

## Pengaruh Besar Input Panas Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi Angular Sambungan T Baja Lunak SS400\*

Juliana Anggono

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Roche Alimin

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

### Abstrak

Distorsi angular pada sambungan las T flange baja lunak SS400 yang dilas dengan SMAW selain berpengaruh pada kualitas hasil lasan juga pada ketelitian ukuran dan dimensi. Besarnya distorsi tersebut dipengaruhi oleh masukan panas pengelasan serta ketebalan flange (flange) yang dilas ( $h$ ). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter pengelasan yang berkaitan dengan masukan panas pengelasan, yaitu arus ( $I$ ) dan kecepatan pengelasan ( $v$ ) terhadap besarnya distorsi angular yang terjadi pada tebal flange ( $h$ ) yang bervariasi. Distorsi didapatkan dengan mengukur nilai simpangan yang terjadi setelah proses las dengan bantuan dial gauge.

Bertambahnya jumlah lapisan las, pada flange dengan tebal 6 mm dan 10 mm mengakibatkan membesarnya distorsi. Sedangkan tingginya distorsi pada flange 2 mm, dikarenakan rigiditasnya yang rendah sehingga terjadi distorsi buckling yang menambah besarnya simpangan terukur dan menampilkan nilai yang relatif lebih besar dibandingkan flange yang lebih tebal. Peningkatan arus listrik las dan/atau berkurangnya kecepatan pengelasan meningkatkan besar simpangan yang terjadi hingga maksimum bila tercapai harga kondisi pengelasan kritis,  $x$ , sebesar  $= 0.4-0.5$ . Berdasarkan Analisa Variansi (ANOVA), pada tingkat keberartian ( $\alpha$ ) = 5%, faktor yang signifikan pengaruhnya atas besarnya distorsi angular adalah ketebalan flange.

Kata kunci : *web, flange*, distorsi angular

### Abstract

*Angular distortion has an effect not only on the weld quality but also on the size and dimension accuracy. The amount of angular distortion is affected by the welding heat input and the flange thickness ( $h$ ). This research was conducted to analyze the influence of welding heat input (welding current and speed were varied) on the angular distortion in T weld joint of mild steel plate of SS 400 with various thicknesses welded by SMAW. Distortion is obtained from the deflection measured by the dial gauge. The result shows an increase in the number of weld layers for plates of 6 mm and 10 mm causes an increase in the measured deflection (angular distortion). On the plate of 2 mm due to its lack of rigidity, buckling distortion took place, which added the amount of measured deflection. It was found that an increase in the welding heat input causes an increase in the distortion. It goes to maximum when critical value of  $x = 0.4-0.5$  is reached. Based on analysis of variance (ANOVA), at significance level ( $\alpha$ ) = 5%, the factor that has significant effect on the amount of angular distortion is the flange thickness.*

*Keywords : web, flange, angular distortion*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Baja lunak (*mild steel*) merupakan jenis baja karbon rendah yang dikenal luas penggunaannya

mengingat sifat mampu lasnya (*weldability*) yang lebih baik dibanding baja karbon sedang atau tinggi, walaupun kekuatan dan kekerasannya lebih rendah. Sifat mampu lasnya yang baik memberikan kemudahan pengelasan untuk menghasilkan logam lasan berkualitas baik. Salah satu spesifikasi baja lunak yaitu SS400, cukup banyak digunakan pada pengelasan sambungan T dengan SMAW, semisal untuk pe-

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Agustus 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 1 Nomor 2 Oktober 1999.

\* Penelitian dilakukan bersama dengan Handoko Seryadi

nguat dan *flange* penghubung pada konstruksi baja bangunan atau penguat pada struktur kapal.

Dengan meningkatnya kebutuhan akan hasil lasan yang berkualitas sebagai akibat penerapan kontrol kualitas yang semakin baik, berbagai permasalahan kemudian timbul dalam prakteknya di bidang industri dan konstruksi, seperti terjadinya simpangan atau distorsi angular yang cenderung bersifat permanen. Distorsi angular pada hasil lasan tidak hanya mengurangi ketelitian ukuran dan mengubah bentuk luarnya saja, tetapi juga menurunkan kekuatannya.

Pada sambungan T yang dilas SMAW, bila tidak dilakukan pencegahan, hampir selalu terjadi distorsi angular (biasanya lebih besar daripada yang terjadi pada sambungan las tumpul). Distorsi angular sangat dipengaruhi oleh pemilihan parameter pengelasan yang menentukan besarnya masukan panas (*heat input*) pengelasan yang berupa arus listrik las, kecepatan pengelasan, tegangan listrik las, diameter dan jenis elektroda. Faktor-faktor yang turut mempengaruhi adalah ketebalan *flange* yang dilas, jumlah lapisan las, urutan pengelasan, geometri alur las (*weld groove*) yang digunakan (mempengaruhi pemilihan elektroda) dan teknik pengelasan (manipulasi gerakan elektroda, yang sekaligus mempengaruhi kecepatan pengelasan). Ketebalan *flange* benda kerja yang dilas menentukan ketahanan benda kerja terhadap momen pada sumbu netralnya. Inilah yang menjadi penyebab terjadinya distorsi angular.

**1.2. Tujuan Penelitian**

Penelitian dilaksanakan dengan tujuan melihat pengaruh besar input panas dengan memvariasi arus listrik las (I) dan kecepatan pengelasan (v) terhadap distorsi angular sambungan T *flange* baja lunak SS400 dengan variasi tebal *flange* (h) 2, 6, dan 10 mm. Berdasarkan hubungan tersebut dapat diperoleh suatu pemilihan kondisi pengelasan SMAW yang dapat mengurangi terjadinya distorsi angular pada sambungan T.

**1.3. Batasan Penelitian**

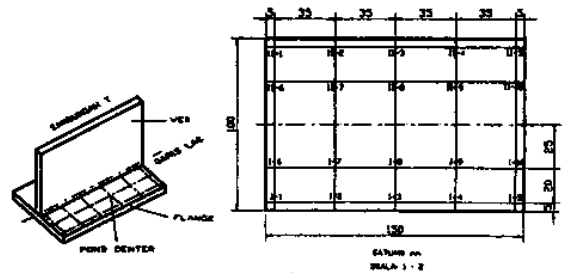
Penelitian dibatasi pada kondisi pengelasan SMAW (AC transformator) sebagai berikut :

1. Jenis dan diameter elektroda yang digunakan, yaitu ESAB 46.23 (AWS E6013) dengan diameter 3,25 mm.
2. Variasi arus listrik las:  $I_1 = 100$  A,  $I_2 = 125$  A, dan  $I_3 = 150$  A.

3. Variasi kecepatan pengelasan:  $v_1 = 2,59$  mm/detik,  $v_2 = 1,96$  mm/det dan  $v_3 = 1,6$  mm/detik.
4. Material logam induk adalah *flange* baja lunak SS400 (JIS G3101-87 kelas 2), berukuran 10 x 15 cm untuk masing-masing *flange* dan *web*.
5. Distorsi yang diukur adalah distorsi angular pada *flange* (*flange* horisontal). Besarnya distorsi angular pada tiap *pond center* diukur dengan menggunakan *dial gauge*.

**1.4. Persiapan dan Rancangan Eksperimen**

1. *Flange* SS400 (ketebalan 2, 6, dan 10 mm) dipotong menjadi spesimen-spesimen berukuran 10 x 15 cm.
2. Spesimen 2 mm dibuatkan alur (*groove*) las berupa alur persegi/rata. Spesimen 6 dan 10 mm dibuatkan alur tirus ganda berdasarkan standard ANSI/AWS D1.1-90 bagian 2.9.1 dengan tanda sambungan TC-U5b.
3. Setiap spesimen dibuatkan *pond center* dengan posisi seperti pada Gb.1 berikut.



Gambar 1 Posisi *pond center* pada *flange*

4. Sebelum dilas, untuk setiap spesimen pada tiap-tiap *pond center* diukur dulu harga awal defleksinya (agar tidak mempengaruhi harga distorsi yang terjadi karena panas pengelasan).
5. Pengelasan dilakukan pada kedua sisi spesimen, dengan cara satu sisi dipenuhi dahulu kampuhnya baru dilakukan pengelasan sisi berikutnya. Untuk menjamin ketegaklurusan *flange* dan *web* digunakan penggaris siku.
6. Setiap selesai mengelas satu *layer* pada satu sisi, dilakukan pengukuran simpangan pada setiap *pond center*. Kemudian dilanjutkan dengan pengelasan *layer* berikutnya pada sisi yang sama menggunakan parameter pengelasan yang sama seperti sebelumnya. Lalu dilakukan pengukuran simpangan lagi, demikian seterusnya hingga selesai. Jumlah *layer* untuk *flange* tebal 2, 6, dan 10 mm berturut-turut adalah 1, 2, dan 3 lapisan.

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Siklus Termal Las

Masukan panas (*heat input*) pengelasan ditentukan oleh beberapa parameter pengelasan, diantaranya adalah tegangan busur las, arus listrik las, dan kecepatan pengelasan (Wiryo Sumarto dan Okumura, 1994: 145). Secara teoritis, besarnya masukan panas pengelasan per lapisan las yang terjadi pada suatu kondisi pengelasan adalah sebesar:

$$HI = f_1 \cdot (60 \cdot E \cdot I / v) \quad [\text{Joule/cm}] \dots\dots\dots 1$$

dengan :

HI = *Heat Input* (masukan panas) per layer

$f_1$  = efisiensi panas pengelasan = 0,9

E = tegangan busur las [Volt]

I = arus listrik las [Ampere]

v = kecepatan pengelasan [cm/menit]

Dengan demikian maka parameter pengelasan (E, I, dan v) turut mempengaruhi besarnya distorsi las yang terjadi.

### 2.2. Distorsi Las

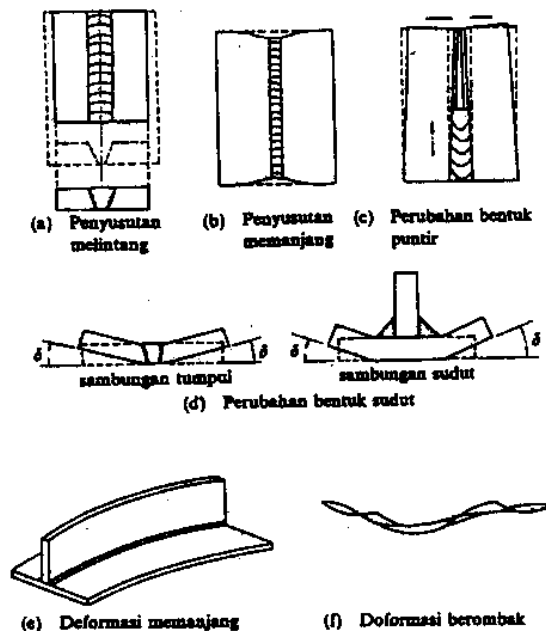
Perbedaan temperatur yang sangat besar di daerah busur las dengan daerah sekitar logam induk menimbulkan distribusi temperatur yang tidak uniform. Hal ini menyebabkan terjadinya pencairan, pembekuan, pengembangan, dan penyusutan termal di daerah sambungan dan sekitarnya pada suatu konstruksi las yang juga tidak uniform (mendorong terjadinya gaya eksentris pada penampang melintang logam las). Semakin besar masukan panas pengelasan yang diterima akan mengakibatkan semakin besar regangan termal (pengembangan dan penyusutan) non-uniform yang terjadi di daerah sambungan las dan sekitarnya. Pada konstruksi las yang dibiarkan bebas bergerak (tanpa mendapat gaya atau beban luar), regangan termal yang tersisa setelah suhu lasan mencapai temperatur kamar (mendingin) disebut sebagai distorsi las.

Distorsi didefinisikan sebagai "setiap perubahan dari bentuk atau kontur yang diinginkan". Distorsi yang terjadi pada hasil lasan biasanya berupa bentuk yang sangat rumit. Walaupun demikian untuk sambungan *fillet* dan tumpul, secara kasar masih dapat dibedakan menjadi enam macam distorsi las (gb.2).

Secara prinsip, sebenarnya terjadinya berbagai bentuk distorsi tersebut dapat dibedakan hanya atas:

a. Penyusutan melintang (*transverse shrinkage*) yang muncul tegak lurus terhadap garis las;

- b. Penyusutan memanjang (*longitudinal shrinkage*) yang muncul paralel terhadap garis las;
- c. Perubahan angular berupa rotasi di sekitar garis las (antara *web* dan *flange*).



Gambar 2 Macam distorsi las

Sifat-sifat fisis dan mekanis logam induk turut mempengaruhi terjadinya distorsi las. Dari segi praktis, modulus elastisitas (E) dan kekuatan luluh dapat dipertimbangkan sebagai ukuran perlawanan logam induk terhadap terjadinya distorsi. Pada logam induk yang tipis, kekakuan cukup menentukan perlawanan logam induk terhadap terjadinya distorsi (terutama *buckling distortion*). Jika koefisien ekspansi termal meningkat, distorsi yang terjadi juga akan meningkat. Namun, jika konduktivitas termal meningkat, distorsi yang terjadi akan berkurang. Pada saat pengelasan, ketika temperatur daerah las meningkat, maka modulus elastisitas, kekuatan luluh, dan konduktivitas termal berkurang, sedangkan koefisien ekspansi termal meningkat.

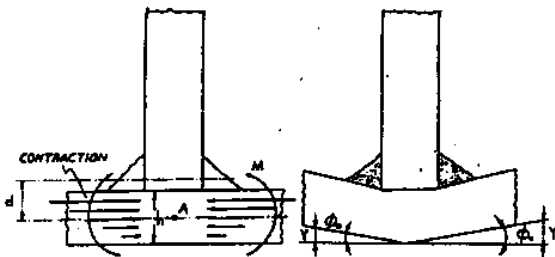
#### 2.2.1 Distorsi Angular

Penyusutan melintang yang tidak sama rata di seluruh ketebalan *flange* yang dilas akan berakibat terjadinya distorsi angular (*angular distortion*) (Blodgett, 1976: 6.5-2). Wujud distorsi angular yang dapat diamati secara visual adalah berupa menekuknya *flange* di daerah sambungan las yang mengurangi ketegak lurusan *web* dan *flange* (*flange* mendatar (*flange*) tertekuk, sehingga terjadi simpangan (defleksi)

terhadap kondisi semula). Simpangan yang diakibatkan oleh terjadinya perubahan ini disebut sebagai distorsi angular.

**2.2.2 Ketebalan Kritis Flange**

Pada sambungan T yang bebas, distorsi angular selalu terjadi bila ada perbedaan temperatur yang besar pada flange (antara permukaan yang dilas dengan permukaan dibaliknya), sehingga menimbulkan regangan termal yang juga tidak uniform. Regangan tersebut mendorong terjadinya gaya eksentris di sekitar sumbu netral benda kerja (A). Jarak antara titik berat daerah lasan terhadap sumbu netral tersebut adalah lengan momen (d). Akibatnya timbul momen (M) pada sumbu netral benda kerja, yang mengakibatkan terjadinya perubahan angular ( $\phi_p$ ) atau bisa juga dikatakan distorsi angular ( $\delta$ )(gb.3). Jika ketebalan flange (h) diperkecil, distribusi temperatur akan lebih uniform, dan sebagai konsekuensinya regangan termal yang lebih uniform muncul sehingga  $\delta$  berkurang. Namun jika h relatif lebih besar, ketahanannya terhadap M akan meningkat (momen inersianya lebih besar dan rigiditas meningkat) yang berarti terjadinya  $\delta$  juga akan berkurang. Dengan demikian ada ketebalan flange kritis dimana  $\delta$  yang terjadi paling besar. Bila flange yang dilas tipis (h kecil),  $\delta$  yang terjadi juga kecil dan akan menjadi lebih besar jika flange yang dilas semakin tebal (h besar). Tetapi sampai suatu batas ketebalan tertentu, terjadinya  $\delta$  menurun dengan makin tebalnya flange.



Gambar 3 Distorsi angular sambungan T bebas

**2.2.3. Harga Kondisi Pengelasan Kritis**

Besarnya distorsi angular juga dipengaruhi oleh kondisi pengelasan berupa besaran (harga) parameter pengelasan berikut:

$$x = I/(h \cdot \sqrt{(v \cdot h)}) \cdot 10^{-3} \quad [A \cdot \text{det}^{1/2} \cdot \text{cm}^{-2}] \dots\dots 2)$$

dengan:

- I = arus listrik las [A]
- h = tebal flange [cm]
- v = kecepatan pengelasan [cm/detik].

Pada suatu harga  $I/(h \cdot \sqrt{(v \cdot h)}) \cdot 10^{-3}$  tertentu ( $x_{\text{kritis}}$ ), distorsi angular yang terjadi akan mencapai harga tertinggi. Dibawah atau diatas harga tersebut, terjadinya distorsi angular relatif lebih kecil. Jadi untuk pengelasan dengan harga x tertentu, jika besarnya harga x tersebut semakin menjauhi  $x_{\text{kritis}}$  maka distorsi angular yang terjadi semakin kecil; dan sebaliknya. Pengelasan menggunakan elektroda berdiameter lebih besar, menyebabkan harga  $x_{\text{kritis}}$  bertambah besar (Wiriyosumarto dan Okumura, 1994: 149).

**3. Data dan Pembahasan**

Simpangan atau distorsi angular ( $\delta$ ) pada tiap *pond center* diukur dari selisih antara hasil pengukuran *dial gauge* sebelum dan sesudah pengelasan (*per-layer*). Pada tiap spesimen terdapat dua puluh *pond center* pada flange (gb.3). Sebagai contoh, untuk flange dengan tebal 10 mm (dilas tiga lapisan las per sisi) diperoleh 3 (*layer*) x 2 (sisi) x 20 (*pond center*) = 120 data simpangan terukur.

Grafik (Lampiran) menunjukkan besar distorsi angular yang terjadi pada setiap *pond center* 1-5 dan 6-10 dengan mengambil harga rata-rata pada salah satu spesimen.

**3.1. Analisa Variansi**

Pengujian data untuk mengetahui respon perlakuan terhadap subyek (unit eksperimen), menggunakan tabel ANOVA (*Analysis Of Variance*) dengan tingkat keyakinan (*confidence level*) 95%.

Untuk  $v_1 = \text{d.f. dari faktor}$  dan  $v_2 = \text{d.f. dari ERROR}$ , maka berdasarkan tabel nilai kritis distribusi F diperoleh:

$F_{\text{ratio } h}$	(=39,636) >	$F_{0,05}(2,27)$	(=3,3541)
$F_{\text{ratio } v}$	(=2,822) <	$F_{0,05}(2,27)$	(=3,3541)
$F_{\text{ratio } I}$	(=2,456) <	$F_{0,05}(2,27)$	(=3,3541)
$F_{\text{ratio } h \cdot v}$	(=3,727) >	$F_{0,05}(4,27)$	(=2,7278)
$F_{\text{ratio } h \cdot I}$	(=3,205) >	$F_{0,05}(4,27)$	(=2,7278)
$F_{\text{ratio } v \cdot I}$	(=0,131) <	$F_{0,05}(4,27)$	(=2,7278)
$F_{\text{ratio } h \cdot v \cdot I}$	(=0,297) <	$F_{0,05}(8,27)$	(=2,3053)

Terlihat bahwa parameter h (tebal flange) mempunyai pengaruh berarti (signifikan) terhadap besarnya distorsi angular yang terjadi. Selain itu terjadi interaksi antara dua faktor, yaitu h.I dan h.v, namun tidak terjadi interaksi antara tiga faktor.

### 3.2. Pengaruh Ketebalan Flange

Grafik gb. A1-A27 (Lampiran) menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lapisan las (*layer*) maka semakin besar pula distorsi angular yang terjadi pada *flange* dengan tebal (*h*) yang sama. Hal ini terjadi akibat jumlah deposit las dan panas input yang semakin besar sehingga mengakibatkan regangan termal yang semakin besar pula (makin besar volume penyusutan lasan yang terjadi). Juga diamati bahwa pertambahan besar distorsi angular yang terjadi per lapisan las pada *flange* 10 mm relatif lebih kecil dibandingkan pada *flange* 2 mm dan 6 mm. Hal ini disebabkan *flange* yang jauh lebih tipis (2 mm) mudah terjadi distorsi yang lebih besar (termasuk distorsi angularnya) karena rendahnya rigiditas *flange*, sehingga distorsi angular yang terjadi pada *flange* 2 mm relatif paling besar dibandingkan *flange* 6 mm dan 10 mm. Selain itu bertambah tebalnya *flange* juga meningkatkan transfer panas secara konduksi selama proses las. Sedangkan pada *flange* 6 mm teramati bahwa *flange* tersebut mengalami distorsi yang besar. Hal ini diakibatkan *flange* yang lebih tebal membutuhkan jumlah lapisan las yang lebih banyak untuk memenuhi alur lasnya (agar diperoleh lasan yang layak), berarti volume deposit las relatif semakin besar sehingga titik berat logam las semakin menjauhi sumbu netral benda kerja (lengan momen (*d*) semakin besar). Dengan demikian momen (*M*) pada sumbu netral semakin besar, mengakibatkan simpangan ( $\delta$ ) yang terjadi semakin besar (gb.2). Semakin tebal *flange* (*h* besar) distorsi angular (simpangan) yang terjadi pada *flange* semakin besar, tetapi perlu diperhatikan bahwa bertambahnya ketebalan *flange* yang dilas akan meningkatkan ketahanannya terhadap distorsi angular (momen inersianya lebih besar dan rigiditas meningkat). Itulah sebabnya distorsi angular pada *flange* 10 mm lebih kecil dari pada 6 mm meskipun *flange* 10 mm jumlah deposit lasnya relatif lebih besar. Distorsi angular yang diukur pada akhir proses las relatif kurang berimbang pada kedua sisinya. Hal ini diakibatkan pengelasan dilakukan pada satu sisi dulu hingga selesai baru dilanjutkan ke sisi sebelahnya. Pada sisi yang dilas lebih dulu, menerima masukan panas yang langsung dan relatif lebih besar dibanding sisi sebelahnya maka regangan termal yang terjadi juga lebih besar. Itulah sebabnya pada pengelasan yang dilakukan per sisi sulit untuk menghasilkan kondisi terdistorsi yang seimbang.

Dari ANOVA diketahui bahwa ada pengaruh yang berarti dari ketebalan *flange* (*h*) pada distorsi angular.

### 3.3. Pengaruh Kecepatan Pengelasan dan Arus Listrik Las

Kecepatan pengelasan (*v*) yang semakin tinggi secara umum akan mengakibatkan terjadinya distorsi yang semakin kecil (kecuali *flange* 6 mm). Karena dengan semakin cepatnya pengelasan dilakukan maka waktu pengelasan semakin singkat berarti masukan panas pengelasan (*HI/Heat Input*) yang diterima logam las dan sekitarnya lebih kecil. Dengan demikian penyusutan termal yang terjadi lebih kecil sehingga distorsi angular yang terjadi juga kecil.

Peningkatan arus listrik las (*I*) secara umum mengakibatkan terjadinya distorsi angular yang semakin besar (kecuali *flange* 6 mm). Karena dengan semakin tingginya arus listrik las yang digunakan maka masukan panas pengelasan yang diterima logam las dan sekitarnya menjadi lebih besar. Dengan demikian penyusutan termal yang terjadi lebih besar sehingga distorsi angular yang terjadi juga lebih besar.

Untuk *flange* 6 mm dari plot respon terhadap interaksi *h.v* (gb. A28, Lampiran), dengan meningkatnya kecepatan pengelasan akan memberikan respon yang lebih besar (distorsi angular yang terjadi cenderung membesar). Terjadi interaksi antara *flange* 6 dan 10 mm. Sedangkan dari plot respon terhadap interaksi *h.I* (gb. A29, Lampiran), dengan meningkatnya arus listrik las akan memberikan respon yang lebih kecil (mengurangi terjadinya distorsi angular). Juga terjadi interaksi antara *flange* 6 mm dan 10 mm. Adanya interaksi berarti pada suatu harga *v* (atau *I*) tertentu, akan dihasilkan respon yang sama (besarnya distorsi angular yang terjadi sama) untuk *flange* 6 mm dan 10 mm.

Untuk *flange* 6 mm dan 10 mm dijumpai hal sebagai berikut, di mana kenaikan *v* akan menyebabkan terjadinya distorsi angular yang lebih kecil (untuk tebal *flange* sama), dan sebaliknya untuk *I*. Hal ini akan berlaku hingga suatu harga tertentu dari faktor yang lebih dominan pengaruhnya terhadap respon dibandingkan faktor *h*, *v*, atau *I* sendiri-sendiri. Jika dikemukakan faktor  $x = I/(h \cdot \sqrt{v \cdot h}) \cdot 10^{-3}$  sebagai penyebabnya, dan berdasarkan gb. A32 (Lampiran), kecenderungan yang berbeda tersebut dapat dijelaskan. Untuk suatu harga *x* tertentu ( $x_{kritis}$ ), distorsi angular yang terjadi adalah paling besar (Wiryo Sumarto dan Okumura, 1994:148). Dengan peningkatan atau penurunan *I* dan *v*, jika harga *x*-nya mendekati harga  $x_{kritis}$  maka distorsi angular yang terjadi lebih besar; dan sebaliknya jika harga *x*-nya menjauhi  $x_{kritis}$ .

Untuk *flange* 2 mm dari plot respon terhadap interaksi  $h.v$  (gb. A28, Lampiran) pada penurunan kecepatan pengelasan dari  $v_1$  (2,59 mm/detik) ke  $v_2$  (1,96 mm/detik) akan memberikan respon lebih kecil (distorsi angular akan berkurang), namun pada penurunan kecepatan pengelasan dari  $v_2$  ke  $v_3$  (1,6 mm/detik) justru akan memberikan respon lebih besar (distorsi angular akan bertambah). Sedangkan dari plot respon terhadap interaksi  $h.I$  (gb. A29, Lampiran), pada kenaikan arus listrik las dari  $I_1$  (100 A) ke  $I_2$  (125 A) akan memberikan respon yang lebih besar (distorsi angular bertambah), namun pada kenaikan arus listrik las dari  $I_2$  ke  $I_3$  (150 A) didapatkan respon yang hampir nol.

Ada kecenderungan yang berbeda antara *flange* 2 mm dan 10 mm. Hal ini dikarenakan oleh rigiditas *flange* 2 mm (tipis) yang rendah sehingga distorsi lebih mudah terjadi. Selain distorsi angular, bentuk yang paling sering muncul pada *flange* tipis adalah *buckling distortion*. Terjadinya distorsi *buckling* ini menambah besar simpangan (distorsi angular) yang terukur pada penelitian (mengaburkan besar distorsi angular sendiri), sehingga hasil akhirnya adalah distorsi angular yang lebih besar.

Dari plot respon terhadap interaksi  $v.I$  (gb. A30, Lampiran) dapat dilihat bahwa pada kecepatan pengelasan yang sama, kenaikan arus listrik las (dari  $I_1$  (100 A) ke  $I_2$  (125 A)) akan memberikan respon yang meningkat (distorsi angular yang terjadi lebih besar). Sementara kenaikan  $I_2$  ke  $I_3$  (150 A) justru akan memberikan respon yang lebih kecil (distorsi angular yang terjadi lebih kecil). Pada  $v_3$  (1,6 mm/detik) respon yang dihasilkan adalah terbesar dan pada  $v_2$  (1,96 mm/detik) respon yang dihasilkan terkecil. Tidak terjadinya interaksi antara faktor  $I$  dan  $v$  terhadap respon berarti variasi harga  $I$  dan  $v$  akan menghasilkan besar distorsi angular yang berbeda.

Semakin besar  $I$  atau semakin kecil  $v$ , distorsi angular yang terjadi semakin besar hingga pada suatu harga  $I$  tertentu. Kenaikan  $I$  lebih lanjut tidak meningkatkan distorsi angular yang terjadi. Hal ini diperkirakan karena sudah melewati harga  $x_{kritis}$  dan batasan harga tebal kritis *flange* ( $h_{kritis}$ ) yang mana menyebabkan terjadinya distorsi angular paling besar.

#### 4. Kesimpulan

1. Faktor pengelasan SMAW yang paling berpengaruh terhadap besarnya distorsi angular

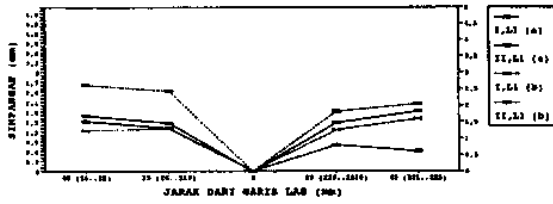
pada *flange* sambungan T (untuk baja lunak SS400) adalah ketebalan *flange* ( $h$ ). Semakin tebal *flange* (berarti semakin besar jumlah lapisan las yang diberikan) maka semakin besar distorsi angular yang terjadi.

2. Pada pengelasan satu lapis pada salah satu sisi, distorsi angular semakin mengecil dengan meningkatnya ketebalan *flange*. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya tebal *flange* maka akan meningkatkan juga transfer panas secara konduksi.
3. Kecepatan pengelasan ( $v$ ) dan besar arus listrik las ( $I$ ) juga berpengaruh atas besarnya distorsi angular yang terjadi. Semakin besar  $I$  (atau semakin kecil  $v$ ), semakin besar distorsi angular yang terjadi dan mencapai maksimum bila sampai pada harga kondisi pengelasan kritis  $x$ . Untuk *flange* 6 dan 10 mm, diperoleh nilai  $x$  kritis = 0.4-0.5.
4. Rigiditas *flange* 2 mm rendah sehingga terjadinya distorsi angular relatif lebih besar dibandingkan *flange* 6 dan 10 mm. Adanya distorsi *buckling* yang menambah besarnya distorsi angular yang terjadi.
5. Distorsi angular pada hasil akhir lasan (setelah pengelasan berakhir) relatif kurang berimbang (*unbalance*) pada kedua sisinya. Hal ini adalah akibat dari pengelasan kedua sisi yang tidak dilakukan secara bersamaan.

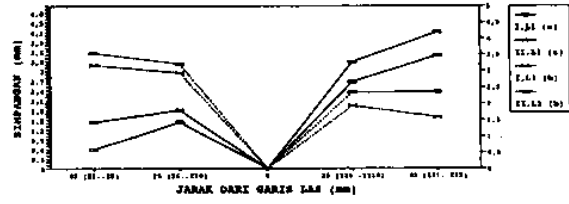
#### Daftar Pustaka

1. American Welding Society, "Volume 1 : Fundamentals of Welding." *Welding Handbook*. 7th ed.
2. \_\_\_\_\_, *ANSI AWS D1.1-90*, "Structural Welding Code (Steel)", 1990.
3. Blodgett, Omer W. *Design Of Weldments*. Cleveland, Ohio: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1976.
4. Davies, A. C., "Volume 1 : Welding Science And Technology." *The Science And Practice Of Welding*. 8th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
5. Smith, Dave, *Welding Skills And Technology*. International ed. New York: Mc Graw-Hill, 1989.
6. Wiryosumarto, Prof.DR.Ir. Harsono dan Okumura, Prof.DR. Toshie, *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita, 1994.

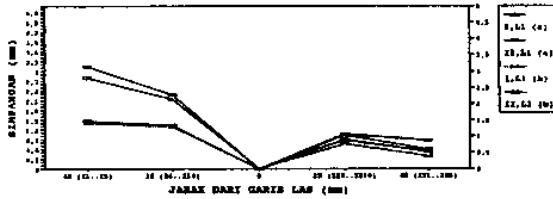
Lampiran Grafik



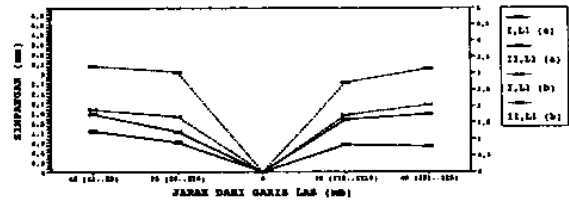
Gambar A1 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 100 A, v = 2,59 mm/detik)



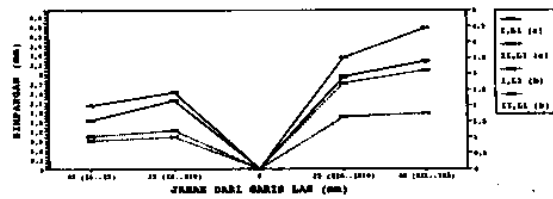
Gambar A6 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 125 A, v = 1,6 mm/detik)



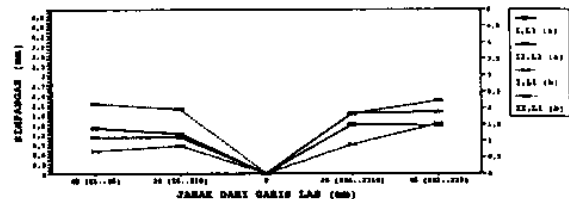
Gambar A2 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 100 A, v = 1,96 mm/detik)



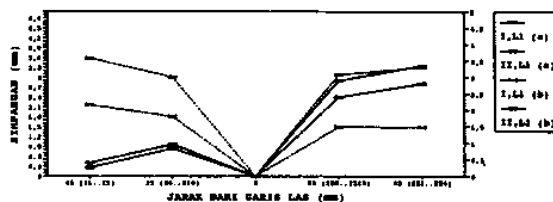
Gambar A7 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 150 A, v = 2,59 mm/detik)



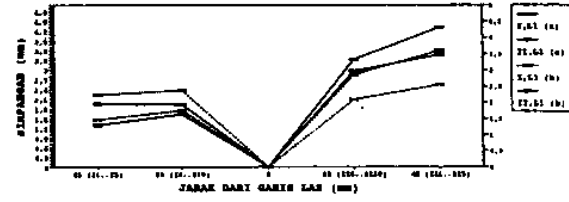
Gambar A3 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 100 A, v = 1,6 mm/detik)



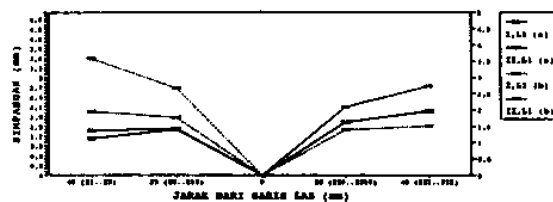
Gambar A8 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 150 A, v = 1,96 mm/detik)



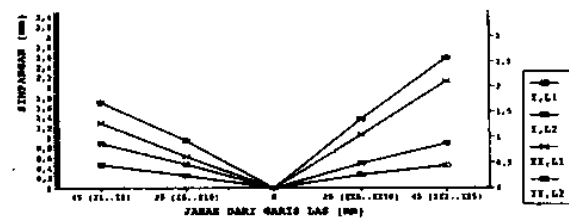
Gambar A4 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 125 A, v = 2,59 mm/detik)



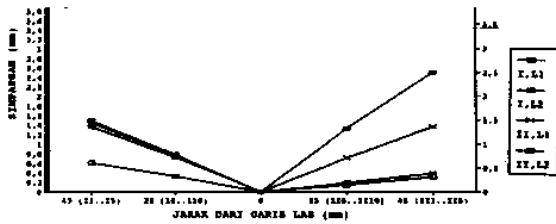
Gambar A9 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 150 A, v = 1,6 mm/detik)



Gambar A5 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 2 mm, l = 125 A, v = 1,96 mm/detik)



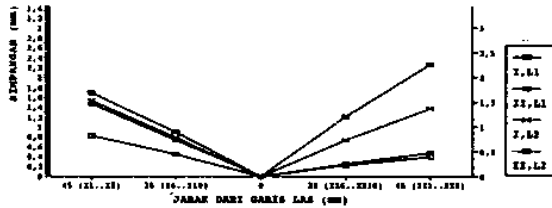
Gambar A10 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 100 A, v = 2,59 mm/detik)



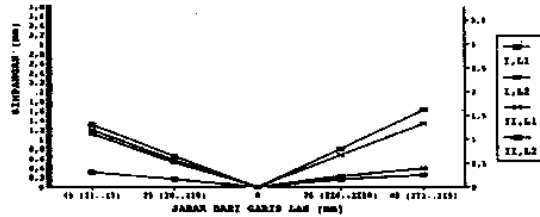
Gambar A11 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 100 A, v = 1,96 mm/detik)



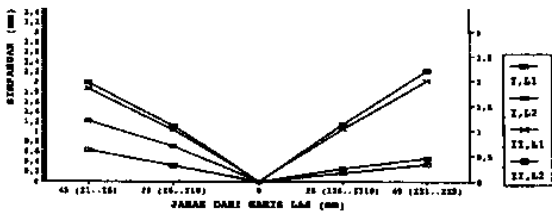
Gambar A16 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 150 A, v = 2,59 mm/detik)



Gambar A12 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 100 A, v = 1,8 mm/detik)



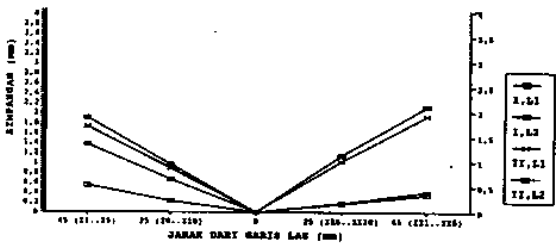
Gambar A17 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 150 A, v = 1,96 mm/detik)



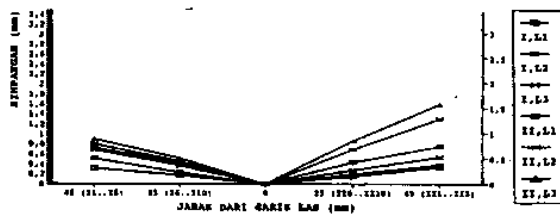
Gambar A13 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 125 A, v = 2,59 mm/detik)



Gambar A18 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 150 A, v = 1,6 mm/detik)



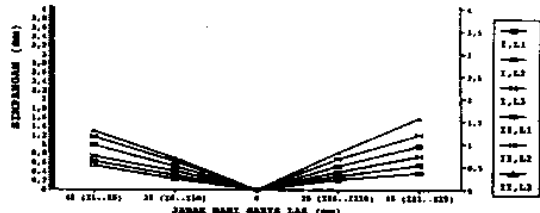
Gambar A14 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 125 A, v = 1,96 mm/detik)



Gambar A19 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 100 A, v = 2,59 mm/detik)

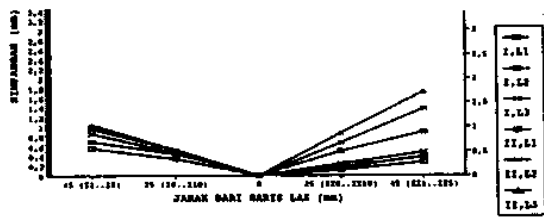


Gambar A15 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 6 mm, l = 125 A, v = 1,6 mm/detik)

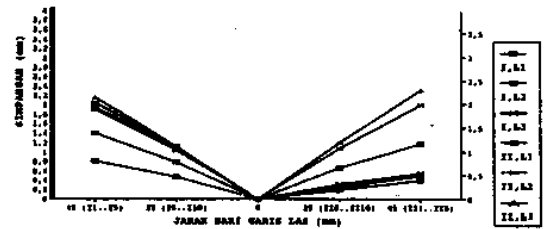


Gambar A20 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 100 A, v = 1,96 mm/detik)

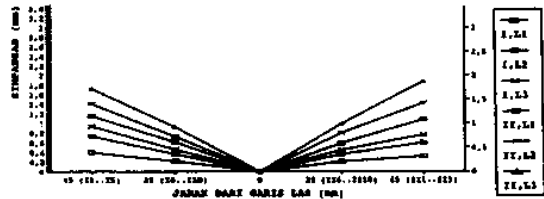




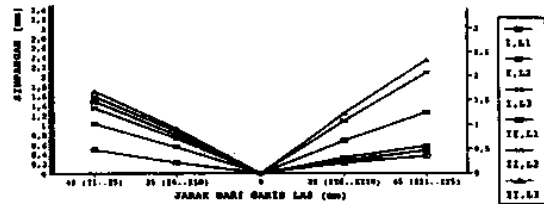
Gambar A21 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 100 A, v = 1,6 mm/detik)



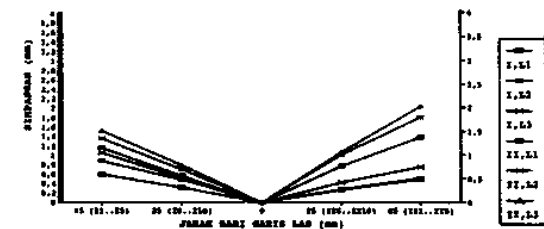
Gambar A26 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 150 A, v = 1,96 mm/detik)



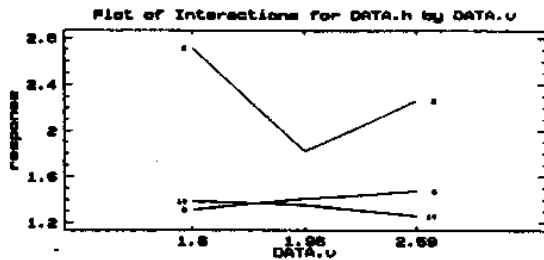
Gambar A22 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 125 A, v = 2,59 mm/detik)



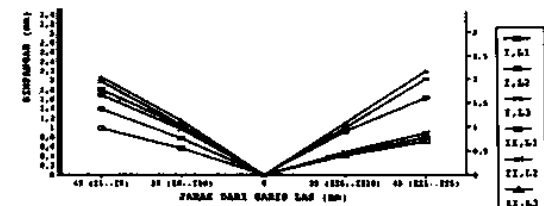
Gambar A27 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 150 A, v = 1,6 mm/detik)



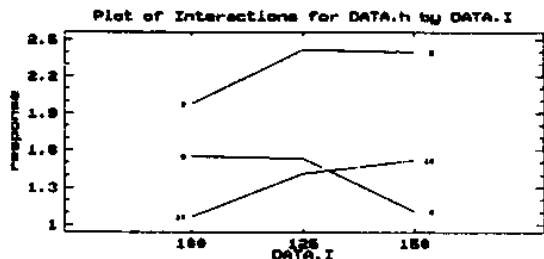
Gambar A23 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 125 A, v = 1,96 mm/detik)



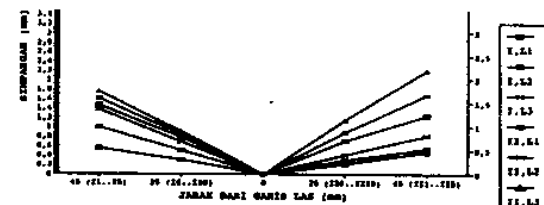
Gambar A28 Plot Respon terhadap Interaksi h dengan v



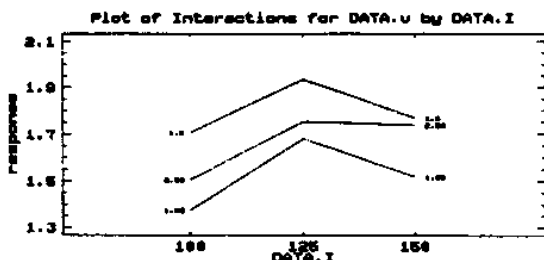
Gambar A24 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 125 A, v = 1,6 mm/detik)



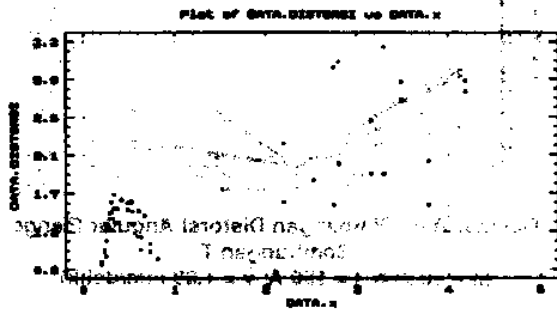
Gambar A28 Plot Respon terhadap Interaksi h dengan l



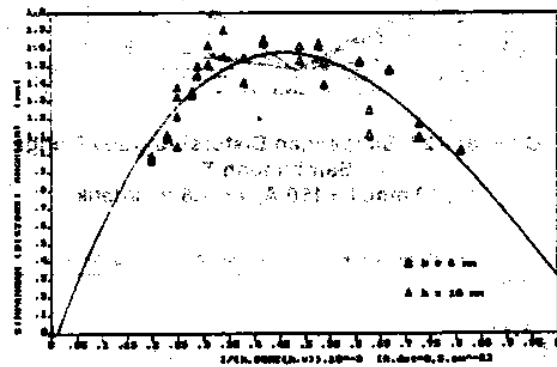
Gambar A25 Simpangan Distorsi Angular Flange Sambungan T (h = 10 mm, l = 150 A, v = 2,59 mm/detik)



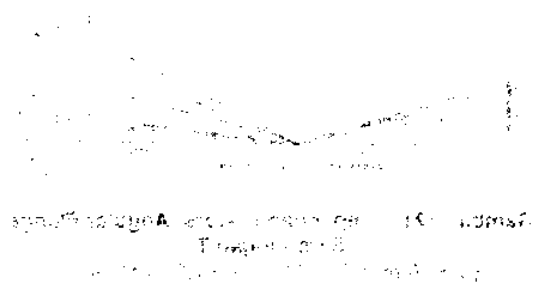
Gambar A28 Plot Respon terhadap Interaksi v dengan l



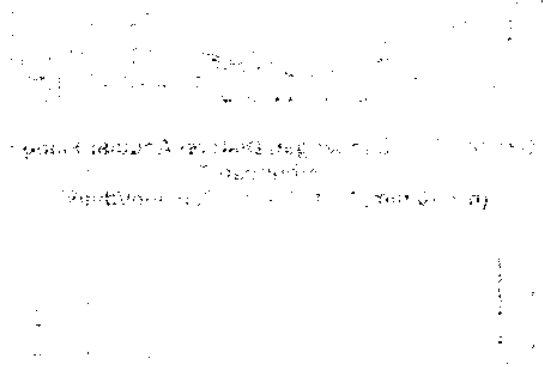
Gambar A31 Diagram Pencer Simpangan (Distorsi Angular) terhadap x



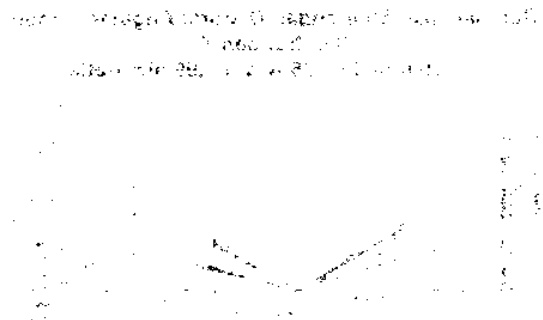
Gambar A32 Hubungan antara Simpangan (Distorsi Angular) terhadap nilai x (untuk panjang 6 dan 10 mm)



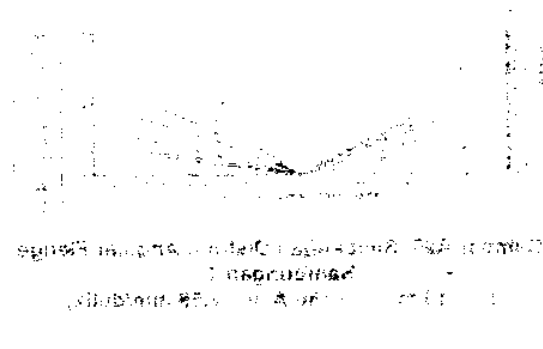
Gambar A33 Diagram Pencer Simpangan (Distorsi Angular) terhadap x



Gambar A34 Hubungan antara Simpangan (Distorsi Angular) terhadap nilai x (untuk panjang 6 dan 10 mm)



Gambar A35 Diagram Pencer Simpangan (Distorsi Angular) terhadap x



Gambar A36 Hubungan antara Simpangan (Distorsi Angular) terhadap nilai x (untuk panjang 6 dan 10 mm)