15. https://scholar.google.co.id/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=A4ePtdEAAAAJ&citation_for_view=A4eAAAAJ:d1gkVwhDpl0C
- Azwinur, & Muhazir. (2019). Pengaruh Jenis Elektroda Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik Material SS400. *Jurnal Polimesin*, 17(1), 19-25. Dikutip dari <https://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/870>
- Wibowo, H., Iلمان, M. N., Iswanto, P. T. (2016). Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(1), 5-12. https://scholar.google.com/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=analisa+heat+input+pengelasan%2C+heri+wibowo&btnG=#d=gs_qabs&t=1690165348909&u=%23p%3DgXvxLUGWt-0J
- Akbar, T., & Santosa, B. (2012). Analisa Pengaruh dari *Welding Sequence* Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada *Circular Patch Weld Double Bevel But-Joint* Plat ASTM A36 Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), 352 – 356. https://scholar.google.com/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=taufik+akbar%2C+budie+santosa&btnG=#d=gs_qabs&t=1690167710402&u=23%3DP84908e0MzsJ
- Sunaryo, H. (2008). *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Andersen, L. *Heat Input & Interpass Temperature During Welding* [E-book version]. Retrieved from https://teandersen.com/uploads/rDh63ZFc/technical_update_heat_input_and_interpass_temperature_during_welding.pdf
- Mulyadi, & Iswanto. (2020). *Buku Ajar Teknologi Pengelasan*. UMSIDA Press. http://eprints.umsida.ac.id/8386/1/Buku%20Ajar_Iswanto.pdf

- Yan Ma, Cuiuri, D., Shen, C., Huijun, L., Pan, Z. (2015). *Effect of interpass temperature on in-situ alloying and additivemanufacturing of titanium aluminides using gas tungsten arc welding*. Additive Manufacturing, 8. 71 – 77. Retrieved from <http://www.elsevier.com/locate/addma>
- Ramjaun, T, I., Stone, H, J., Karlsson, L., Kelleher, J., Moat, R, J., Kornmeier, J, R., Dalaei, K., Bhadeshia, H, K, D, H. *The effect of inter-pass temperature on residual stresses in multi-pass welds produced using a low transformation temperature filler alloy*. Science and Technology of Welding and Joining, 19, 44–51. Retrieved from https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2014/Tim/interpass_Ramjaun_STWJ_2014.pdf
- Macedo, F, A, A., Castro, J, A., Santos, C., Strecker, K., Xavier, C,R. (2021). *Influence of The Interpass Welding Temperature on Microstructure and Corroton Resistance of Superduplex Stainless Steel SAF 2507*. Materials Research, 24(3), 1-12. Dikutip dari <https://www.scielo.br/j/mr/a/sXmqx9VfH3XxbtZv3R7Pn7v/?format=pdf>
- Saifuddin, A, J., Zulkifli, Tri Rahayu (2017). *Analisa Kekuatan Impak pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 dengan Variasi Arus Pengelasan*. Jurnal Polimesin, 15(2), 58 – 63. Dikutip dari <http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/376>
- Wijoyo, Bayu Indriyanto (2016). *Pengaruh Masukan Panas (Heat Input) Terhadap Ketangguhan Impak Sambungan Las TIG Al-13,5Si*. Jurnal Simetris 7(2). 545 – 550.
- Juang, W., et al. 2003. “Effect of Weld Heat Input on Toughness and Structure of HAZ of a New Super-high Strength Steel”. *Indian Academy of Sciences* 26. 3, 301-305.