

Pengaruh Stopper Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Sambungan Butt Weld Pelat Datar Menggunakan Metode Elemen Hingga

Prayoga Relanda Pratama dan Mohammad Nurul Misbah

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail : mnmisbah@na.its.ac.id

Abstrak - Salah satu hal yang mempengaruhi terjadinya tegangan sisa dan deformasi saat proses pengelasan yaitu pemasangan stopper. Stopper digunakan untuk mengekang pelat yang akan dilas sehingga tidak akan bergeser selama proses pengelasan sehingga dapat meminimalisir terjadinya deformasi. Namun, penggunaan stopper yang berlebihan dapat memicu timbulnya tegangan sisa yang besar. Tegangan sisa yang besar dapat menyebabkan terjadinya keretakan pada material. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya deformasi dan tegangan sisa yang terjadi pada pelat datar yang dipasang stopper dengan variasi model yaitu empat tebal pelat dasar (8, 12, 16, dan 20 mm), tiga tebal stopper (8, 10, dan 12 mm) dan empat jarak pemasangan stopper (100, 200, 300, dan 400 mm). Analisa dilakukan menggunakan program komputer dengan membuat pemodelan pengelasan pelat datar yang dipasang stopper. Hasil dari pemodelan akan divalidasi menggunakan uji konvergensi.

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan pada model, deformasi terjadi pada daerah *base metal* yang letaknya jauh dari stopper sedangkan tegangan sisa tersebar banyak pada daerah *base metal* yang letaknya berdekatan dengan stopper. Nilai deformasi akan bertambah besar jika jarak pemasangan stopper besar dan tebal stopper yang digunakan kecil. Pengelasan dengan menggunakan ketebalan base metal 8, 12, 16, dan 20 mm efektif diberikan stopper dengan jarak pemasangan 100 mm dan ketebalan 12 mm karena menghasilkan nilai deformasi minimum.

Kata Kunci – Pelat Datar, Stopper, Tegangan Sisa, Deformasi

I. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan proses penyambungan material dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Sebelum proses pengelasan dilakukan secara penuh, terlebih dahulu dilakukan tahap-tahap persiapan yang berupa persiapan material, persiapan prosedur pengelasan, persiapan sisi dan positioning. Di dalam tahap positioning, biasanya material yang akan dilas diberi alat penahan atau stopper yang bertujuan untuk menahan pelat yang dilas agar tidak berpindah posisinya. Penggunaan stopper pada sambungan *butt weld* merupakan salah satu metode yang biasa digunakan untuk meminimalisir terjadinya deformasi akibat dari proses pengelasan antar pelat.

Penggunaan stopper pada material yang akan dilas dapat mengurangi terjadinya deformasi namun pengeangan stopper yang berlebihan dapat menimbulkan tegangan sisa pada material sehingga dapat menyebabkan keretakan atau *crack* pada daerah hasil pengelasan. Tebal pelat yang dilas, tebal stopper serta jarak pemasangan stopper sangat mempengaruhi kualitas hasil sambungan las.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dianalisa tentang pengaruh stopper terhadap tegangan sisa dan deformasi pada pengelasan pelat datar. Proses analisa dilakukan dengan menggunakan simulasi elemen hingga (software komputer) dengan membandingkan variasi tebal pelat yang dilas, tebal stopper, dan jarak pemasangan stopper sehingga didapatkan nilai

tegangan sisa dan deformasi tiap variasi tebal pelat datar yang di las.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Las

Menurut *American Welding Society* (AWS), las atau *weld* adalah penggabungan setempat bahan logam maupun non logam melalui proses pemanasan material pada suhu/temperature tertentu, dengan atau tanpa pemberian beban/tekanan, dan dengan atau tanpa menggunakan *filler metal*. (Putra)

Selama proses pengelasan bagian yang dilas akan menerima panas setempat dan suhunya akan berubah terus sehingga distribusi temperatur tidak merata. Pemberian panas tersebut juga mengakibatkan bagian material yang dilas akan mengalami pengembangan thermal, sedangkan di bagian lain yang tidak terkena panas akan tetap dan tidak mengalami pemuaiian termal. Kejadian tersebut akan mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit dan akan mengakibatkan perubahan bentuk mekanik. (Mahfud, 2012)

B. Thermal Las

Hampir semua proses pengelasan dilakukan dengan cara melakukan pemanasan setempat atau lokal. Beban *heat input* yang diberikan pada saat pengelasan menyebabkan peningkatan temperature material yang terkena busur api las sampai pada suhu lebur. Perubahan temperature pada daerah yang mengalami kontak langsung dengan busur las berlangsung dengan sangat cepat sehingga menciptakan perbedaan temperature dengan daerah di dekatnya. Segera setelah perbedaan temperatur terjadi panas mulai mengalir ke sekitar daerah pengelasan yang mempunyai temperature lebih rendah sehingga terjadi distribusi panas ke daerah sekitar alur las. (Morna, 2012)

Distribusi temperature yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak merata pada seluruh material. Distribusi temperature yang tidak merata terjadi baik dalam hal tempatnya pada material maupun bila ditinjau dari segi waktu terjadinya. Ketidakmerataan distribusi temperature menyebabkan timbulnya

deformasi pada struktur las. Sehingga untuk dapat menyelesaikan berbagai persoalan dari tegangan dan deformasi hasil pengelasan harus diketahui dahulu bagaimana distribusi dari temperature yang dihasilkan terhadap material las. (Morna, 2012)

C. Tegangan Sisa

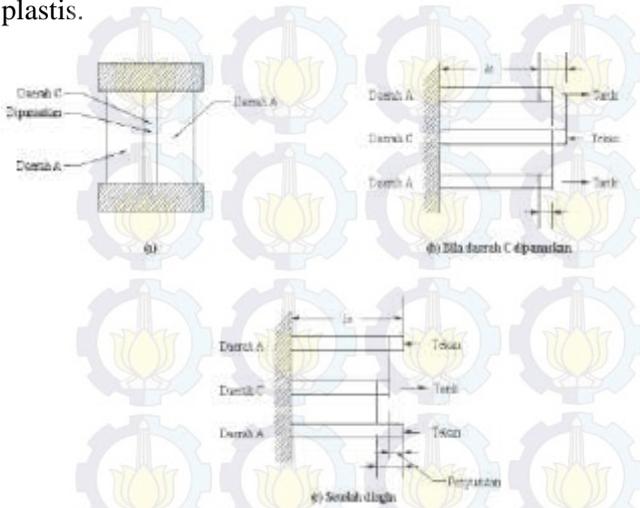
Tegangan sisa selalu muncul apabila sebuah material dikenai perubahan temperature non-uniform, tegangan-tegangan ini disebut tegangan panas. Untuk membahas masalah pengelasan, tegangan sisa yang akan ditinjau adalah tegangan sisa yang ditimbulkan dari distribusi regangan non-elastik yang tidak merata pada material. Tegangan sisa pada logam dapat terjadi karena banyak hal selama proses produksi antara lain :

- Material yang termasuk bentuk pelat dan batangan dikenal dengan proses *roll*, *casting* dan *forging*
- Selama pembentukan bagian-bagian metal oleh proses-proses seperti *bending*, *grinding*, *shearing*, dan *machining*
- Selama proses fabrikasi, seperti pengelasan

Terjadinya tegangan sisa diekspresikan pada Gambar 1, dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan, pengembangan pada daerah C ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Tetapi bila luas pada daerah A jauh lebih besar daripada daerah C, maka daerah C akan terjadi perubahan bentuk tetap (distorsi), sedangkan pada daerah A terjadi perubahan bentuk elastis. Ketika proses pengelasan selesai, terjadi proses pendinginan dimana daerah C menyusut cukup besar karena disamping pendinginan juga karena tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A, oleh sebab itu daerah C akan terjadi tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A. (Wiryosumarto, 1996)

Factor-faktor yang mempengaruhi pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh beban, temperature pemanasan tertinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar dan pemanasan awal. Ketika material dipanasi secara merata, akan terjadi tegangan. Tegangan sisa juga akan terjadi ketika regangan

yang didistribusikan tidak merata seperti regangan plastis.



Gambar 1. Pembentukan Tegangan Sisa (Wiryosumarto, 1996)

D. Perubahan Bentuk Dalam Pengelasan

Dalam proses pengelasan, karena adanya pencairan, pembekuan, pengembangan termal, perpendekan dan penyusutan maka pada konstruksi las selalu terjadi perubahan bentuk yang sangat rumit. Walaupun demikian secara kasar perubahan bentuk yang terjadi masih dapat dipisah-pisahkan. (Wiryosumarto, 1996)

Factor yang mempengaruhi terbentuknya deformasi las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok pertama yang erat hubungannya dengan masukan panas pengelasan dan kelompok kedua yang disebabkan oleh adanya penahan atau penghalang pada sambungan las. Factor yang termasuk dalam kelompok pertama adalah masukan panas pengelasan (yang ditentukan oleh tegangan listrik, aliran listrik, kecepatan pengelasan dan ukuran serta jenis electrode), cara pemanasan, suhu pemanasan mula, tebal pelat, geometri sambungan dan jumlah lapisan dari lasan. Sedangkan yang tercakup dalam kelompok kedua adalah bentuk, ukuran serta susunan dari batang-batang penahan dan urutan pengelasan. (Wiryosumarto, 1996)

D. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Hal ini sulit diselesaikan dengan solusi analisa matematis. Pendekatan metode elemen hingga adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (node). Dalam proses penentuan titik simpul yang di sebut dengan pendeskritan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh. (Bantami, 2009)

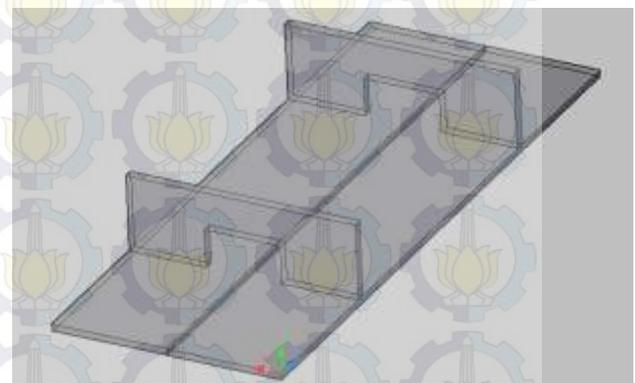
III. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan pengelasan pelat datar yang dipasang stopper dengan menggunakan software komputer. Pemodelan dilakukan dengan dua cara yaitu pemodelan *thermal* dan *structural*. Hasil dari pemodelan struktur yang berupa tegangan sisa dan deformasi akan divalidasi menggunakan uji konvergensi.

A. Ukuran Model

Berikut ini data yang digunakan dalam pembuatan model yaitu :

- Panjang Pelat Datar : 800 mm
- Lebar Pelat Datar : 150 mm
- Stopper : 300 x 100 mm



Gambar 2. Pemodelan Pelat Datar dan Stopper

B. Tahap Pemodelan Thermal

Hasil dari analisa thermal yaitu distribusi panas berupa perubahan temperatur terhadap waktu selama proses pengelasan sampai pendinginan berlangsung. Data input untuk analisa *thermal* berupa: *thermal properties*, *heat flux* dan *convection*. Perhitungan *heat flux* menggunakan persamaan berikut :

$$Q = \eta \times U \times I \tag{1}$$

$$A_f = b \times v \times t \tag{2}$$

$$A_e = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \tag{3}$$

$$A_1 = p \times l \tag{4}$$

$$q_e = \frac{Q}{A_e} \tag{5}$$

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f} \tag{6}$$

Keterangan :

- Q = heat input bersih
- η = efisiensi pengelasan
- U = voltase
- I = kuat arus
- A_f = luas area pembebanan
- B = lebar kampuh
- v = kecepatan pengelasan
- t = waktu pengelasan per elemen
- A_e = luas penampang elektroda
- D = diameter elektroda
- A₁ = luas satu elemen
- p = panjang satu elemen
- l = lebar satu elemen
- q₁ = heat flux

Dari hasil perhitungan beban thermal diperoleh besarnya heat flux yaitu 6653543192.95 Watt/m².

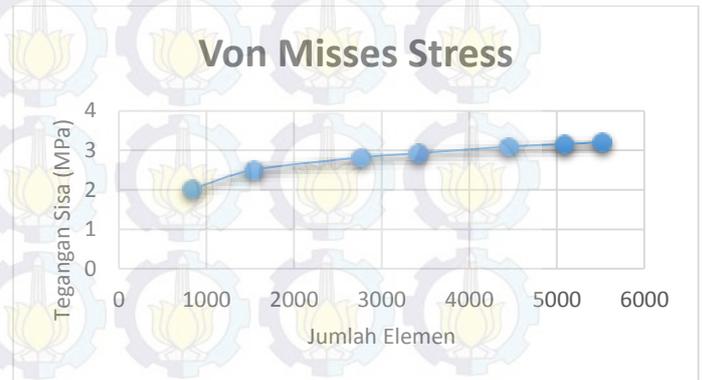
C. Tahap Pemodelan Struktur

Hasil analisa struktur berupa deformasi dan tegangan sisa. Data input untuk analisa struktur berupa: *mechanical properties* material dan hasil analisa *thermal*. Pada model struktur salah satu bagian penting yang harus dilakukan sebelum

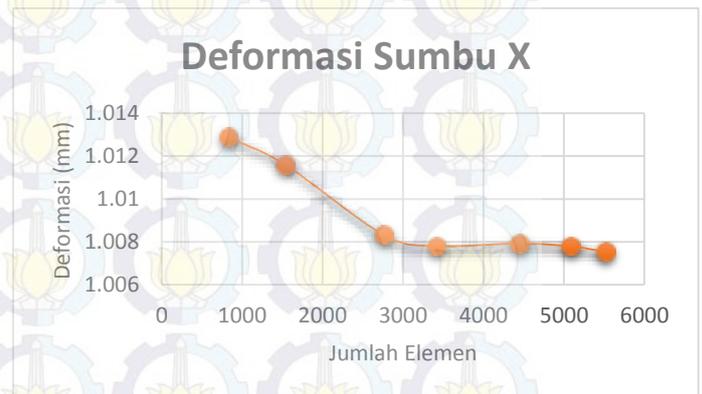
pembebanan adalah pemberian kondisi batas yang berupa tumpuan (*constraint*). Pemberian tumpuan ini berguna agar proses perhitungan dapat dilakukan dan tegangan yang dihasilkan dapat ditampilkan.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

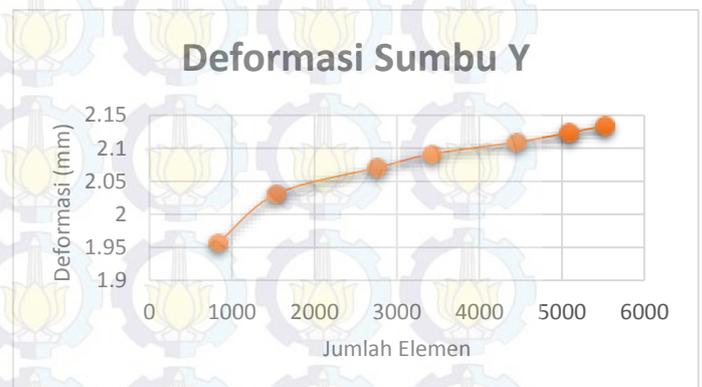
A. Uji konvergensi



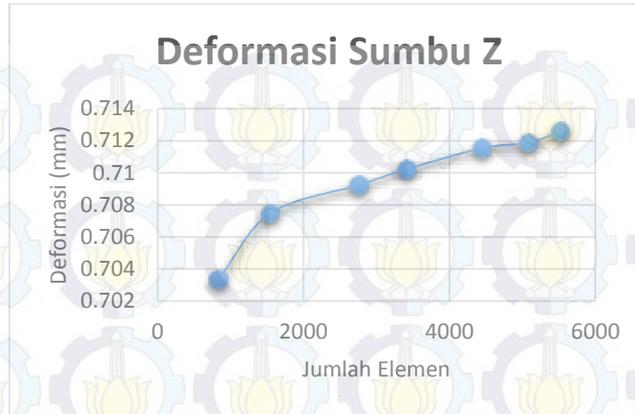
Gambar 3. Grafik Konvergensi Von Mises Stress



Gambar 4. Grafik Konvergensi Deformasi Arah Sumbu X



Gambar 5. Grafik Konvergensi Deformasi Arah Sumbu Y



Gambar 6. Grafik Konvergensi Deformasi Arah Sumbu Z

Tabel 1. Variasi Base Metal 8 mm

No	Tebal Stopper (mm)	Jarak Stopper (mm)	Deformasi (mm)				Von Mises Stress (MPa)
			Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Total Resultan	
1	8	100	0.289	0.051	0.017	0.294	5.69
		200	0.668	0.287	0.044	0.728	5.24
		300	0.852	0.493	0.063	0.986	5.33
		400	0.910	1.298	0.009	1.585	5.28
2	10	100	0.280	0.040	0.016	0.283	5.21
		200	0.664	0.203	0.023	0.695	5.05
		300	0.854	0.362	0.043	0.928	5.2
		400	0.914	0.940	0.005	1.311	5.16
3	12	100	0.277	0.032	0.013	0.279	5.23
		200	0.663	0.169	0.017	0.685	5.19
		300	0.886	0.300	0.036	0.936	5.37
		400	0.917	0.732	0.005	1.174	5.31

Tabel 2. Variasi Base Metal 12 mm

No	Tebal Stopper (mm)	Jarak Stopper (mm)	Deformasi (mm)				Von Mises Stress (MPa)
			Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Total Resultan	
1	8	100	0.270	0.040	0.016	0.275	6.13
		200	0.612	0.455	0.094	0.769	5.7
		300	0.771	0.793	0.118	1.112	5.75
		400	0.822	2.156	0.008	2.307	5.59
2	10	100	0.270	0.040	0.040	0.276	5.65
		200	0.609	0.327	0.064	0.694	5.47
		300	0.774	0.583	0.086	0.973	5.56
		400	0.827	1.612	0.004	1.812	5.45
3	12	100	0.267	0.053	0.031	0.274	5.5
		200	0.609	0.250	0.049	0.660	5.55
		300	0.773	0.418	0.055	0.881	5.67
		400	0.830	1.212	0.004	1.469	5.55

Tabel 3. Variasi Base Metal 16 mm

No	Tebal Stopper (mm)	Jarak Stopper (mm)	Deformasi (mm)				Von Mises Stress (MPa)
			Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Total Resultan	
1	8	100	0.279	0.110	0.080	0.310	6.3
		200	0.580	0.553	0.146	0.815	6.09
		300	0.724	1.013	0.183	1.258	6.14
		400	0.770	2.821	0.007	2.924	5.8
2	10	100	0.269	0.098	0.067	0.294	5.85
		200	0.577	0.419	0.111	0.721	5.83
		300	0.725	0.774	0.142	1.070	5.9
		400	0.774	2.200	0.003	2.332	5.65
3	12	100	0.265	0.073	0.055	0.281	5.64
		200	0.576	0.326	0.089	0.668	5.85
		300	0.727	0.601	0.114	0.950	5.92
		400	0.777	1.674	0.004	1.846	5.68

Tabel 4. Variasi Base Metal 20 mm

No	Tebal Stopper (mm)	Jarak Stopper (mm)	Deformasi (mm)				Von Mises Stress (MPa)
			Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z	Total Resultan	
1	8	100	0.284	0.106	0.103	0.320	6.37
		200	0.559	0.571	0.185	0.820	6.42
		300	0.691	1.110	0.241	1.330	6.56
		400	0.734	3.171	0.006	3.255	6.44
2	10	100	0.273	0.102	0.089	0.305	5.94
		200	0.555	0.458	0.153	0.735	6.14
		300	0.692	0.892	0.198	1.146	6.24
		400	0.737	2.597	0.003	2.699	6.05
3	12	100	0.268	0.081	0.077	0.291	5.72
		200	0.554	0.374	0.128	0.680	6.12
		300	0.693	0.765	0.163	1.045	6.14
		400	0.739	2.046	0.003	2.175	5.74

Dari hasil analisa menunjukkan bahwa besar deformasi maksimum terjadi pada variasi tebal *base metal* 20 mm, tebal stopper 8 mm, dan jarak pemasangan stopper 400 mm. Deformasi minimum terjadi pada variasi tebal *base metal* 8 mm, tebal stopper 12 mm, dan jarak pemasangan stopper 100 mm. Deformasi terjadi pada daerah *base metal* yang letaknya berjauhan dengan stopper sedangkan tegangan sisa banyak tersebar pada daerah *base metal* yang letaknya berdekatan dengan stopper. Semakin besar jarak pemasangan stopper maka semakin besar deformasi yang dihasilkan sedangkan semakin besar tebal stopper yang digunakan maka deformasinya akan berkurang.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa dari pemodelan elemen hingga pengelasan pelat datar menggunakan stopper yang telah dilakukan maka dalam bab ini dapat diuraikan beberapa kesimpulan dan saran yang bisa dibahas sebagai kelanjutan dari penelitian tugas akhir ini.

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Deformasi terbesar terjadi pada daerah *base metal* yang letaknya jauh dari stopper
2. Tegangan sisa terbesar terjadi pada daerah *base metal* yang letaknya berdekatan dengan stopper
3. Deformasi maksimum sebesar 3,255 mm terjadi pada variasi tebal *base metal* 20 mm, jarak

pemasangan stopper 400 mm dan tebal stopper 8 mm

4. Deformasi minimum sebesar 0,279 mm terjadi pada variasi tebal base metal 8 mm, jarak pemasangan stopper 100 mm dan tebal stopper 12 mm
5. Pengelasan dengan menggunakan ketebalan base metal 8, 12, 16, dan 20 mm efektif diberikan stopper dengan jarak pemasangan 100 mm dan tebal stopper 12 mm karena menghasilkan nilai deformasi terkecil.
6. Semakin besar jarak pemasangan stopper maka semakin besar deformasi yang dihasilkan dan semakin besar tebal stopper maka deformasi yang dihasilkan akan berkurang
7. Tegangan sisa banyak tersebar pada variasi jarak pemasangan stopper 100 mm dikarenakan pengekangan stopper yang berlebihan akan memicu timbulnya tegangan sisa yang banyak

B. Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat beberapa kekurangan. Oleh karena itu penulis memberikan saran-saran untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Jenis karakteristik material yang digunakan adalah ASTM A36. Dapat dilakukan pemodelan dengan jenis material lain sehingga dapat dibandingkan hasil analisisnya
2. Dapat dilakukan pemodelan dengan ukuran base metal yang lebih luas
3. Perlu dilakukan analisa terhadap tack weld pada bagian stopper

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amarna, L. 1998. *Pengaruh Residual Stress Pada Pengelasan Pipa*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [2] Bantami, W. 2009. *Pengaruh Jarak Tanggem Terhadap Deformasi dan Cacat Retak Pada Sambungan Butt Joint Material Baja SS 41 Dengan Pengelasan SMAW*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Mahfud. 2012. *Analisa Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pengelasan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Pengelasan SMAW dan*

FCAW Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisa Pemodelan Elemen Hingga. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [4] Morna, M. Z. 2012. *Analisa Terbentuknya Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Pengelasan Pipa Beda Jenis Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [4] Pilipenko, A. 2001. *Computer Simulation of residual stress and distortion of thick plates in multi-electrode submerged arc welding*. Norwegian University of Science and Technology.
- [5] Putra, W. H. A. *Teknik Las*. Diktat Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [6] Wahyudi. 1999. *Studi Pengaruh Sudut Tanggem Terhadap Retak Pada Pengelasan Butt-Joint dengan Las SMAW*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Wiryosumarto, H. dan Okumura, T. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.