

RANCANG BANGUN MANUFaktur BOX VACUUM FORMING DENGAN FINITE ELEMENT ANALYSIS

¹Yuda Nurdiana, ²Dhimas Wicaksono, ³Ferry Setyawan

¹Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
20020370@students.ttkd.ac.id

²Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
dhimas.wicaksono@sttkd.ac.id

³Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan
ferry.setyawan@sttkd.ac.id

Article history:

Received 1th of December 2024

Revised 12th of December 2024

Accepted 01th of January 2025

Abstract

This research aims to develop a design with finite element analysis to improve the efficiency of product manufacturing through the vacuum forming process. Plywood material as the basic material for making vacuum forming boxes is expected to speed up production and reduce costs. The design of the vacuum forming box begins with the adjustment of needs, making initial sketches, to detailed designs using Solidworkss 2016. Data is taken from literature studies related to the design of vacuum forming boxes. The design steps and operational trials of the product will follow the manufacturing stages. At the initial stage, the design using wood was chosen because of its good thermal insulation. The dimensions of the vacuum box are 250 mm x 250 mm x 150 mm, the heater box is 350 mm x 250 mm x 150 mm, and the frame is 270 mm x 150 mm with a thickness of 20 mm. Heater dimensions are 250 mm long, 500 Watts of power, 220 V AC voltage. The wood is cut and arranged according to the dimensions, with a 10 mm hole for the vacuum box cover. Vacuum forming box testing is carried out on the load material where the material uses plywood with a loading of 101325 N/m² with a material thickness of 20 mm. On plywood material loading 101325 N/m² the results of stress analysis amounted to 6500 MPa, displacement 0,08 mm while the Safety factor value is 1,5. Product trials were conducted with 4 molds, produces optimal results on the rhombus mold.

Keywords: Design, Manufacture, Displament, Safety factor.

Pendahuluan

Perkembangan *vacuum forming* erat kaitannya dengan perkembangan industri plastik pada abad ke-20. Awalnya, plastik ditemukan sebagai alternatif ringan dan tahan lama untuk bahan tradisional seperti kayu dan logam. Seiring dengan pengenalan plastik, muncul upaya untuk mengembangkan metode pembentukan (*molding*) plastik yang lebih efisien. Inovasi ini menjadi landasan bagi pengembangan proses *vacuum forming*. Pada pertengahan abad ke-20, pionir-pionir dalam industri mulai mengembangkan mesin-mesin *vacuum forming*. Mereka menyadari potensi metode ini dalam menciptakan produk plastik dengan biaya yang lebih rendah. Selama beberapa dekade terakhir, teknologi *vacuum forming* mengalami perkembangan signifikan. Mesin-mesin *vacuum forming* menjadi lebih otomatis, akurat, dan dapat diandalkan. Inovasi dalam kontrol suhu, vakum, dan material plastik meningkatkan kualitas dan konsistensi produk. Seiring waktu, *vacuum forming* menjadi populer dan merambah berbagai sektor industri [1].

Meluasnya penerapan *thermoforming* adalah kinerjanya yang tinggi, kesederhanaan, kekompakan, dan peralatan yang relatif murah. Spesifikasi ini memungkinkan untuk menghasilkan konfigurasi yang kompleks, berskala besar, dan bentuk bebas [2]. Dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dan menghemat biaya energi, desain dan manufaktur box *vacuum forming* dengan *finite element anslysis* juga mencakup penelitian tentang penggunaan energi yang lebih efisien dalam menjaga suhu dan kinerja produk. Diameter lubang *vacuum* yang tepat tidak boleh melebihi ketebalan lembaran yang menutupinya. Jika lubang *vacuum* terlalu besar, lembaran akan mengalami *thermoforming* ke dalamnya dan menyebabkan munculnya bekas atau pecah saat ditarik. Kerangka praktis untuk merancang lubang vakum efisien yang dirancang khusus dalam cetakan *thermoforming* melalui pendekatan sistematis. Dengan mengubah kemiringan saluran vakum dan parameter pencetakan, diperoleh lubang berdiameter lebih kecil [3].

Vacuum forming adalah proses yang berguna pada industri pengemasan, yang dimana plastik di deformasi dan di bentuk pada sebuah cetakan dengan perbedaan tekanan. Hampir semua bidang

bukan hanya pada bidang industri makanan menggunakan kemasan berbahan plastik dengan proses *vacuum forming* [4]. Dengan pengembangan box *vacuum forming*, diharapkan industri dirgantara dapat memanfaatkan teknologi ini untuk mempercepat proses produksi, mengurangi biaya, dan meningkatkan keamanan dalam penggunaan material-material khusus pada pesawat. Penelitian ini memiliki potensi untuk mendukung perkembangan industri dirgantara yang lebih berkelanjutan dan efisien, sambil tetap memastikan keamanan dan kualitas yang tinggi dalam pembuatan pesawat terbang. Kayu lapis merupakan produk olahan dari beberapa lembar veneer yang direkatkan secara tegak lurus. Kayu lapis dapat diolah menjadi berbagai macam *furniture*, seperti meja, kursi dan lain sebagainya. Bagi perusahaan *furniture*, triplek merupakan salah satu bahan dasar yang dibutuhkan dalam proses produksi [5].

Penggunaan elemen pemanas dalam perubahan biasanya terbuat dari kawat nikelin bebentuk lilitan. Nikelin merupakan bahan yang mudah menghantarkan panas dan memiliki resistivitas yang tinggi, sehingga dipilih sebagai elemen penghantar yang ideal. Elemen pemanas pada kalorimeter berbentuk spiral, hal ini dimungkinkan agar penyebaran kalor lebih merata, akan tetapi bentuk-bentuk lain pada elemen pemanas bisa diteliti lebih lanjut. Kesalahan proses produksi yang sering ditemui yakni *air-trapped* atau hasil cetakan memiliki gelembung-gelembung udara. Sehingga dari hal tersebut pula disimpulkan bahwa yang menjadi penyebabnya adalah ketidak sesuaian panas yang berlebihan pun menjadi penyebab. Pada plastik dengan bentuk cetakan persegi dan setengah bola dengan variasi tekanan dan variasi ketebalan plastik diperoleh kesimpulan bahwa tekanan berpengaruh besar terhadap kualitas hasil cetakan. Semakin besar tekanan vakum yang digunakan, kemampuan bentuknya akan meningkat pula atau bentuk dan luasan hasil cetakan plastik semakin mendekati bentuk moldnya [6].

Solidworks adalah Sebuah program *Computer Aided Design*(CAD) 3D yang menggunakan sistem operasi *Microsoft*. Program ini dikembangkan oleh *Solidworkss Corporation*, yang merupakan anak perusahaan dari *Dassault Systems*, S.A.Selain digunakan menggambar komponen 3D, *Solidworks* juga bias digunakan untuk mendapatkan gambar 2D dari komponen tersebut dan bias di konversikan ke format yang dapat dijalankan pada program *Autocad* [7]. Metode elemen hingga adalah metode numerik berbasis computer untuk memecahkan masalah teknik dalam geometri bidang atau volume yang telah di tetapkan oleh pengguna. Serta geometri tersebut di bagi menjadi elemen-elemen. Metode elemen hingga pada umumnya di gunakan untuk meneliti analisa struktur, termal, danlainnya. Struktur rangka batang dimana batang antara dua titik hubung yang membentuk elemen rangka secara otomatis sehingga memerlukan elemen hingga [8].

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Jika sebuah benda elastis ditarik oleh sebuah gaya, benda tersebut akan bertambah panjang sampai ukuran tertentu. Besarnya tegangan adalah perbandingan antara gaya tarik yang bekerja terhadap luas penampang benda [9]. Regangan (*strain*) adalah konsep penting dalam ilmu material dan rekayasa, dan digunakan dalam pemodelan elastisitas bahan untuk memahami perilaku material saat dikenai beban. Pengukuran tegangan *strain* juga digunakan dalam banyak aplikasi, termasuk dalam pengujian material, desain struktur, dan pengembangan perangkat mekanik, seperti sensor tegangan strain yang digunakan untuk mengukur beban atau *deformasi* dalam berbagai aplikasi teknik. Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan. Regangan juga disebut derajat deformasi pada 2002 [10].

Safety factor adalah rasio antara beban atau tegangan yang dapat diantisipasi pada suatu material atau struktur dan kekuatan atau daya tahan sebenarnya dari material atau struktur tersebut. Faktor keamanan yang lebih tinggi berarti ada margin yang lebih besar antara kapasitas material atau struktur dan beban yang diterimanya, yang bertujuan untuk memastikan keselamatan. Analisis statik menggunakan metode elemen hingga. Bertujuan untuk menentukan struktur atau komponen, dapat dengan aman menahan kekuatan dan beban yang telah ditentukan. Kondisi ini dapat tercapai saat tegangan yang ditentukan dari gaya yang diaplikasikan kurang dari kekuatan luluh material dalam

menahan beban. Hubungan tegangan ini sering disebut sebagai faktor keamanan (*safety factor*) dan digunakan dalam banyak analisis sebagai indikator keberhasilan atau kegagalan dalam sebuah analisis [11]. Berikut ini adalah acuan nilai *Safety factor* yang digunakan pada simulasi analisis stuktur pada box vacuum forming berdasarkan acuan dari beberapa peneliti sebelumnya.

1. Melakukan penelitian tentang analisis uji tarik dan simulasi kegagalan pada baja *SS400* dengan ketebalan lapisan carbon fiber untuk aplikasi kerangka mobil listrik. Faktor keamanan (*safety factor*) yang diperoleh ialah ketika nilai *Safety factor* mampu melebihi 1 agar desain dapat diterima (kurang dari 1 berarti ada beberapa deformasi permanen) [12].
2. Melakukan penelitian tentang desain dan simulasi uji kekuatan *chassis* mobil sem jenis prototipe menggunakan material *aluminium alloys 7075*. Hasil dari nilai *Safety factor* lebih dari 2, dimana nilai tersebut merupakan salah satu syarat di kajian ini [13].
3. Melakukan penelitian tentang perancangan dan analisis stuktur statis terhadap *fuselage* versi maritim dari prototipe UAV V5 produksi. *Safety factor* pada perancangan ini ditentukan sebesar 1,5 [14].

Metode Penelitian

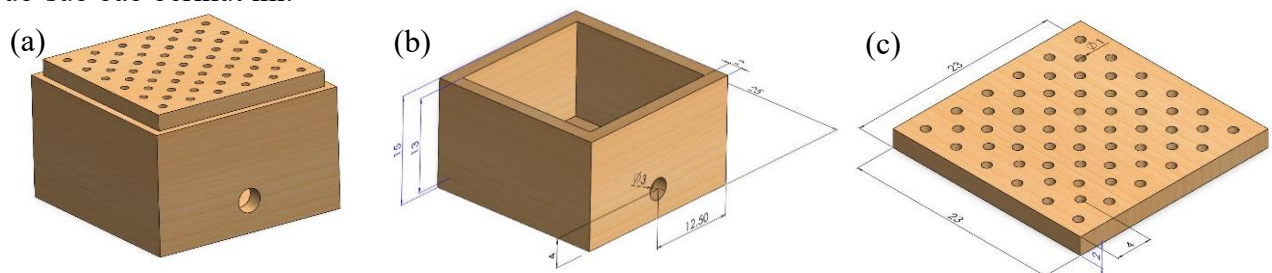
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan melakukan perancangan dan simulasi menggunakan alat bantu, yaitu *solidworks*. Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan pencarian dan kajian literatur setelah itu melakukan perancangan *box vacuum forming*, yaitu dengan membuat sketsa 2D dan 3D sesuai dengan geometri dan dimensi yang ditetapkan, pada gambar. Setelah melewati tahapan desain, hasil dari desain akan dilakukan simulasi pengujian kekuatan stuktur *box vacuum forming* menggunakan *finite element analysis* (FEA). Masalah pada penelitian ini yaitu pemilihan material yang kuat, ringan dan aman untuk digunakan pada *box vacuum forming*. Dari simulasi akan menampilkan output dari analisis yang dilakukan, dan juga dari output tersebut akan akan diketahui pengaruh variasi material dan beban terhadap kekuatan stuktur *box vacuum forming*, berupa tegangan maksimum yang terjadi, *displasmnt* dan *safety factor*.

Hasil Dan Pembahasan

Permodelan Desain 3d Box Vacuum Forming

Permodelan desain 3D *box vacuum forming* pada penelitian ini menggunakan *software solidworks* 2016. Permodelan desain 3D *box vacuum forming* berbentuk kotak, dengan ukuran Panjang x Lebar x Tinggi, yaitu 250 mm x 250 mm x 150 mm. Data parameter tersebut disesuaikan dengan ukuran tinggi dan lebar box heater. Box vacuum dirancang dengan ketebalan lapisan skin material yaitu 20 mm.

Perancangan dan permodelan *box vacuum forming* terdiri dari beberapa part atau komponen, yaitu *box vacuum*, *box heater* sebagai pemanas plastik, dan *frame* sebagai pengunci plastik saat dipanaskan. Tahap awal desain 3D dari masing masing *part* berdasarkan geometri dan dimensi yang telah ditentukan fitur (*assembly*) pada *solidworks*. Tahapan hasil permodelan *box vacuum* ditunjukkan pada sub-sub bab berikut ini.



Gambar 1. (a) Box Vacuum; (b) Box Bagian Bawah; (c) Box Bagian Atas.

Pada Gambar (a) pemodelan desain 3D box *vacuum forming* berbentuk kotak, dengan ukuran Panjang x Lebar x Tinggi. Berikut keterangan desain:

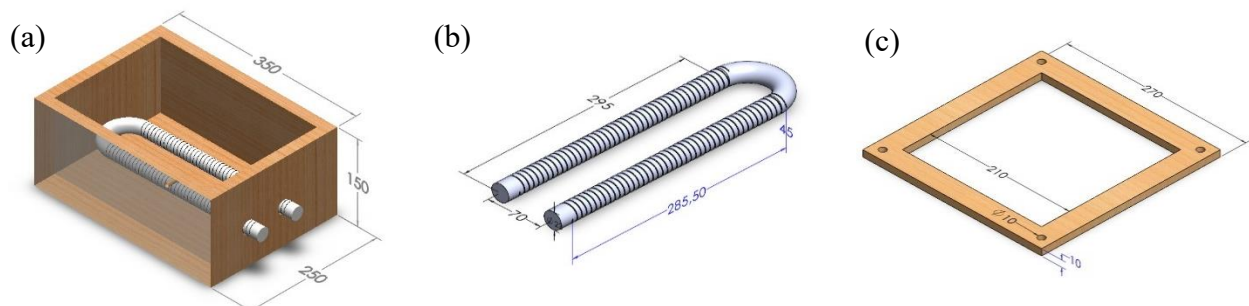
1. Lubang Hisap ke *Reservoir* dengan diameter ukuran 30 mm.
2. Lubang Hisap vakum dengan diameter 10 mm.
3. Box *Vacuum* Panjang 250mm x Lebar 150mm x Tinggi 150mm.

Pada Gambar (b) permodelan box *vacuum* dilakukan dengan memperhatikan luas area yang tersedia pada bagian dalam yakni Panjang 250 mm, lebar 250 mm, dan tinggi 150 mm.

Pada Gambar (c) permodelan desain 3D penutup box *vacuum* juga sama mengikuti box *vacuum* yakni berbentuk kotak, dengan ukuran Panjang x Lebar x Tinggi. Perancangan menggunakan satuan milimeter dengan panjang penutup box *vacuum* 210 mm, lebar 210 mm, dan tinggi 20 mm. Penutup box *vacuum* juga dirancang dengan lubang 10 mm.

Desain Box Heater dan Frame

Permodelan desain 3D box *heater* berbentuk persegi panjang, dengan ukuran Panjang x Lebar x Tinggi, perancangan menggunakan satuan milimeter dengan panjang 350 mm, lebar 250, dan tinggi 150 mm, box *heater* juga dirancang dengan ketebalan lapisan skin sebesar 20 mm, Berikut hasil permodelan 3D box *heater* dan *Frame*:



Gambar 2. (a) Box Heater; (b) Coil; (c) Frame.

Pada Gambar (a) pemodelan desain 3D box *Heater* berbentuk kotak, dengan ukuran Panjang x Lebar x Tinggi. Berikut Keterangan desain

1. Box *Heater* panjang 350 mm, lebar 250, dan tinggi 150 mm.
2. *Coil* pemanas.
3. Lubang *coil* dengan diameter 30 mm.

Pada gambar (b) permodelan *coil* berguna untuk memanaskan plastik, Dengan ukuran Panjang x Lebar x Tinggi. Perancangan menggunakan satuan milimeter dengan Panjang 300 mm, lebar 70 mm, dan Tinggi 45 mm.

Pada gambar (c) permodelan *frame* berguna untuk mengunci plastik dengan *box heater* ketika sedang dipanaskan, dengan ukuran Panjang x Lebar x tinggi. Perancangan menggunakan satuan milimeter dengan panjang 250 mm, lebar 250 mm, dan tinggi 20 mm. *Frame* juga dirancang dengan ketebalan lapisan *skin* sebesar 20 mm.

Analisa Kekuatan Stuktur Box Vacuum Forming

Analisis yang dilakukan pada stuktur box *vacuum forming* menggunakan *finite element analysis*. Hasil yang diperoleh berupa tegangan maksimum yang terjadi, *displacement* (perpindahan) dan *safety factor*. Tegangan maksimum diperoleh dari kekuatan tarik dari material yang digunakan. Dan nilai *Safety factor* yang digunakan pada analisis ini yaitu 1,0-2,0. Analisa pada box *vacuum forming* menggunakan material yaitu kayu lapis.

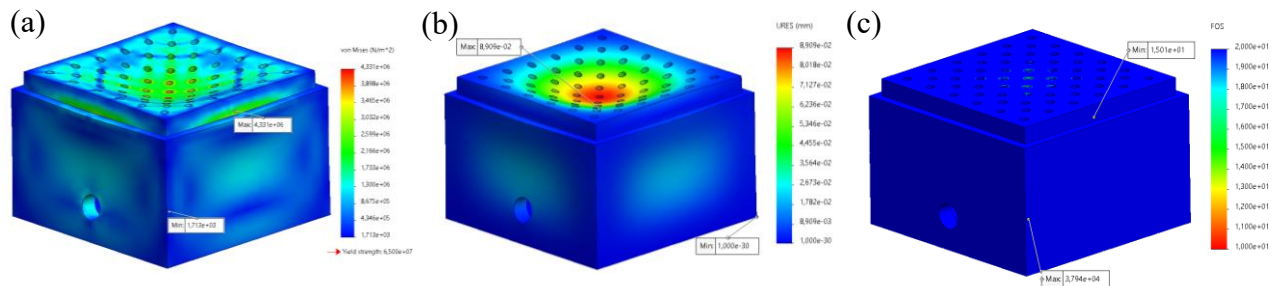
Pada stuktur box *vacuum forming* juga dilakukan pembebanan sebesar 101325 N/m² Letak gaya yang

diberikan pada stuktur box *vacuum forming* dengan arah gaya vertical ke bawah, Hasil dan penjelasan analisis stuktur box *vacuum forming* akan dijelaskan pada sub-sub bab berikkut ini:

Hasil Simulasi Kekuatan Stuktur Box *Vacuum Forming* Material Kayu Lapis

Dari hasil simulasi kekuatan stuktur box *vacuum forming* material kayu lapis dengan tekanan 101325 N/m² diperoleh tegangan maksimum yang terjadi, *displacment* dan *safety factor*.

Hasil Simulasi Stuktur Dengan Material Kayu Lapis



Gambar 3. (a) Stress; (b) Dispacment; (c) Safety factor.

Pada gambar (a) menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi pada stukturbox *vacuum forming* dengan diberikan gaya sebesar 101325 N/m². tegangan yang terjadi sebesar 6500 MPa, terjadi di bagian atas dalam permukaan kotak box *vacuum forming*. Hal ini terjadi pada area tersebut momen bending yang besar. Tegangan maksimum yang terjadi juga masih dibawah dari tegangan luluh (*yeild strength*) dari material kayu lapis.

Pada gambar (b) di atas menunjukkan perpindahan yang terjadi pada stuktur box *vacuum forming* dengan diberikan gaya 101325 N/m². Perpindahan terbesar terjadi di bagian atas tengah dari permukaan box *vacuum forming* dengan besar perpindahan yaitu 0,08 mm. Hal ini terjadi karena pada bagian tersebut area bebas atau tidak memiliki tumpuan di tengah tengah.

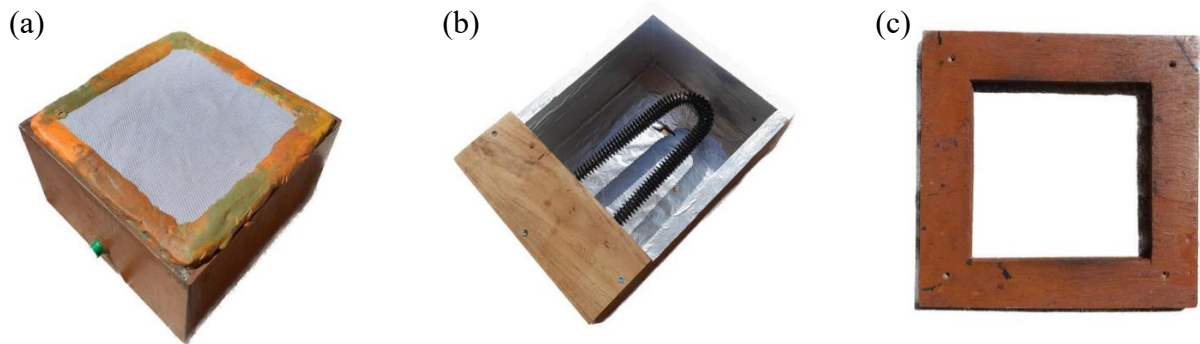
Pada gambar (c) di atas menunjukkan nilai *Safety factor* yang terjadi pada stuktur box *vacuum forming* dengan diberikan gaya 101325 N/m². Nilai *Safety factor* yang digunakan dalam analisis ini yaitu 1,0. Nilai *factor of safety* yang diperoleh pada stuktur box *vacuum* yaitu 1,5. Syarat nilai *Safety factor* yang digunakan, maka berdasarkan data yang diperoleh, stuktur box *vacuum* menggunakan material kayu lapis aman dalam menerima beban sebesar 101325 N/m², karena nilai FOS yang diperoleh lebih besar dari standar FOS yang digunakan.

Perancangan Manufaktur

Pembuatan box *vacuum forming*, box *heater*, dan *frame*, keseluruhan proses produksi dirinci secara terperinci. Pertama-tama, pembuatan box *vacuum forming* dimulai dengan pemilihan bahan bermaterial kayu lapis, yang umumnya melibatkan penggunaan bahan termoplastik yang dapat dibentuk dengan bentuk yang diinginkan melalui proses *vacuum forming*. Setelah memilih material, langkah selanjutnya adalah memotong bahan sesuai dengan desain box yang diinginkan.

Selanjutnya, pembuatan box *heater* bermaterial dari kayu lapis dan pemanas *heater* yang diperlukan untuk proses *vacuum forming*. *Heater* mencapai suhu yang tepat untuk membentuk termoplastik dengan baik. Pengaturan suhu dan kontrol yang efektif juga diperhitungkan agar proses pembentukan berjalan lancar dan sesuai dengan standar kualitas.

Pembuatan *frame* yang berfungsi sebagai pengunci termoplastik, berbahan dasar dari kayu lapis. *Frame* dirancang untuk memberikan dukungan struktural yang diperlukan dan memastikan kestabilan selama proses produksi.



Gambar 4. (a) Box Vacuum Forming; (b) Box Heater; (c) Frame.

Pada gambar (a) Pembuatan *box vacuum forming* berbahan dasar kayu lapis dengan dimensi ukuran panjang 250 mm, lebar 250 mm, dan tinggi 150 mm, proses produksi dimulai dengan pemilihan kayu lapis berkualitas tinggi yang memenuhi kriteria kekuatan dan keberlanjutan. Setelah bahan baku dipilih, dilakukan pemotongan kayu sesuai dengan dimensi yang telah ditetapkan, yaitu panjang 250 mm, lebar 250 mm, dan tinggi 150 mm. Langkah selanjutnya melibatkan persiapan cetakan sesuai dengan desain yang telah dipilih sebelumnya.

Saringan dan kain memiliki peran penting dalam mencegah terjadinya penghisapan plastik masuk ke dalam *box vacuum*, saringan berfungsi sebagai penghalang untuk mencegah partikel-partikel kecil masuk ke dalam lubang *vacuum*. Langkah selanjutnya disamping *box vacuum* dikelilingi dengan lilin malam, berfungsi untuk mencegah kebocoran pada *box vacuum*. Proses ini memastikan bahwa *box vacuum forming* berbahan dasar kayu memenuhi standar estetika dan fungsionalitas yang diharapkan. Dengan demikian, ini mencakup seluruh rangkaian langkah dari pemilihan bahan hingga hasil akhir *box vacuum forming* kayu yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.

Pada gambar (b) Pembuatan *box heater* berbahan dasar kayu lapis dengan dimensi ukuran panjang 350 mm, lebar 250 mm, dan tinggi 150 mm, langkah awal adalah pemilihan kayu berkualitas tinggi yang memenuhi kriteria kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Setelah bahan dasar dipilih, dilakukan pemotongan kayu sesuai dengan dimensi yang telah ditetapkan, yaitu panjang 350 mm, lebar 250 mm, dan tinggi 150 mm, dengan akurasi yang tinggi untuk memastikan presisi dalam ukuran.

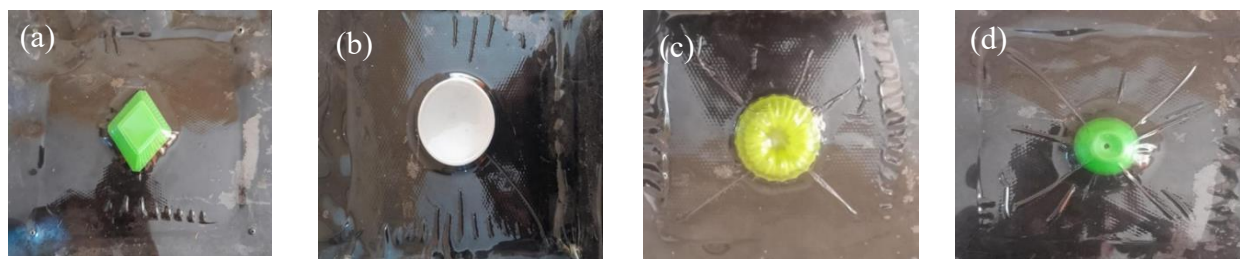
Proses selanjutnya melibatkan perakitan pemanas *heater* pada *box* sesuai desain yang telah ditetapkan sebelumnya. Kayu diposisikan dan disusun sedemikian rupa sehingga menciptakan ruang internal yang memadai untuk menampung elemen pemanas *heater*. Pemilihan elemen pemanas yang tepat dilakukan untuk memastikan bahwa *box heater* dapat mencapai suhu yang diperlukan selama proses *vacuum forming*.

Pada gambar (c) pembuatan *frame* berbahan dasar kayu dengan dimensi ukuran panjang 270 mm, panjang dalam 210 mm, lebar luar 270 mm, lebar dalam 210 mm, dan tinggi 20 mm, proses dimulai dengan pemilihan kayu yang sesuai untuk memastikan kekuatan dan kestabilan *frame*. Setelah bahan baku dipilih, dilakukan pemotongan kayu dengan ketelitian tinggi sesuai dengan dimensi yang telah ditetapkan.

Langkah selanjutnya melibatkan perakitan *frame* dengan presisi untuk menciptakan struktur yang kokoh dan sesuai dengan desain yang diinginkan. Bagian-bagian *frame* diposisikan dan digabungkan dengan hati-hati untuk menciptakan dimensi yang akurat. Dimensi panjang luar 250 mm dan lebar luar 150 mm dijaga sesuai dengan spesifikasi, sementara dimensi panjang dalam 150 mm dan lebar dalam 150 mm memastikan ketersediaan ruang yang sesuai untuk keperluan tertentu, seperti penopang atau elemen-elemen internal lainnya.

Pengujian Pembuatan Produk

Dalam spengujian alat menggunakan plastik PET dengan suhu 100°C dan waktu 30 detik, Proses pengujian dimulai dengan persiapan plastik PET yang sesuai dan ditempatkan pada bagian atau cetakan alat yang akan diuji. Suhu alat dipanaskan hingga 100°C untuk mensimulasikan kondisi sebenarnya selama proses *vacuum forming*.



Gambar 5. (a) Pengujian Produk 1; (b) Pengujian Produk 2; (c) Pengujian Produk 3; (d) Pengujian Produk 4.

Pada gambar (a) Proses *vacuum forming* pada cetakan berbentuk belah ketupat telah menghasilkan produk yang memuaskan dan sempurna. Cetakan belah ketupat memberikan bentuk yang presisi dan sesuai dengan desain yang diinginkan, menciptakan produk plastik yang bebas dari kerutan atau ketidak sempurnaan visual. Semakin besar tekanan vakum yang digunakan, kemampuan bentuknya akan meningkat pula atau bentuk dan luasan hasil cetakan plastik semakin mendekati bentuk.

Pada gambar (b) Proses *vacuum forming* pada cetakan bulat menghasilkan produk dengan penampilan yang kurang sempurna. Meskipun plastik dapat membentuk dari cetakan akan tetapi terdapat kerutan pada bagian atas dan sepanjang diagonal plastik yang dihasilkan sehingga hasil yang didapatkan kurang sempurna.

Pada gambar (c) Hasil dari proses *vacuum forming* dengan menggunakan cetakan bulat dan lekukan-lekukan di atasnya menghasilkan produk yang tidak sempurna. Meskipun cetakan memberikan bentuk yang diinginkan pada plastik, terdapat kerutan yang muncul pada secara diagonal di luar dari pada cetakan. Cetakan bulat dan lekukan pada cetakan seharusnya memberikan hasil yang mulus dan sesuai dengan desain yang diinginkan, namun keberadaan kerutan tersebut mengindikasikan adanya ketidaksempurnaan dalam proses pembentukan vakum. Hasil cetakan menunjukkan adanya gelembung-gelembung udara, yang mengindikasikan bahwa penyebabnya adalah ketidaksesuaian panas yang berlebihan.

Pada gambar (d) Hasil dari proses *vacuum forming* menggunakan cetakan berbentuk bulat, menyerupai mangkuk, menunjukkan ketidak sempurnaan pada produyang dihasilkan. Meskipun cetakan tersebut seharusnya memberikan bentuk yang mulus dan sesuai dengan desain yang diinginkan, terdapat kerutan pada bagian diagonal dan horizontal plastik. Hasil cetakan memiliki gelembung-gelembung udara, Sehingga dari hal tersebut pula disimpulkan bahwa yang menjadi penyebabnya adalah ketidak sesuaian panas yang berlebihan pun menjadi penyebab.

Kesimpulan

1. Desain box *vacuum forming* memiliki ukuran Panjang 250 mm x Lebar 250 mm x Tinggi 150 mm. Dengan ketebalan material 20 mm. Struktur box *vacuum forming* terdiri dari dari beberapa part kotak *vacuum*, dan penutup *vacuum*.
2. Pengujian box vacuum forming dilakukan pada variasi material dan beban dimana material yang menggunakan kayu lapis dengan pembebanan sebesar 101325 N/m² dengan ketebalan material 20 mm. Pada material kayu lapis pembebanan 101325 N/m² hasil analisis tegangan sebesar 6500 MPa, *displacment* 0,08 mm sedangkan nilai *Safety factor* 1,5.
3. Proses *vacuum forming* pada cetakan berbentuk belah ketupat telah menghasilkan produk yang

memuaskan dan sempurna. Meskipun plastik dapat dibentuk dari cetakan, akan tetapi terdapat kerutan pada bagian atas dan sepanjang diagonal plastik yang dihasilkan sehingga hasil yang didapatkan kurang sempurna. Cetakan bulat dan lekukan pada cetakan seharusnya memberikan hasil yang mulus dan sesuai dengan desain yang diinginkan, namun keberadaan kerutan tersebut mengindikasikan adanya ketidaksempurnaan dalam proses pembentukan vakum.

Daftar Pustaka

- [1] Diki Irwansyah, Cahyo Budiyanoro, dan Sunardi, “Perancangan Mesin Vacuum Forming Untuk Material Plastik Polystyrene (Ps) Dengan Ukuran Maksimal Cetakan 400x300x150 (Mm3),” *Jurnal Material Dan Proses Manufaktur*, Vol. 1, Pp. 89–95, 2017.
- [2] H. Hosseini, B. V. Berdyshev, dan A. Mehrabani-Zeinabad, “Rheological Modeling Of Fracture In Plug-Assisted Vacuum Thermoforming,” *Journal Of Applied Polymer Scienc*, Vol. 117, Pp. 171–177, 2010.
- [3] Marius, Andrei Boca, dan Alexandru Sover, “Improved Approach To Designing The Vacuum Channels For Additively Manufactured Thermoforming Moulds,” *Applied Mathematics, Mechanics, And Engineering*, Vol. 65, Pp. 1043–1050, 2022.
- [4] A. Zamheri *Et Al.*, “Studi Perancangan Alat Vacuum Forming Untuk Pengemasan Produk,” *Vaccum Forming, Polyethylene Terephthalate (Pet)*, Vol. 14, Pp. 32–36, 2022.
- [5] Adetya Septianingrum dan Setyawan Wibisono, “Pemeriksaan Supllier Kayu Lapis Menggunakan Metode Hidrid Ahp-Copras,” *Jurnal Ilmiah Komputer Grafis*, Vol. 16, Pp. 74–84, 2023.
- [6] Almadora Anwar Sani, Dicky Seprianto, Didi Suryana, Iskandar, dan M Khaira Fajri, “Optimalisasi Cycle Time Proses Vacuum Forming Pada Kemasan Plastik,” *Jurnal Teknika*, Vol. 17, Pp. 47–55, 2023.
- [7] Okta Angga Pratama dan Zenal Abidin, “Perancangan Mesin Pengupas Kulit Kacang Tanahhome Industri,” *Jurnal Media Teknolog*, Vol. 06, Pp. 229–238, 2020.
- [8] M. Nushron Ali Mukhtar, Titikkoesdijati, Sagita Rochman, Edi Nasrulloh, dan Lutfi Hidayat, “Analisis Desain Stator Generator Tipe Magnet Permanen Fluks Aksial Menggunakan Metode Finite Element Analysis (Fea),” *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 8, Pp. 149–156, 2021.
- [9] Mochammad Muchid, Ampar Jaya Suwondo, dan Edi Hardjoko, “Analisa Static Pada Mesin Penghalus Roll Conveyor Menggunakan Solidwor,” *Analisa Static Pada Mesin Penghalus Roll Conveyor Menggunakan Solidworks*, Pp. 123–128, 2018.
- [10] Matheus Souisa, “Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan Dengan Uji Tarik,” *Jurnal Berekeng*, Vol. 5, Pp. 9–14, 2011.
- [11] Lasinta Ariendra Wibawa, “Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Meja Kerja (Workbench) Balai Lapan Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 3, Pp. 13–17, 2019.
- [12] Viktor Naubnome, Aldo Dwi Cahyo, Najmudin Fauji, dan Iwan Nugraha Gusniar, “Analisis Uji Tarik dan Simulasi Kegagalan Pada Baja Ss400 Dengan Variasi Ketebalan Lapisan Karbon Fiber Untuk Aplikasi Kerangka Mobil Listrik,” *Jurnal Of Infrastructure & Science Engeenering*, Vol. 03, Pp. 28–36, 2020.
- [13] Abd Wahab, Mojibur Rohman, Ahmad Saepuddin, dan Mochammad Sulaiman, “Desain dan Simulasi Uji Kekuatan Chassis Mobil Sem Jenis Prototypemenggunakan Material Aluminium Alloy 7075,” *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vol. 17, Pp. 78–85, 2022.
- [14] Gabriel Sutantyoy, Sheila Tobing, dan Budi Atmoko, “Perancangan dan Analisis Struktur Statis Terhadap Fuselage Versi Maritim Dari Prototipe Uav V5 Produksi,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 16, Pp. 68–76, 2022.