

Studi Kekuatan Sambungan Las Baja AISI 1045 dengan Berbagai Metode Posisi Pengelasan

Tarkono, Sugiyanto, Andriyanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jalan Profesor Sumantri Brojonegoro No.1, Gedongmeneng, Bandar Lampung 35145
E-mail: tarkono@unila.ac.id, tarkono_irfan@yahoo.com

Abstrak

Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan lain sebagainya. Selain untuk pembuatan, proses pengelasan juga digunakan untuk reparasi atau perbaikan. Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas.

Studi yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan mutu pada setiap posisi pengelasan (down hand position, horizontal position, vertical position, over head position) pada sambungan las butt weld joint, agar dapat memperbaiki kekuatan dari hasil sambungan lasnya.

Baja yang digunakan yaitu baja karbon sedang (AISI 1045) dan empat posisi pengelasan yaitu down hand position, horizontal position, vertical position, dan over head position. Pengelasan dilakukan dengan las SMAW dengan menggunakan kampuh single V, single U dan single J serta lapisan las sebanyak 3 lapis (single V, single U dan single J) dan 4 lapis (single V dan single U).

Ukuran spesimen uji tarik sesuai standar ASTM E-8 tahun 2004. Dari data hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata kekuatan tarik pada semua kampuh las dengan lapisan las sebanyak tiga lapis yang tertinggi yaitu pada pengelasan down hand position kemudian vertical position dan horizontal position dan rata-rata kekuatan tarik terendah yaitu pada pengelasan over head position. Kekuatan tarik dari pengelasan horizontal position dapat diperbaiki dengan memperbanyak lapisan las agar semua kampuh dapat terisi penuh. Sedangkan untuk memperbaiki nilai kekuatan tarik pada pengelasan over head position dapat menggunakan kampuh las yang lebih luas serta memperbanyak lapisan las agar semua kampuh las terisi penuh.

Kata kunci: posisi pengelasan, butt weld joint, baja AISI 1045

1. Pendahuluan

Posisi atau sikap pengelasan merupakan fenomena yang menarik untuk dipelajari. Posisi pengelasan dapat mempengaruhi sifat dan kualitas dari hasil pengelasan. Posisi pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Ada 4 (empat) posisi pengelasan pada las busur listrik yaitu posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*), posisi pengelasan tegak (*vertical position*) dan posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*) [3], [8]. Ditinjau dari segi kemudahan melakukan pengelasan, dari keempat posisi pengelasan tersebut posisi pengelasan di bawah tanganlah yang paling mudah. Selain itu, posisi pengelasan di bawah tangan juga adalah posisi pengelasan dengan hasil las yang paling baik [1]. Namun posisi pengelasan di bawah tangan tidak selalu digunakan dalam proses pengelasan karena harus diperhatikan letak pekerjaan lasnya, misalnya dalam pengelasan kapal banyak menggunakan posisi pengelasan mendatar atau tegak, bahkan posisi pengelasan di atas kepala [7].

Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Posisi-posisi pengelasan terdiri dari posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*), posisi pengelasan tegak (*vertical position*), dan posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*) [1].

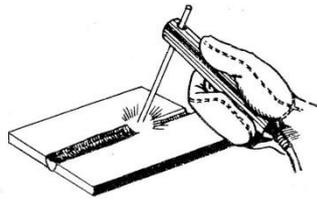
1. Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*)
Posisi pengelasan ini adalah posisi yang paling mudah dilakukan. Posisi ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan agak miring, yaitu letak elektroda berada di atas benda kerja (gambar 1a).
2. Posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*)
Mengelas dengan posisi mendatar merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis mendatar/horizontal. Pada posisi pengelasan ini kemiringan dan arah ayunan elektroda harus diperhatikan, karena akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit dari arah elektroda las. Pengelasan posisi mendatar sering digunakan untuk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak (gambar 1b). Misalnya pengelasan badan kapal laut arah horizontal.
3. Posisi pengelasan tegak (*vertical position*)

Mengelas dengan posisi tegak merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis tegak/vertikal. Seperti pada *horizontal position* pada *vertical position*, posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit searah dengan gerak elektroda las yaitu naik atau turun (gambar 1c). Misalnya pengelasan badan kapal laut arah vertikal.

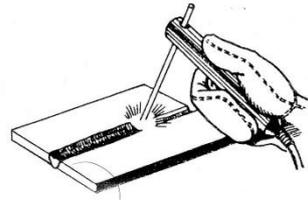
4. Posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*)
Benda kerja terletak di atas kepala *welder*, sehingga pengelasan dilakukan di atas kepala operator atau *welder*. Posisi ini lebih sulit dibandingkan dengan posisi-posisi pengelasan yang lain. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau agak miring tetapi posisinya berada di atas kepala, yaitu letak elektroda berada di bawah benda kerja (gambar 1d). Misalnya pengelasan atap gudang bagian dalam.

Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*) memungkinkan penetrasi dan cairan logam tidak keluar dari kampuh las serta kecepatan pengelasan yang lebih besar dibanding lainnya. Pada *horizontal position*, cairan logam cenderung jatuh ke bawah, oleh karena itu busur (*arc*) dibuat sependek mungkin. Demikian pula untuk *vertical* dan *over head position*. Penimbunan logam las pada pengelasan busur nyala terjadi akibat medan *electromagnetic* bukan akibat gravitasi, pengelasan tidak harus dilakukan pada *down hand position* ataupun *horizontal position* [1].

5

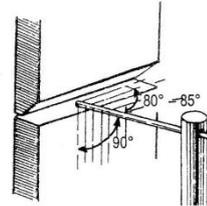
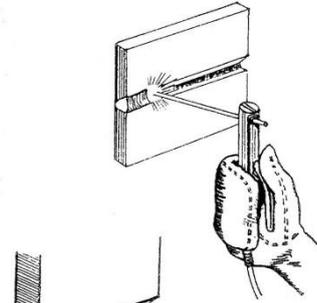


10



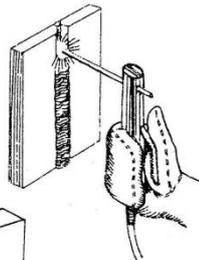
15

(a) *Down hand position*

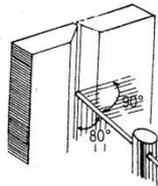


(b) *Horizontal position*

20

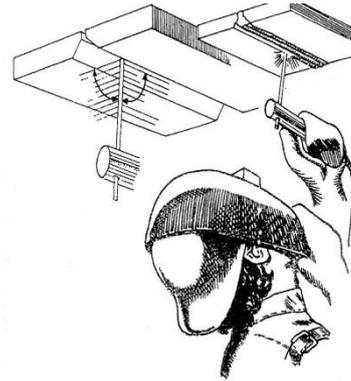


25



30

(c) *Vertical position*



35

(d) *Over head position*

Gambar 1. Posisi pengelasan.

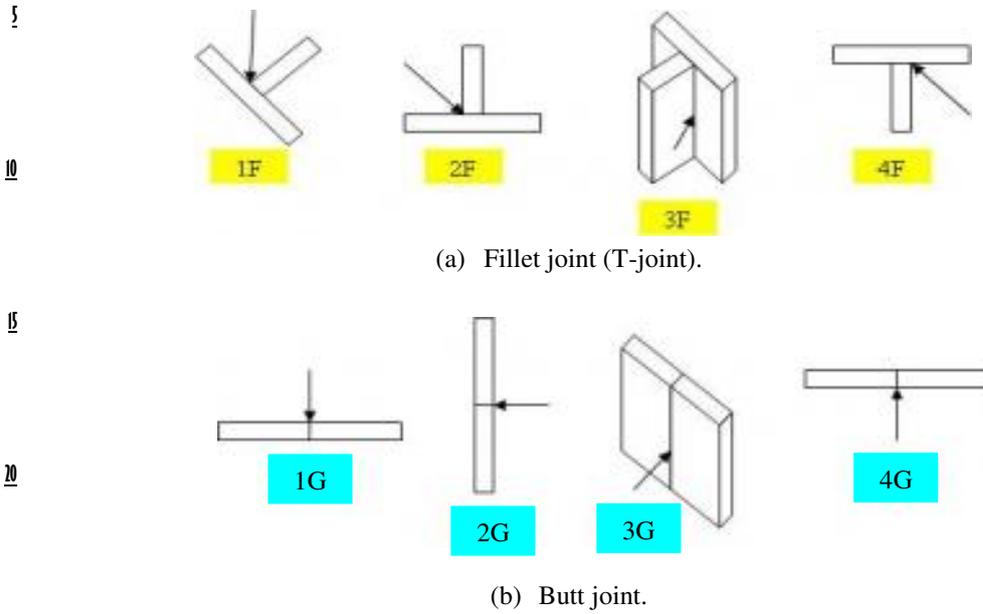
40

45

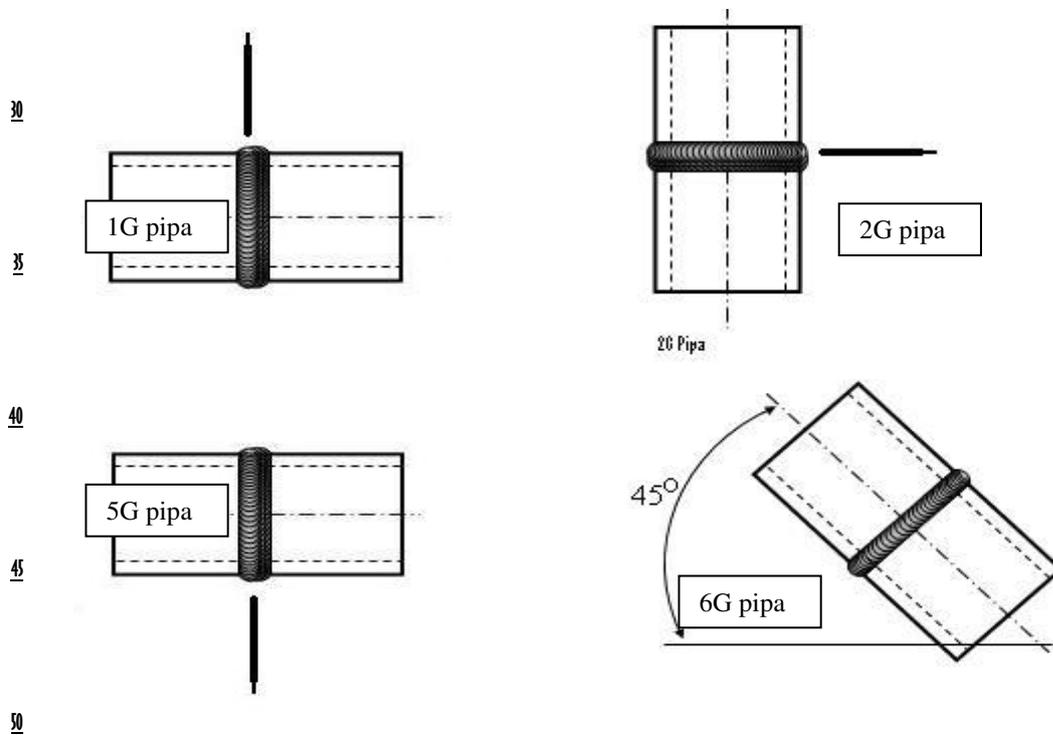
50

Penempatan benda kerja disesuaikan dengan permintaan, dalam hal ini adalah menyesuaikan posisi pengelasan.

Contoh posisi-posisi pengelasan seperti gambar berikut:



Gambar 2. Posisi-posisi pengelasan.



Gambar 3. Posisi-posisi pengelasan untuk pengelasan pipa.

Posisi pengelasan 1G pipa, pada pengelasan pipa 1G ini, pipa diputar dan pengelasan tetap memposisikan elektroda di atas material (*down hand position*).
} Pengelasan 2G pipa, pipa diam, juru las mengelas mengitari pipa atau sama seperti *horizontal position*.

Pengelasan 5G pipa, pipa diam, juru las mengelas diawali dari bagian bawah terus melingkar berhenti di pipa bagian atas pada sisi sebelahnyanya. Pada sisi lain dilakukan dengan cara yang sama yaitu diawali dari bawah terus melingkar dan berhenti di atas. pengelasan ini disebut dengan posisi pengelasan 5G *up Hill* atau *vertical position*.

Posisi pengelasan di atas kepala adalah posisi 6G. Pemasangan pipa dimiringkan 45 derajat terhadap sumbu *horizontal*. Pengelasan dilakukan dari pipa bagian bawah terus melingkar ke arah kanan/kiri dan berhenti di atas. Dilanjutkan dengan pengelasan sebaliknya diawali dari bawah dan terus melingkar berhenti di bagian atas. Cara pengelasan seperti ini disebut 6G *up hill* atau seperti *over head position*.

Angka-angka pada posisi-posisi pengelasan tersebut di atas menunjukkan tingkatan-tingkatan posisi pengelasan. Angka yang semakin tinggi berarti menunjukkan kualifikasi yang tinggi pula.

Posisi-posisi pengelasan di atas menunjukkan kualifikasi juru las yang berhak mengelasnya. Ika juru las memiliki sertifikat kualifikasi 6G, maka juru las tersebut diperbolehkan untuk mengelas semua posisi. Tetapi jika juru las tersebut memiliki sertifikat 4G *plate*, maka juru las tersebut tidak boleh mengelas pipa posisi apapun, tetapi boleh mengelas posisi pengelasan 1F, 2F, 3F, 4F maupun 1G, 2G, 3G dan 4G [4].

Seorang tukang las atau *welder*

sebaiknya menghindari (bila mungkin) posisi menghadap ke atas atau pengelasan di atas kepala karena merupakan posisi yang paling sulit, tetapi pengelasan di lapangan dapat memerlukan sembarang posisi pengelasan yang tergantung pada orientasi sambungan. Posisi pengelasan di lapangan harus diperhatikan dengan teliti.

Pengelasan dilakukan dengan empat posisi yaitu *down hand position* (pengelasan di bawah tangan), *horizontal position* (pengelasan mendatar), *vertical position* (pengelasan tegak), dan *over head position* (pengelasan di atas kepala). Serta menggunakan kampuh las *single V*, *single U*, dan *single J* dengan lapisan las sebanyak 3 lapis dan 4 lapis untuk memperbaiki nilai kekuatan tarik beberapa posisi pengelasan pada arah beban *transversal* dan *longitudinal*.

2. Pembahasan

Setiap kampuh memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan kampuh *single V* yaitu pembuatan kampuh yang mudah dan mempunyai kekuatan yang cukup besar setelah kampuh terisi oleh logam las. Kelebihan dari kampuh *single U* yaitu mempunyai kekuatan yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan kampuh *single V*, karena luas dari kampuh yang lebih luas. Tetapi pembuatan kampuh *single U* lebih sulit. Sedangkan kampuh *single J* cocok untuk pengelasan *horizontal position* karena seluruh kampuh akan terisi penuh oleh logam las, tetapi untuk posisi pengelasan lainnya kekuatannya agak kecil dibandingkan kekuatan kampuh *single V* dan *U*.

85

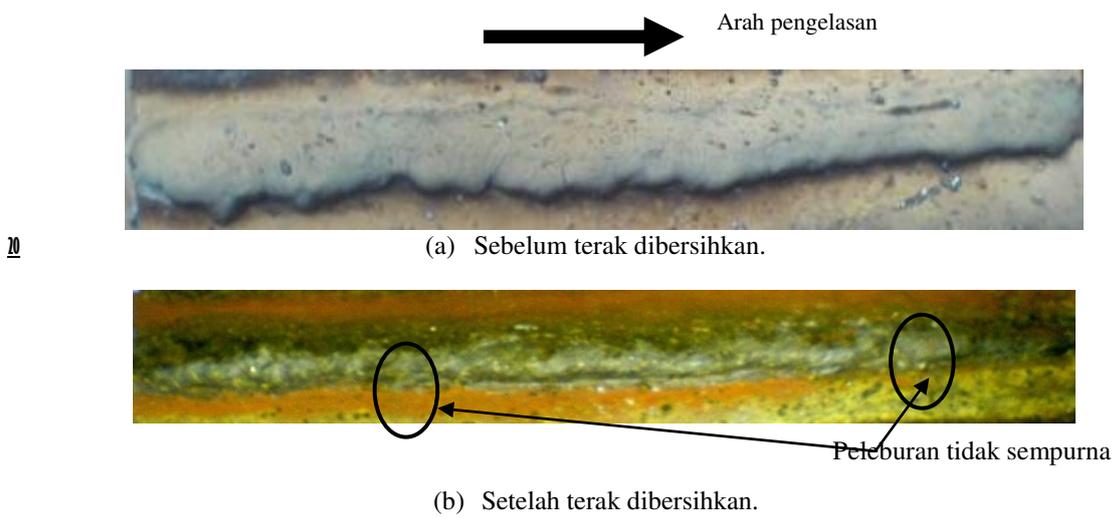
→ Arah pengelasan



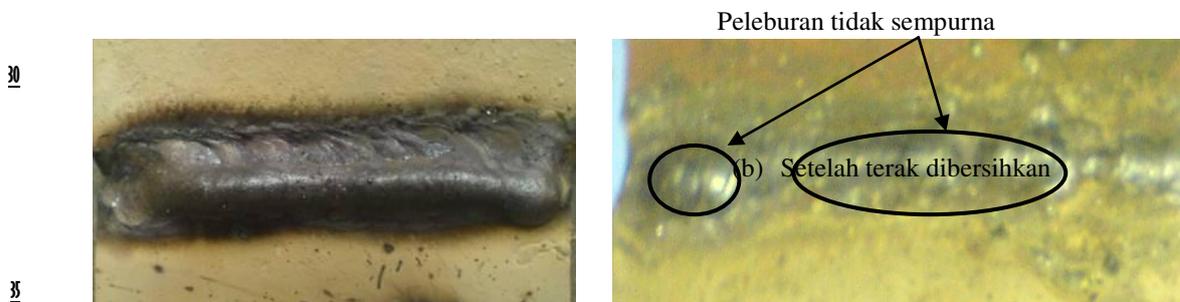
90



Gambar 5. Hasil pengelasan *vertical position*.



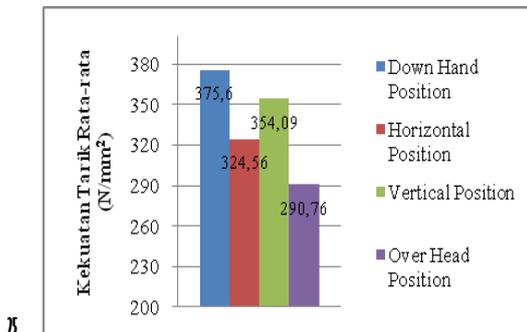
Gambar 6. Hasil pengelasan *horizontal position*



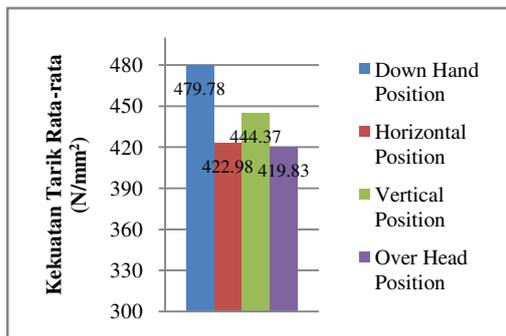
Gambar 7. Hasil pengelasan *over head position*

Perbandingan kekuatan tarik dari empat posisi pengelasan dengan menggunakan kampuh *single V* 3 lapis. *Down hand position* mempunyai nilai kekuatan tarik yang paling besar. Hal ini dapat disebabkan oleh pengisian logam las yang sempurna, yang mengisi penuh ruang yang ada pada kampuh. Nilai kekuatan tarik yang terkecil yaitu pada *over head position*. Hal ini disebabkan posisi pengelasan yang sangat sulit dilakukan. Pada posisi ini, pada saat pengelasan, logam las tidak mengisi kampuh dengan sempurna karena sebagian logam las jatuh ke bawah lantai, serta terdapat rongga-rongga udara atau terjadi porositas dan peleburan yang tidak sempurna.

Pada *horizontal position*, nilai kekuatan tariknya lebih kecil dibandingkan *down hand* dan *vertical position*. Pada *horizontal position*, banyak logam las jatuh ke bagian bawah dari kampuh las, sehingga bagian atas kampuh tidak terisi penuh. Hal ini yang menyebabkan kekuatan tarik *horizontal position* lebih kecil dari *down hand* dan *vertical position*.



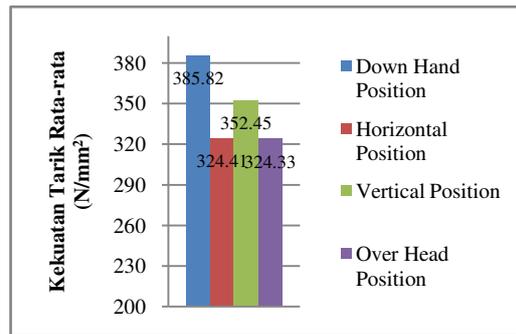
(a) Arah beban transversal.



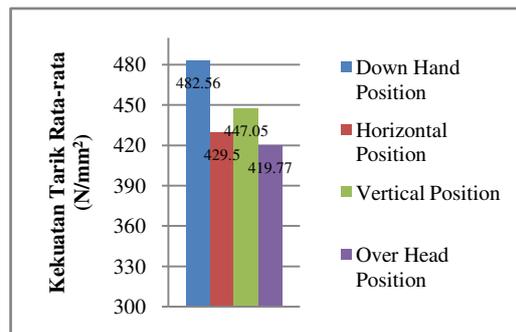
(b) Arah beban longitudinal.

Gambar 8. Perbandingan kekuatan tarik empat posisi pengelasan kampuh *single V* 3 lapis.

Pada *vertical position*, nilai kekuatan tariknya lebih kecil dari *down hand position*. Hal ini dapat disebabkan tidak sempurnanya peleburan logam las yang terjadi pada saat pengelasan dibandingkan dengan pengelasan *down hand position*.



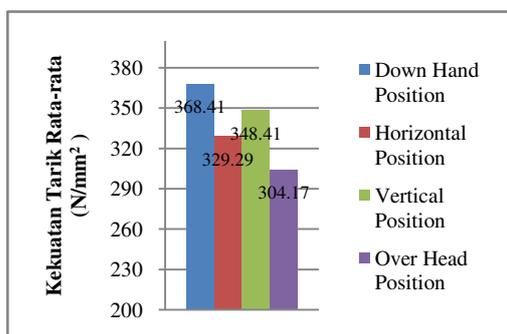
(a) Arah beban transversal.



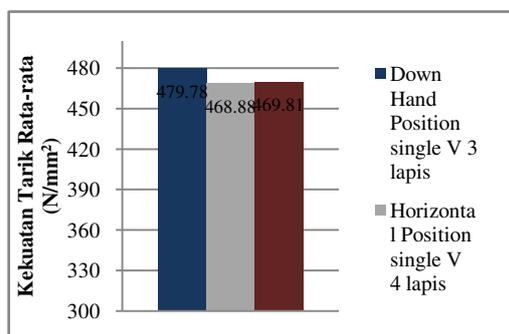
(b) Arah beban longitudinal.

Gambar 9. Perbandingan kekuatan tarik empat posisi pengelasan kampuh *single U* 3 lapis.

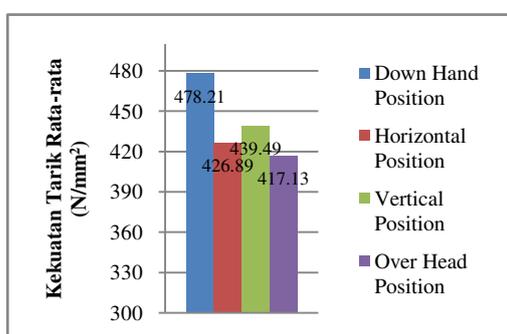
Pada gambar 8, perbandingan kekuatan tarik dari empat posisi pengelasan dengan menggunakan kampuh *single U* 3 lapis. Sama seperti pengelasan yang menggunakan kampuh *single V* 3 lapis, *down hand position* mempunyai kekuatan tarik yang paling tinggi, dan *over head position* mempunyai kekuatan tarik yang paling kecil.



(a) Arah beban transversal.



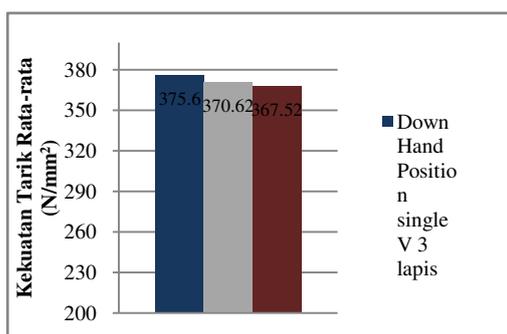
(b) Arah beban longitudinal.



(b) Arah beban longitudinal.

5 Gambar 10. Perbandingan kekuatan tarik empat posisi pengelasan kampuh *single J* 3 lapis.

10 Sama seperti pengelasan yang menggunakan kampuh *single V* 3 lapis dan *single U* 3 lapis, *down hand position* mempunyai kekuatan tarik yang paling tinggi, dan *over head position* mempunyai kekuatan tarik yang paling kecil.



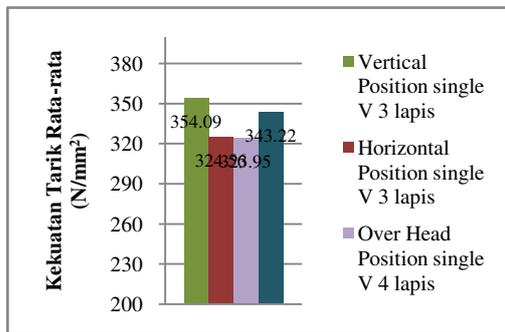
(a) Arah beban transversal.

20 Gambar 11. Perbandingan kekuatan tarik *down hand position single V* 3 lapis dengan *horizontal position single V* 4 lapis dan *single U* 4 lapis.

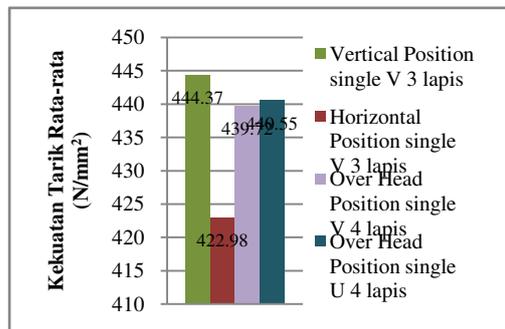
25 Untuk memperbaiki nilai kekuatan dari *horizontal position butt weld joint* agar hampir sama dengan kekuatan *down hand position butt weld joint* yang menggunakan kampuh *single V* 3 lapis yang dijadikan sebagai acuan, maka dilakukan percobaan dengan menggunakan kampuh *single V* 4 lapis dan *single U* 4 lapis dan didapatkan nilai kekuatan tarik *horizontal position* dengan kampuh *single V* 4 lapis dan *single U* 4 lapis ini hampir mendekati nilai kekuatan tarik *down hand position* dengan kampuh *single V* 3 lapis.

30 Gambar 11 merupakan grafik perbandingan kekuatan tarik *down hand position* kampuh *single V* 3 lapis dengan *horizontal position single V* 4 lapis dan *single U* 4 lapis. Dari gambar 11a dan 11b terlihat nilai kekuatan tarik masing-masing hanya berbeda tidak lebih dari 10 N/mm² baik pada arah beban transversal maupun longitudinal.

35 Pada posisi pengelasan mendatar atau *horizontal position*, semakin banyak lapisan las maka semakin kuat hasil lasannya. Tetapi, apabila lapisan las terlalu banyak maka hasil lasan akan terlihat jelek.



(a) Arah beban transversal.



(b) Arah beban longitudinal.

Gambar 12. Kekuatan tarik vertic position dan horizontal position single V 3 lapis dengan over head positionsingle V 4 lapis dan single U 4 lapis.

Pengelasan pada *over head position* adalah pengelasan yang sangat sulit dilakukan. *Welder* yang mempunyai sertifikat A atau 6G yang dapat mengerjakan pengelasan *over head position* dengan baik. Nilai dari kekuatan pengelasan pada *over head position* adalah yang paling kecil dibandingkan kekuatan ketiga posisi lainnya. Untuk memperbaiki nilai kekuatan dari pengelasan *over head position* dilakukan percobaan dengan menggunakan kampuh *single V 4 lapis* dan *single U 4 lapis*. Nilai kekuatan tarik dari pengelasan *over head position* dengan menggunakan kampuh las *single U 4 lapis* mendekati nilai dari kekuatan tarik dari pengelasan *vertical position* dengan menggunakan kampuh las *single V 3 lapis*, dengan selisih 4 sampai 9 N/mm².

Nilai kekuatan tarik dari pengelasan *over head position* ini bahkan telah melewati nilai kekuatan dari *horizontal position* dengan menggunakan kampuh las *single V 3 lapis*. Hal

ini dikarenakan pada *over head position* semua ruang kampuh lasnya terisi penuh oleh logam las, sedangkan pada *horizontal position* masih terdapat ruang kosong pada kampuh bagian atas. Pada posisi pengelasan *over head position*, banyaknya lapisan las dan luas kampuh mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasannya.

Pada pengelasan arah beban *longitudinal*, kekuatan tarik hasil pengelasan *over head position* dengan kampuh *single V 4 lapis* dan *U 4 lapis* hampir sama nilainya. Pada arah beban *longitudinal* luasnya kampuh las tidak terlalu mempengaruhi kekuatan tariknya karena pengujian tarik tidak murni pada hasil pengelasan logam las, tetapi juga logam induk juga mempengaruhi kekuatan tariknya.

Dari semua nilai kekuatan tarik posisi pengelasan, kekuatan tarik hasil pengelasan arah beban *longitudinal* lebih tinggi ±100 N/mm² dari kekuatan tarik hasil pengelasan arah beban *transversal*. Hal ini dikarenakan pada arah beban *transversal*, gaya tarik pada pengujian yang diberikan murni kepada logam las. Sedangkan pada arah beban *longitudinal*, gaya tarik diberikan kepada logam las dan logam induk baja AISI 1045 yang mempunyai kekuatan tarik (502,40 N/mm²) yang lebih besar dari kekuatan tarik logam las (± 380 N/mm²).

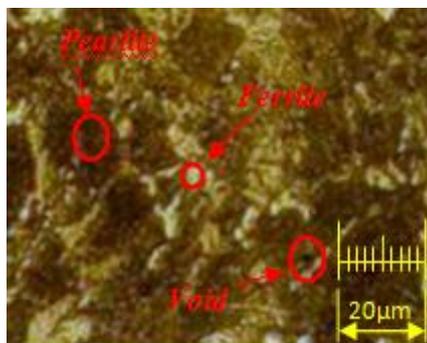
Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro interlebih dahulu dilakukan *polishing* kemudian diikuti dengan pengetsaan menggunakan larutan HNO₃ dan pembesaran 500 X. Hasil pengelasan didinginkan dengan cara *normalizing* (pendinginan dengan udara sekitar). Perlakuan *normalizing* ini tidak terlalu merubah struktur mikro dari logam las hasil pengelasan. Hasil pengujian struktur mikro terdapat pada gambar 13.

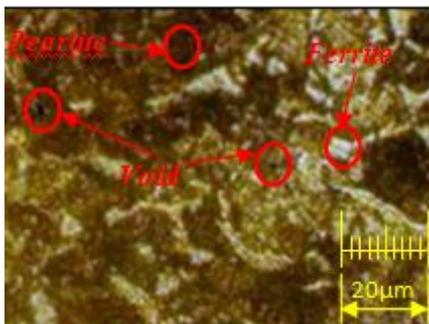
Pada gambar 13a, dapat terlihat struktur mikro pada *weld metal* atau daerah logam las hasil pengelasan pada *down hand position*. Daerah atau gumpalan yang berwarna terang disebut daerah butir-butir *ferrite* yang bersifat lunak dan daerah yang berwarna gelap disebut daerah butir-butir *pearlite* yang bersifat keras dan ulet. Pada struktur mikro tersebut juga terdapat bintik-bintik hitam yang merupakan *void* atau kotoran yang terbentuk pada saat

polishing. Pada gambar 13a, pearlit saling mengikat satu sama lain, ini dapat menyebabkan nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan *down hand position* bernilai tinggi karena adanya ikatan struktur tersebut.

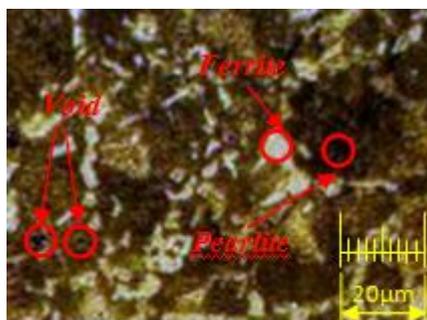
Dari gambar struktur mikro, pearlite lebih mendominasi dari struktur ferrite yang mengindikasikan daerah logam las bersifat keras dan ulet. Void yang ada hanya sedikit, hal ini mengindikasikan pengelasan yang dilakukan sempurna. Logam las yang diindikasikan keras dan ulet berkaitan dengan kekuatan tarik dari pengelasan *down hand position* yang tinggi dan memiliki *elongation* yang cukup besar.



(a) Down hand position.



(b) Vertical position.



(c) Horizontal position.



(d) Over head position.

Gambar 13. Struktur mikro weld metal hasil butt weld joint.

Pada gambar 13b merupakan gambar struktur mikro weld metal hasil pengelasan *vertical position*, terlihat bintang-bintang hitam atau yang disebut void hanya sedikit. Karena hal ini, pengelasan dapat dikatakan sempurna.

Pada gambar struktur mikro di atas, pearlite lebih banyak dibandingkan ferrite. Logam las hasil pengelasan *vertical position* bersifat keras dan ulet. Sama seperti struktur mikro hasil pengelasan *down hand position*, struktur pearlit juga saling mengikat tetapi tidak terlalu rapat [5]. Berkaitan dengan struktur pearlit yang saling mengikat maka kekuatan dari hasil pengelasan ini cukup besar tetapi tidak sebesar pada hasil pengelasan *down hand position*.

Pada gambar 13c merupakan gambar struktur mikro dari weld metal hasil pengelasan pada *horizontal position*. Void yang terdapat pada struktur mikro logam las pengelasan *horizontal position* hanya sedikit. Pearlite yang ada mengindikasikan logam las bersifat keras dan ulet. Pada struktur mikro di atas terlihat ferrite yang lebih besar dibandingkan ferrite yang terdapat pada *vertical* atau *down hand position*. Ferrite yang cukup banyak atau luas dapat dipengaruhi oleh peleburan logam las yang kurang sempurna pada saat pengelasan. Peleburan yang kurang sempurna dapat terjadi karena pada saat pencairan logam las banyak cairan logam las yang turun atau jatuh ke bagian bawah dari kampuh sehingga peleburan atau pencairan kurang baik. Peleburan yang kurang sempurna ini dapat mengakibatkan kekuatan dari hasil pengelasan *horizontal position* menjadi kecil, lebih kecil hasil pengelasan *down hand* dan *vertical position*

yang peleburan atau pencairan logam lasnya sempurna.

Pada gambar 13d, gambar struktur mikro *weld metal* pada pengelasan *over head position*, terdapat *void* yang banyak yang disebabkan pengelasan yang kurang sempurna. Pengelasan yang kurang sempurna ini dikarenakan posisi pengelasan yang sangat sulit. Pada struktur mikro pengelasan *over head position*, terdapat struktur *pearlite* yang mengindikasikan hasil lasan bersifat keras dan ulet. Tetapi struktur *ferrite* pada hasil pengelasan *over head position* lebih banyak atau lebih luas dibandingkan struktur *ferrite* ketiga posisi lainnya. Hal ini menyebabkan kekuatan dan keuletan dari hasil pengelasan *over head position* lebih kecil daripada ketiga posisi lainnya. Pada pengelasan *over head position*, banyak cacat pengelasan yang terjadi seperti porositas dan peleburan yang tidak sempurna.

Porositas dapat terlihat dengan adanya *void* yang cukup banyak yang terlihat pada struktur mikro [2]. Struktur *pearlit* yang kurang mengikat dan *ferrite* yang cukup banyak atau luas dapat dikarenakan peleburan yang kurang sempurna pada saat proses pengelasan berlangsung [5].

3. Kesimpulan

Hasil pengelasan *down hand position* dan *vertical position* sempurna karena kampuh terisi penuh dengan logam las. Hasil pengelasan *horizontal position* kurang sempurna karena kampuh tidak terisi penuh dengan logam las, logam las jatuh ke bagian bawah dari kampuh sehingga bagian atas kampuh tidak terisi penuh. Hasil pengelasan *over head position* juga kurang sempurna karena logam las banyak yang jatuh ke lantai, sehingga terjadi cacat seperti peleburan tidak sempurna.

Posisi pengelasan di bawah tangan atau *down hand position* memiliki kekuatan tarik dan *elongation* yang paling tinggi di antara semua posisi pengelasan baik arah beban *transversal* maupun *longitudinal*, dengan pengelasan memakai kampuh yang sama pada semua posisi pengelasan. Sedangkan *over head position* adalah posisi pengelasan yang mempunyai kekuatan tarik yang terendah.

Daftar Pustaka

- [1] Bintoro, A. G., 2000, Dasar-dasar Pekerjaan Las, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- [2] Dowling, Norman E., 1999, Mechanical Behavior of Materials, Penerbit Prentice-Hall, Edisi 2, New Jersey.
- [3] Kenyon, W., 1985, Dasar-Dasar Pengelasan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [4] Sonawan H., 2003, Pengelasan Logam, Penerbit Alfabeta, Bandung.
- [5] Suratman, R., 1994, Panduan Proses Perlakuan Panas, Penerbit Lembaga Penelitian ITB, Bandung.
- [6] Timings, R.L., 1992, Engineering Materials, Penerbit Logman Group UK Limited, Volume 2, Malaysia.
- [7] Weisman, C., Fundamental of Welding in Welding Handbook, American Welding Society, 7th ed, Volume 1, Florida at: www.astm.org, diakses 19 Maret 2009.
- [8] Wiryosumarto, H., 1996, Teknologi Pengelasan Logam, PT Pradnya Paramitha, Cetakan ke-7, Jakarta.