

Analisis Kekuatan Tarik Dan Mikro Struktur Pada Sambungan Las Dengan Variasi Kampuh K Dan X

Adi Purwito^{1*}, Wisma Soedarmadji²

^{1,2} Universitas Yudharta Pasuruan, Pasuruan, Indonesia

Email: purwitoadi156@gmail.com, wisma@yudharta.ac.id

Abstract

Welding based on the classification of work methods can be divided into three groups, namely liquid welding, pressure welding and brazing. Liquid welding is a welding method in which the objects to be joined are heated until they melt with a heat energy source. The most widely used welding methods are liquid welding with an arc (electric arc welding) and gas. There are 4 types of electric arc welding, namely arc welding with a wrapped electrode, gas arc welding (TIG, MIG, CO₂ arc welding), arc welding without gas, and submerged arc welding. One type of wrapped electrode arc welding is Shielding Metal Arc Welding (SMAW). Shielded Metal Arc Welding (SMAW) welding in the form of X-joints, and K-joints in tensile and microstructural tests in the Weld Metal area. The material used is ST.42 strip plate with dimensions of 200 x 25 x 4 mm. From the results of further test calculations, it can be concluded that variations in the shape of the joint affect the tensile test of the welded material.

Keywords: *Welding weld shape, tensile test, microstructure*

Abstrak

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas. Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas. Jenis dari las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO₂), las busur tanpa gas, las busur rendam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah *Shielding Metal Arc Welding*(SMAW). Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada bentuk kampuhX, dan kampuh K pada uji tarik dan mikro struktur di daerah Weld Metal. Bahan yang di gunakan adalah plat strip ST.42 dengan dimensi ukuran 200 x 25 x 4 mm. Dari hasil perhitungan uji lanjut dapat disimpulkan bahwa variasi bentuk kampuh berpengaruh terhadap uji tarik dari bahan hasil pengelasan.

Kata kunci: Bentuk kampuh pengelasan, uji tarik, mikro sturktur.

Pendahuluan

Pengelasan merupakan suatu teknik penyambungan yang memanfaatkan energi panas untuk menggabungkan dua atau lebih komponen logam menjadi satu kesatuan struktural yang utuh. Dalam proses ini, terjadi paparan siklus temperatur yang sangat cepat di area sekitar titik sambungan (heat-affected zone/HAZ). Fluktuasi temperatur tersebut menimbulkan konsekuensi teknis yang signifikan, meliputi terjadinya deformasi geometris pada material, timbulnya tegangan termal internal, serta perubahan struktur mikro yang kompleks akibat transformasi metalurgi. Faktor-faktor ini secara langsung memengaruhi sifat

mekanik, integritas struktural, dan kinerja jangka panjang dari sambungan las yang dihasilkan (Zamrhoni 2011). Proses pengelasan menawarkan fitur dan keunggulan dibandingkan sistem penyambungan logam lainnya seperti keeling. Pengelasan pada dasarnya adalah ikatan metalurgi pada sambungan antar paduan logam yang dilakukan dalam keadaan cair atau cair (Okumura dan Wiryasumarto 1996).

Pengelasan busur logam terlindung, atau SMAW (*shielded metal arc welding*), adalah salah satu jenis pengelasan yang umum digunakan. Busur listrik yang terbentuk di antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja memanaskan logam dasar selama proses pengelasan ini, menyebabkannya meleleh. Busur listrik dihasilkan oleh peralatan las. Elektroda las terkadang disebut kawat las karena elektrodanya berupa kawat yang telah dilapisi fluks pelindung. Baik elektroda maupun logam dasar yang membentuk manik las akan meleleh selama proses pengelasan. Logam cair dari elektroda dan logam dasar akan mengisi manik las sebagai hasil dari pelelehan ini (Katsas 2005). Manik las merupakan salah satu elemen terpenting yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan sambungan las berkualitas tinggi. Manik las ini mengakomodasikan material pengisi agar lebih melekat pada benda kerja. Hal ini menjamin kekuatan las. Jenis sambungan las yang akan digunakan harus ditentukan sebelum proses pengelasan dimulai. Memastikan sambungan mampu menahan beban baik statis, dinamis, maupun keduanya sangat penting

Metode Penelitian

Analisis varians satu arah, sebuah teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini, bertujuan untuk memecahkan masalah saat melakukan eksperimen dengan dua populasi atau lebih ($k \geq 2$) berdasarkan satu kriteria. Pengaruh hipotesis nol (H_0) akan diuji dengan hipotesis pencacah (H_1) untuk memastikan apakah perbedaan bentuk manik las berdampak pada kekuatan tarik material pelat baja dalam pengelasan SMAW. Y_{ij} , atau data ke- j dalam sampel yang diambil dari perlakuan ke- i , akan digunakan untuk menyatakan data sampel.

Hasil dan Pembahasannya

A. Analisa data plat strip ST.42 bentuk kampuh X

Kekuatan tarik pelat strip ST.42, spesimen uji tarik, ditentukan berdasarkan hasil uji yang dilakukan di Laboratorium Pengujian Logam Fakultas Teknik, Institut Teknologi Malang. Hasil uji tarik yang telah dihitung sebelumnya ditampilkan pada Tabel di bawah Darwin (1995) menyatakan bahwa rumus berikut digunakan dalam perhitungan.:

$$\text{☞ Kekuatan Tarik : } \sigma = \frac{P}{A} (\text{kg} / \text{mm}^2)$$

Dimana :

$$\sigma = \text{Kekuatan tarik (Kg/mm}^2\text{)}$$

$$A = \text{Luas penampang (mm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Beban yang diberikan (Kg)}$$

$$\text{☞ Luas Penampang : } A = p.l(\text{mm}^2)$$

Dimana :

$$p = \text{panjang benda kerja (mm)}$$

Adi Purwito^{1*}, Wisma Soedarmadji²,

l = Lebar penampang (mm)

$$\text{Regangan : } \varepsilon = \frac{L_a - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Dimana:

ε = Regangan (%)

L_f = Panjang spesimen setelah uji tarik (mm)

L_o = Panjang spesimen mula-mula (mm)

Sehingga menurut Darwin, (1995) luas penampang pada plat baja untuk bentuk kampuh X dapat diketahui dengan data-data sebagai berikut:

panjang plat baja (P) : 200 mm

lebar (l) : 25 mm

sehingga $A = P \times l = 200 \times 25 = 50,00$ mm adalah luas penampang pelat strip St.42 untuk sambungan berbentuk X dalam studi ini. Dimensi dan ukuran pelat strip ST.42 dengan sambungan berbentuk X ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar Dimensi Ukuran benda uji bentuk kampuh X.

Sumber. Dokumentasi Peneliti, 2025

Untuk luas penampang plat baja pada spesimen bentuk kampuh X didapatkan data sebagai berikut :

Tabel Data luas penampang bentuk kampuh X

Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas penampang (mm)
X1	200	25	50,00
X2	200	25	50,00
X3	200	25	50,00
X4	200	25	50,00

X5	200	25	50,00
X6	200	25	50,00

Sumber. Analisa Data, 2020



Gambar benda uji spesimen bentuk kampuh X

Dengan demikian untuk menghitung tegangan maksimum dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\Rightarrow X1\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2799}{50,00} = 55,98 \text{ kg/mm}^2$$

$$\Rightarrow X2\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2764}{50,00} = 55,29 \text{ kg/mm}^2$$

$$\Rightarrow X3\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2769}{50,00} = 55,38 \text{ kg/mm}^2$$

$$\Rightarrow X4\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2540}{50,00} = 50,80 \text{ kg/mm}^2$$

$$\Rightarrow X5\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2786}{50,00} = 55,72 \text{ kg/mm}^2$$

$$\Rightarrow X6\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2646}{50,00} = 52,92 \text{ kg/mm}^2$$

Selanjutnya untuk menghitung besar regangan pada penelitian ini dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut: $\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$, maka:

$$\Rightarrow X1 \varepsilon = \frac{21,1 - 200}{200} \times 100\% = 5,5\%$$

$$\Rightarrow X2 \varepsilon = \frac{210 - 200}{200} \times 100\% = 5\%$$

$$\varnothing X3 \varepsilon = \frac{21,2 - 200}{200} \times 100\% = 6\%$$

$$\varnothing X4 \varepsilon = \frac{21,2 - 200}{200} \times 100\% = 6\%$$

$$\varnothing X5 \varepsilon = \frac{21,1 - 200}{200} \times 100\% = 5,5\%$$

$$\varnothing X6 \varepsilon = \frac{21,3 - 200}{200} \times 100\% = 6,5\%$$

Dari hasil perhitungan pada spesimen benda kerja untuk bentuk kampuh X & kampuh K dari masing-masing perlakuan dapat ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini

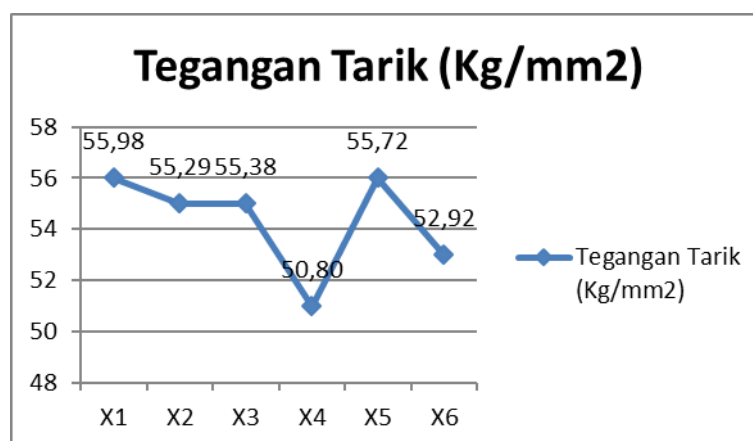
Tabel Data Hasil Uji Tarik dengan bentuk kampuh X & kampuh K

Spesimen	Beban (Kg)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	L _f (mm)	L _o (mm)	Regangan (%)
X1	2799	50,00	55,98	21,1	200	5,5
X2	2764	50,00	55,29	21,0	200	5
X3	2769	50,00	55,38	21,2	200	6
X4	2540	50,00	50,80	21,2	200	6
X5	2786	50,00	55,72	21,1	200	5,5
X6	2646	50,00	52,92	21,3	200	6,5

Sumber. Analisa Data, 2020

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa tegangan tarik pada spesimen kampuh X dapat disajikan pada gambar grafik dibawah ini

Gambar Grafik nilai tegangan tarik



Hubungan Tegangan dan Regangan

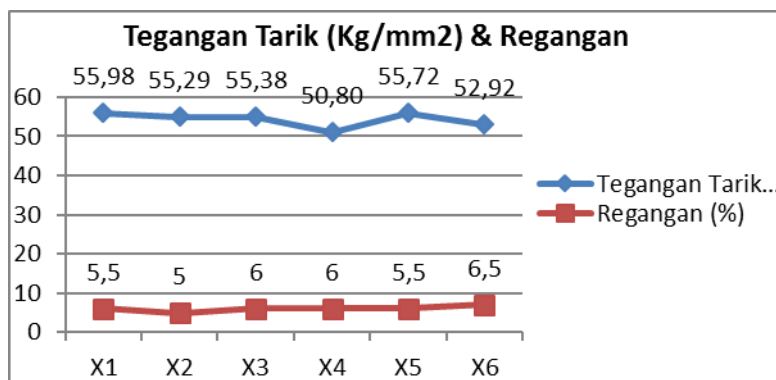
Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada plat strip ST.42 untuk bentuk kampuh X yang disajikan pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel hubungan tegangan dan regangan bentuk kampuh X

Spesimen	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Regangan (%)
X1	55,98	5,5
X2	55,29	5
X3	55,38	6
X4	50,80	6
X5	55,72	5,5
X6	52,92	6,5

Sumber. Analisa Data, 2020

Gambar Grafik hubungan tegangan dan regangan kampuh X



Analisa data plat strip ST.42 bentuk kampuh K

Untuk plat baja bentuk kampuh K menurut Darwin, (1995) luas penampang pada plat strip ST.42 untuk bentuk kampuh K dapat diketahui dengan data-data sebagai berikut:

- ☞ panjang plat baja (P) : 200 mm
- ☞ lebar (l) : 25 mm

sehingga luas penampang plat strip ST.42 untuk bentuk kampuh K pada penelitian ini adalah $A = P \times l = 200 \times 25 = 50,00$ mm. Gambar di bawah merupakan ukuran dan dimensi dari plat strip ST.42 dengan bentuk kampuh K.



Sumber. Dokumentasi Peneliti, 2025

Untuk luas penampang plat baja pada spesimen bentuk kampuh K didapatkan data sebagai berikut :

Tabel Data luas penampang bentuk kampuh K

Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas penampang (mm)
K1	200	25	50,00
K2	200	25	50,00
K3	200	25	50,00
K4	200	25	50,00
K5	200	25	50,00
K6	200	25	50,00



Gambar benda uji spesimen bentuk kampuh K

Sumber. Dokumentasi Peneliti, 2025

Dengan demikian untuk menghitung tegangan maksimum dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\sigma_{K1} = \frac{P}{A} = \frac{2438}{50,00} = 48,72 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{K2} = \frac{P}{A} = \frac{2642}{50,00} = 52,84 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{K3} = \frac{P}{A} = \frac{2803}{50,00} = 56,06 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{K4} = \frac{P}{A} = \frac{2759}{50,00} = 55,17 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{K5} = \frac{P}{A} = \frac{2793}{50,00} = 55,89 \text{ kg/mm}^2$$

$$\Rightarrow K6\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2561}{50,00} = 51,22 \text{ kg/mm}^2$$

Selanjutnya untuk menghitung regangan pada penelitian ini dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut $\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$, maka:

$$\Rightarrow K1\varepsilon = \frac{20,4 - 200}{200} \times 100\% = 2\%$$

$$\Rightarrow K2\varepsilon = \frac{21,2 - 200}{200} \times 100\% = 6\%$$

$$\Rightarrow K3\varepsilon = \frac{21,0 - 200}{200} \times 100\% = 5\%$$

$$\Rightarrow K4\varepsilon = \frac{21,1 - 200}{200} \times 100\% = 5,5\%$$

$$\Rightarrow K5\varepsilon = \frac{21,3 - 200}{200} \times 100\% = 6,5\%$$

$$\Rightarrow K6\varepsilon = \frac{21,1 - 200}{200} \times 100\% = 5,5\%$$

Dari hasil perhitungan pada spesimen benda kerja untuk bentuk kampuh K dari masing-masing perlakuan dapat ditunjukkan pada tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel Data Hasil Uji Tarik dengan bentuk kampuh K

Benda uji	Beban (Kg)	Luas Penampang (mm ²)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	L _f (mm)	L _o (mm)	Regangan (%)
K1	2438	50,00	48,72	2,04	200	2
K2	2642	50,00	52,84	21,2	200	6
K3	2803	50,00	56,06	21,0	200	5
K4	2759	50,00	55,17	21,1	200	5,5
K5	2793	50,00	55,89	21,3	200	6,5
K6	2561	50,00	51,22	21,1	200	5,5

Sumber. Analisa Data, 2025

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa tegangan tarik pada spesimen kampuh K dapat disajikan pada gambar grafik dibawah ini.

Gambar Grafik nilai tegangan tarik



Hubungan Tegangan dan Regangan

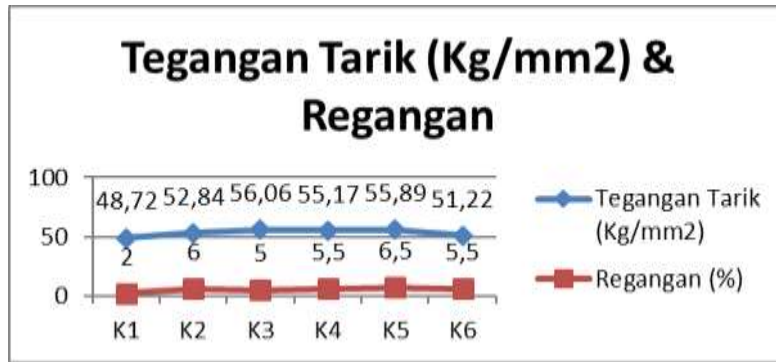
Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada plat strip ST.42 untuk bentuk kampuh K yang disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel hubungan tegangan dan regangan bentuk kampuh K

Spesimen	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Regangan (%)
K1	48,72	2
K2	52,84	6
K3	56,06	5
K4	55,17	5,5
K5	55,89	6,5
K6	51,22	5,5

Sumber. Analisa Data, 2025

Gambar Grafik hubungan tegangan dan regangan kampuh K



Analisa Varian Satu Arah

Setelah dilakukan perhitungan pengujian tarik, maka langkah selanjutnya dilakukan analisa dengan metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisa varian satu arah. Untuk memperoleh hasil penelitian dari pengaruh bentuk kampuh las terhadap tegangan tarik pada plat baja yang dilas SMAW, maka digunakan rumus sebagai berikut:

Perhitungan Jumlah Kuadrat Analisa Satu Arah

Perhitungan Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Tarik } JKT &= \sum_{i=j}^K \sum_{j=1}^n Y^2_{ij} - \frac{T \dots^2}{nk} \\ &= (55,98)^2 + (55,29)^2 + (55,38)^2 + (50,80)^2 + (55,72)^2 + \\ &\quad (52,92)^2 + (48,72)^2 + (52,84)^2 + (56,06)^2 + (55,17)^2 + \\ &\quad (55,89)^2 + (51,22)^2 - \frac{(645,99)^2}{12} \\ &= 3133,76 + 3056,98 + 3066,94 + 2580,64 + 3104,71 + \\ &\quad 2800,52 + 2373,63 + 2792,06 + 3142,72 + 3043,72 + \\ &\quad 3123,69 + 2623,48 - 34775,25 \\ &= 34842,85 - 34775,25 \\ &= 67,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan } JKT &= \sum_{i=j}^K \sum_{j=1}^n Y^2_{ij} - \frac{T \dots^2}{nk} \\ &= (5,5)^2 + (4,5)^2 + (6)^2 + (5,5)^2 + (6)^2 + (6)^2 + \\ &\quad (1,5)^2 + (6)^2 + (4,5)^2 + (6)^2 + (6,5)^2 + (5,5)^2 - \frac{(63,5)^2}{12} \\ &= 30,25 + 20,25 + 36 + 30,25 + 36 + 36 + \\ &\quad 2,25 + 36 + 20,25 + 36 + 42,25 + 30,25 - 336,02 \\ &= 355,75 - 336,02 \end{aligned}$$

a. ^{19,73} Perhitungan Kuadrat Perlakuan (JKA)

$$\text{Tegangan tarik } JKA = \frac{\sum_{i=1}^K T_i^2}{n} - \frac{T \dots^2}{nk}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(326,09)^2 + (319,9)^2}{6} - \frac{(645,99)^2}{12} \\
 &= \frac{10633468 + 10233601}{6} - \frac{41730308}{12} \\
 &= 34778,44 - 34775,25 \\
 &= 3,19
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{☞ Regangan } JKA &= \frac{\sum_{i=1}^K T_i^2}{n} - \frac{T_{\dots}^2}{nk} \\
 &= \frac{(33,5)^2 + (30)^2}{6} - \frac{(63,5)^2}{12} \\
 &= \frac{1122,25 + 900}{6} - \frac{4032,25}{12} \\
 &= 337,04 - 336,02 \\
 &= 1,02
 \end{aligned}$$

b. Jumlah Kuadrat Galat : JKG = JKT – JKA

☞ Kekuatan tarik

$$JKG = JKT - JKA = 67,6 - 3,19 = 64,41$$

☞ Regangan

$$JKG = JKT - JKA = 19,73 - 1,02 = 18,71$$

1. Perhitungan Taksiran

a. Salah satu taksiran σ^2 yang didasarkan pada k-1 derajat kebebasan diberikan

oleh rataan kuadrat perlakuan $S_1^2 = \frac{JKA}{k-1}$

$$\text{☞ Kekuatan tarik } S_1^2 = \frac{3,19}{6-1} = 0,63$$

$$\text{☞ Regangan } S_1^2 = \frac{1,02}{6-1} = 0,20$$

b. Taksiran σ^2 yang kedua dan bebas dari hipotesis di dasarkan pada k (n-1) derajat

kebebasan diberikan oleh rataan kuadrat galat, yakni $S^2 = \frac{JKG}{k(n-1)}$

$$\text{☞ Kekuatan tarik } S^2 = \frac{64,41}{6 \times (6-1)} = 2,14$$

$$\text{☞ Regangan } S^2 = \frac{18,71}{6 \times (6-1)} = 0,62$$

2. Perhitungan untuk menguji hipotesis $F_{hitung} = \frac{S_1^2}{S^2}$

☞ Kekuatan tarik $F_{hitung} = \frac{S_1^2}{S^2} = \frac{0,63}{2,14} = 0,294$

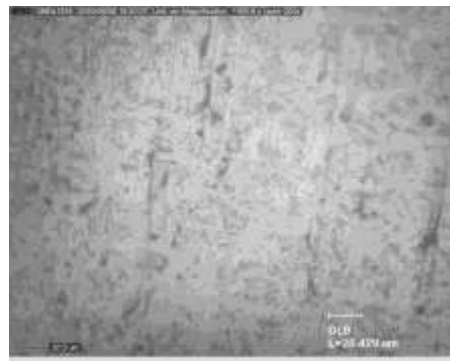
☞ Regangan $F_{hitung} = \frac{S_1^2}{S^2} = \frac{0,20}{0,62} = 0,322$

Mikro Struktur

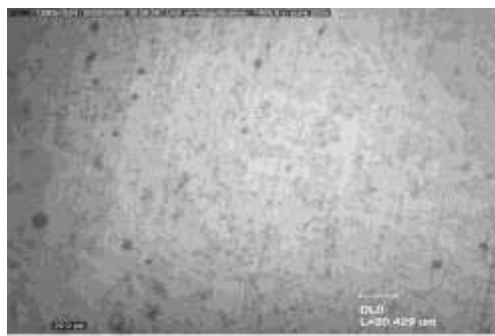
Pengamatan mikro struktur yang dilakukan pada laboratorium uji logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang. Pengamatan mikro struktur menggunakan mikroskop logam dengan pembesaran 1300 kali yang dietsa menggunakan Nital HNO₃ 95% selama 15 detik. Adapun foto mikro struktur dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



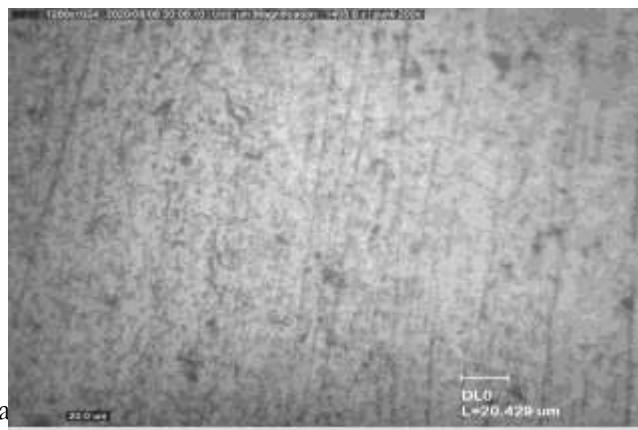
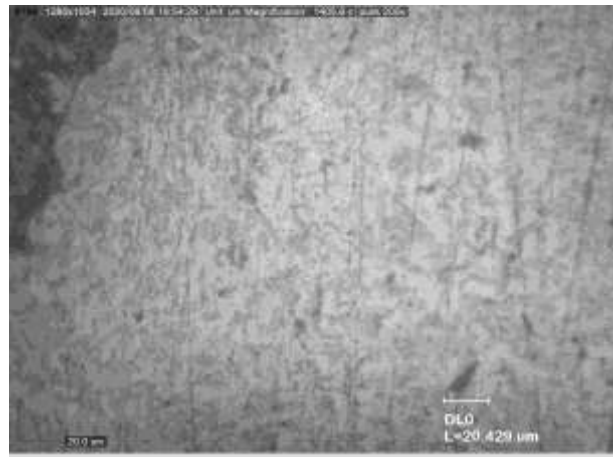
Gambar Foto Struktur Mikro Spesimen 1
Untuk kampuh X



Gambar Foto Struktur Mikro Spesimen 2
Untuk kampuh X



Gambar Foto Struktur Mikro Spesimen 3 kampuh X



Ga

Hasil

Hasil analisis varians satu arah pada Tabel 4.2 dan 4.5 menunjukkan bahwa kuat tarik pelat baja yang dilas menggunakan las busur logam terlindung (SMAW) tidak terpengaruh secara signifikan oleh bentuk alur. Kuat tarik berbagai bentuk alur adalah sama, berdasarkan nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ dengan tingkat kesalahan 5% pada tingkat kepercayaan 95%. Hasil perhitungan uji lanjut disimpulkan bahwa bentuk kampuh X dan bentuk kampuh K tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil lasan, hal ini dapat diketahui berdasarkan selisih

rata-rata bentuk kampuh X dan bentuk kampuh K dengan BNT_{hitung} dengan taraf kesalahan $\alpha = 5\%$ menyatakan selisih rata-rata perlakuan kecil.

Diterimanya hipotesa diduga terjadi perubahan ikatan ion didalam kandungan material plat baja pada saat terjadi proses pengelasan, hal ini menyebabkan pengaruh panas yang dihasilkan saat pengelasan cukup tinggi. Pengaruh panas pada proses pengelasan memiliki peranan yang sangat penting karena besar panas (HAZ) pada pengelasan dapat ditandai dengan terjadinya perubahan ikatan ion didalam plat baja tersebut. Proses pengelasan dengan arus 70 A dalam penelitian ini untuk bentuk kampuh I tertutup terjadi perubahan sifat mekanis dari bahan yaitu kekuatan tarik semakin tinggi dan bentuk kampuh X terjadi perubahan sifat mekanis dari bahan yaitu kekuatan tarik semakin menurun. Kedua bentuk kampuh ini dilakukan pendinginan secara perlahan-lahan di udara bebas, hal ini dapat menyebabkan ikatan ion didalam kandungan material semakin berkurang.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan terhadap pengaruh bentuk kampuh terhadap kekuatan tarik dan regangan pada sambungan las pelat baja ST.42 dengan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW), maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut: 1) Nilai tegangan tarik tertinggi pada spesimen bentuk kampuh X adalah sebesar 55,98 Kg/mm² dan pada kampuh K sebesar 56,06 Kg/mm². Rata-rata nilai tegangan tarik antara kedua kampuh tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. (a) Nilai regangan tertinggi pada spesimen kampuh X adalah 6,5% dan pada kampuh K juga 6,5%. Hal ini menunjukkan bahwa kedua bentuk kampuh memiliki kemampuan deformasi plastis yang relatif sama setelah proses pengelasan. (b) Berdasarkan hasil analisis varian satu arah (ANOVA), diperoleh bahwa nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ baik untuk data tegangan tarik maupun regangan, sehingga tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi bentuk kampuh terhadap kekuatan tarik dan regangan hasil sambungan las. (c) Hasil pengamatan mikrostruktur menunjukkan adanya perubahan struktur akibat pengaruh panas pengelasan (HAZ), namun perbedaan bentuk kampuh tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap karakteristik mikrostruktur yang berhubungan langsung dengan sifat mekanik. Secara umum bahwa bentuk kampuh X dan kampuh K memberikan performa mekanik yang setara, sehingga pemilihan jenis kampuh dapat disesuaikan dengan kebutuhan praktis atau pertimbangan efisiensi pengerjaan. Dengan menerapkan prinsip-prinsip tersebut, Pondok Pesantren Ngalah Pasuruan menciptakan lingkungan yang mendukung pengembangan sikap toleransi dan penghargaan terhadap keberagaman di kalangan santri.

Daftar Pustaka

- Anonymous, (2012), *Metalurgi Las*, diakses pada tanggal 03 Mei 2012.
- Anonymous, (2014), *Elektroda*, diakses pada tanggal 04 Januari 2014.
- Djamiko, D,R 2008, *Teori pengelasan logam*, Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Darwin Sebayang, 1995, *Kekuatan Bahan (Teori Kokoh-Strength Of Material)*, PT. Erlangga Jakarta.
- Indar, 2012, *Dasar-dasar pengelasan*, Autodesk Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta.
- Johansyah, A, 2004, *Pengaruh variasi bentuk kampuh las V, double V dan U terhadap kekuatan tarik las pada plat baja konstruksi*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang.

- Joko Santoso, 2006, *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Munir M, 2011, *Las dan Pematrian*, PT. Skripta Media Creative Yogyakarta.
- Marwanto Arif, (2007), *Shield Metal Arc Welding Materi Pelatihan Life Skill*, Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Purwaka E. A. Ibrahim, 2010, *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* diakses pada tanggal 04 April 2010.
- Samsudi H., Rubijanto JP, Raharjo, 2012, *Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW)*, Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012 ISSN : 1412 – 9612.
- Urip Prasmayobi, 2016, *Studi Kekuatan Bending Dan Kekerasan Pada Pengelasan Aluminium Dengan Menggunakan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo Kendari.
- Wiriyosumarto, H., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Erlangga, Jakarta.
- Irawan, B., Zulpikar, M., & Siregar, E. (2022). *Analisis kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las SMAW pada baja AISI-1042 dengan variasi bentuk kampuh*. *Jurnal Teknik Sipil Unisma*, 10(2), 88–95.
- Mulyana, A., Darmawan, D., & Firmansyah, R. (2023). *Pengaruh variasi bentuk kampuh sambungan las terhadap kekuatan tarik dan bending pada baja ASTM A36*. *Jurnal Teknik Mesin UBL*, 12(1), 50–57.
- Jazali, H., & Kurniawan, R. (2022). *Analisa kekuatan tarik dan struktur mikro pengelasan SMAW dengan variasi kampuh pada baja SS400*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 5(1), 123–129.
- Randika, M., & Aldio, Y. (2021). *Pengaruh variasi kampuh las terhadap kekerasan dan struktur mikro pegas daun SUP9A menggunakan SMAW*. *ARMATUR: Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 78–85.
- Gibran, R., & Drastiawati, R. (2022). *Studi eksperimental pengaruh variasi kampuh terhadap kekuatan tarik dan kekerasan hasil pengelasan baja St37*. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 10(3), 93–101.
- Karmanianto, T., Yulianto, H., & Rachman, A. (2023). *Pengaruh variasi sudut kampuh dan arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik dan kekerasan baja ST60*. *Journal of Engineering and Device*, 3(1), 55–61.
- Sukarno, A. (2021). *Pengaruh variasi bentuk kampuh las V dan I terhadap sifat mekanik baja karbon S50C*. *Jurnal Inovasi Teknologi Mesin*, 5(2), 47–54.
- Hakim, A. R. (2021). *Studi evaluasi kampuh las V, I, dan double V pada baja SS304 menggunakan SMAW dan elektroda E312-16*. *Polimesin: Jurnal Teknik Mesin*, 19(1), 65–72.
- Wibawa, E. (2020). *Analisis struktur makro dan kekuatan tarik hasil pengelasan SMAW dengan variasi bentuk kampuh pada baja karbon rendah*. *JOM Mercu Buana*, 7(2), 87–95.