



Pengaruh Temperatur *Hot Gun* dan Sudut Kampuh V pada *Hot Gas Welding* Terhadap Kekuatan Uji Tekuk Sambungan Las HDPE

Ahmad Fauzi¹, Elka Faizal^{2*}

^{1,2}Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: fauziahmad2101@gmail.com¹, elka.faizal@polinema.ac.id²

Alamat: Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia

Korespondensi penulis: elka.faizal@polinema.ac.id*

Abstract. The development of construction materials is currently very rapid, including in the manufacture of fishing boats that still use wood. As an alternative, High Density Polyethylene (HDPE) plastic can replace wood because of its various advantages. The process of making fishing boats uses the plastic welding method, where the material is heated close to the melting temperature with a welding gun. The welding rod melts due to heat and is pressed continuously while the welding gun moves backward. This study aims to determine the effect of variations in the hot gas welding process on mechanical tests, especially bending tests on plastic welding joints. The two independent variables used are the hot gun temperature (250°C, 300°C, and 350°C) and the V bevel angle (60°, 75°, and 90°). The five controlled variables include the anvil temperature of 150°C, 3,2 mm thick HDPE plastic sheet, hot gas speed welding method, 5 mm diameter HDPE plastic additives, 7 liters/minute air flow rate, 1.2 mm/s welding speed, and 2 mm root gap. The research results are expected to obtain the maximum value of the bending test strength from the interaction of hot gun temperature variations and V-beam angles, as well as being a reference in making fishing boat bodies from HDPE using the hot gas welding method.

Keywords: Bending Test, HDPE, Hot Gas Welding, Hot Gun Temperature, V-Groove Angle.

Abstrak. Perkembangan material konstruksi saat ini sangat pesat, termasuk dalam pembuatan kapal nelayan yang masih menggunakan kayu. Sebagai alternatif, plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dapat menggantikan kayu karena berbagai keunggulannya. Proses pembuatan perahu nelayan menggunakan metode *plastic welding*, di mana material dipanaskan mendekati temperatur leleh dengan *welding gun*. *Welding rod* meleleh akibat panas dan ditekan terus-menerus sambil *welding gun* bergerak mundur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi dalam proses *hot gas welding* terhadap uji mekanis, khususnya uji tekuk pada sambungan las plastik. Dua variabel bebas yang digunakan adalah temperatur hot gun (250°C, 300°C, dan 350°C) dan sudut kampuh V (60°, 75°, dan 90°). Lima variabel terkontrol meliputi temperatur landasan 150°C, lembaran plastik HDPE tebal 3,2 mm, metode pengelasan *hot gas speed welding*, bahan tambah plastik HDPE diameter 5 mm, laju aliran udara 7 liter/menit, kecepatan pengelasan 1,2 mm/s, dan *root gap* 2 mm. Hasil penelitian diharapkan dapat memperoleh nilai maksimum kekuatan uji tekuk dari interaksi variasi temperatur *hot gun* dan sudut kampuh V, serta menjadi acuan dalam pembuatan bodi kapal nelayan berbahan HDPE dengan metode *hot gas welding*.

Kata kunci: Uji Tekuk, HDPE, *Hot Gas Welding*, Temperatur *Hot Gun*, Sudut Kampuh V.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan material konstruksi di Indonesia semakin pesat, tidak hanya terbatas pada baja dan kayu. Dalam bidang konstruksi kapal, banyak galangan masih menggunakan kayu untuk perahu nelayan. Namun, meningkatnya produksi kapal menyebabkan permintaan kayu yang tinggi, sementara pertumbuhan kayu tidak seimbang dengan permintaan tersebut. Hal ini mengakibatkan penurunan pasokan dan kenaikan harga kayu, karena tidak semua jenis kayu memenuhi kriteria yang diperlukan. Tingginya tingkat deforestasi mempengaruhi peningkatan harga kayu, deforestasi pada hutan tanaman yang tidak seimbang dengan reforestasinya sebesar

236,3 ribu hektare pada rentan tahun 2013 – 2014, mengalami peningkatan yang signifikan pada rentan tahun 2014 – 2015 sebesar 473,6 ribu hektare (Forest Watch Indonesia, 2020).

Material kayu rentan pelapukan akibat sinar matahari secara langsung, yang meningkatkan biaya perawatan perahu nelayan. Plastik HDPE dapat menggantikan kayu karena kekuatan, ketahanan terhadap korosi, kemudahan pengerjaan, harga terjangkau, dan bobot ringan (lester_indonesia, 2014). Penggunaan *High Density Polyethylene* (HDPE) diharapkan menjadi solusi untuk perahu nelayan. Dalam proses manufaktur dapat menggunakan metode penyambungan *plastic welding*. Penentuan temperatur *preheating* yang tepat sangat krusial agar diperoleh sifat fisik dan mekanik yang optimal pada hasil pengelasan (Dharmawan, 2019).

Plastic welding adalah proses penyambungan dari dua bagian material plastik dengan cara memanaskan area yang akan disambung hingga meleleh, dibantu dengan gaya tekan hingga kedua bagian menyatu. *Plastic welding* dibagi menjadi beberapa metode, yaitu *friction stir welding*, *ultrasonic welding*, *laser welding*, *extrusion welding*, dan *hot gas welding*. Pada pengelasan plastik terdapat metode *preheating* yang bertujuan untuk menyeimbangkan suhu spesimen sebelum proses pengelasan berlangsung, guna mencegah kerusakan selama dan setelah pengelasan. Penentuan temperatur *preheating* yang tepat sangat krusial agar diperoleh sifat fisik dan mekanik yang optimal pada hasil pengelasan (Dharmawan, 2019).

Hot gas welding adalah salah satu metode *plastic welding* dengan memanaskan *base material* dan bahan tambah secara bersamaan hingga mencapai titik leleh sampai tersambung menjadi satu bagian. *Hot gas welding* dimana material induk dan material pengisi (*filler*) dipanaskan menggunakan aliran udara panas bersamaan dengan adanya gaya tekan pada *filler* yang mulai meleleh agar bisa menembus dengan baik ke dalam sambungannya (Ahmad & Haque, 2016).

Pengelasan *Hot Gas Welding* menunjukkan kekuatan tarik optimal pada suhu plat landasan 150°C dan sudut *V-groove* 60°, dengan nilai 18,8 MPa (87,5% kekuatan material tanpa sambungan) (Setiawan et al., 2022). Kemudian dilakukan analisis pengaruh suhu pelat dan bentuk bevel terhadap kekuatan tarik lasan HDPE, menghasilkan 18,46 MPa pada suhu 150°C dan bevel V (Witono et al., 2022). Analisis sambungan *groove* pada pengelasan HDPE untuk konstruksi kapal kayu nelayan menunjukkan kekuatan tekuk 17,9 MPa dan tarik 23,37 MPa, melebihi syarat minimum (Sulaiman & Khristyson, 2022). Kajian eksperimental kekuatan tarik sambungan HDPE untuk kapal pompong di Madura dengan variasi temperatur hot gun dan sambungan las V dan X menghasilkan kekuatan tarik 17,07 MPa pada temperatur 150°C (Lungiding Angga Risdianto et al., 2021).

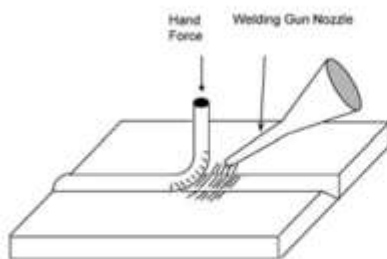
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beberapa pengaruh variasi dalam proses *hot gas welding* pada saat dilakukan uji mekanis berupa uji tekuk pada hasil sambungan las plastik. Oleh karena itu maka dilakukan suatu penelitian yang berjudul Pengaruh Temperatur *Hot Gun* dan Sudut Kampuh V Pada Proses *Hot Gas Welding* Terhadap Kekuatan Uji Tekuk Sambungan Las HDPE.

2. KAJIAN TEORITIS

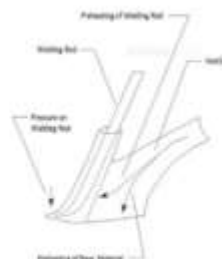
Hot Gas Welding

Hot gas welding adalah teknik dalam *plastic welding*, yang merupakan proses penyambungan bagian plastik menggunakan panas, tekanan, atau keduanya hingga mencapai titik leleh dengan menambahkan material tambah las plastik. *Hot gas welding* dimana material induk dan material pengisi (*filler*) dipanaskan menggunakan aliran udara panas bersamaan dengan adanya gaya tekan pada *filler* yang mulai meleleh agar bisa menembus dengan baik ke dalam sambungannya (Ahamad & Haque, 2016). *Hot gas welding* merupakan salah satu teknik pengelasan dari *plastic welding*. Penyambungan terjadi karena fusi yang terjadi secara bersamaan antara material plastik dan material pengisi (*filler*) (Haque et al., 2015). Pada pengelasan plastik terdapat metode *preheating* yang berfungsi menyeimbangkan suhu spesimen sebelum pengelasan untuk mencegah kerusakan dan memastikan sifat fisik serta mekanik hasil las yang optimal (Dharmawan, 2019).

Teknik *hot gas welding* terdiri dari dua jenis: *hand welding* dan *speed welding*. *Hand welding* melibatkan operator yang mengaplikasikan bahan pengisi ke area sambungan menggunakan *hot gun* secara konstan seperti pada gambar 1. Sementara itu, *speed welding* menggunakan *nozzle* modifikasi dengan dua lubang, yang memungkinkan bahan pengisi dan udara keluar bersamaan dari *hot gun* seperti gambar 2.



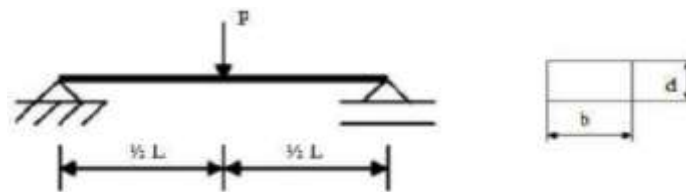
Gambar 1 *Hot gas round nozzle welding*
Sumber: D. Grewell & A. Benatar, (2007)



Gambar 2. *Hot gas speed welding*
Sumber: J. Solorio, (2018)

Uji Tekuk

Uji tekuk adalah metode pengujian bahan dengan memfokuskan pada salah satu titik pada material uji sehingga mencapai sudut atau kepatahan dengan tujuan untuk menilai kelenturan dan kekuatan material. Uji tekuk dibagi menjadi tiga, yaitu uji tekuk 3 titik, uji tekuk 4 titik, dan uji tekuk terpadu (ASTM INTERNATIONAL, 2017). Pengujian yang digunakan adalah uji tekuk dengan *three point bending* yang dapat dilihat pada gambar 2.3 dengan 2 sisi ujung dicekam kemudian bagian tengah dari material ditekan dengan 1 tumpuan. Pengujian tekuk 3 titik juga menjadi syarat pada pembuatan kapal kecil dengan menggunakan standar *ASTM D790-17* (BKI, 2023). Pengujian tekuk dilakukan untuk mengetahui kekuatan material HDPE pada lambung kapal yang menerima tekanan hidrostatis saat diam dan tekanan hidrodinamik akibat ombak saat bergerak, yang dapat menyebabkan pembengkokan struktur karena momen lentur dari perbedaan tekanan di sisi atas dan bawah lambung (Adifatama et al., 2024).



Gambar 3 *Three Point Bending*

Sumber: Khamid, (2011)

Perhitungan yang digunakan:

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2 b d^2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

σ_f = Tegangan lengkung (N/mm^2)

P = Beban (N)

L = Jarak point (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

d = Tebal spesimen (mm)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen dengan jenis penelitian kuantitatif, merupakan sebuah penelitian yang bertujuan untuk mencari sebuah pengaruh dari beberapa variabel yang kemudian dibuktikan melalui hasil komparasi atau perbandingan (Sugiyono, 2015). Penelitian ini menggunakan peralatan seperti *jig* pengelasan, *hot gun*, elemen pemanas,

dan *temperature control*, serta peralatan pendukung seperti jangka sorong, pengukur suhu, *bevel protractor*, gergaji, dan mesin frais. Mesin frais digunakan untuk membentuk 9 spesimen uji tekuk dari lembaran HDPE berukuran 71 x 150 mm dan ketebalan 3,2 mm. Proses pengelasan dilakukan dengan *welding rod* HDPE berdiameter 5 mm, suhu elemen pemanas diatur dengan *temperature control* di bawah spesimen, dan pengujian kekuatan tekuk dilakukan menggunakan *universal testing machine*.

Pada penelitian ini HDPE dengan dimensi 71 x 75 x 4 mm disambung dengan proses *hot gas welding* yang kemudian dilakukan pengujian sambungan berupa uji tekuk 3 titik. Dalam melakukan proses analisis menggunakan regresi linear berganda pada *software* Minitab.

Penelitian ini menggunakan variabel bebas yakni temperatur *hot gun* dan sudut kampuh V. Nilai yang ditetapkan sebagai berikut:

- a) Temperatur *hot gun* : 250°C, 300°C, dan 350°C
- b) Sudut kampuh V : 60°, 75°, dan 90°

Variabel terikat yang dipengaruhi oleh variabel bebas pengujian pada hasil sambungan las lembaran HDPE. Variabel kontrol merupakan variabel yang dapat diamati dan nilai yang ditetapkan dalam pengujian tidak berubah atau tetap terkontrol. Nilai yang ditetapkan setiap variabel kontrol yaitu:

- a) Temperatur landasan plat pemanas sebesar 150°C.
- b) Lembaran plastik HDPE dengan tebal 3,2 mm.
- c) Metode pengelasan dengan *hot gas speed welding*.
- d) Bahan tambah menggunakan plastik HDPE dengan diameter 5 mm.
- e) Laju aliran volume udara sebesar 7 liter/menit.
- f) Kecepatan pengelasan 1,2 mm/s.
- g) Penggunaan *root gap* sebesar 2 mm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data

Berdasarkan data yang dihasilkan dan setelahnya dilakukan analisis data statistik dengan menggunakan regresi linear berganda. Sebelum melangkah ke regresi linear berganda dilakukan beberapa uji asumsi klasik, diantara lain uji multikolinearitas, autokorelasi, normalitas data, dan hetroskedastisitas, yang mana dari data yang saya dapatkan dinyatakan lolos dari semua uji asumsi klasik. Uji asumsi klasik dilakukan sebagai persyaratan statistik yang harus dipenuhi pada analisis regresi linear berganda. Untuk memastikan bahwa model regresi yang diperoleh merupakan model yang terbaik, dalam hal ketepatan estimasi, tidak bias,

serta konsisten, maka perlu dilakukan pengujian asumsi klasik (Juliandi et al., 2014).

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1024,42	341,473	510,41	0,000
Besar Sudut Kampuh V	1	38,72	38,718	57,87	0,001
Temperatur Hot Gun	1	7,27	7,268	10,86	0,022
Besar Sudut Kampuh V*Temperatur Hot Gun	1	3,91	3,913	5,85	0,060
Error	5	3,35	0,669		
Total	8	1027,76			

Model Summary

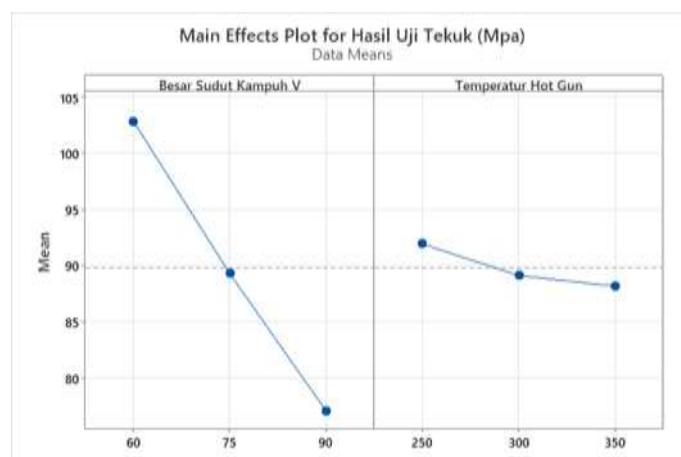
S	R-sq	R-sq(adj)
0,817934	99,67%	99,48%

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Hasil Uji Tekuk (Mpa)} = & 195,2 - 1,256 \text{ Besar Sudut Kampuh V} \\ & - 0,1366 \text{ Temperatur Hot Gun} \\ & + 0,001319 \text{ Besar Sudut Kampuh V*Temperatur Hot Gun} \end{aligned}$$

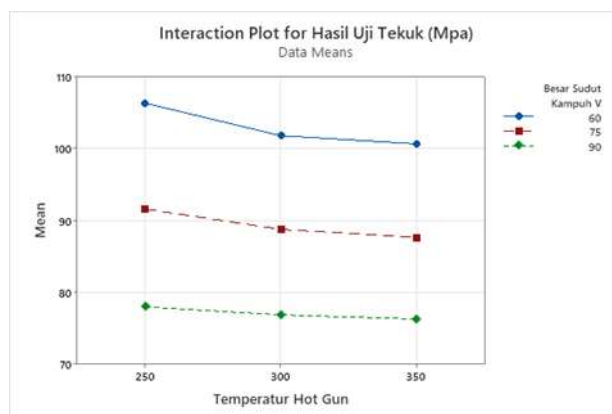
Gambar 4. Hasil Analisis Regresi Linear Berganda

Pada gambar 4 menunjukkan beberapa tabel hasil dari analisis regresi linear sederhana yang mana akan menentukan hasil dari penelitian ini untuk menjawab hipotesis yang telah ditunjukkan sebelumnya. Pada tabel *analysis of variance* terdapat P-Value pada variabel bebas 1 dan 1 masing-masing sebesar 0,001 dan 0,022, dimana nilai tersebut $< 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwasannya variabel 1 dan 2 berpengaruh terhadap hasil dari variabel terikat. Namun, untuk interaksi kedua variabel bebas tersebut tidak terdapat pengaruh terhadap variabel terikat, karena $P\text{-Value} = 0,06 > 0,05$. Model regresi menunjukkan bahwa variasi sudut kampuh V dan temperatur *hot gun* berpengaruh signifikan terhadap kekuatan bending, dengan koefisien determinasi 99,67% dan standar error prediksi 0,817934. Pada *regression equation* dijelaskan bahwa setiap kenaikan 1° sudut kampuh atau 1°C temperatur hot gun menurunkan kekuatan uji tekuk, masing-masing dengan koefisien -1,256 dan -1,366. Bernilai (-) yang berarti meningkatnya variasi tersebut maka hasil kekuatan uji tekuk akan menurun.



Gambar 5 Grafik Main Effect Plot

Dapat dilihat pada gambar 5 terdapat grafik hubungan antara besar sudut kampuh v dengan hasil uji tekuk sambungan las dan grafik hubungan antara temperatur *hot gun* dengan hasil uji tekuk sambungan las. Hasil grafik tersebut menunjukkan nilai kekuatan tekuk tertinggi sebesar 106,25 MPa pada kombinasi sudut kampuh V 60° dan temperatur *hot gun* 250°C , sedangkan nilai terendah sebesar 76,3 MPa pada kombinasi 90° dan 350°C . Variasi sudut kampuh V dan temperatur *hot gun* terbukti mempengaruhi kekuatan tekuk sambungan las HDPE, di mana peningkatan temperatur *hot gun* cenderung menurunkan hasil uji tekuk.



Gambar 6 Interaction Plot

Pada gambar 6 menunjukkan grafik *interaction plot* dimana menghasilkan garis yang tidak saling berpotongan dan sejajar yang berarti interaksi antara variabel bebas 1 dan 2 tidak berpengaruh terhadap hasil kekuatan uji tekuk sambungan las. Pada grafik tersebut juga ditunjukkan ketika besar sudut kampuh naik dari 60° hingga 90° terjadi penurunan pada hasil kekuatan uji tekuk. Begitu juga pada variasi temperature *hot gun* dari 250°C hingga 350°C terjadi penurunan pada hasil kekuatan uji tekuk.

Analisis Makrostruktur

Pengamatan makrostruktur dilakukan untuk mengetahui hasil pengelasan per kombinasi variasi pada proses *hot gas welding* (HGW). Pengamatan digunakan untuk mengetahui cacat las yang dihasilkan dari pengelasan plastik HDPE. Pada gambar dibawah ini (gambar 4.4 sampai dengan 4.6) adalah hasil foto makrostruktur sambungan las material HDPE dari variasi temperature *hot gun* dan sudut kampuh V .



Sudut kampuh V 60°



Sudut kampuh V 75°



Sudut kampuh V 90°

Gambar 7 Foto Makrostruktur dengan Temperatur *Hot Gun* 250°C

Gambar 7 adalah hasil foto makrostruktur sambungan las material HDPE dengan temperatur *hot gun* 250°C dan variasi kampuh V masing-masing 60°, 75°, dan 90°. Pada bagian *root* terdapat penetrasi yang tidak sempurna. Pada temperatur *hot gun* 300°C terdapat cacat las yang dapat dilihat dengan kasat mata. Namun pada temperatur *hot gun* 350°C cacat las yang terjadi tidak separah pada temperatur 300°C. Namun pada sudut 75° penetrasi terjadi hampir sempurna namun celah yang memisahkan dari material induk 1 dan 2 sehingga menjadi titik terlemah untuk terjadinya patah pada saat pengujian.



Sudut kampuh V 60°





Sudut kampuh V 75°



Sudut kampuh V 90°

Gambar 8 Foto Makrostruktur dengan Temperatur *Hot Gun* 300°C

Gambar 8 adalah hasil foto makrostruktur sambungan las material HDPE dengan temperature hot gun 300°C dan variasi sudut kampuh V masing-masing 60°, 75°, dan 90°. Pada bagian *root* terdapat penetrasi yang tidak sempurna. Pada sudut 60° penetrasi terjadi tidak sempurna dan terdapat celah yang memisahkan dari material induk 1 dan 2 sehingga menjadi titik terlemah untuk terjadinya patah pada saat pengujian. Begitu juga pada sudut 75° terdapat celah yang dapat menjadi titik terlemah ketika terjadi pengujian.



Sudut kampuh V 60°



Sudut kampuh V 75°



Sudut kampuh V 90°

Gambar 9 Foto Makrostruktur dengan Temperatur *Hot Gun* 350°C

Gambar 9 adalah hasil foto makrostruktur sambungan las material HDPE dengan temperature hot gun 350°C dan variasi sudut kampuh V masing-masing 60°, 75°, dan 90°. Pada bagian *root* terdapat penetrasi yang tidak sempurna. Pada temperatur *hot gun* 350°C tidak terdapat cacat penetrasi yang menciptakan celah antara material induk. Hal itu disebabkan karena HDPE yang sudah terkena *preheat* akan semakin meleleh ketika terkena temperatur hot gun sebesar 350°C, sehingga kedua material induk akan menyatu yang berbeda dengan hasil pengelasan pada temperatur hot gun 250°C - 300°C. Akan tetapi pada temperatur hot gun 350°C menghasilkan nilai pengujian tekuk yang terendah. Hal itu terjadi karena struktur kristal dari HDPE akan semakin berpisah antar ikatannya karena terkena panas yang melebihi titik leleh sebesar 120°C - 180°C, maka akan mempengaruhi struktur kristal dari HDPE dan efeknya pada kekuatan mekanis hasil pengelasan menjadi lebih rendah daripada temperatur terendah yang digunakan.

Dari ketiga gambar diatas (gambar 4.4 sampai dengan 4.6) dapat disimpulkan bahwa *root gap* yang digunakan sebesar 2 mm tidak dapat menghasilkan penetrasi yang sempurna pada setiap hasil pengelasan. Hal itu terjadi karena sebelum dilakukan pengelasan sudah dilakukan *preheat* terhadap spesimen. Sehingga ketika terkena udara panas yang terkena dari *hot gun* material akan meleleh dengan cepat dan kedua material induk akan tersambung sebelum bahan tambah mencapai bagian *root*. Penetrasi yang tidak sempurna termasuk salah satu cacat las yang dapat mempengaruhi kekuatan mekanis dari sambungan las tersebut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh temperature hot gun dan sudut kampuh V pada proses hot gas welding terhadap kekuatan tekuk hasil sambungan las lembaran HDPE dapat disimpulkan bahwa: Parameter temperature *hot gun* berpengaruh terhadap hasil kekuatan tekuk dari sambungan las lembaran HDPE. Pengaruhnya

dijelaskan bahwa parameter temperature *hot gun* yang digunakan semakin meningkat maka hasil kekuatan tekuk akan menurun. Hal tersebut dipengaruhi karena semakin tinggi temperature yang disetting maka bahan tambah akan semakin meleleh dan dapat merubah struktur HDPE sehingga dapat mengurangi nilai hasil kekuatan tekuk hasil sambungannya.

Parameter sudut kampuh V berpengaruh signifikan terhadap hasil kekuatan tekuk dari sambungan las lembaran HDPE. Pengaruhnya dijelaskan bahwa parameter sudut kampuh V yang digunakan semakin meningkat maka hasil kekuatan tekuk akan menurun. Hal tersebut dipengaruhi karena semakin besar sudut yang disetting maka bahan tambah yang meleleh tidak dapat memenuhi area las yang ada, sehingga hasil uji tekuk lebih besar untuk area las yang lebih kecil daripada area las yang lebih besar pada sambungan las lembaran HDPE.

Hasil interaksi hubungan antara dua variabel bebas yaitu temperature *hot gun* dan sudut kampuh V terhadap hasil kekuatan tekuk dari sambungan las lembaran HDPE tidak dapat pengaruh. Interaksinya dijelaskan bahwa jika parameter temperature *hot gun* dan sudut kampuh V disetting pada kombinasi nilai tinggi 350°C dan 90°, maka hasil kekuatan tekuk sambungan las HDPE mendapatkan nilai yang kecil dan jauh daripada nilai uji tekuk HDPE tanpa sambungan. Sedangkan pada parameter temperature *hot gun* dan sudut kampuh V disetting pada kombinasi nilai rendah 250°C dan 60°, maka hasil kekuatan tekuk sambungan las HDPE mendapatkan nilai yang tinggi dan hampir mendekati daripada nilai uji tekuk HDPE tanpa sambungan. Hal itu didukung pada hasil grafik interaction plot dimana tidak terdapat garis yang berpotongan, dan dibuktikan pada P-Value dari interaksi kedua variabel bebas dengan P-Value > 0,05 yang disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi dan pengaruh dari kedua variabel bebas terhadap variabel terikat.

Saran

Dapat dilakukan variasi *root gap* agar terjadi penetrasi yang baik pada sambungan las. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengelasan dengan variasi kecepatan pengelasan maupun laju aliran udara panas yang keluar. Penggunaan bahan tambah dengan diameter yang berbeda dapat dijadikan sebagai variabel bebas yang digunakan.

DAFTAR REFERENSI

- Adifatama, A. S., Setyawan, D., & Ariesta, R. C. (2024). Studi pengaruh penguatan pada struktur lambung berbahan HDPE terhadap deformasi kapal menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 13(3). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v13i3.152709>
- Ahamad, H., & Haque, S. (2016). Welding of plastics through hot gas technique. *GRD Journals–Global Research and Development Journal for Engineering*, 1(6), 71–75. <http://www.grdjournals.com>
- Arief, R. K. (2017). *Perancangan alat uji tekuk sederhana* (hlm. 190–204).
- ASTM International. (2017). *Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials (D790)*. <https://store.astm.org/d0790-17.html>
- BKI. (2023). *Guidelines for thermoplastic* (Vol. 2, 2023rd ed.). Biro Klasifikasi Indonesia.
- Dharmawan, O. (2019). *Pengaruh variasi suhu preheat terhadap kekuatan tarik dan lebar HAZ pada material A36 dengan menggunakan metode las GTAW* (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Forest Watch Indonesia. (2020). *Menelisik angka deforestasi pemerintah*. <https://fwi.or.id/menelisik-angka-deforestasi-pemerintah/>
- Grewell, D. (2007). *Welding of plastics: Fundamentals and new developments*. Ames.
- Haque, S., Kumar, M., & Khan, A. (2015). Hot gas welding of plastic: Fundamentals & importance. *Invertis Journal of Science & Technology*, 8(4), 216–219. <https://www.researchgate.net/publication/288725232>
- Juliandi, A., Irfan, & Manurung, S. (2014). *Metodologi penelitian bisnis, konsep, dan aplikasi*. UMSU Press.
- Khamid, A. (2011). *Rancang bangun alat uji bending dan hasil pengujian untuk bahan cor* (Tugas akhir).
- Lester Indonesia. (2014). Mengapa HDPE boat mempunyai prospek yang bagus? *BoatIndonesia.com*. <https://boatindonesia.com/2014/03/mengapa-hdpe-boat-mempunyai-prospek-yang-bagus/>
- Lungiding, A. R., Iswidodo, W., & Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Negeri Madura. (2021). Kajian eksperimental kekuatan tarik pada variasi sambungan material HDPE (High Density Polyethylene) untuk kapal pompong di wilayah Madura. Dalam *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (hlm. 120). <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/download/3184/2717/8060>
- Mudjanarko, S. W., Suprayitno, S. T., Limantara, I. A. D., & MM, M. T. (2019). *Variasi HDPE (High Density Polyethylene) untuk lapis aus asphalt concrete wearing coarse (AC-WC)* (N. Azizah, Ed.). Scopindo Media Pustaka. <http://bit.ly/VariasiHDPE>

- Setiawan, A., Witono, K., & Gumono, G. (2022). Pengaruh temperatur pelat-landasan pada jig hot-gas welding dan sudut V-groove terhadap kekuatan tarik sambungan las HDPE sheet. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.33795/jetm.v5i01.116>
- Siswanto, R. W. (2013). Perubahan sifat lentur komposit High Density Polyethylene (HDPE) terhadap pengaruh fraksi volume pengisi serbuk genteng limbah (hlm. 155–158).
- Solorio, J. (2018, March). *The basics of CPVC hot air welding*.
- Sugiyono. (2015). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sulaiman, & Khristyson, S. F. (2022). Analisa sambungan groove pada pengelasan HDPE sebagai material alternatif konstruksi kapal kayu nelayan. *Jurnal Inovtek Polbeng*, 12(1), 9–14. <https://ejournal.polbeng.ac.id/index.php/IP/article/view/2295>
- Witono, K., Setiawan, A., & Susilo, S. H. (2022). Analisis temperatur pelat landasan hot-gas welding dan bentuk bevel terhadap kekuatan tarik lasan HDPE. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 5(2), 11–14. <https://doi.org/10.33795/jetm.v5i02.137>