JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 5, No. 1, Juni 2020, Hal. 63-72
Terakreditasi "**Peringkat 3"** oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v5.i1.2020.63-72
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Cetakan Komposit Kayu-Plastik Menggunakan *Finite Element Analysis*

Roy Waluyo[#], Anton Royanto Ahmad, Gatot Eka Pramono, Fahrulrizal
Program Studi Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. K. H. Soleh Iskandar KM. 2 Kedung Badak, Bogor 16161, Indonesia
[#]roy.waluyo@uika-bogor.ac.id

Abstrak

Komposit kayu-plastik (*Wood-Plastic Composite*) yang disingkat WPC merupakan salah satu material yang dikembangkan untuk mengurangi limbah plastik. Selain faktor komposisi material penyusun, temperatur dan tekanan merupakan faktor penting penentu sifat mekanik dari WPC. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis cetakan *hot press* sebagai alat bantu pembuatan material WPC. Perancangan dilakukan menggunakan metode Pahl & Beitz yang meliputi penetapan kebutuhan, perancangan konsep, dan perancangan detail. *Finite Element Analysis* (FEA) digunakan untuk menganalisis tiap variasi komponen untuk menghasilkan kombinasi komposisi yang sesuai. Empat komponen yang dianalis yaitu batang penahan, batang penekan, batang pengarah, dan cetakan. Variasi simulasi menggunakan dimensi komponen sesuai standar material yang tersedia dipasaran. Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan, *displacement*, *strain*, dan *safety factor*. Secara umum hasil simulasi untuk tiap komponen nilai menghasilkan *safety factor* lebih besar dari 2. Hanya pada simulasi cetakan dengan variasi tebal 8, 10 dan 12 mm masing-masing menghasilkan tegangan maksimum 185 MPa, 118 MPa, dan 82 MPa dengan nilai *safety factor* 1,3, 2, dan 3. Berdasarkan hasil simulasi, maka batang penahan menggunakan UNP 65, batang penekan menggunakan UNP 50, batang pengarah menggunakan pipa 1/2 inch, dan tebal plat cetakan adalah 12 mm.

Kata kunci: cetakan, *Finite Element Analysis* (FEA), komposit kayu-plastik

Abstract

The hot press was designed to manufacture wood-plastic composites in this presented paper. The design uses the Pahl & Beitz method, which includes the identification of the overall function, the design of the concept and the detailed design. The finite element analysis (FEA) used to analyze each variation of the components in order to produce an appropriate combination of compositions. Four parts were analyzed, namely the support bar, the pressing bar, the guide rod and the mold. Variation of simulations using part dimensions according to available standard materials. The simulations carried out aim to get the value of stress, displacement, strain, and safety factor. Generally, the simulation results for each component produce a safety factor greater than 2. Only in the simulation molds with variation of 8, 10 and 12 mm produces a maximum stress of 185 MPa, 118 MPa and 82 MPa with a safety factor value of 1.3, 2, and 3. Based on the simulation results, the retaining rod uses UNP 65, the suppressor rod uses UNP 50 steering rod using 1/2 inch pipe and the mold plate thickness is 12 mm.

Keywords: *mold, Finite Element Analysis (FEA), Wood-Plastic Composite*

I. PENDAHULUAN

WPC adalah komposit campuran antara plastik sebagai matriks (material yang dominan) dan kayu (*natural fibre*) sebagai penguat (*reinforced*). Secara sederhana, klasifikasi dari bahan komposit terdiri dari tiga divisi yaitu komposit penguat partikel, komposit penguat serat, dan komposit struktural [1]. Untuk komposit penguat partikel terdiri dari *large particle* dan *dispersion strengthened* [2]. Untuk

Diterima: 25 April 2020; Direvisi: 9 Mei 2020; Disetujui: 17 Mei 2020
JTERA, Vol. 5, No. 1, Juni 2020

© 2020 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

penguat serat terdiri dari *continuos fibre* dan *discontinuos fibre* [3]. Untuk struktural komposit terdiri dari *laminates* [4] dan *sandwich panel* [5]. Proses pencetakan WPC dapat menggunakan proses *hotpress* [6], [7], *injection molding* [8], [9], atau *lay-up* [10].

Proses dengan cetakan *hot press* cocok terutama untuk matriks *polymer* jenis termoplastik dengan penguat partikel *large particle* dan *dispersion strengthened*. Penyatuan campuran material antara matriks dan penguat membutuhkan temperatur dan tekanan. Penelitian pengembangan cetakan *hot press* telah banyak dilakukan para peneliti. Selain untuk pembuatan WPC, mesin *hot pres*s dapat secara luas digunakan pada berbagai aplikasi. Contoh aplikasi mesin *hot press* diantaranya alat *press* serbuk kayu menjadi briket [11], *recycle* plastik *high density polyethylene* HDPE [12], [13], dan komposit serat limbah pemintalan kapas [14].

Selain faktor komposisi material penyusun, temperatur dan tekanan merupakan faktor penting penentu sifat mekanik WPC. Cetakan *hot press* dapat didesain dengan berbagai tekanan dan temperatur sesuai dengan kebutuhan. Temperatur desain cetakan *hot press* untuk pembuatan WPC umumnya berkisar antara 190-200°C [6], [13], [12] atau disesuaikan temperatur leleh plastik. Temperatur dan tekanan perlu direncanakan sedemikan rupa sehingga cetakan dapat mengakomodir kebutuhan proses. Temperatur pengepresan memberikan peran penting terhadap keberhasilan pembuatan WPC. Temperatur pemanasan dan waktu pemanasan berpengaruh terhadap kualitas produk cetak [12]. Temperatur yang tidak tepat dapat mengakibatkan terbentuknya cacat [15].

Selain temperatur, tekanan juga dapat berpengaruh terhadap sifat mekanis. Tekanan pengepresan dapat meningkatkan kemampuan matriks untuk menyebar secara merata [16]. Tekanan dapat mengakibatkan ikatan antar muka matriks dan penguat meningkat serta mengurangi terbentuknya pori dan *void* [17]. Hal ini akan meningkatkan sifat mekanis WPC. Namun, peningkatan tekanan dapat menurunkan kekerasan [18]. Tekanan pada cetakan *hot press* bersumber dari penggerak hidrolik [6], [14], penggerak pneumatik [11], [19], atau penggerak mekanik [12].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis prototipe cetakan *hot press* untuk pembuatan sampel WPC. Komposisi WPC terdiri dari *recycl*e HDPE (rHDPE) sebagai matriks dan serbuk gergaji kayu kelapa serta serat sebut kelapa sebagai penguat. Cetakan *hot press* digunakan untuk mencetak sampel uji mekanis dengan ukuran produk cetak 200 mm x 100 mm x 11mm. Cetakan *hot press* dirancang mampu menekan hingga 10 kg/cm^2 dan temperatur maksimum 200^{o}C. Sebagai sumber panas digunakan *heater* listrik (*plate heater*). Konstruksi rangka cetakan akan menggunakan kanal *U* atau *U Normal Profile* UNP dengan material AISI 1015. Material cetakan menggunakan ASTM A36. Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) [20] dilakukan untuk mendapatkan kombinasi komposisi dan ukuran komponen konstruksi rangka dan tebal cetakan yang sesuai.

II. METODE PENELITIAN

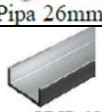
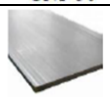
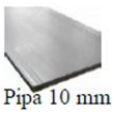
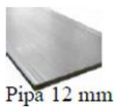
Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis kekuatan rangka cetakan yang akan digunakan sebagai alat bantu proses manufaktur WPC dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Penelitian ini meliputi perancangan dan manufaktur berbasis pada seleksi material penyusun mengikuti metode Pahl & Beitz [21]. FEA digunakan sebagai *tool* analisis untuk mendapatkan kombinasi komposisi desain yang sesuai berdasarkan kriteria kekuatan. Bagian model yang merupakan *critical part* seperti batang penahan, batang penekan, dan batang pengarah akan disimulasikan untuk mendapatkan pengaruh beban pada proses pencetakan komposit terhadap tegangan (*stress*) yang terjadi, *displacement*, *strain*, dan *safety factor*.

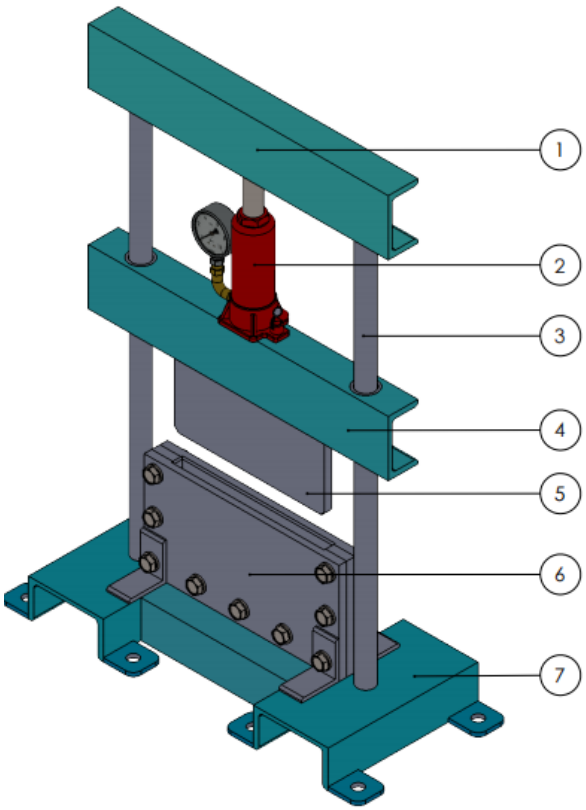
Dalam simulasi akan divariasikan ukuran tiap-tiap komponen untuk mendapatkan ukuran *part* yang optimum. Variasi ukuran disesuaikan dengan ketersediaan material di pasaran. Variasi dimensi part seperti terlihat pada Tabel 2. Model cetakan yang akan dirancang dapat dilihat pada Gambar 1. Kriteria utama pemilihan komponen didasarkan kekuatan dengan indikasi hasil simulasi memiliki nilai *safety factor* lebih besar dari 2. Tabel 3 menunjukkan bagian-bagian rangka cetakan yang telah dibuat.

Tabel 1. Spesifikasi alat

Spesifikasi	Keterangan
Proses	*Hot press*
Tekanan	10 kg/cm^2
Temperatur	200°C
Material	Plastik dan serbuk kayu
Volume cetakan	2.200 cm^3
Material rangka	AISI 1015
Material cetakan	ASTM A36

Tabel 2. Variasi dimensi komponen

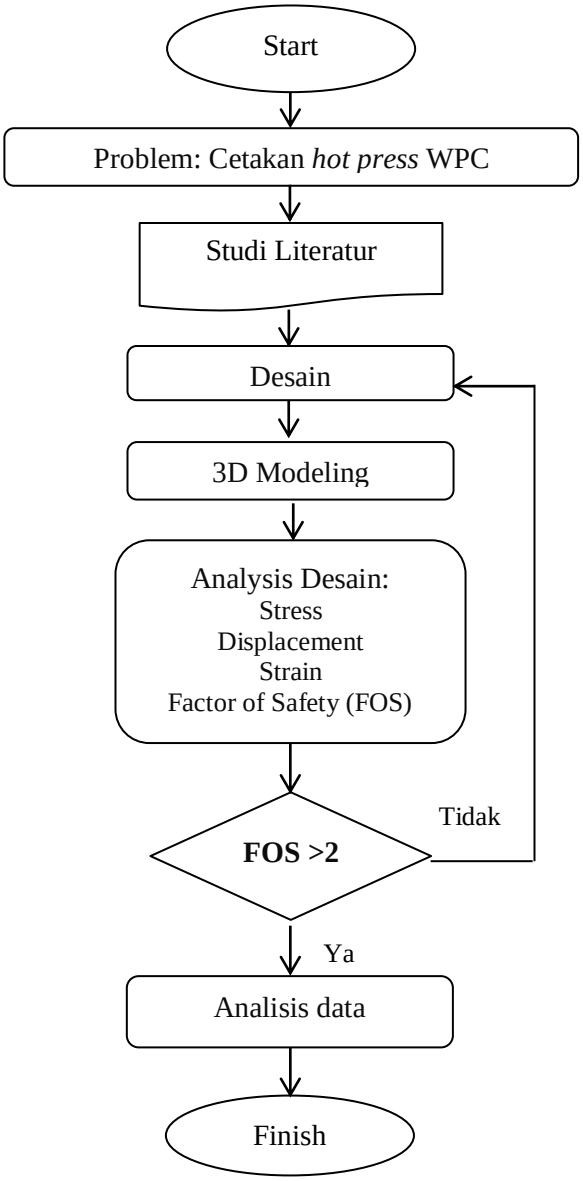
Sub Fungsi		Varian		
		1	2	3
1	Batang penahan	 UNP 65	 UNP 75	 UNP 85
2	Batang pengarah	 Pipa 22mm	 Pipa 26mm	 Pipa 33mm
3	Batang penekan	 UNP 50	 UNP 65	 UNP 75
4	Cetakan	 Pipa 8 mm	 Pipa 10 mm	 Pipa 12 mm



Gambar 1. Desain cetakan

Tabel 3. Bagian-bagian konstruksi rangka cetakan

No	Nama *Part*	Banyaknya
1	Batang penahan	1
2	Dongkrak hidrolik	1
3	Batang pengarah	2
4	Batang penekan	1
5	Penekan	1
6	Cetakan	1
7	Landasan	1



Gambar 2. Diagram alir penelitian

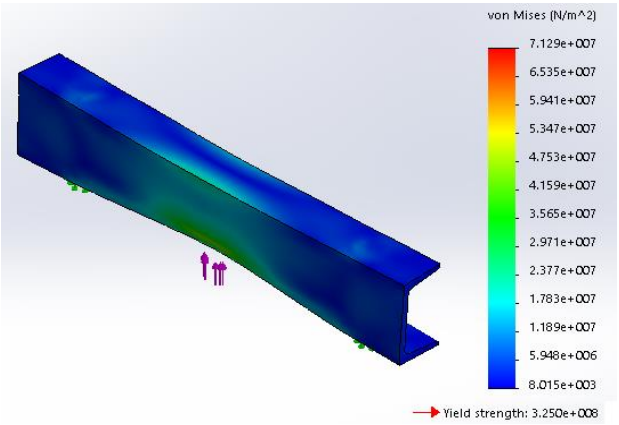
Diagram alir perancangan dan analisis kekuatan rangka cetakan WPC menggunakan FEA seperti terlihat pada Gambar 2. Proses perancangan dimulai dari pemodelan cetakan menggunakan media 3 dimensi. Kemudian dilakukan analisis terhadap desain tersebut yang meliputi *stress*, *displacement*, *strain*, dan *safety factor*. Dimensi komponen yang memenuhi kriteria desain adalah komponen yang memiliki *safety factor* lebih dari 2. Kemudian data dianalisis untuk menghasilkan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

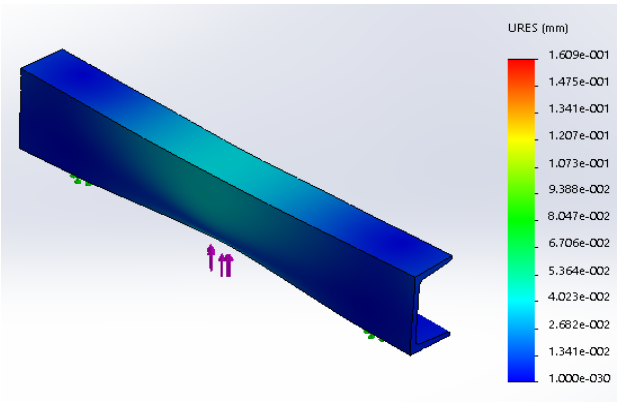
A. Batang Penahan

Batang penahan dirancang menggunakan variasi UNP65, UNP75, dan UNP80. Gambar hasil simulasi batang penahan seperti terlihat pada Gambar 3a sampai dengan Gambar 3d.

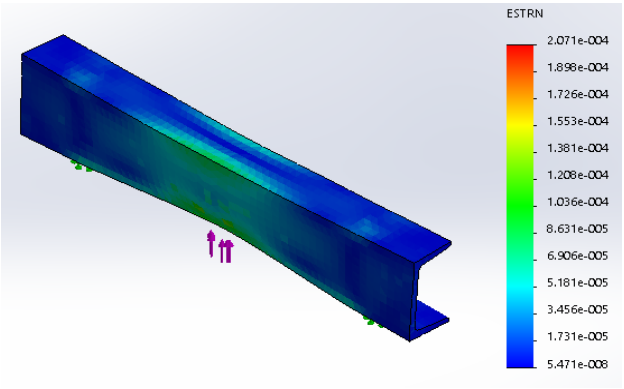
Rekapitulasi hasil simulasi tegangan, *displacement*, *strain*, dan *safety factor* dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil simulasi menunjukan tegangan yang terjadi untuk setiap batang penahan (Gambar 4) masih di bawah tegangan yang diizinkan (325 MPa). UNP75 memiliki nilai tegangan terbesar yaitu 71,2 MPa dan UNP80 memiliki nilai tegangan terkecil yaitu sebesar 66,2 MPa. Nilai Tegangan UNP75 lebih besar dibanding UNP65. Hal ini dikarenakan selain tingginya, secara keseluruhan dimensi UNP65 lebih besar dibanding UNP75.



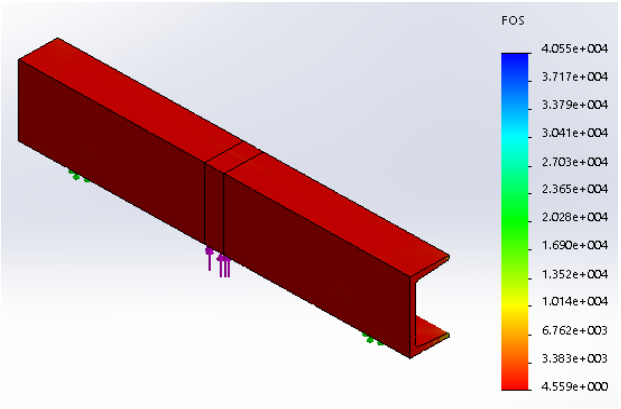
Gambar 3a. Hasil simulasi batang penahan (*stress*)



Gambar 3b. Hasil simulasi batang penahan (*displacement*)



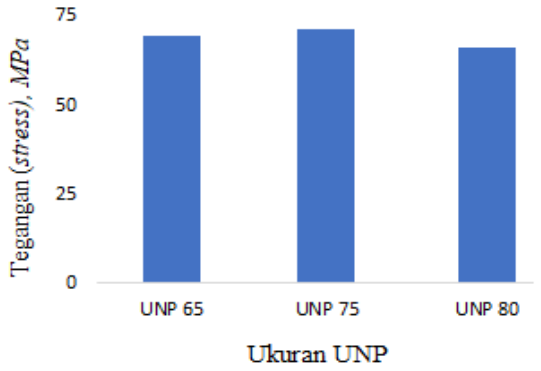
Gambar 3c. Hasil simulasi batang penahan (*strain*)



Gambar 3d. Hasil simulasi batang penahan (*safety factor*)

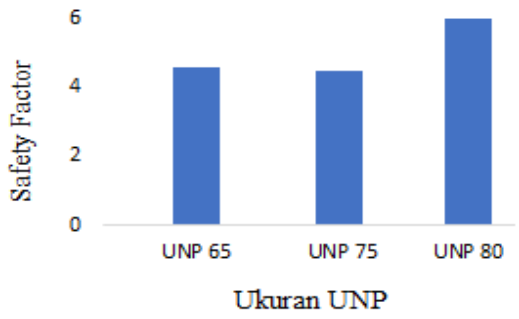
Tabel 3. Hasil simulasi batang penahan

Ukuran UNP	*Stress* (MPa)	*Disp* (mm)	Regangan	FOS
65	69,4	0,162	0,00020	4,6
75	71,2	0,161	0,00021	4,5
80	66,2	0,118	0,00015	6,0



Gambar 4. Grafik hasil simulasi tegangan batang penahan

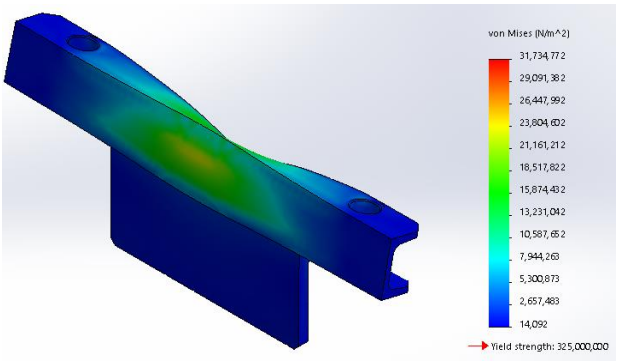
Grafik *safety factor* terlihat pada Gambar 5. Untuk nilai *safety factor* UNP75 memiliki nilai terendah yaitu 4,5. Nilai *safety factor* tertinggi terjadi pada UNP80 yaitu sebesar 10.



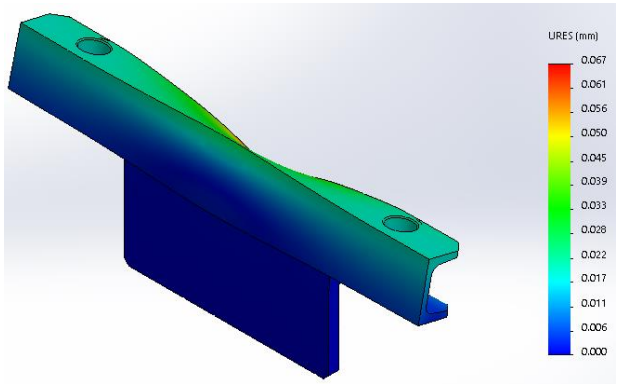
Gambar 5. Grafik hasil simulasi *safety factor* batang penahan

B. Batang Penekan

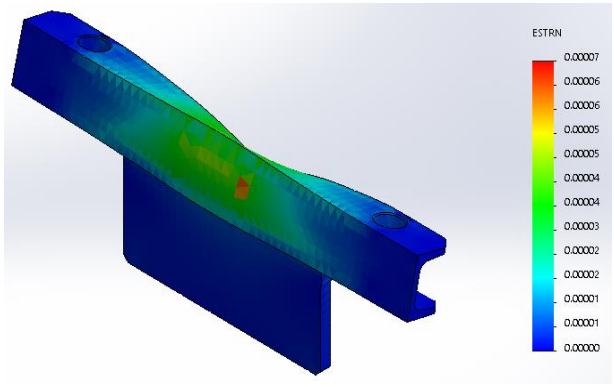
Batang penekan menggunakan material kanal UNP. Bagian bawahnya menepel plat penekan yang disambung melalui pengelasan (*fixed*). Bagian atasnya merupakan dudukan dongkrak hidrolik. Batang penekan dan penekan merupakan satu kesatuan. Beban pada batang penahan disimulasikan sebagai beban tekan. Sebagai sumber beban adalah tekanan dongkrak dan penekan dijadikan *fixed geometry*. Hasil simulasi batang penekan dan penekan seperti terlihat pada Gambar 6a sampai dengan Gambar 6d.



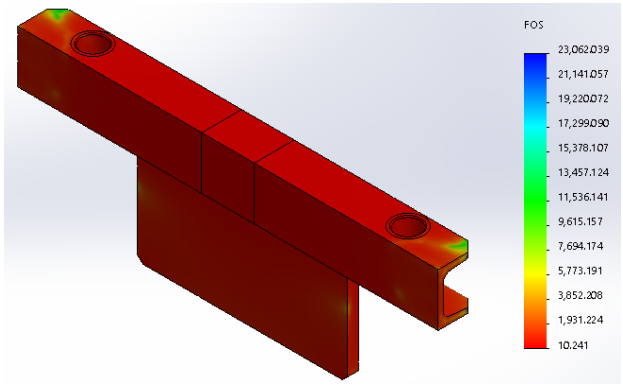
Gambar 6a. Hasil simulasi batang penekan (*stress*)



Gambar 6b. Hasil simulasi batang penekan (*displacement*)



Gambar 6c. Hasil simulasi batang penekan (*strain*)

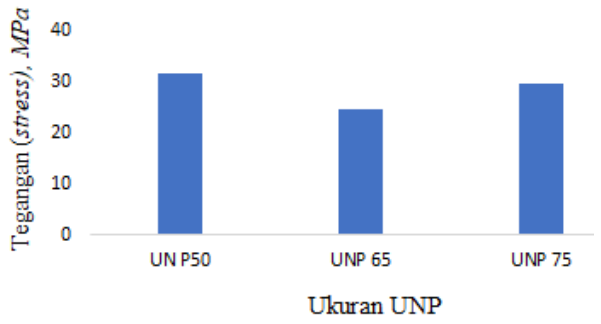


Gambar 6d. Hasil simulasi batang penekan (*safety factor*)

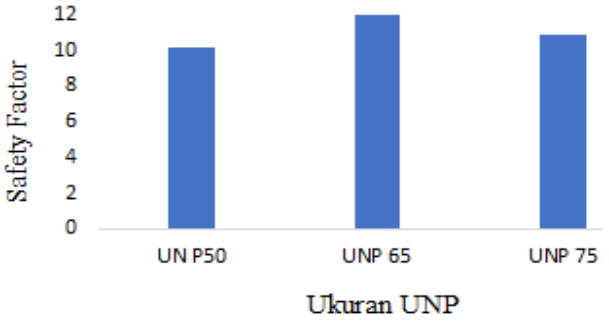
Tabel 4. Hasil simulasi batang penekan

Ukuran UNP	*Stress* (MPa)	*Disp* (mm)	Regangan	FOS
50	31,7	0,067	0,00007	10,2
65	24,7	0,070	0,00006	13,1
75	29,8	0,089	0,00006	10,9

Rekapitulasi hasil simulasi tegangan, *displacement*, *strain*, dan *safety factor* ditunjukkan seperti terlihat pada Tabel 4. Hasil simulasi menunjukan tegangan yang terjadi masih di bawah tegangan yang diizinkan (325 MPa). Semakin tinggi ukuran UNP maka nilai tegangan semakin kecil. Nilai tegangan tertinggi terdapat pada UNP50 yaitu 31,7 MPa, sedangkan nilai tegangan terkecil terdapat pada UNP 65, yaitu 24,7 MPa lebih lebih kecil dibanding UNP75. Hal ini dikarenakan selain tingginya, secara keseluruhan dimensi UNP65 lebih besar dibanding UNP75. Grafik perbadingan nilai tegangan untuk setiap ukuran UNP seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hasil simulasi tegangan batang penekan

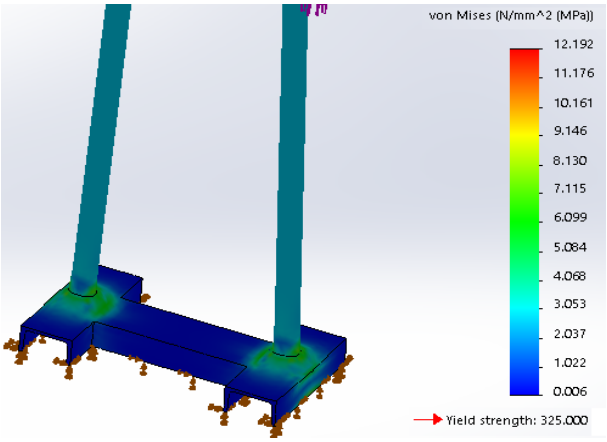


Gambar 8. Grafik hasil simulasi *safety factor* batang penekan

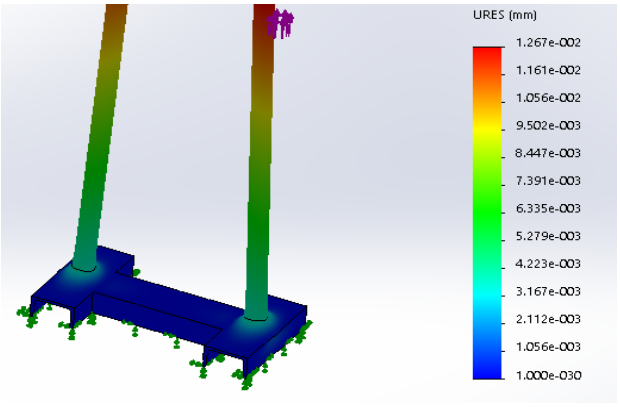
UNP65 memiliki nilai *safety factor* terbesar yaitu 13,1. Nilai *safety factor* terkecil terjadi pada UNP50 yaitu sebesar 10,2. Meskipun demikian UNP50 memiliki nilai *safety factor* lebih besar dari 2 sehingga memenuhi kriteria desain. Grafik *safety factor* terlihat pada Gambar 8.

C. Batang Pengarah

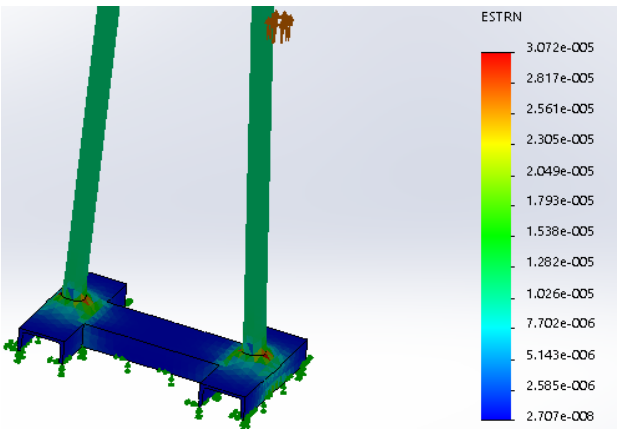
Batang pengarah menggunakan pipa yang berfungsi sebagai pengarah gerakan penekan. Bagian bawah terikat pada landasan dan bagian atas terikat pada batang penahan. Beban pada batang pengarah disimulasikan sebagai beban tarik. Besar beban yang diterima setiap batang pengarah adalah setengah dari beban batang penahan. Hasil simulasi batang penekan dan penekan seperti terlihat pada Gambar 9a sampai dengan Gambar 9d.



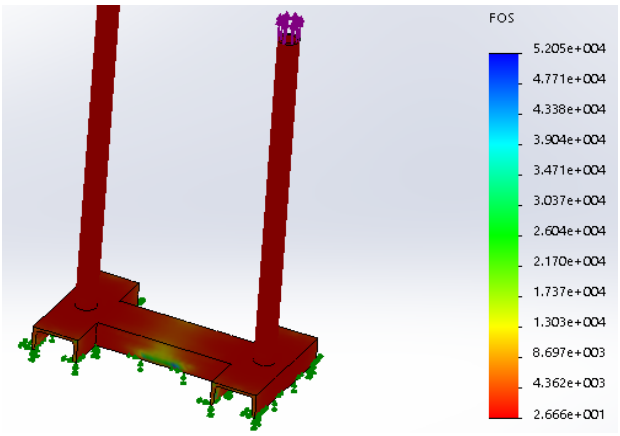
Gambar 9a. Hasil simulasi batang pengarah (*stress*)



Gambar 9b. Hasil simulasi batang pengarah (*displacement*)



Gambar 9c. Hasil simulasi batang pengarah (*strain*)

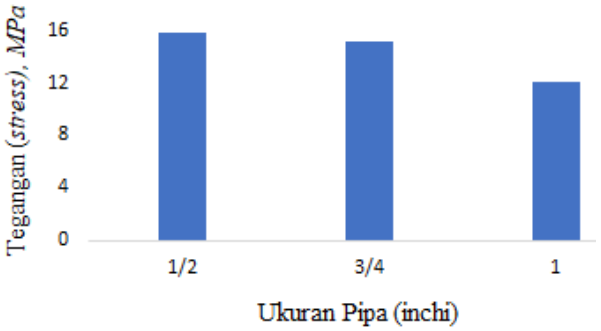


Gambar 9d. Hasil simulasi batang pengarah (*safety factor*)

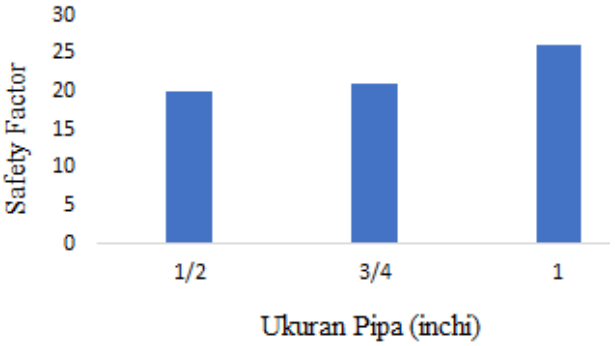
Rekapitulasi hasil simulasi tegangan, *displacement*, *strain*, dan *safety factor* seperti batang pengarah terlihat pada Tabel 5. Hasil simulasi menunjukan tegangan yang terjadi jauh di bawah tegangan yang diizinkan (325 MPa). Simulasi menunjukan semakin besar ukuran batang pengarah maka nilai tegangan semakin kecil. Nilai tegangan tertinggi terdapat pada pipa 1/2" yaitu sebesar 15,8 MPa dan nilai tegangan terendah pada batang pengarah 1" yaitu sebesar 12,1 MPa. Grafik perbadingan nilai tegangan untuk setiap ukuran pipa seperti terlihat pada Gambar 10.

Tabel 5. Hasil simulasi batang pengarah

Ukuran pipa	*Stress* (MPa)	*Disp* (mm)	Regangan	FOS
1/2"	15,8	0,023	0,000055	20
3/4"	15,1	0,017	0,000039	21
1"	12,1	0,012	0,000030	26



Gambar 10. Grafik hasil simulasi tegangan batang pengarah

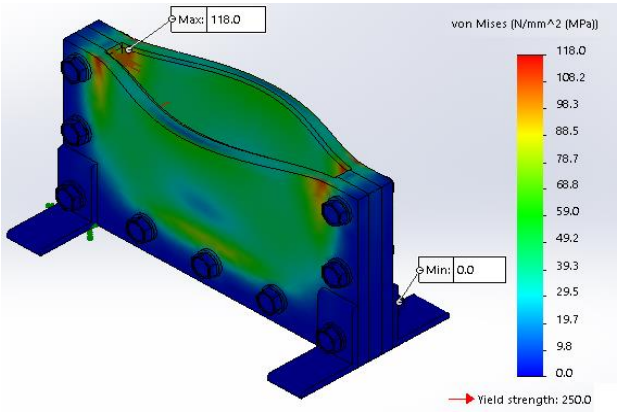


Gambar 11. Grafik hasil simulasi *safety factor* batang pengarah

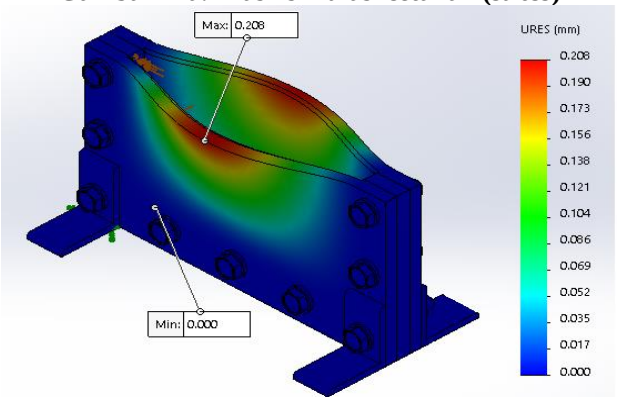
Untuk nilai *safety factor*, pipa 1/2" memiliki nilai terendah yaitu 20. Nilai *safety factor* terbesar terjadi pada pipa 1" yaitu sebesar 26. Semua pipa memiliki nilai *safety factor* lebih besar dari 2 sehingga memenuhi kriteria desain. Grafik perbadingan nilai *safety factor* untuk setiap ukuran pipa seperti terlihat pada Gambar 11.

D. Cetakan

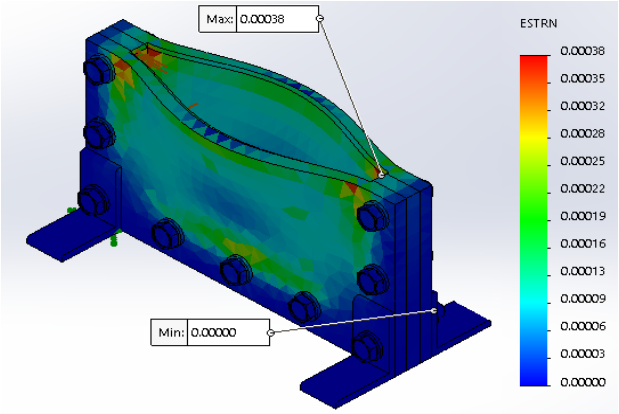
Cetakan terbuat dari plat dengan volume cetakan 220 cm^3. proses pencetakan komposit menggunakan tekanan 10 kg/cm^2. Dalam simulasi tebal plat model cetakan menggunakan variasi 8 mm, 10 mm, dan 12 mm. Hasil simulasi cetakan seperti terlihat pada Gambar 12a sampai dengan Gambar 12d.



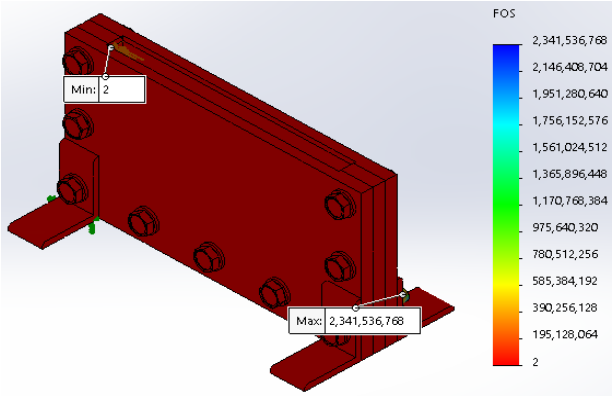
Gambar 12a. Hasil simulasi cetakan (*stress*)



Gambar 12b. Hasil simulasi cetakan (*displacement*)



Gambar 12c. Hasil simulasi cetakan (*strain*)

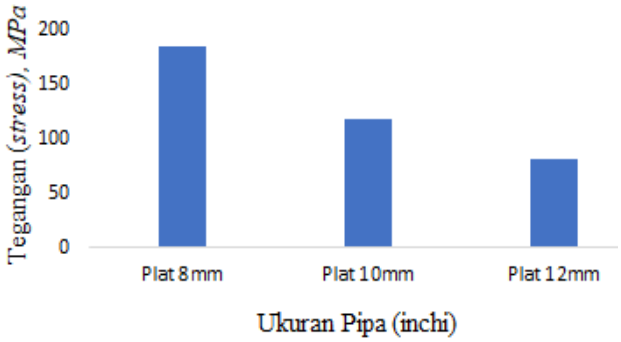


Gambar 12d. Hasil simulasi cetakan (*safety factor*)

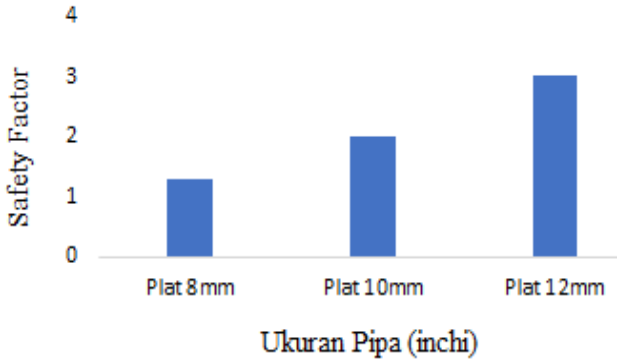
Rekapitulasi hasil simulasi cetakan tegangan, *displacement*, *strain*, dan *safety factor* ditunjukkan pada Tabel 6. Hasil simulasi menunjukan tegangan yang terjadi masih di bawah tegangan yang diizinkan (250 MPa). Semakin tebal ukuran plat maka nilai tegangan semakin kecil. Nilai tegangan tertinggi terdapat pada cetakan dengan tebal plat 8 mm yaitu 185 MPa. sedangkan nilai tegangan terkecil terdapat pada cetakan dengan tebal plat 12 mm. Grafik perbadingan nilai tegangan untuk setiap ukuran plat seperti terlihat pada Gambar 13.

Tabel 6. Hasil simulasi cetakan

Ukuran plat	*Stress* (MPa)	*Disp* (mm)	Regangan	FOS
8 mm	185	0,39	0,00065	1,3
10 mm	118	0,21	0,00039	2
12 mm	82	0,12	0,00028	3



Gambar 13. Grafik hasil simulasi tegangan cetakan



Gambar 14. Grafik hasil simulasi *safety factor* cetakan

Untuk nilai *safety factor*, plat 8 mm memiliki nilai terendah yaitu 1,3. Nilai *safety factor* terbesar terdapat pada plat 12mm yaitu sebesar 3. Hanya plat 12 mm yang memiliki nilai *safety factor* lebih besar dari 2 atau yang memenuhi kriteria desain. Grafik perbadingan nilai *safety factor* untuk setiap ukuran pipa seperti terlihat pada Gambar 14.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukan cetakan berikut konstruksinya cukup memadai untuk menghasilkan sampel uji tarik dan impak dengan satu kali proses. Sama seperti penelitian sebelumnya [6], [12], [13], dimana hasil cetakan WPC dapat memenuhi *desain requirement* yaitu kuat murah dan mudah dioperasikan. Kombinasi komposisi dan ukuran komponen konstruksi rangka dan tebal cetakan dapat diperoleh melalui simulasi FEA yang digunakan seperti pada [20].

IV. KESIMPULAN

Perancangan dan analisis kekuatan rangka cetakan WPC menggunakan metode FEA telah berhasil dilakukan. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa secara umum hasil simulasi menghasilkan nilai tegangan dan *safety factor* yang memenuhi kriteria. Simulasi batang penahan pada berbagai variasi ukuran UNP memberikan nilai *safety factor* terendah yaitu 4,5 diberikan oleh UNP

75. Untuk batang penekan dipilih UNP 50 dengan tegangan 31,7 MPa, dan *safety factor* 10,2. Batang pengarah menggunakan pipa 1/2" dengan nilai tegangan maksimum 15,8 MPa, dan *safety factor* 20. Cetakan dipilih plat dengan 12 mm dengan nilai tegangan 82 MPa dan *safety factor* 3. Untuk penelitian selanjutnya, jika tidak ada proses *finishing* pada produk hasil cetak, selain *displacement* perlu dipertimbangkan pengaruh temperatur terhadap pemuaian cetakan karena hal ini akan berpengaruh terhadap dimensi akhir produk cetak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kemenristekdikti yang telah membiayai hibah penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula tahun pelaksanaan 2020 melalui kontrak penelitian antara Rektor Universitas Ibn Khaldun dengan ketua Peneliti dengan No. 228/K.5/LPPM-UIKA/2020.

REFERENSI

[1] W. D. Calister and D. G. Rethwisch, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, 5th ed. New York-USA: John Wiley & Sons, 2001.

[2] S. A. Saptari, E. Sanjaya, and A. I. Ghufran, "Pengujian Tingkat Kekerasan Bahan Komposit Serbuk Kayu dengan Matrik Resin Epoksi," *J. Al-Fiziya*, vol. 9, no. 2, pp. 74-80, 2016.

[3] S. Rimdusit, S. Damrongsakkul, P. Wongmanit, D. Saramas, and S. Tiptipakorn, "Characterization of coconut fiber-filled polyvinyl chloride/acrylonitrile styrene acrylate blends," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 30, no. 20, pp. 1691-1702, 2011.

[4] K. Yue, L. Wang, J. Xia, Y. Zhang, Z. Chen, and W. Liu, "Experimental research on mechanical properties of laminated poplar wood veneer/plastic sheet composites," *Wood Fiber Sci.*, vol. 51, no. 3, pp. 1-12, 2019.

[5] A. Hidayat, H. Yudo, and P. Manik, "Analisa Teknis Komposit Sandwich Berpenguat Serat Daun Nanas Dengan Core Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 265-273, 2016.

[6] S. Slamet, "Karakterisasi Komposit Dari Serbuk Gergaji Kayu (Sawdust) Dengan Proses Hotpress Sebagai Bahan Baku Papan Partikel," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan teknologi, SNST ke-4*, 2013, pp. 1-9.

[7] H. Nurwendi, I. N. Simpen, and I. M. S. Negara, "Sintesis Komposit Selulosa Serbuk Gergaji Kayu Kamper-Limbah Plastik Ldpe (Low Density Poliethylene) Dengan Reagen Fenton Sebagai Agen Pengkopling," *J. Kim.*, vol. 10, no. 1, pp. 89-95, 2016.

[8] L. Gurau and N. Ayrilmis, "Effect of raw material composition of wood plastic composites on surface roughness parameter evaluated with a robust filtering method," *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 20, no. 10, pp. 1-15, 2018.

[9] A. K. Bledzki, A. A. Mamun, and Jü. Volk, "Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene: The effect fibre physical, chemical and surface properties," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 70, pp. 840-846, 2010.

[10] I. Yudhyadi and N. H. Sari, "Analisa Kekuatan Impact Komposit Polyester Diperkuat Serat Pandan Wangi dengan Pengisi Serbuk Gergaji Kayu," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 6, no. 2, pp. 129-134, 2013.

[11] D. Zafiaanisa, A. Finawan, and Azhar, "Rancang Bangun Alat Pengepres Serbuk Kayu Menjadi Briket Menggunakan Sistem Kontrol Elektro Pneumatik," *J. TEKTRO*, vol. 2, no. 2, pp. 18-23, 2018.

[12] A. Arendra and S. Akhmad, "Rancang Bangun Mesin Hot Press untuk Recycle Plastik HDPE dan Karakterisasi Pengaruh Temperatur Pemanasan Waktu Pemanasan dan Temperatur Pembukaan terhadap Cacat Flashing Cacat Warpage dan Konsumsi Energi Pencetakan," *J. Ilm. Rekayasa*, vol. 10, no. 2, pp. 108-115, 2017.

[13] S. Akhmad, I. Lumintu, and A. Arendra, "Development of Hot Press Molding for HDPE Recycling and Process Characterization," in *International Conference on Science and Technology (ICST 2018)*, 2018, pp. 925-928.

[14] M. Widodo, T. Setiawan, Sudaryono, and S. Islam, "Peningkatan Kualitas Komposit Serat Limbah Pemintalan Kapas Melalui Proses Pengepresan Menggunakan Prototipe Mesin Kempa Panas (Hot Press)," *Arena Tekst.*, vol. 34, no. 1, pp. 7-14, 2019.

[15] I. Mawardi, Hasrin, and Hanif, "Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding," *Malikusasaleh Ind. Eng. Journal, MIEJ*, vol. 4, no. 2, pp. 30-35, 2015.

[16] A. Ratmanto, W. W. Raharjo, and T. Triyono, "Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Kekuatan Bending Komposit rHDPE Cantula," in *Prosiding Seminar nasional dan teknologi, SNST ke-6*, 2016, p. 50.

[17] W. Saputra, K. Diharjo, and W. W. Raharjo, "Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Kekuatan Geser Tekan Dan Bending Komposit Limbah Kertas Hvs-Sekam Padi," *J. Kaji. Teknol.*, vol. 9, no. 2, pp. 127-133, 2013.

[18] K. A. Widi and L. D. Ekasari, "Studi Analisa Pengembangan Produk Limbah Plastik Berbasis Tekanan Teknologi Injection Moulding," *Flywheel*, vol. 8, no. 2, pp. 14-18, 2017.

[19] M. Dahlan, B. Gunawan, and S. Slamet, "Aplikasi PLC Sebagai Sistem Kontrol Pada Mesin Press Dengan Sistem Pneumatik Untuk Pembuatan Paving Blok," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, SNST ke-5*, 2014, pp. 6-11.

[20] A. Fahrudin, R. Waluyo, and M. Rahmat, "Rancang Bangun Tabung Udara Dingin Terkompresi dengan Tekanan 5 Bar," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 4, no. 2, pp. 175-183, 2019.

[21] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K. H. Grote, *Engineering Design*, Third. Springer, 2007.