

Pengaruh Perubahan Arus dan Kecepatan serta Kelembapan *Flux* Terhadap Hasil *Impact* dan Kekerasan serta *Macrostructure Fillet Weld* Hasil Pengelasan *Submerged Arc Welding* (SAW)

Famessa Fitria Lestari, Putu Suwarta

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: proedish@gmail.com

Abstrak–*Submerged Arc Welding* (SAW) adalah salah satu jenis pengelasan busur listrik elektroda terumpan (*consumable electrode*) yang prosesnya berlangsung dalam rendaman *flux*. Hasil pengelasan menggunakan SAW yang baik akan didapatkan jika dilakukan pemilihan parameter arus dan kecepatan serta kelembapan *flux* yang tepat selama proses pengelasan. Pengelasan dilakukan dengan mesin SAW tipe S6TF F2 yang diproduksi oleh ESAB dengan posisi 1F sebanyak dua layer. Percobaan pertama, dilakukan dengan memvariasikan parameter arus dan kecepatan untuk menghasilkan *heat input* yang sama sedangkan potensial dibuat sama. Percobaan kedua, dilakukan dengan memvariasikan kecepatan sedangkan parameter lain dibuat konstan sehingga menghasilkan *heat input* yang berbeda. Sedangkan untuk percobaan ketiga, dilakukan dengan memvariasikan kelembapan. Dari pengujian didapatkan bahwa dengan memvariasikan arus dan kecepatan untuk mendapatkan *heat input* yang sama menghasilkan dimensi HAZ yang berbeda. Dengan menggunakan *flux* yang lembap, maka akan terbentuk cacat berupa porositas. Hasil uji *impact* didapat *impact strength* tertinggi pengelasan terdapat pada kecepatan 33 cm/min, arus 350 A dan kelembapan *flux* 0 %. Nilai kekerasan di daerah *weld metal* dan HAZ untuk seluruh specimen menunjukkan tipikal yang sama kecuali pada specimen F2.

Kata kunci–SAW, *flat fillet*, uji macro, uji *impact*, uji kekerasan.

I. PENDAHULUAN

Pengelasan (*welding*) merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan kawat las dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa kawat las dan menghasilkan sambungan yang *continue*. Salah satu metode pengelasan yaitu las busur terendam (*Submerged Arc Welding*, SAW), adalah jenis pengelasan busur listrik elektroda terumpan (*consumable electrode*) yang prosesnya berlangsung dalam rendaman *flux*. Fungsi kawat las selain sebagai pembangkit busur listrik juga sebagai penambah (*filler*). Saat ini, proses pengelasan dengan menggunakan SAW banyak dipakai karena hasil dan kualitas lasan las yang baik, kecepatan proses produksi yang tinggi sehingga mempercepat dan meningkatkan efisiensi waktu pekerjaan serta dapat mengurangi pengerjaan ulang yang diakibatkan oleh

Tabel 1.
Rancangan eksperimen

| Percobaan | Kode | Parameter | | Flux | Respon |
|-----------|------|-------------|-----------------------|--------|------------------|
| | | Arus, I (A) | Kecepatan, v (cm/min) | | |
| I | H1 | 300 | 29 | Normal | 1. Makrografi |
| | H2 | 350 | 33 | Normal | 2. Uji impact |
| | H3 | 400 | 38 | Normal | 3. Uji kekerasan |
| | H4 | 450 | 43 | Normal | |
| II | A1 | 350 | 30 | Normal | 1. Makrografi |
| | A2 | 350 | 35 | Normal | 2. Uji impact |
| | A3 | 350 | 40 | Normal | 3. Uji kekerasan |
| | A4 | 350 | 45 | Normal | |
| III | F1 | 350 | 33 | 0% | 1. Makrografi |
| | F2 | 350 | 33 | 5% | 2. Uji impact |
| | F3 | 350 | 33 | 10% | 3. Uji kekerasan |

Dimana : 5% = air sebanyak seperempat cup dicampurkan ke dalam lima cup *flux*
10% = air sebanyak setengah cup dicampurkan ke dalam lima cup *flux*

kesalahan *welder*. Saat ini, SAW baru bisa digunakan untuk mengerjakan metode sambungan *fillet* pada dua posisi pengelasan yaitu datar (1F) dan horizontal (2F). SAW banyak dipergunakan dalam penyambungan pipa, konstruksi-konstruksi kapal dan pembuatan tangki penyimpan dilapangan. Walaupun tidak dibutuhkan juru las yang berketerampilan seperti pada proses SMAW, tetapi operator las juga harus berkualifikasi karena banyak parameter yang perlu dipersiapkan dengan ketelitian tertentu. Pemilihan parameter pengelasan dan kelembapan *flux* yang salah akan menghasilkan sambungan yang kurang baik bahkan berbahaya untuk sambungan konstruksi tertentu. Sehingga perlu adanya penelitian untuk menemukan parameter dan *flux* untuk menghasilkan sambungan las terbaik.

II. METODE PENELITIAN

Percobaan I dilakukan dengan memvariasikan arus dan kecepatan namun tetap mempertahankan *heat input* pada kondisi konstan yaitu 18000 J/cm. Adapun penyajian rencana rancangan penelitian bisa dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tahapan pengelasan untuk specimen percobaan I dan II, dilakukan dengan penempatan satu pasang pelat baja A36 yang telah dipersiapkan untuk dilas, sehingga membentuk sambungan tee, pengaturan parameter pengelasan specimen dengan menginput data sesuai dengan parameter pengelasan, pengelasan untuk layer pertama dilakukan. *Slag*/terak hasil

pengelasan dibiarkan sebentar dan jangan lupa ditutupi dengan *flux* sehingga sudah tidak berwarna merah kemudian dibersihkan, ujung elektroda dikikir supaya pada pengelasan selanjutnya bisa terjadi loncatan api. Setelah itu, dilakukan pengelasan untuk layer yang kedua, dan terak dibersihkan kembali dengan palu terak dan sikat baja, spesimen dilepaskan dari alat bantu dengan menggunakan bantuan gerinda tangan jika terdapat kesulitan apabila menggunakan cara manual, pemotongan spesimen dengan ketebalan 20 mm untuk pengujian kekerasan, dan 13 mm untuk uji *impact*. Pengelasan percobaan III dilakukan menggunakan variasi kelembapan *flux* seperti telah diuraikan pada Tabel 1.

Persiapan spesimen pengamatan visual dilakukan dengan penggerindaan spesimen yang telah dipersiapkan sebelumnya dengan mesin gerinda menggunakan kertas gosok grit 200 sampai 1000 secara bertahap. Mengetsa *macro* spesimen dengan mencelupkan ke dalam cairan asam nitrit+aquades selama 3–5 menit lalu mencelupkan spesimen ke dalam alkohol dan kemudian spesimen dicuci dengan air dan dikeringkan dengan *hair dryer*. Penandaan batas *weld metal*, HAZ, dan *based metal* dengan menggunakan *cutter*, *cutter*. Spesimen difoto kemudian dilakukan pengukuran daerah *weld metal*, dan HAZ menggunakan *software* CATIA. Pemolesan ulang spesimen untuk menghilangkan goresan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan jarak 1 mm mulai dari *weld metal*, HAZ hingga *based metal* menggunakan alat uji.

Pengujian *impact* dilakukan dengan Spesimen yang telah dipotong setebal 13 mm kemudian *diskrap* tiap permukaan spesimen hingga kedua sisinya halus dan memiliki ketebalan 10 mm. Pada salah satu sisi spesimen *dichamper* dengan sudut 60°. Pembuatan *notch* berbentuk U pada spesimen sesuai metode *izod* dengan menggunakan gergaji besi sedalam 13 mm seperti pada. Peletakan spesimen pada jig dan fixture seperti pada Gambar 1. Bandul dinaikkan sampai sudut awal 130°. Bandul dilepaskan dari penyangga hingga menumbuk spesimen kemudian sudut akhir bandul yang ditunjukkan oleh jarum mesin *impact* dicatat. Ayunan bandul dihentikan, kemudian penyangga dan bandul dikembalikan ke posisi semula. Pengamatan visual dilakukan pada sambungan las sebagai hasil evaluasi.

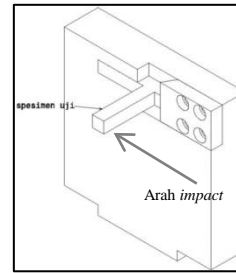
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa dan Hasil Pengamatan Visual

Setelah dilakukan pengamatan dan pengukuran secara visual menggunakan *software* CATIA didapatkan lebar HAZ yang kemudian diambil nilai rata-rata, pengukuran kedalaman penetrasi, dan lebar kampuh las. Data secara lengkap bisa dilihat pada Tabel 3.

Dengan menggunakan *heat input* 18000 J/cm. Hasil pengelasan percobaan I yang telah dipotong, dipoles lalu *dietsa* makro sehingga didapat daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* seperti terlihat pada Gambar 2.

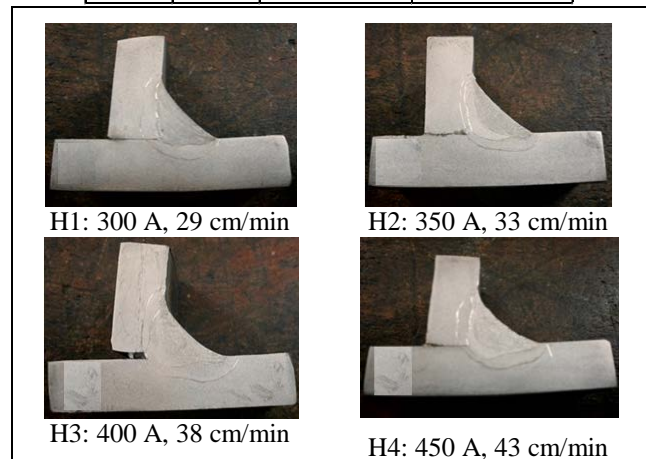
Dari gambar di atas terlihat bahwa spesimen H4 memiliki permukaan *weld metal* yang lebih cekung bila dibandingkan dengan spesimen percobaan I lainnya. Dari Tabel 2 bisa dilihat bahwa dimensi HAZ tidak sama dan hal ini juga dapat terlihat pada Gambar 3. Kedalaman penetrasi dan lebar *weld metal* berbeda satu dengan yang lain walaupun pengelasan dilakukan dengan *heat input* yang sama (18000 J/cm). Bisa dikatakan dalam hal ini bahwa arus



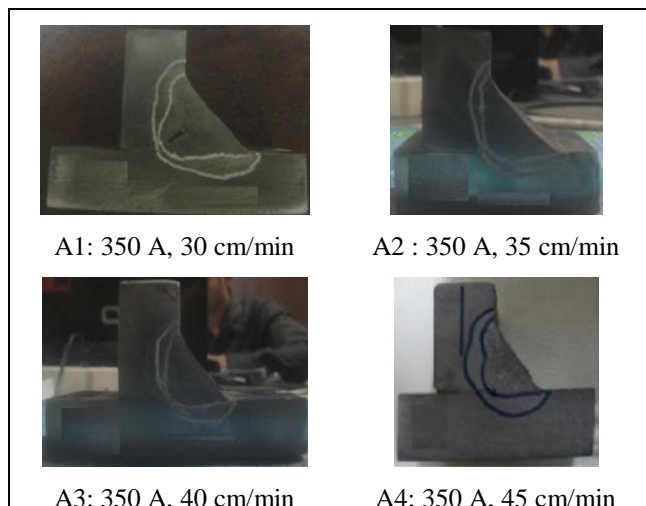
Gambar 1. Penempatan spesimen pada jig dan fixture

Tabel 2.
Data pengukuran dimensi lasan

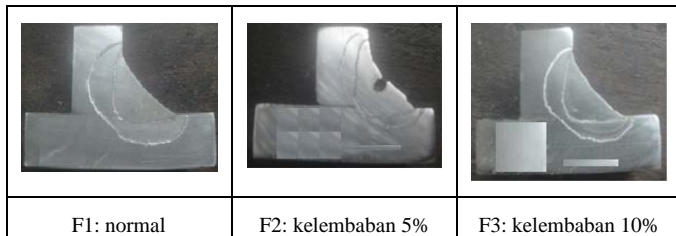
| Kode | HAZ | Kedalaman Penetrasi | Lebar Weld Metal |
|------|-------|---------------------|------------------|
| H1 | 2,087 | 7,060 | 15,332 |
| H2 | 1,759 | 6,912 | 15,435 |
| H3 | 2,256 | 8,283 | 16,800 |
| H4 | 1,828 | 8,354 | 15,419 |
| A1 | 1,939 | 8,441 | 15,483 |
| A2 | 1,550 | 7,322 | 15,939 |
| A3 | 1,626 | 7,013 | 13,698 |
| A4 | 1,917 | 6,512 | 13,405 |
| F1 | 3,130 | 7,205 | 14,411 |
| F2 | 2,096 | 6,637 | 15,388 |
| F3 | 2,440 | 6,500 | 14,872 |



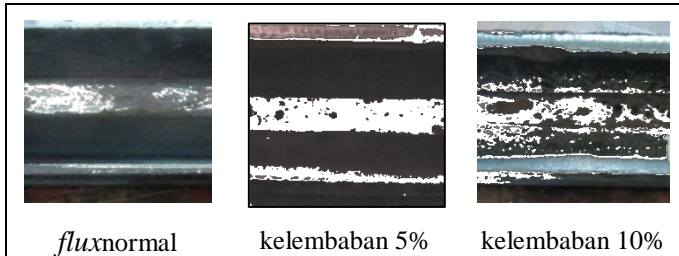
Gambar 2. Hasil makrografi percobaan dengan *heat input* konstan



Gambar 3. Hasil makrografi percobaan pengelasan dengan variasi kecepatan



Gambar 4. Hasil etsa makro penampang lasan percobaan dengan kelembapan flux berbeda



Gambar 5. Kehadiran porositas pada pengelasan dengan flux lembap

dan kecepatan pengelasan mempunyai pengaruh tersendiri dalam menentukan morfologi lasan. Pada Gambar 4 terlihat perbedaan dimensi antara daerah lasan yang satu dengan yang lain. Perubahan kecepatan tidak menunjukkan perbedaan yang jelas pada lebar HAZ, walaupun penetrasi pengelasan meningkat dengan semakin rendahnya kecepatan pengelasan. Heat input yang lebih besar yang bisa dihasilkan pada pengelasan dengan kecepatan pengelasan yang lebih rendah ini bisa menjadi penyebab penetrasi yang lebih dalam ini.

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil pengelasan dengan flux yang lebihkering,0% kelembapan, menghasilkan permukaan karpas las yang lebih rata danpenetrasiyang lebih dalam. Kehilangan sebagian panas karena adanya kelembapan flux bisa menjadi penyebab penurunan penetrasi.

Pada kasus yang terdapat pada spesimen F2 dan F3, porositas dapat disebabkan oleh kelembapan dari fluks yang digunakan. Peningkatan kelembapan flux menghasilkan cacat-cacat porositas yang semakin banyak dengan ukuran lubang yang semakin besar seperti tampak pada Gambar 10.

B. Analisa dan Hasil Uji Impact

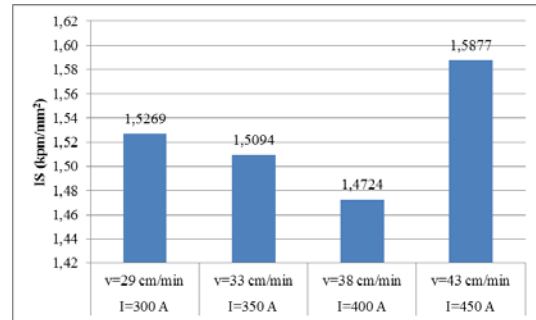
Grafik pada Gambar 6menunjukkan perbandingan IS sebagai fungsi heat input konstan (18000 J/cm). Pengelasan dilakukan dengan memvariasikan arus dan kecepatan selama pengelasan. Bila dibandingkan dengan Tabel 3, weld metal yang besar dan penetrasi yang dalam tidak berpengaruh terhadap nilai kekuatan impact. Dengan menggunakan heat input yang sama, kualitas lasan dengan kenaikan arus dan kecepatan mengakibatkan kekuatan impact yang cenderung turun. Pada grafik terlihat bahwa nilai IS menurun hingga parameter las dengan kecepatan 38 cm/min dan arus 400 A, kemudian naik kembali pada saat pengelasan menggunakan kecepatan 43 cm/min dan arus 450 A.

Gambar 7 merupakan grafik IS sebagai fungsi kecepatan pengelasan dimana semakin tinggi kecepatan selama pengelasan maka harga IS akan menjadi semakin besar. Dari Tabel 3 terlihat bahwa kekuatan impactnaik dengan semakin dangkal penetrasi dan weld metal kecil akibat proses pengelasan yang dilakukan semakin cepat. Nilai IS naik pada saat kecepatan 35cm/min lalu turun pada saat

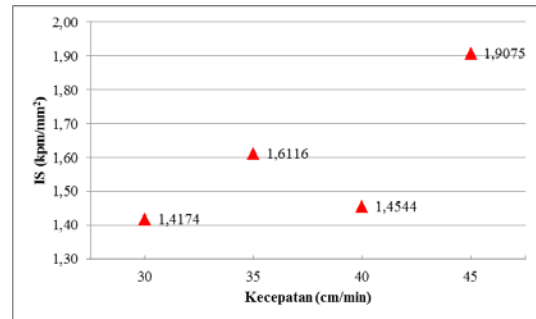
Tabel 4. Hasil uji impact

| Kode | Parameter Las | | α° | β° | | A (mm ²) | | IS (kpm/mm ²) | | IS _{avg} (kpm/mm ²) |
|------|---------------|------------|----------------|---------------|----|----------------------|----|---------------------------|-------|------------------------------------------|
| | I (A) | v (cm/min) | | I | II | I | II | I | II | |
| | | | | | | | | | | |
| H1 | 300 | 29 | 130 | 30 | 28 | 65 | 60 | 1,457 | 1,597 | 1,5269 |
| H2 | 350 | 33 | 130 | 30 | 32 | 60 | 65 | 1,579 | 1,440 | 1,5094 |
| H3 | 400 | 38 | 130 | 42 | 32 | 70 | 55 | 1,243 | 1,702 | 1,4724 |
| H4 | 450 | 43 | 130 | 28 | 30 | 60 | 60 | 1,597 | 1,579 | 1,5877 |
| A1 | 350 | 30 | 130 | 27 | 30 | 65 | 70 | 1,481 | 1,353 | 1,4174 |
| A2 | 350 | 35 | 130 | 28 | 27 | 55 | 65 | 1,742 | 1,481 | 1,6116 |
| A3 | 350 | 40 | 130 | 65 | 70 | 40 | 50 | 1,672 | 1,237 | 1,4544 |
| A4 | 350 | 45 | 130 | 44 | 56 | 40 | 45 | 2,138 | 1,677 | 1,9075 |
| F1 | 350 | 33 | 130 | 34 | 45 | 40 | 40 | 2,310 | 2,310 | 2,3100 |
| F2 | 350 | 33 | 130 | 28 | 28 | 80 | 65 | 1,197 | 1,474 | 1,3356 |
| F3 | 350 | 33 | 130 | 55 | 55 | 50 | 50 | 1,527 | 1,527 | 1,5274 |

Menunjukkan spesimen tidak patah



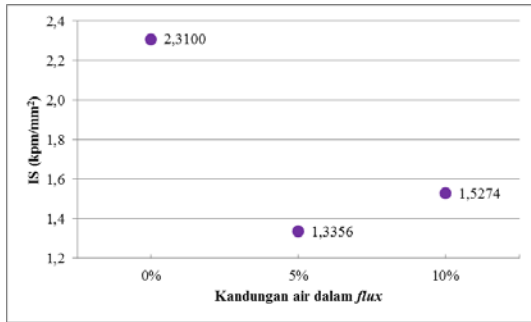
Gambar 6. Grafik perbandingan Impact Strength pada pengelasan dengan heat input konstan.



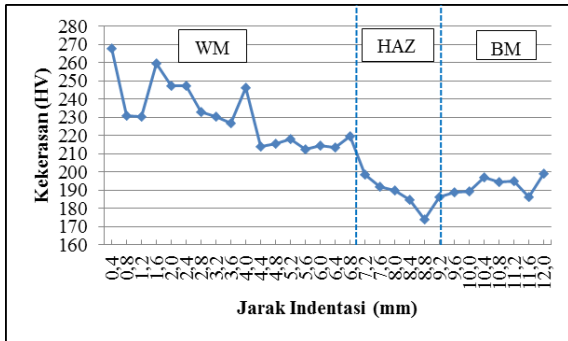
Gambar 7. Impact Strength sebagai fungsi kecepatan pengelasan.

kecepatan 40cm/min kemudian naik kembali pada saat kecepatan 45cm/min.

Gambar 8 merupakan grafik IS sebagai fungsi kelembapan dimana pada saat flux semakin lembap maka nilai IS cenderung lebih rendah akibat semakin dangkal penetrasi. IS naik pada saat kelembapan 0% lalu turun pada saat kecepatan 5% kemudian naik kembali pada saat kecepatan 10%. Nilai IS tertinggi terjadi pada saat pengelasan dengan kelembapan flux 0% (tidak ada penambahan air sama sekali dalam flux) yaitu 2,3100 kpm/mm² yang merupakan spesimen dengan pola patah. Nilai IS terendah terjadi pada saat pengelasan dengan kelembapan flux 5% yaitu 1,3356 kpm/mm² yang mempunyai pola patah. Hal tersebut terjadi karena pada saat pengelasan terak yang masih panas dan belum dingin tidak tertutup oleh flux. Sebab flux terdapat di dalam hopper yang basah tidak dapat keluar sehingga pada spesimen F3 butuh usaha ekstra dengan menutupi slag yaitu dengan cara manual.



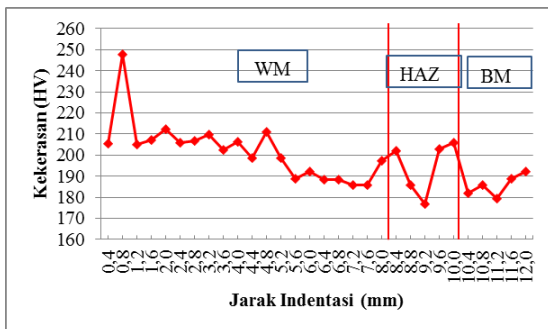
Gambar 8. Impact Strength sebagai fungsi kelembapan flux.



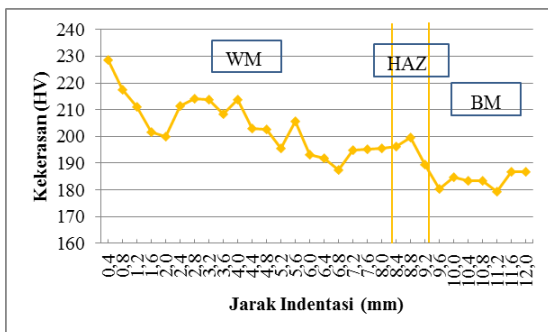
H1: 300 A; 29 cm/min



H2: 350 A; 33 cm/min



H3: 400 A; 38 cm/min



H4: 450 A; 43 cm/min

Gambar 9. Grafik kekerasan, H fungsi *heat input* konstan

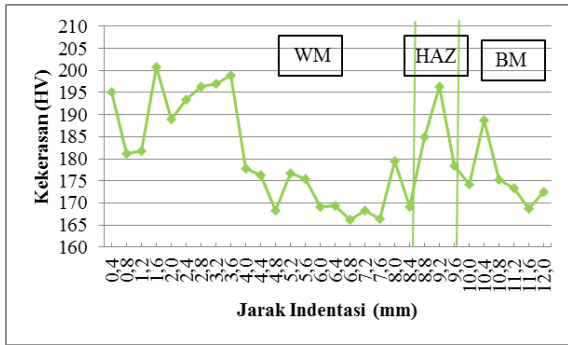
C. Analisa Grafik Uji Kekerasan

Gambar 9 spesimen H1 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi *heat input* konstan menggunakan arus 300 A dan kecepatan 29 cm/min. Kekerasan pada daerah weld metal cenderung menurun sampai daerah HAZ kemudian naik kembali pada daerah base metal. Berdasarkan grafik diatas didapat nilai kekerasan tertinggi pada daerah weld metal terdapat pada jarak indentasi 0,4 mm yaitu 268,0 HV dan kekerasan terendah terletak pada jarak indentasi 5,6 mm yaitu 212,5 HV. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ terdapat pada jarak indentasi 7,2 mm dengan 198,5 HV dan kekerasan terendah terdapat pada jarak indentasi 8,8 mm dengan nilai kekerasan 174,0 HV. Sedangkan pada daerah *base metal* nilai kekerasan tertinggi terletak pada jarak indentasi 10,4 mm yaitu 197,2 HV dan terendah pada jarak 11,6 mm yaitu 186,0 HV.

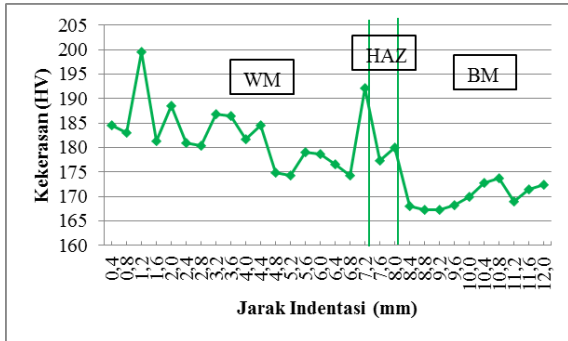
Gambar 9 merupakan grafik uji kekerasan spesimen H2 menggunakan arus 350 A dan kecepatan 33 cm/min. Kekerasan pada daerah *weld metal* cenderung naik hingga jarak indentasi 1,2 mm kemudian turun kembali dengan tren yang agak tajam hingga jarak 6,8 mm. Daerah HAZ dan *base metal* memiliki kekerasan dengan tren yang naik. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* terdapat pada jarak indentasi 2,0 mm yaitu 275,4 HV dan kekerasan terendah terletak pada jarak indentasi 6,8 mm yaitu 219,4 HV. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ terdapat pada jarak indentasi 8,4 mm yaitu 184,6 HV dan kekerasan terendah terdapat pada jarak indentasi 7,2 mm dengan nilai kekerasan 202,3 HV. Sedangkan pada daerah base metal nilai kekerasan tertinggi terletak pada jarak indentasi 11,6 mm yaitu 240,3 HV dan terendah pada jarak 8,8 mm yaitu 206,6 HV.

Gambar 9 menunjukkan grafik uji kekerasan spesimen H3 dengan arus 38 cm/min. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *weld metal* pada jarak indentasi 0,8 mm lalu kekerasan mengalami penurunan dan mengalami peningkatan pada saat mendekati *fusion line*. Kekerasan menurun kembali pada saat berada di daerah HAZ. Kekerasan di daerah HAZ pada jarak indentasi 9,2 mm merupakan kekerasanterendah pada spesimen H3. Kekerasan selanjutnya meningkat tajam pada saat memasuki daerah *base metal* yang selanjutnya terlihat turun tajam kemudian konstan.

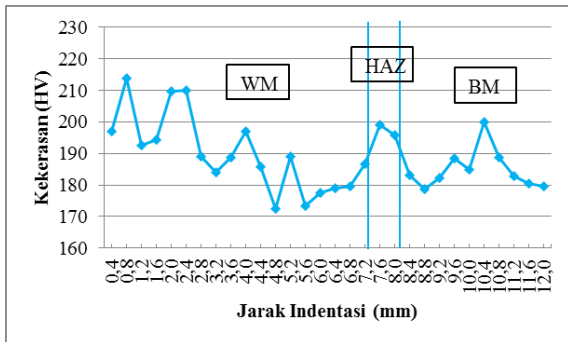
Gambar 9 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi *heat input* konstan dan hasil indentasi spesimen H4 menggunakan arus 450 A dan kecepatan 43 cm/min. Kekerasan tertinggi terdapat pada jarak 0,4 mm yang berada pada daerah *weld metal* yang lalu menurun tajam kemudian naik kembali dan turun kembali. Pada saat mendekati *fusion line* kekerasan hanya mengalami sedikit peningkatan dan menurun kembali pada saat berada di daerah HAZ lalu menurun tajam hingga daerah *base metal*. Pada daerah tersebut kekerasan terlihat cenderung konstan. Kekerasan di daerah *weld metal* pada spesimen H4 terlihat paling tinggi dibanding dengan area HAZ maupun *base metal*.



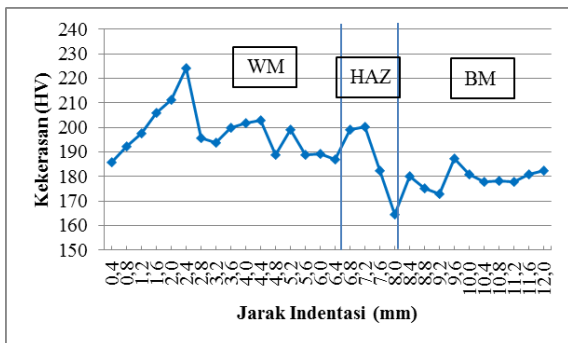
A1: 30 cm/min



A2: 35 cm/min



A3: 40 cm/min



A4: 45 cm/min

Gambar 10. Grafik kekerasan, A fungsi variasi kecepatan

Gambar 10 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi kecepatan pengelasan A1. Pengelasan dilakukan pada kecepatan 30 cm/min. Kekerasan di daerah *weld metal* di awal indentasi (jarak 0,4 mm) terlihat cukup tinggi namun mengalami penurunan yang cukup tajam (jarak 0,8 mm) lalu naik kembali dan turun kembali. Kekerasan pada jarak indentasi 4,0 mm sampai 7,6 mm terlihat cukup rendah dan bahkan bila dilihat pada jarak 6,8 mm merupakan kekerasan terendah. Selanjutnya kekerasan naik dengan tajam pada jarak 8,0 mm lalu turun kembali ketika mendekati *fusion line*.

line. Pada daerah HAZ kekerasan naik dengan signifikan dan kembali turun ketika mendekati daerah *base metal*. Bila dilihat, kekerasan di *base metal* pada jarak 10,4 mm cukup tinggi.

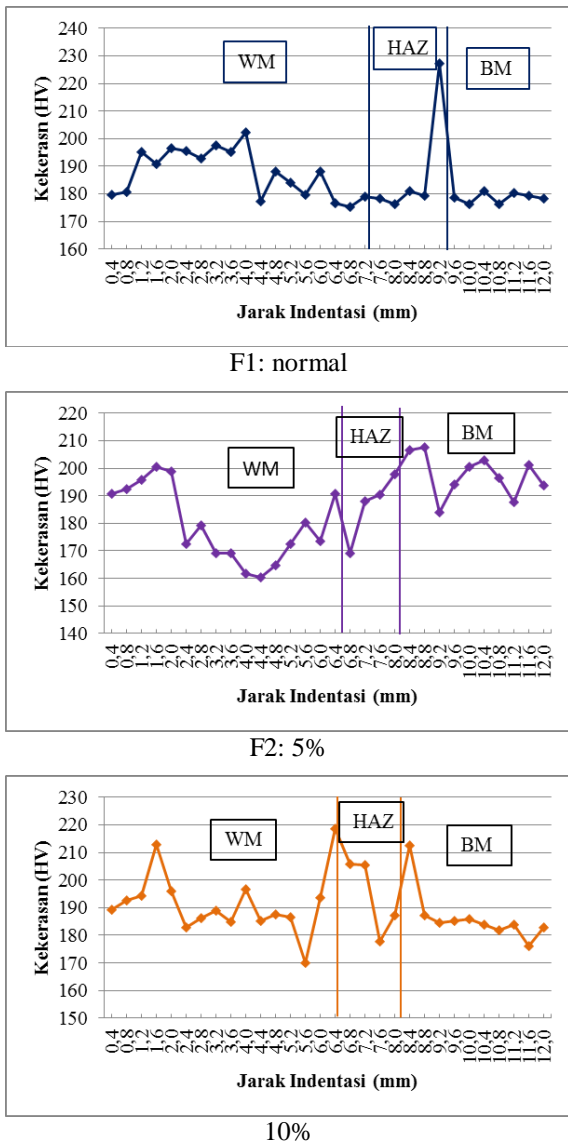
Gambar 10 menunjukkan grafik kekerasan fungsi kecepatan pengelasan untuk spesimen A2. Dari grafik terlihat bahwa kekerasan terendah terletak di daerah *base metal* yaitu 167,3 HV (jarak 8,8 mm dan 9,2 mm) dan tertinggi di *weld metal* 199,5 HV (jarak 1,2 mm). Hal ini terjadi karena daerah *base metal* tidak mendapat pengaruh panas akibat pengelasan dilakukan dengan kecepatan yang cukup cepat yaitu 35 cm/min. Meski kekerasan di *weld metal* cukup tinggi namun tetap konstan. Pada saat mendekati *fusion line* kekerasan kembali turun hingga daerah HAZ. Di daerah ini kekerasan stabil kemudian menurun tajam pada saat memasuki *base metal*. Pada daerah *base metal*, kekerasan umumnya rendah dan stabil.

Gambar 10 menunjukkan grafik kekerasan fungsi kecepatan pengelasan spesimen A3 pada saat kecepatan 40 cm/min. Dapat terlihat jelas bahwa kekerasan tertinggi dan terendah terletak pada daerah *weld metal* yang umumnya tidak stabil yang disebabkan oleh *weld metal* mendapat panas yang tinggi dengan proses pengelasan yang sangat cepat. Namun ketika mendekati *fusion line* yaitu pada jarak 6,0 mm sampai 6,8 mm kekerasan cenderung stabil. Pada HAZ, kekerasan kembali naik dengan cukup tajam kemudian turun kembali ketika memasuki daerah *base metal*. Pada *base metal*, kekerasan terlihat cenderung stabil meski pada jarak 10,4 mm mengalami peningkatan namun tidak terlalu tajam.

Dari Gambar 10 merupakan grafik kekerasan dengan kecepatan 45 cm/min. Dari grafik dapat dilihat bahwa kekerasan di *weld metal* meningkat secara perlahan di awal indentasi sampai 2,4 mm (merupakan kekerasan tertinggi yaitu 224,2 HV) kemudian menurun pada jarak 2,8 mm. Dari grafik terlihat jelas bahwa nilai kekerasan umumnya terlihat naik turun namun tetap konstan yang berkisar antara 185 HV – 205 HV. Pada saat mendekati *fusion line* kekerasan naik secara perlahan hingga memasuki daerah HAZ. Di awal indentasi daerah HAZ cukup konstan lalu mengalami penurunan yang cukup tajam pada saat indentasi berada pada jarak 8,0 mm yang merupakan kekerasan terendah pada spesimen A4 yaitu 164,5 HV. Di daerah *base metal* kekerasan terlihat konstan berada antara 170 HV – 190 HV.

Pada Gambar 11 menunjukkan grafik kekerasan sebagai fungsi kelembapan *flux* F1. Dari grafik ini terlihat bahwa kekerasan terendah terletak pada daerah *weld metal*. Hal ini dimungkinkan pada saat pengelasan *flux* yang digunakan benar-benar kering sehingga pemanasan yang diperlukan cukup sehingga pendinginan dapat terjadi secara perlahan. Di sini terlihat bahwa nilai kekerasan di daerah *weld metal* terlihat cukup konstan yang berkisar antara 170 HV – 210 HV. Kekerasan di daerah HAZ terlihat cukup konstan setelah melewati *fusion line* namun naik dengan sangat signifikan pada jarak 9,2 mm yang merupakan titik dengan kekerasan tertinggi yaitu 196,4 HV kemudian turun kembali pada saat memasuki *base metal*. Di area ini, terlihat bahwa kekerasan cukup stabil.

Pada Gambar 11 merupakan grafik kekerasan fungsi kelembapan *flux* spesimen F2. Dapat dilihat bahwa kekerasan di daerah *weld metal* cenderung lebih rendah



Gambar 11. Grafik kekerasan, F fungsi kelembapan flux

dibandingkan daerah *base metal*. Hal ini mungkin akibat flux yang lembap tidak dapat langsung menutupi slag yang masih membara sehingga uap air dapat masuk diantara *weld metal* dan *base metal* yang mempengaruhi kekerasan di daerah *weld metal*. HAZ mengalami pendinginan yang cepat akibat kelembapan yang dimiliki oleh flux. Dari grafik juga terlihat bahwa kekerasan pada area *weld metal*, HAZ serta *base metal* sangat tidak stabil.

Pada Gambar 11 menunjukkan grafik kekerasan untuk spesimen F3 dengan menggunakan kelembapan flux 10%. Kekerasan pada grafik tersebut terlihat cenderung lebih stabil bila dibandingkan dengan grafik pada Gambar 4.16. Hal ini disebabkan pada saat pengelasan selesai dilakukan, slag langsung ditutupi dengan flux yang sama secara manual sehingga dapat meminimalkan terjadinya cacat porositas. Dari grafik terlihat kekerasan tertinggi terletak pada *weld metal* pada saat indentasi berada pada jarak 6,4 mm yaitu 218,7 HV dan terendah pada jarak 5,6 mm yaitu 169,9 HV. Kekerasan di daerah HAZ cenderung lebih stabil pada dua indentasi awal lalu mengalami penurunan yang signifikan pada jarak 7,6 mm kemudian naik kembali hingga memasuki daerah *base metal*. Setelah memasuki *base metal*,

kekerasan kembali turun dan selanjutnya berlangsung konstan berkisar antara 175 HV – 190 HV.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan serangkaian percobaan dan analisa data, maka dapat diperoleh kesimpulan dari penelitian tugas akhir diantaranya:

1. Dengan menggunakan *heat input* sama menghasilkan lebar HAZ yang berbeda. Dengan menambah arus dan kecepatan pengelasan maka akan menghasilkan manik las yang lebih halus dan mempengaruhi kedalaman penetrasi serta dimensi kampuh.
2. Dengan menggunakan kecepatan pengelasan yang tinggi akan menghasilkan penetrasi yang lebih dangkal dan kampuh las menjadi lebih sempit akibat pemanasan yang kurang.
3. Dengan menggunakan flux yang lembap, menghasilkan cacat porositas.
4. Dari pengujian *impact* jika pengelasan menggunakan *heat input* 1800 J/mm maka parameter terbaik adalah kecepatan 43 cm/min dan arus 450 A, jika pengelasan dilakukan pada arus 350 A maka kecepatan pengelasan paling baik adalah 45 cm/min dan terpenting menggunakan flux yang kering (kelembapan 0%).
5. Nilai kekerasan yang paling tinggi pada pengelasan dengan menggunakan *heat input* sama terdapat pada sperimen dengan parameter kecepatan 33 cm/min dan arus 350 A yaitu 275,4 HV; jika pengelasan menggunakan arus 350A kekerasan tertinggi pada kecepatan 45cm/min yaitu 224,2 HV dan jika melihat kelembapan flux kekerasan tertinggi pada flux dengan kondisi kering (kelembapan 0%) yaitu 227,2 HV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afif, E. A. 2013. Laporan Praktikum Uji Material Teknik Departemen Teknik Mesin FT-UI. <http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/uji-bahan-impact-test-atau-uji-tumbuk_22.html>.
- [2] Aziz, M. 2011. Uji Impact. < <http://material12-its.blogspot.com/2011/08/uji-impact.html>>.
- [3] Dani, D. K. W. 2010. Pengujian Impact Fenomena Patahan.<<http://danidwikw.wordpress.com/2010/12/17/pengujian-impact-dan-fenomena-perpatahan/>>
- [4] Djatmiko, R. D. 2008. Diktat Teori Fabrikasi 2 STM 234(2SKS Teori)Semester Gasal. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- [5] ESAB. 2002. Submerged Arc Welding.
- [6] ESAB. 2010. ISO and ESAB *Welding Positions*. <www.esab.co.uk/gb/en/support/upload/XA00152120=welding_positions_ENG-new-ISO-june-2010.pdf>.
- [7] Klas Weman. 2003. *Welding Process Handbook*. Boca Raton Boston New York Washington, DC: CRC Press.
- [8] Kou, S. 2003. *Welding Metallurgy* Second Edition. United States of America: A John Wiley & Sons, INC., Publication.
- [9] Lusianti, dkk.2013. Laporan Praktikum Uji Impact.<<http://teknikmesin2011unila.blogspot.com/2013/02/uji-impact.html>>.
- [10] Mata Kulia. 2010. Metalografi. <http://ponimanmultin.blogspot.com/2010/11/metalografi.html>
- [11] Sanjaya, R. 2013. Uji Bahan: Impact Test atau Uji Tumbuk. <http://navale-engineering.blogspot.com/2013/02/uji-bahan-impact-test-atau-uji-tumbuk_22.html>.
- [12] Subandi.2009. Ssubmerged Arc Welding (Pengelasan Busur Terendam).<www.gammabuana.co.id/administrator/data/3.pdf>.
- [13] Wiryosumarto, H., dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pertja.