

ANALISIS PENGARUH PENGGUANAAN ALAT BANTU BENDING PADA PROSES BENDING *HIGH DENSITY POLIETILINE (HDPE) SHEET* UNTUK LAMBUNG KAPAL IKAN DENGAN METODE *HEAT TREATMENT*

Samuel Febriary Khristyson

Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro Semarang
Email: samuelfebriarykhr@staff.undip.ac.id

Mohd. Ridwan

Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro Semarang
Email: mohdridwan@lecturer.undip.ac.id

Adi Kurniawan Yusim

Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro Semarang
Email: adiyusim.vokasi@live.undip.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan kayu secara berlebihan juga kurang tepat jika dilakukan secara terus menerus untuk kelestarian alam. Begitupun biaya perawatan lambung kapal kayu nelayan memiliki biaya yang relatif tinggi sehingga terkadang membuat nelayan terbebani untuk melakukan perawatan. Material alternatif sebagai struktur konstruksi kapal, salah satunya adalah bahan plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* yang memiliki sifat material *viskoplastic*. Suatu alat bantu digunakan untuk mempermudah proses pengerjaan sehingga mengurangi adanya resiko kecelakaan kerja akibat kondisi lingkungan dan kesulitan pada teknik pengolahan bahan material *HDPE*. Modifikasi penggunaan alat bantu diharapkan dapat membantu memberikan kontribusi terhadap penggunaan alat praktik untuk kegiatan praktikum dan penelitian di lingkungan laboratorium. Tujuan penelitian ini mengetahui tingkat pengaruh penggunaan alat bantu untuk proses penekukan plat *HDPE* dengan cara *heat treatment*. Metode pada penelitian ini dengan metode observasi dan eksperimen dengan melihat problem yang terdapat di lapangan. Hasil penelitian ini menunjukkan proses penekukan plat dengan menggunakan alat bantu dan cara *heat treatment* dapat meningkatkan area bending sebesar 83 %. Perlakuan panas dengan pendinginan sesaat dapat membuat material cepat mengalami bentuk bending yang memiliki alur bending sesuai dengan yang diinginkan. Alat bantu bending ini termasuk dalam teknologi tepat guna pengembangan alat praktik untuk kegiatan penelitian dan praktikum pada laboratorium pendidikan dan penelitian.

Kata kunci: Alat bantu, Bending, *Polietilene*, Kapal Ikan

ABSTRACT

Excessive use of wood is inappropriate if it continuously to preserve world. Likewise, the cost of maintaining the hull of a wooden fishing boat is relatively high, which sometimes makes it burdensome for fishermen to carry out maintenance. Alternative materials as ship construction structures, one of which is High Density Polyethylene (HDPE) plastic material, has the properties of a viscoplastic material, so it needs certain treatments. Tools are used to simplify the work process thereby reducing the risk of work accidents due to environmental conditions and difficulties in processing techniques for HDPE materials. Modifications to the use of assistive devices are expected to help contribute to the use of practical tools for practicum and research activities in the laboratory environment. The purpose of this study was to determine the level of influence of the use of assistive devices for the HDPE plate bending process of heat treatment. The method in this study is the observation and experiment method by looking at the problems in the

field. The results of this study indicate that the process of bending the plate using tools and heat treatment methods can increase the bending area by 83%. Heat treatment with instantaneous cooling can make the material quickly experience a bending shape that has the desired bending groove. This bending aid is included in the appropriate technology for the development practical tools for research and practicum activities in educational and research laboratories.

Keywords: Tools, Bending, Polyethylene, Fishing Boats

1. PENDAHULUAN

Kapal nelayan memiliki biasanya memiliki lambung berbahan dari kayu, selain karena banyak ditemukan dan mudah ditemukan di daerah pesisir pantai di Indonesia. Namun penebangan dan penggunaan kayu secara berlebihan juga kurang tepat jika dilakukan secara terus menerus untuk kelestarian alam. Adapun dalam perawatan kapal kayu terkadang para nelayan mengalami kendala untuk perawatannya, dimana sering terjadi pengeroposan atau pelapukan kayu karena waktu operasinal dari rendaman dari air laut ataupun dari lumut atau hewan laut yang menempel pada lambung kapal. Begitupun biaya perawatan lambung kapal kayu nelayan memiliki biaya yang relatif tinggi sehingga terkadang membuat nelayan terbebani untuk melakukan perawatan terhadap armada kapalnya. Inovasi terbaru dari beberapa material yang lebih mudah dalam proses daur ulangnya telah dilakukan oleh beberapa ahli. Material alternatif sebagai stuktur konstruksi kapal sedang banyak dilakukan pengembangan. Sebagai pengembangan penelitian pada laboratorium Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapakan membuat kapal ikan tradisional berbahan plastik *High Density Polyethylene (HDPE)*. Karena sifat materialnya yang *viscoplastic* maka perlu adanya *treatment* tertentu untuk penanganan material ini [1]. Suatu alat bantu diperlukan untuk proses pembuatan suatu produk sehingga dapat selesai dan dapat digunakan secara tepat waktu. Dalam pembuatan alat bantu digunakan untuk mempermudah proses pengerjaan serta posisi tubuh pekerja menjadi lebih aman, nyaman dan sehat sehingga mengurangi adanya resiko kecelakaan kerja akibat kondisi lingkungan dan kesulitan teknik pengolahan bahan material mempengaruhi hasil produksi [2]. Maka itu guna mengatasi permasalahan tersebut dilakukanlah pengembangan alat bantu sebagai teknologi tepat guna dapat mengoptimalkan proses pengolahan bahan dan pengerjaan penelitian di lingkungan akademik. Kemampuan peningkatan kinerja sebuah mesin sangat dipengaruhi oleh fungsi dari mesin atau alat yang dapat bekerja secara optimal [3][4]. Modifikasi penggunaan alat bantu juga diharapkan dapat membantu memberikan kontribusi terhadap penggunaan alat praktik untuk kegiatan praktikum dan penelitian di lingkungan laboratorium pendidikan dan penelitian. Asistensi penggunaan alat bantu sebagai sarana penunjang kegiatan sangat diperlukan jika terdapat kesulitan, baik dari sisi kemanfaatan dan postur kerja bagi mahasiswa atau peneliti dalam hal ini. Alat bantu permesinan merupakan komponen yang digunakan untuk mempermudah dalam proses produksi [5].

Penelitian sebelumnya mengemukakan proses pengelasan termoplastik yang berbeda untuk mencapai kinerja optimal dalam beberapa proyek. *HDPE* merupakan bahan plastik yang paling banyak diproduksi dan digunakan. Kelarutan polimer harus diperhitungkan, jika tidak sama maka bahan *filler polimer* akan memiliki pengaruh terhadap kekuatan sambungan pengelasan [6][7]. Di sisi lain, sebagian besar *polimer* tidak dapat bercampur secara termodinamika, sehingga perlu adanya *pre heating* untuk meningkatkan kapasitas *adhesi* antar muka bahan *polimer* yang merupakan prasyarat untuk meningkatkan kualitas pengelasan [8][9]. Sementara itu material serupa sebagai lambung kapal nelayan masih menggunakan kayu. Proses pelengkungan kayu memiliki *history* penelitian diantaranya cara pembuatan komponen lengkung menggunakan alat bending, cenderung menghasilkan sifat rendemen yang rendah. Sehingga cara lain yang lebih efisien adalah pelengkungan kayu secara fisis dan kimiawi [10][11]. Pemanasan dan teknik pelengkungan diharapkan dapat menjadi solusi dalam proses pembantukan lambung kapal [12][13]. Senada dengan hal tersebut penelitian dengan menggunakan plat bending berbahan karbon memiliki karakteristik yang dituangkan pada sebuah model untuk mengilustrasikan pengaruh variasi *long-strike* defleksi pelat pada tegangan lentur [14][15]. Seperti contoh tegangan

normal dan tegangan geser yang bekerja pada penampang melintang. Ketika hukum *Hooke* berlaku, kita dapat memperoleh tegangan dan pergeseran normal dari rumus tekuk dan geser (persamaan 1).

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (1)$$

Di dalam pendekatan bending, adalah tegangan normal (σ) yang bekerja pada penampang, (M) adalah momen lentur, (Y) adalah jarak dari sumbu netral, dan (I) adalah momen inersia penampang sumbu netral.

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad (2)$$

Pendekatan tegangan geser (τ) adalah tegangan geser pada suatu titik pada penampang, (V) adalah tegangan geser, (Q) adalah momen lentur (momen statis) luas penampang luar titik tersebut pada persilangan dimana tegangan dicari, dan tegangan normal diperoleh dari rumus lentur mempunyai nilai maksimum pada letak terjauh sumbu netral, sedangkan pada sumbu geser tegangan yang diperoleh dari rumus geser biasanya mempunyai nilai terbesar pada sumbu netral. Sehingga deformasi pada sebuah plat baja, memiliki tegangan lentur didalam kenaikan suatu permukaan plat yang bervariasi secara signifikan disepanjang pelengkungan zona terkontak dengan alat bending [16][17]. Namun demikian diperlukan penunjang alat bantu untuk proses pelengkungan material alternatif berbahan plastik *High Density Polyethylene (HDPE) sheet*. Alat ini dapat berupa penahan atau *support* dari *chain block* dan mengalami kontak dengan permukaan plat *HDPE* sehingga terbentuk lengkungan yang dapat dibentuk sesuai lambung kapal.



Gambar 1. Plat HDPE Bagian Haluan Prototipe Kapal Nelayan Tradisional

Diharapkan dengan adanya alat bantu ini sehingga dapat mempermudah proses penekukan plat *HDPE* dengan metode panas. Dengan demikian semakin tingkat presisi lebih baik maka dapat mempercepat proses produksi pembuatan *prototipe* kapal. Pengujian pada bentuk *prototipe* lambung kapal yang terbentuk berbanding dengan kecepatan proses penekukan plat *HDPE* masih tergolong cara tradisional yang cukup baru dan termasuk dalam teknologi tepat guna, sehingga perlu adanya evaluasi dan pengawasan kondisi alat serta performa dari alat [18][19]. Maka pemanfaatan laboratorium sebagai sarana penunjang kegiatan penelitian dan pembelajaran baik secara *virtual* ataupun praktikal dapat menunjang praktek berbasis *workbench* bagi mahasiswa dan *civitas* akademik [20]. Oleh karenanya tujuan penelitian ini mengetahui tingkat pengaruh penggunaan alat bantu untuk proses penekukan plat *HDPE* dengan cara *heat treatment*. Rencana kedepan pengembangan yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan limbah plastik

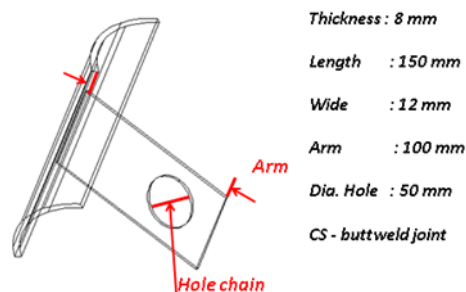
sehingga proses *ricycle* berjalan dengan baik dan dapat disalurkan sebagai bahan material alternatif untuk kapal nelayan tradisional. Selain karena umur yang relatif tahan lama juga perawatan yang cukup ringan, namun demikian perlu ada peran serta pemerintah dalam mendukung para nelayan tradisional dalam mengaplikasikan penelitian ini untuk kedepan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Teknologi tepat guna untuk membentuk suatu lengkungan pada plat *HDPE* membantu proses pengerjaan peneitian pada laboratorium pendidikan dan penelitian , yaitu *prototipe* kapal ikan nelayan tradisional yang diharapkan dapat semakin lebih mudah dan cepat. Dengan perbandingan data pengerjaan yang megunakan cara pelengkungan manual dengan menggunakan alat *press* maka akan mendapatkan *prosentase* efektifitas dalam total kebutuhan total tenaga dan anggaran yang didapatkan..

2.1 Bahan

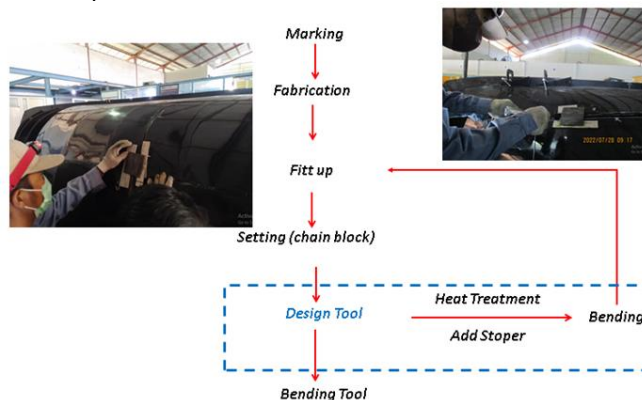
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah suatu material dengan tingkat kekerasan dan *melting point* lebih tinggi dari pada *HDPE plate*. Sehingga *material properties* yang digunakan adalah baja karbon rendah. Dari segi desain maka diperlukan suatu pengait yang dapat dikontrol untuk menekan sambungan atar plat *HPDE* sehingga dapat dilakukan proses pelengkungan. Konsep desain dapat direncanakan dengan menggunakan *software CAD* dan membuat alat yang dapat digunakan dalam pengoperasiannya dengan mudah.



Gambar 2. Desain dan spesifikasi alat bantu

2.2 Metode

Metode yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini menggunakan metode observasi dan eksperimen dengan melihat *problem* yang terdapat dilapangan saat proses *setting* plat *HDPE* untuk pelengkungan bentuk 3D. Bagian ini biasanya terdapat pada bagian lengkungan kapal bagian haluan atau buritan kapal.



Gambar 3. Alur Metode

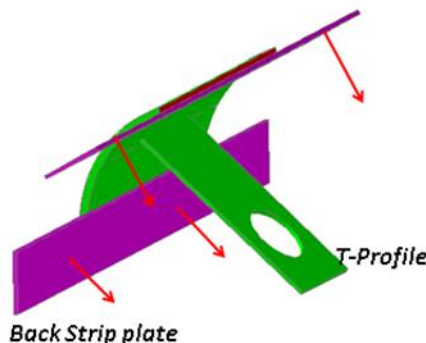
Dari Gambar 3 dapat diketahui alur proses pelaksanaan penekukan dengan plat *HDPE*. Nantinya hasil penggunaan alat akan mempengaruhi kecepatan dan hasil produksi pembuatan prototipe kapal ikan tradisional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perancangan model alat bantu maka didapatkan bentuk alat yang dapat mendukung proses pelengkungan plat berbahan plat baja. Alat ini nantinya akan mendapatkan gaya tarik untuk menekan permukaan plat *HDPE*, sementara proses tersebut terjadi maka dilakukan *heat treatmen* dengan alat *thermoplastic welding* untuk mendapatkan titik lentur plat *HDPE*. Sekejap setelah terbentuk lengkungan maka dapat didinginkan sesaat menggunakan air dengan metode *spray* kepada objek permukaan benda plat *HDPE*.

3.1 Desain alat bantu

Dengan beberapa observasi di lapangan maka didapatkan desain alat bantu berupa plat strip dengan bentuk profil T. Dimana pada bagian *flat bar* terdapat lubang yang nantinya diberikan pengait untuk *chain block*.



Gambar 4. Model Alat Bantu

Sehingga dapat diketahui dengan arah penarikan kedalam dapat memberikan pengaruh gaya pada permukaan plat *HDPE*. Gambar 4 menunjukkan adanya penambahan *back stip plate* pada daerah terkontak antara alat bantu bending tersebut dengan permukaan plat *HDPE*. Fungsi dari back strip plat tersebut memberikan arah gaya yang tersebar pada daerah permukaan sehingga dapat direkayasa lengkungan bentuk lambung kapal yang sesuai. Untuk bahan *back strip plate* ini juga terbuat dari plat baja sehingga ketika terjadi proses *heat treatmen* terhadap permukaan plat *HDPE* tidak mempengaruhi bentuk dan kekuatan dari alat las termoplastik *HDPE*.



Gambar 5. Aplikasi Alat Dari Sisi Luar Lambung Kapal

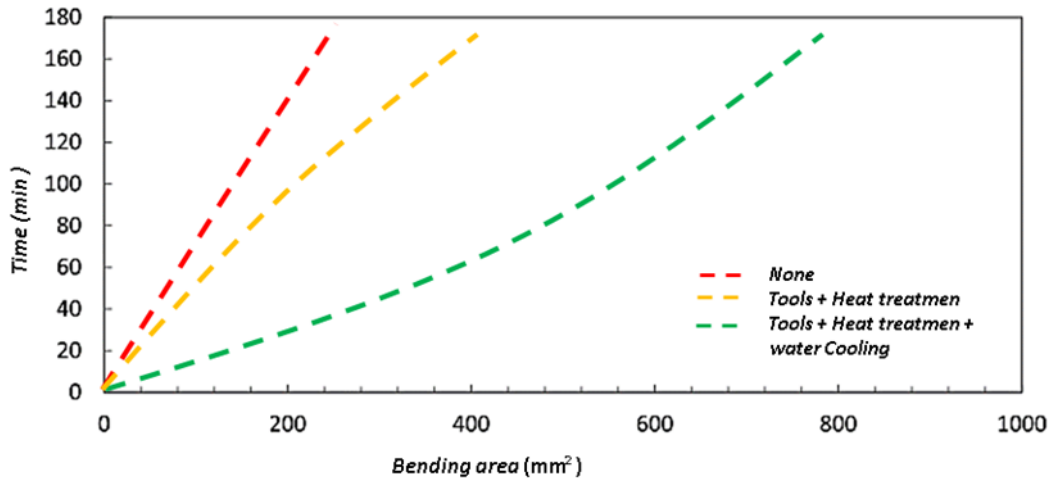


Gambar 6. Aplikasi Alat Dari Sisi Dalam Lambung Kapal

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan proses penggunaan aplikasi dari alat bantu bending tersebut. Fungsi utamanya memberikan gaya tarik sehingga mengurangi kemungkinan tinggi dan rendahnya permukaan plat *HDPE*. Sehingga dapat dilakukan pengelasan dengan bentuk permukaan lambung kapal ikan yang sesuai dengan desain lengkungan. Kapasitas dari *chain block* yang digunakan adalah 1 ton, cukup untuk memberukan pengaruh perubahan *leveling* pada permukaan plat *HDPE*.

3.2 Hasil pengujian

Dari hasil pengamatan penggunaan alat bantu tersebut maka dapat dituangkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan dengan menggunakan alat bantu ini dapat mempercepat proses produksi pembuatan *prototype* kapal ikan tradisional berbahan plat *HDPE* ini, lihat Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Penggunaan Alat Bantu Bending

Hasil perbandingan proses penekukan plat *HDPE* dengan metode alat bantu bending dengan tanpa alat bantu menunjukan perbedaan yang cukup besar, yaitu untuk tanpa perlakuan penekukan dengan bantuan alat membutuhkan waktu 3 jam untuk mendapatkan area sebesar 214 mm². Hal tersebut cukup berbeda dengan proses penekukan plat / bending dengan menggunakan alat bantu dan cara *heat treatment* yaitu meningkat 83 %. Senada dengan hal tersebut perlakuan panas dengan pendinginan sesaat dapat membuat material cepat mengalami bentuk bending yang memiliki karakteristik plastis dimana plat *HDPE* akan mengikuti bentuk alur bending yang diinginkan namun perlu waktu yang cukup lama untuk menahan geometri yang diinginkan. Sehingga dalam hal ini untuk membentuk suatu bentuk lengkungan plat *HDPE* berdasarkan hasil bending perlu adanya penekukan dengan gaya yang ditimbulkan berdasarkan alat bending dan perlakuan sifat fisis material beda berdasarkan skenario temperatur yang di kondisikan, lihat Gambar 8.



Gambar 8. Proses Heat Treatment Dengan Menggunakan Thermoplastic Welding

Bahan *HDPE* memiliki klasifikasi berbahan plastik sehingga temperatur untuk bahan tersebut mengalami perubahan bentuk sangatlah rendah dibandingkan dengan plat besi. Dalam proses pembuatan kapal, metode *heat treatment* dapat digunakan agar membentuk plat mengikuti bentuk konstruksi yang diinginkan dengan memperhatikan lengkungan yang terbentuk. Evaluasi dalam kegiatan penelitian ini adalah didapatkannya aplikasi penggunaan alat bantu baru yang digunakan sebagai cara dalam proses penekukan plat *HDPE* sebagai bahan alternatif kapal nelayan. Sementara itu dari penelitian ini didapatkan data waktu dan teknik pelengkungan dengan pengaplikasian metode *heat treatment* dibantu alat agar mendapat kan hasil yang optimal. Dengan adanya gaya pada penekanan permukaan plat *HDPE* ditambah

dengan perlakuan fisik pemanasan setempat menjadikan bentuk *HDPE* ini mengalami kemuluran atau kelenturan yang dapat disesuaikan sehingga dapat terbentuk model 3D, terutama untuk bentuk lambung kapal.

Secara garis besar pembahasan untuk penggunaan material *HDPE* ini cukup menarik ditambah dengan kemampuan perubahan fisik berdasarkan hasil pemanasan dan penggunaan alat bending ini belum teruji merubah kekuatan dari struktur materialnya. Perlu pembahasan lebih lanjut tentang bagian ini, namun yang dapat kita tarik dari hasil pengujian ini adalah kemampuan material *HDPE* menerima pemanasan setempat untuk kemudian dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat melengkung menyesuaikan model 3D kapal. Hal ini cukup *relevan* karena setiap bentuk lambung kapal mengalami perlakuan khusus, sehingga perlu alat bantu dan pemanasan setempat untuk mempermudah proses pelengkungan material itu. Sejalan dengan hal tersebut, teori pemanasan setempat terdapat juga sama halnya pada daerah *HAZ (Heat Affected Zone)* pada proses pengelasan suatu material. Range temperatur dari *heat treatment* ini membuat material yang akan dilakukan pengelasan akan mengalami perubahan bentuk atom sehingga dapat mempengaruhi kekuatan struktur material. Perkembangan terbaru proses manufaktur dengan bahan *HDPE* ini sudah banyak diarahkan menuju pada proses *casting* ataupun dengan proses *welding* khususnya pada ukuran yang cukup besar. Kedepannya penggunaan material *HDPE* dapat sebagai bahan alternatif menggantikan material yang jumlahnya sudah mulai sedikit. Selain itu juga untuk mengurangi emisi karbon di Indonesia sesuai arahan dan kebijakan pemerintah kedepan, maka pemanfaatan material yang dapat diperbarui menjadi salah satu tema besar bersama untuk penggunaan material terbaru dengan *green energy zero emisi* yang lebih ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Perencanaan alat bantu bending untuk plat *HDPE* ini dapat meningkatkan proses produksi dan percepatan pembuatan bentuk bidang lengkungan *prototipe* 3D. Hal ini dapat terlihat berdasarkan studi di lapangan dan observasi saat dilakukan penelitian dan percobaan pada pembuatan *prototipe* kapal Ikan tradisional ini didapatkan hasil dimana proses penyusunan plat lambung kapal berbahan *HDPE* dengan sistem konvensional ini memerlukan support berupa gaya tekan atau dorong yang dapat dikonversi menjadi energi bending. Kemampuan *chain block* dan alat bantu bending ini dapat membuat bentuk plat *HDPE* menjadi menyerupai bentuk lambung kapal sebagaimana mestinya. Namun demikian perlu adanya perlakuan kondisi *thermal* yang dapat membuat molekul *HDPE* menjadi memiliki sifat plastis sehingga dapat berubah geometri dan memiliki kelengkungan. Alat bantu bending ini termasuk dalam teknologi tepat guna untuk pengembangan alat praktik dan untuk kegiatan penelitian pada laboratorium pendidikan dan penelitian. Adapun kekurangan dari penelitian ini masih dilakukan secara konvensional dan media pendinginan yang digunakan dalam metode *heat treatment* hanya pada satu jenis pendinginan yaitu dengan menggunakan air. Belum ada pengujian lebih lanjut untuk variasi metode pendinginan dengan bahan dengan viskositas yang berbeda atau dengan pola pemanasan setempat yang diatur sedemikian rupa sehingga memberikan dampak perubahan yang diharapkan dari material *HDPE*. Kedepannya penelitian dengan model alat bantu yang mengalami perubahan dimensi atau geometri tersebut dapat dilakukan untuk mengetahui bentuk karakteristik proses penekukan material *HDPE*. Di sisi lain jika mengalami perlakuan dari variasi cairan pendinginan yang berbeda maka akan menghasilkan data karakteristik yang berbeda pula.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yan, F. (2021). A new calculation method of viscoplastic heat production generated by plastic flow of friction stir welding process. *Mater Chem Phys*, 27, 124-175.

-
- [2] Anjani, R. (2021). Perancangan Alat Bantu Kerja Dengan Menggunakan Metode Antropometri dan Material Selection Pada Industri Sepatu. *J Teknol.*, 1, 13- 20.
 - [3] Riyadi, E. (2022). Rancang Bangun Sliding Cutting Jig Guna Mengoptimalkan Fungsi Kerja Mesin Gerinda Tangan Sebagai Alat Potong Plat Lembaran. *J. Pengelolaan Lab Pendidik.*, 2, 4-12.
 - [4] Sunding, A. (2018). Rancang Bangun Alat Bantu Perakitan Dan Pengelasan Kursi Laboratorium (Lab Stool). *J. Teknol Terap.*, 2, 18–21.
 - [5] Putro, G. (2018). Analisis Pengaruh Pemakaian Alat Bantu Angkut Terhadap Segment Tubuh Pekerja". *J. Optimasi Sist Ind.*, 1,11-19.
 - [6] Pathak, S. (2020). Experimentation and optimization of HDPE pipe electro fusion and butt fusion welding processes. *Mater Today Proc.*, 9, 2925–2959.
 - [7] Pugacheva, N.B., et al. (2022). Numerical simulation of elastic-plastic deformation of AISI 321/Cu/Ti laser welded joint under tension and compression. *Mater Charact.*, 2, 662-668.
 - [8] Geng, P., et al. (2021). Numerical modelling on the plastic flow and interfacial self-cleaning in linear friction welding of superalloys. *J. Mater Process Technol.*, 2, 296-302.
 - [9] Jiang, Y.,et al. (2020). The mutual effect of hydrogen and cyclic plastic deformation on ductility degradation of X65 reeled-pipeline welded joint. *Mater Sci Eng A.*, 7,139-145.
 - [10] Jiang, Y.,et al. (2021). Effect of cyclic plastic deformation on hydrogen diffusion behavior and embrittlement susceptibility of reeling-pipeline steel weldments. *Int J Hydrogen Energy.*, 58, 30158–30172.
 - [11] Huang, X., Cheng, B., and Zhang, D. (2021). A unified theoretical solution of plastic limit load for the thin-walled pipeline with an incomplete welding defect. *Int J Press Vessel Pip.*, 11, 104-118.
 - [12] Amoroso, L., et al. (2020). Crystallisation behaviour of composites of HDPE and MWCNTs: The effect of nanotube dispersion, orientation and polymer deformation. *Polymer*, 2, 122-130.
 - [13] Guo, H., Rinaldi, R.G., & Broudin, M. (2021). Anisotropic deformation and failure behaviors of the necked HDPE materials induced by oligo-cyclic loading. *Polymer.*, 2, 154-170.
 - [14] Sheikh, J.Y., Deveci, S., & Almaskari, F. (2022). Effect of process temperatures on material flow and weld quality in the friction stir welding of high density polyethylene. *J. Mater Res Technol.*, 18, 692–703.
 - [15] Yoshinaka, F., et al. (2021). Development of ferrous-based weldable seismic damping alloy with prolonged plastic fatigue life. *Scr Mater*, 19, 113-128.
 - [16] Khristyson, S.F., Laksono, S.H. (2020). Analisa Joint Erection Konstruksi Baja Block B05 & B07 Kapal Patroli Polisi 63 Meter Dengan Mobile Crane 72.000 Ton. *J. Proy Tek Sipil.*, 03, 10–7.
 - [17] Khristyson, S.F., Jamari, & Bayuseno, A.P. (2021). Stress analysis bottom plate block B-03

on patrol ship construction using finite element methods. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, 1034, 12004-12011.

- [18] Wati, R.F., Wardana, I., & Winarto. (2018). Pengaruh Penambahan Nanokatalis $MnFe_2O_4$ Terhadap Proses Pirolisis Sampah Plastik HDPE. *J. Rekayasa Mesin*, 9, 221–225.
- [19] Rana, P.K., Narayanan, R.G., & Kailas, S.V. (2019). Friction stir spot welding of AA5052-H32/HDPE/AA5052-H32 sandwich sheets at varying plunge speeds. *Thin-Walled Struct.*, 138, 415–429.
- [20] Rachmat, B. (2022). Rekondisi Mesin Emco CNC VMC-200. *Indones J. Lab.*, 5, 30–38.