

PENGEMBANGAN PRODUK CASING ALAT KESEHATAN PEMANTAUAN INFUS PINTAR (MIFUS) DENGAN METODE RAPID TOOLING

Riona Ihsan Media ¹⁾ ✉, Roni Kusnowo ¹⁾, Yogi Muldani Hendrawan ¹⁾, Hafez Trimukti Ali Musa ¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur

Politeknik Manufaktur Bandung
Kanayakan, 21st, Bandung, West Java,
INDONESIA
rio_sanmed@polman-bandung.ac.id
hafeztrimukti@gmail.com
roni@polman-bandung.ac.id
yogi@polman-bandung.ac.id

Abstract

MiFUS® is a tool that can display the patient's infusion condition so that nurses can monitor patients one by one in a short time simultaneously. Several nurses were involved in this study to provide input to the casing. Product design is done at the beginning to know the initial casing design. Next, the manufacture of casing molds is carried out using a 3D printing machine. The results of the 3D printer are used as a Master Mold for the implementation of Rapid Tooling method with Epoxy material. The solution of product development is catalyst ratio analysis on polyester resin to obtain the optimal ratio of properties including shrinkage and strength of the material to withstand mechanical loads. Validation of shrinkage is carried out using 3D Scanning technology to determine the deviation of dimensions in the casing made against CAD data. Meanwhile, to obtain the strength parameters of the material to withstand mechanical loads, tensile testing is carried out. The results of this study are the contribution of design parameters, namely the amount of shrinkage that occurs and the strength parameters of the material to withstand mechanical loads. The Data and information are presented in the form of product prototypes and user analysis feasibility studies.

Keywords: 3D Printing, 3D Scanning, Rapid Tooling, Shrinkage Epoxy, Resin Polymer.

1. PENDAHULUAN

Salah satu inovasi yang dilakukan oleh anak bangsa adalah dengan menciptakan alat monitoring infus pintar (MiFUS®). Alasan disebut pintar karena penggunaan sistem IoT (*Internet of Things*) di dalamnya yang terintegrasi dengan *smart phone* yang dimiliki oleh para nakes (tenaga Kesehatan). Sehingga dengan adanya pengaplikasian IoT ini pada alat *monitoring* infus dapat membantu para nakes dalam memantau infus pasien dan mengurangi interaksi secara langsung antara nakes dengan pasien, khususnya pasien yang terinfeksi oleh virus ^{[1], [2]}. Dengan adanya alat MiFUS ini pun akan dapat mengurangi penggunaan APD (Alat Pelindung Diri) secara berlebihan.

Alat ini diharapkan bukan hanya dikembangkan oleh orang-orang dalam negeri tapi juga bisa diproduksi secara masal di dalam negeri. Hanya saja, dikarenakan produk masih dalam tahap pengembangan maka produk belum bisa diproduksi secara masal. Walaupun demikian, produk ini tetap membutuhkan *mockup* produk untuk diberikan kepada pengguna agar mendapatkan data untuk pengembangan produk, khususnya *mockup* bagian *casing*.

Corresponding Author:

✉ Riona Ihsan Media

Received on: 2023-01-15

Revised on: 2023-01-24

Accepted on: 2023-01-24

Dikarenakan pengguna alat ini hanya terbatas pada tenaga kesehatan, maka hanya dibutuhkan *mockup* produk bagian *casing* hanya sedikit (± 10 produk).



Gambar 1. Alat Monitor Infus yang Ada di Pasaran (sumber: monidor.com)

Volume produksi yang rendah tentunya tidak disarankan menggunakan metode injection mold untuk membuat produk tersebut [3]-[6]. Karena akan memakan waktu dan biaya yang sangat banyak. Penggunaan rapid tooling berjenis Room-Temperature Vulcanizing (RTV) mold sangat cocok pada kasus ini. Material cetakan pada RTV mold menggunakan bahan resin *epoxy* dan untuk produknya menggunakan material resin *polyester*. Semua material pada metode ini terjual bebas sehingga tidak susah mencari bahan baku untuk produksi. *Rapid Tooling* terdapat beberapa jenis yaitu *RTV Mold*, *Rapid Aluminium Tools (RAT)*, *CAFÉ Bridge Tool*, dan *Direct AIM Rapid Bridge Tool* yang kekurangannya dan kelebihanannya telah rangkum dari buku *Rapid Tooling: Technologies and Industrial Application* [7]-[19].

Tabel 1. Kekurangan dan kelebihan jenis-jenis *Rapid Injection Mold Tools*

Jenis RT	RTV Mold	Bridge Tools		RAT
		CAFÉ	Direct AIM	
Kelebihan	<ol style="list-style-type: none"> Harga murah. Bahan baku terdapat banyak dipasaran. Mudah untuk dibuat. Proses pembuatan cepat. 	<ol style="list-style-type: none"> Kuat menahan injeksi. Mudah dibuat. Pembuatan cepat. Menghasilkan <i>true prototype</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> Dapat menahan suhu $\pm 300^{\circ}\text{C}$. Pembuatan mudah. Dapat menghasilkan <i>true prototype</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> Material mudah dicari. Pembuatan mudah. Dapat menghasilkan <i>true prototype</i>. Lebih tahan lama.
Kekurangan	<ol style="list-style-type: none"> Kurang tahan lama. Hanya mampu menghasilkan ± 20 produk. Tidak dapat menghasilkan <i>true prototype</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> Bahan sulit dicari. Cukup mahal dibandingkan RTV Mold. 	<ol style="list-style-type: none"> Hanya menghasilkan < 50 produk. Cepat rusak saat proses ejeksi. Mesin pembuatan sedang rusak. 	<ol style="list-style-type: none"> Proses pembuatan cukup mahal dan lama. Jika terdapat perbaikan sulit diperbaiki.

Selain penyusutan, masalah dari RTV *mold* dengan produk berbahan resin adalah dibutuhkannya penguat (*reinforcement*) berupa serat pada resin. Dengan ditamhkannya penguatan berupa serat, produk akan memiliki kekuatan menerima beban mekanis yang lebih baik. Hanya saja pada produk yang akan dibuat tidak akan menggunakan serat atau penguat sehingga kekuatan produk akan berkurang. Solusi yang diberikan terhadap permasalahan tersebut adalah mencoba mengatur rasio katalis pada resin *polyester* untuk mendapatkan

rasio yang optimal [10], [11]. Dengan mengatur rasio katalis pada resin tersebut diharapkan didapatkan penyusutan dan kekuatan menerima beban mekanis paling optimal agar dapat memberikan produk yang lebih berkualitas pada pengguna [12]–[16].

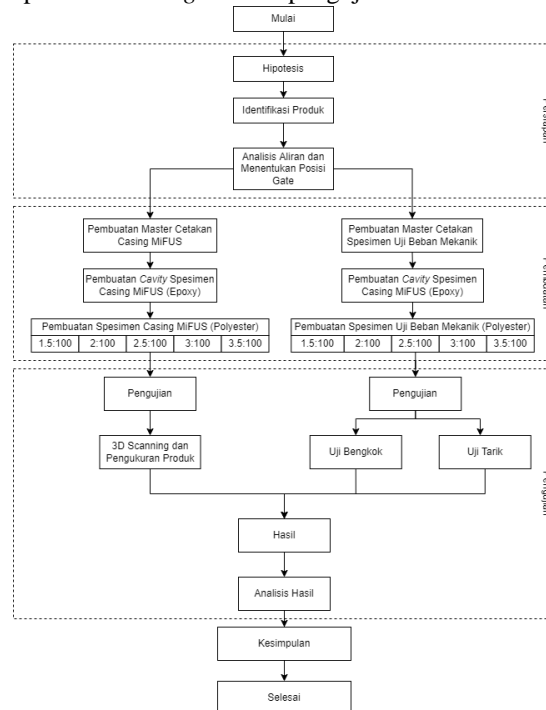
Selain mencari rasio yang optimal, pada penelitian ini juga dicari pengaruh pengaturan rasio tersebut terhadap penyusutan yang terjadi dengan menggunakan teknologi *3D Scanning*. Ditambah selama ini belum ada penelitian yang membahas pengaruh rasio tersebut terhadap penyusutan, karena kebanyakan penelitian berorientasi terhadap kekuatan menerima beban mekanis.

Saat ini sudah banyak sekali pengembangan metode untuk memproduksi suatu produk dengan kuantitas rendah, metode tersebut biasa disebut dengan *Rapid Tooling* (RT). Istilah mengenai RT mengacu pada pembuatan tools yang dibuat dengan cepat dan murah, hanya saja saat ini definisi RT mulai berkembang menjadi tools yang mengacu pada umur dari RT itu sendiri. Sehingga diharapkan melalui pembuatan prototipe hasil cetakan menggunakan metode rapid tooling dapat menjadi alternatif dalam menghasilkan produk dengan jumlah yang terbatas

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari 3 tahapan yaitu tahapan persiapan, tahapan pembuatan sampel uji, dan tahapan pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada tahapan persiapan, studi literatur dilakukan dalam mencari sebuah ide untuk penerapan metode-metode eksperimen sehingga menghasilkan sebuah hipotesis dalam menentukan tujuan penelitian. Selanjutnya, identifikasi produk awal yang telah dibuat sebelumnya dan *pre-analysis* dilakukan untuk mendapatkan aliran posisi gate yang sesuai

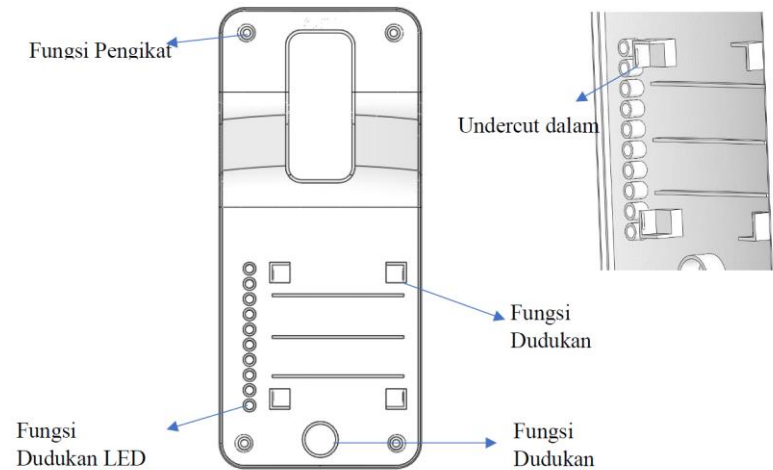
Tahapan pembuatan melibatkan aktivitas pembuatan master *casing* dan pembuatan master cetakan untuk sampel pengujian pada masing – masing rasio campuran. Pada masing – masing pembuatan *cavity* pada master cetakan yang terbuat dari Epoxy, disediakan pula spesimen *casing* untuk pengujian berdasarkan rasio campuran yang telah ditentukan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.1. Identifikasi Produk

Cover depan memiliki beberapa fungsi yaitu sebagaiudukan baterai, dudukan lampu indikator, dan dudukan *buzzer*. Selain kedua fungsi tersebut, cover depan akan menjadi hal yang pertama kali orang lihat. Walaupun demikian, karena produk ini berpasangan dengan casing belakang diharuskan ada fungsi penepat pada produk. Peletakan setiap fungsi komponen pada produk dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi komponen casing depan

Setelah semua fungsi dijabarkan, maka dibutuhkan data teknis pada produk. Hal ini dijelaskan dalam bentuk Tabel 2 sebagai berikut.

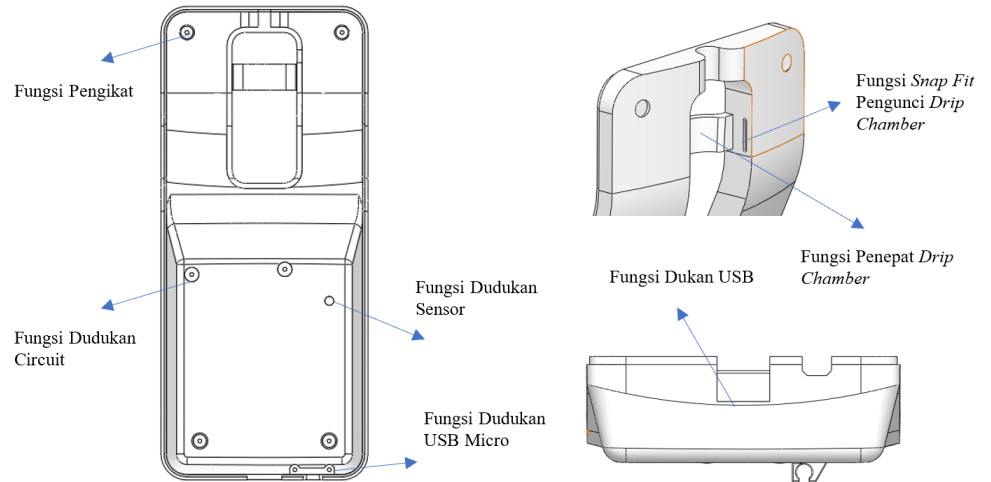
Tabel 2. Data produk casing depan

Data Produk	Data Teknis
Material	Resin Polyester
Penyusutan	5-12%
Massa Jenis	1.16 g/cm ³
Berat	41.76 g (Berdasarkan hasil di <i>Solidworks</i>)
Sudut <i>Draft</i>	1 °
Tebal Dinding Maksimum	2 mm
Tebal Dinding Minimum	0.8 mm

Selanjutnya, pada produk casing bagian belakang ini memiliki fungsi sebagai dudukan semua komponen elektrik mulai dari sirkuit, *micro-USB*, dan juga sensor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Selain itu fungsi dari produk ini adalah sebagai pengikat antara casing depan dan belakang. Data teknis dari casing belakang relatif sama dengan data teknis casing depan seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data produk casing belakang

Data Produk	Data Teknis
Material	Resin Polyester
Penyusutan	5-12%
Massa Jenis	1,16 g/cm ³
Berat	52 g (Berdasarkan hasil di <i>Solidworks</i>)
Sudut <i>Draft</i>	1 °
Tebal Dinding Maksimum	2 mm
Tebal Dinding Minimum	0,8 mm

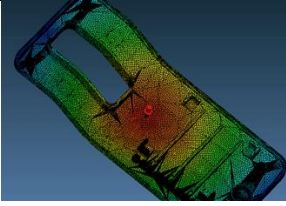
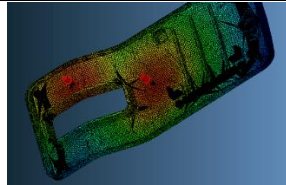


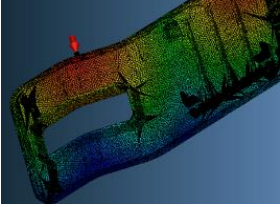
Gambar 4. Fungsi komponen casing belakang

2.2. Analisis aliran dan menentukan aliran posisi gate

Untuk mengoptimalkan kualitas dari produk yang dibuat maka dilakukanlah analisis dan simulasi aliran. Analisis aliran ini dibantu dengan menggunakan software Moldex3D. Selain analisis aliran, *software* ini dapat membantu dalam memprediksi letak posisi gate atau lubang saluran yang optimal. Berikut ini adalah hasil analisis dan simulasi aliran yang dilakukan pada produk casing dan sampel uji coba. Pada penentuan awal posisi *gate*, hal ini dibantu oleh *software* dengan fitur *gate advisor*. Setelah itu dilakukan simulasi dan evaluasi. Selain itu terdapat juga masukan dari instruktur mengenai posisi *gate* seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan alternatif posisi gate pada front casing MiFUS


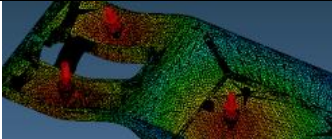
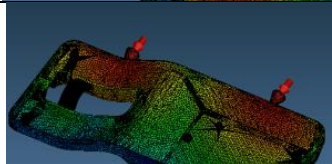
Alternatif 1	Filling Time (s)	Curing Time (s)
	1.226	6.010
	1.237	6.010

	1.222	6.010
---	-------	-------

Berdasarkan Tabel 5 hasil analisis yang telah dibuat, disimpulkan bahwa alternatif ke 3 adalah alternatif yang memiliki *filling time* yang sesuai. Selain itu penyebaran aliran yang cukup merata dan optimal dari semua alternatif. Posisi *gate* membantu juga dalam proses *gavity casting* sehingga dapat dibantu oleh gaya gravitasi dalam proses mengalirkan aliran resin.

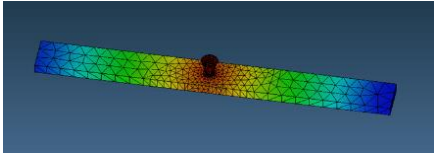
Pada *casing* MiFUS bagian belakang yang menjadi alternatif terbaik adalah alternatif 3. Posisi *gate* pada produk ini kurang lebih sama dengan produk *casing* bagian depan. Alternatif dipilih karena memiliki *filling time* dan *curing time* paling rendah diantara semua alternatif. Posisi ini pun mendukung proses *gravity casting*.

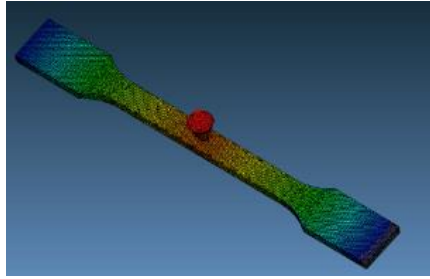
Tabel 5. Perbandingan alternatif posisi *gate* pada *back casing* MiFUS

Alternatif 1	<i>Filling Time</i> (s)	<i>Curing Time</i> (s)
	1.083	5.870
	1.102	5.880
	1.079	5.860

Dikarenakan geometri produk simetris, maka posisi *gate* yang optimal berada di tengah. Oleh karena itu tidak ada alternatif bentuk *gate* pada sampel uji ini seperti terlihat pada Tabel 6. Ditambah produk ukuran sampel produk yang kecil dan bentuk yang sederhana sehingga tidak diperlukan jumlah *gate* lebih dari satu. Berikut ini adalah hasil simulasi aliran pada produk sampel uji beban mekanik.

Tabel 6. Analisis posisi *gate* pada sampel uji

Produk	<i>Filling Time</i> (s)	<i>Curing Time</i> (s)
	0.260	6.620



0.500

8.400

2.3. Pembuatan master cetakan

Alat yang digunakan untuk membuat master cetakan *casing* MiFUS dan master spesimen uji beban mekanik adalah dengan menggunakan *3D Print* dengan spesifikasi mesin seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. Sedangkan untuk bahan *fillament* yang digunakan adalah ABS dengan diameter 2.85 mm. Selain itu yang menjadi perbedaan proses pembuatan antara *casing* MiFUS dengan pembuatan spesimen uji beban mekanik hanya terdapat pada proses akhir. Pada proses akhir memiliki tujuan yang sama yaitu untuk menghaluskan permukaan hasil *3D Print*. Sedangkan untuk *casing* MiFUS proses akhir dihaluskan dengan menggunakan amplas dan untuk spesimen uji menggunakan cairan aseton.

Tabel 7. Spesifikasi mesin 3D Printer

Deskripsi	Spesifikasi
<i>Brand</i>	Ultimaker 3 Extended
<i>Travel Distance</i>	215x215x300 mm
<i>Dimension</i>	342x380x489
<i>Nozzle Temperature</i>	80-280 C
<i>Accuracy</i>	12.5 μ m

2.4. Pembuatan spesimen uji

Sebelum memulai uji coba, maka haruslah ditentukan terlebih dahulu variasi rasio katalis pada resin agar tahu berapa jumlah sampel yang akan dibuat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Dhien (2015) tentang komposit, variasi rasio katalis dengan resin polyester yaitu 0,5:100; 1:100; 2:100; dan 2,5:100 dengan masing-masing rasio dibuat 3 sampel. Dari ke 3 sampel tersebut diambil 1 yang terbaik untuk *diplot* dalam grafik. Pada akhirnya disimpulkan bahwa rasio yang paling optimal dari semua variasi tersebut adalah 2,5:100 dan yang kurang baik adalah 0,5:100.

Dikarenakan grafik uji mekanik untuk setiap sampel yang ditunjukkan pada penelitian sebelumnya terus naik, maka percobaan dalam membuat variasi sedikit berbeda. Hal ini ditujukan untuk mendapatkan variasi yang lebih optimal dan tahu batasan penggunaan katalis yang kurang optimal. Karena semakin banyak katalis maka produk akan semakin lama keringnya dan menjadi lengket. Maka dari itu variasi rasio menjadi 1,5:100; 2:100; 2,5:100; 3:100; 3,5:100. Selanjutnya variasi tersebut disajikan dalam tabulasi data seperti pada Tabel 8 agar komposisi volume yang tepat antara katalis dengan resin untuk setiap produk uji dapat diketahui. Sehingga volume resin total yang dibutuhkan untuk 1 *batch* percobaan pembuatan sampel adalah 100 mL. Selanjutnya adalah menghitung volume katalis yang dibutuhkan. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan volume resin yang dibutuhkan untuk setiap variasi rasio seperti pada Tabel 9.

Tabel 8. Rancangan volume resin total pada setiap spesimen uji

Produk	Volume (mL)
<i>Casing Depan</i>	36
<i>Casing Belakang</i>	45
Uji Tarik	10
Uji Bengkok	6
Volume Total	97 ≈ 100

Tabel 9. Resin yang dibutuhkan untuk setiap *batch* pengujian

Volume Resin	Katalis yang dibutuhkan (Katalis : Resin) dalam mL				
Total (mL)	1,5:100	2:100	2,5:100	3:100	3,5:100
100	1,5	2	2,5	3	3,5

Pada saat proses pencetakan terjadi masalah dimana produk sulit untuk dilepas dari cetakan. Sehingga cetakan dibuat lubang ejsksi untuk mempermudah proses pelepasan seperti pada Gambar 5. Hal ini dilakukan pada saat produk setengah kering agar proses lebih mudah dan tidak merusak cetakan.

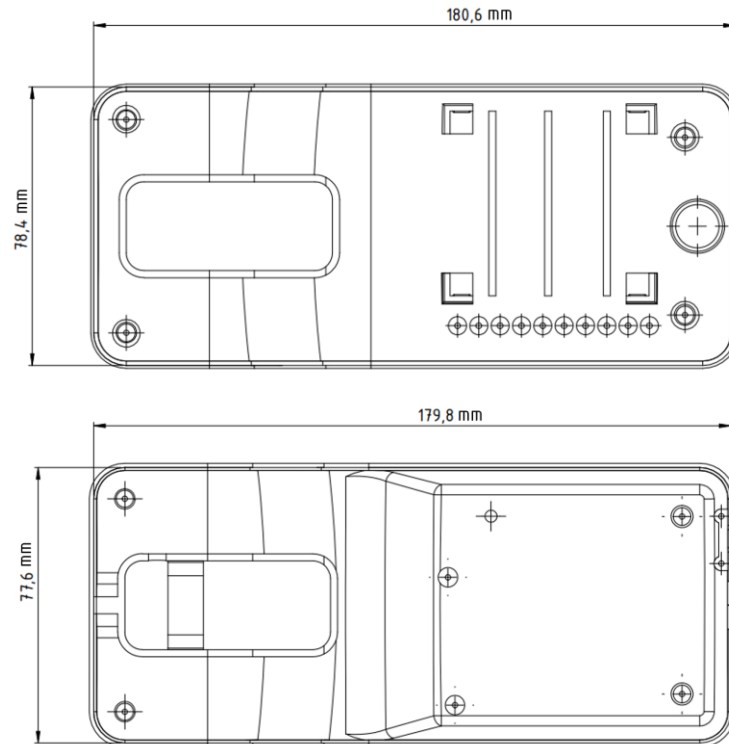
**Gambar 5.** Lubang pada cetakan untuk memudahkan pengeluaran produk (ejection system)

2.5. Pengujian

Pengujian untuk produk secara umum dibagi menjadi 2 yaitu pengukuran penyusutan dengan *3D Scanner* dan pengujian beban mekanik. Pengukuran penyusutan khusus untuk produk *casing* MiFUS sehingga nantinya pengukuran tersebut dapat dijadikan acuan perancangan untuk material yang menggunakan resin *polyester*. Untuk pengujian beban mekanik dibuat sampel standar yang dimensinya sudah disesuaikan dengan standar yang ada. Mesin *3D Scanner* yang digunakan untuk pengukuran adalah mesin *Metrascan Creaform*. Kelebihan dari mesin ini dapat menangkap poin hingga 800.000 setiap detiknya. Maka dari itu berikut ini adalah spesifikasi mesin *3D Scanner* yang akan digunakan. Pengukuran penyusutan menggunakan *3D Scanner* menghasilkan produk berupa *point cloud*. *Point cloud* ini tidak bisa diedit menggunakan *software CAD* biasa. *Software* yang digunakan untuk membantu *editing* dan *3D Compare* adalah *Geomagic*.

Selain itu pada pengukuran ini pun ditentukan juga dimensi yang harus diukur dengan jangka sorong. Hal ini bertujuan untuk mengetahui penyusutan pada bagian tertentu,

khususnya yang berpasangan, agar mendapatkan parameter untuk perancangan nantinya. Berikut ini adalah dimensi yang harus diukur dengan jangka sorong.



Gambar 6. Dimensi casing depan dan belakang yang diukur

Pemilihan dimensi tersebut didasarkan pada bagian yang berpasangan antar part sehingga nantinya fungsi pada produk bisa tercapai dengan lebih baik. Ketercapaian fungsi pada produk diwujudkan dengan memberikan toleransi yang didasarkan pada hasil pengukuran nantinya. Tujuan dari melakukan uji bengkok ini adalah untuk mendapatkan material *properties* dan mengetahui seberapa besar beban bengkok pada produk yang bisa ditahan. Dengan begitu diharapkan nantinya diketahui bahwa produk dapat memenuhi fungsi *snap-fit* atau tidak. Untuk uji bengkok atau *bending* dilakukan di laboratorium material jurusan Teknik Pengecoran Logam Politeknik Manufaktur Bandung. Mesin yang digunakan adalah Hungta – 5021. Berikut ini adalah spesifikasi mesin yang digunakan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan kekuatan tarik sehingga diharapkan dapat diketahui seberapa getas material yang didapatkan. Pada uji tarik dilakukan di laboratorium material jurusan Teknik Pengecoran Logam Politeknik Manufaktur Bandung. Mesin yang digunakan adalah mesin Zwick/Roel Z250. Berikut ini adalah spesifikasi mesin yang digunakan.

3. HASIL DAN DISKUSI

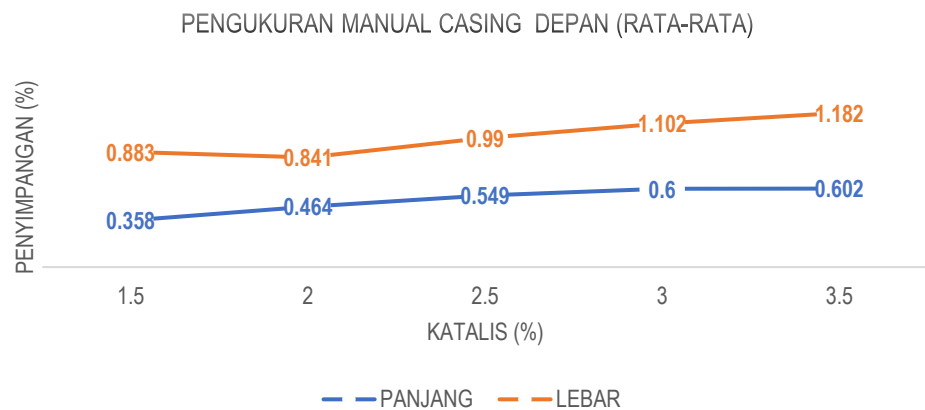
Data dan hasil perhitungan komposit yang telah dilakukan pengujian *impact*, pengujian kekerasan dan pengujian densitas, kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah proses analisis dan pembahasan. Adapun analisis pembahasan dari masing-masing pengujian adalah sebagai berikut.

3.1. Pengukuran geometri dengan *manual inspection*

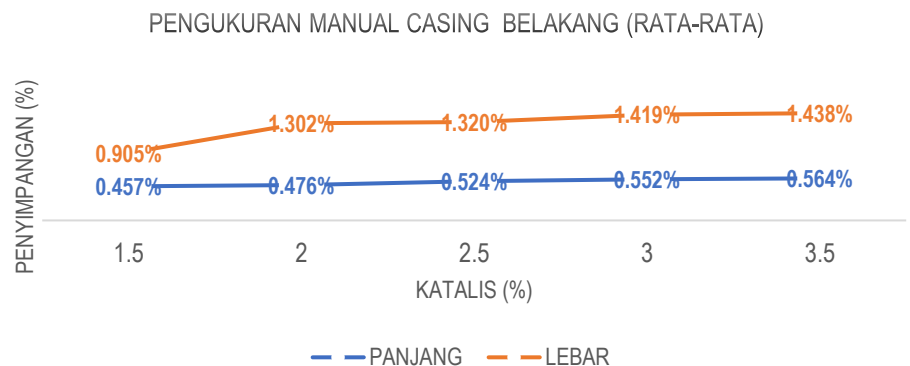
Pengukuran manual dilakukan dengan cara menentukan dimensi yang akan diukur terlebih dahulu. Setelah itu diukur sebanyak 3 kali lalu hasil tersebut dirata-ratakan. Selain itu jumlah

sampel yang diukur adalah 15 pasang sampel produk (*casing* depan dan *casing* belakang) dengan masing-masing variasi rasio berjumlah 3 sampel.

Produk yang menjadi referensi pengukuran adalah produk master yang dibuat menjadi negatif pada cetakan. Sebelum pengukuran pada produk, dilakukan terlebih dahulu pengukuran pada produk master yang dibandingkan dengan *3D CAD*. Berikut ini adalah hasil pengukuran beserta penyimpangan yang terjadi. Sehingga persentase penyimpangan yang terjadi adalah hasil perbandingan antara produk master dengan produk hasil cetakan. Berikut ini adalah data penyimpangan yang terjadi pada *casing* depan dan *casing* belakang untuk masing-masing variasi rasio. Setelah itu penyimpangan rata-rata pada produk ditampilkan dalam bentuk grafik untuk dilihat kenaikan penyimpangannya. Gambar 7 merupakan data penyimpangan hasil pengukuran manual untuk *casing* depan sedangkan pada Gambar 8 merupakan hasil pengukuran pada *casing* belakang yang sudah dirata-ratakan untuk setiap rasio katalis.



Gambar 7. Hasil pengukuran manual *casing* depan



Gambar 8. Hasil pengukuran manual *casing* belakang

Dari kedua grafik dapat disimpulkan bahwa semakin banyak katalis yang dimasukkan maka penyimpangan atau dalam hal ini penyusutan pada bagian yang diukur semakin besar. Selain itu pada grafik didapatkan bahwa penyusutan terbesar untuk *casing* depan dan *casing* belakang terjadi pada rasio katalis 3,5 : 100. Sedangkan untuk penyusutan terkecil pada rasio katalis 1,5 : 100 sebesar. Penyusutan yang terjadi lebih rendah dibandingkan dengan penyusutan pada teori yang diberikan yaitu 5%-12%. Hal ini diakibatkan karena produk yang dibuat terlalu tipis sehingga penyusutan yang terjadi pun semakin kecil.

Pada kedua grafik pun terdapat kesamaan, yaitu penyimpangan rata-rata penyimpangan terbesar pada bagian lebar. Hal ini diakibatkan karena bidang kontak pada dimensi lebar lebih panjang dibandingkan dengan dimensi panjang. Selain itu karena proses pengambilan produk dilakukan pada saat produk masing-masing setengah kering untuk mempermudah pengambilan, hal ini bisa membuat produk terdeformasi.

Dari data hasil pengukuran yang didapatkan kemudian dijadikan dasar dalam menentukan dimensi yang disarankan untuk panjang dan lebar pada produk yang sudah ditentukan sebelumnya. Berikut ini adalah dimensi yang disarankan untuk masing-masing variasi rasio katalis pada dimensi panjang dan lebar.

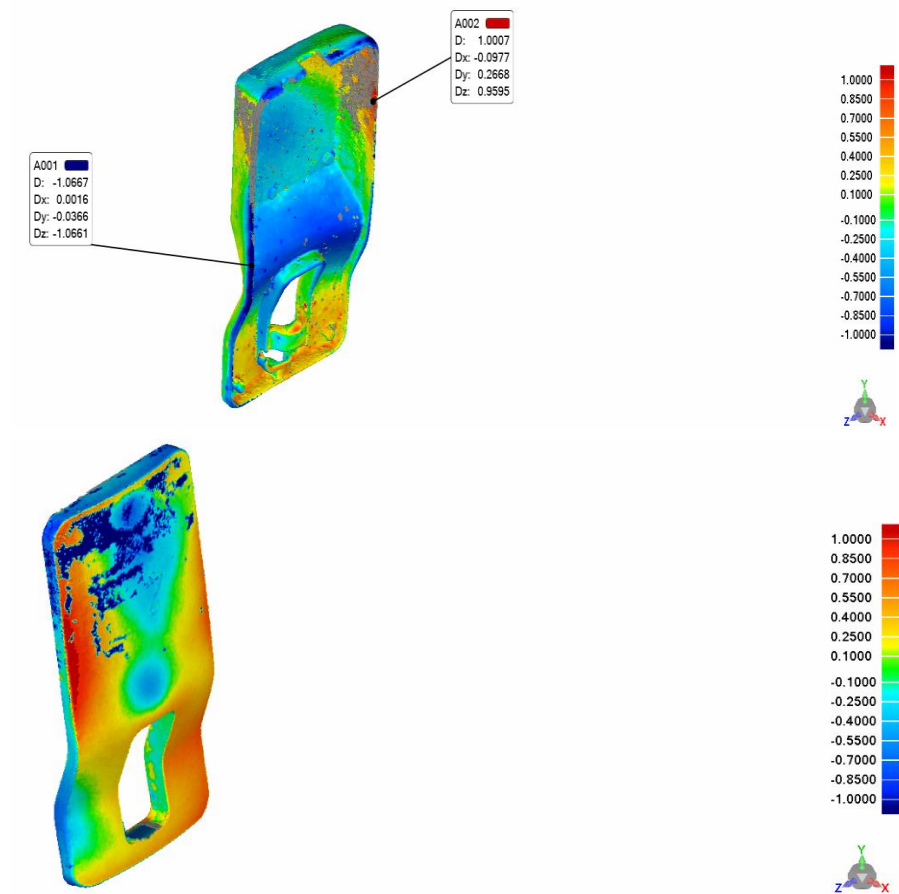
3.2. Pengukuran geometri dengan *3D compare*

Pengukuran menggunakan *3D Scan* dilakukan dengan menggunakan 5 pasang sampel produk (*casing* depan dan *casing* belakang) dengan 1 sampel untuk masing-masing variasi rasio katalis. Hal ini dikarenakan ada beberapa produk terlalu banyak *void* atau udara terjebak sehingga dianggap kurang layak untuk dilakukan proses *3D Scanning*. Produk yang digunakan adalah produk dengan lubang udara terjebak atau *void* paling sedikit pada tampilan produk agar didapatkan topologi yang paling mendekati master produk. Dengan begitu data yang didapatkan diharapkan lebih akurat. Pada Gambar 9 adalah beberapa contoh produk dengan topologi kurang baik ditandai dengan lingkaran merah



Gambar 9. Produk dengan topology yang kurang baik

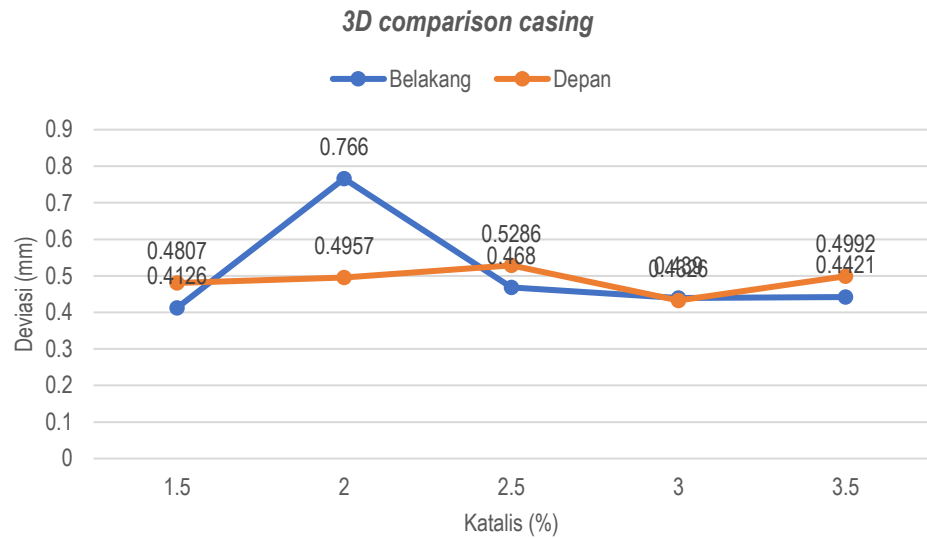
Pengukuran dilakukan dengan cara membandingkan produk master yang dijadikan cetakan dengan produk hasil cetakan. Setelah itu dibandingkan dengan menggunakan *software* Geomagic dengan menggunakan fitur *3D Compare* untuk didapatkan deviasi yang terjadi pada masing-masing produk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil *3D compare* pada casing

Toleransi yang dimasukkan pada *software* adalah ± 0.1 mm. Hal ini didasarkan tebal produk maksimal yaitu 2 mm dan mengikuti toleransi umum standar. Berikut ini adalah tabel hasil *3D Scan* beserta dengan deviasi maximum dan minimum yang terjadi pada produk.

Pada Gambar 11 standar deviasi pada casing depan didapatkan deviasi terkecil terjadi pada rasio 1,5 : 100 dan terbesar 2 : 100 dengan masing-masing deviasi adalah 0,4126 mm dan 0,766 mm. Kenaikan yang tidak linear pada rasio 2 : 100 kemungkinan besar disebabkan karena adanya perlakuan yang berbeda pada saat proses pembuatan seperti *clamping* yang kurang keras, suhu ruangan yang terlalu rendah, atau pengadukan yang kurang merata.

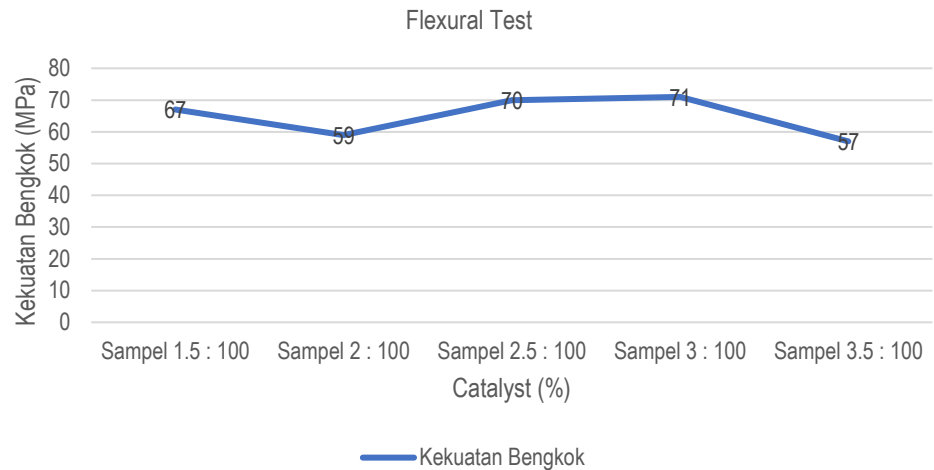


Gambar 11. Standar deviasi pada casing menggunakan fitur 3D comparison

Walaupun demikian setelah rasio 2 : 100 data yang didapatkan cukup linear. Berbeda dengan casing belakang, penyimpangan terbesar terjadi pada rasio katalis 2.5 : 100. Tetapi deviasi terkecil tetap berada pada rasio katalis 1.5 : 100. Pada data ini didapatkan data yang cukup linear. Selain itu, posisi deviasi terbesar atau penyimpangan terbesar terdapat perbedaan dengan menggunakan pengukuran manual baik pada casing depan ataupun belakang. Pada pengukuran manual untuk produk casing depan dan belakang, deviasi terbesar berada pada rasio 3.5 : 100. Perbedaan ini terjadi karena jangkauan pengukuran yang berbeda, untuk 3D Scan yang diukur dan dibandingkan adalah kontur dari produk sedangkan pada pengukuran manual lebih hanya pada bidang kontak yang bisa dijangkau oleh jangka sorong saja.

3.3. Analisis hasil uji sifat mekanis

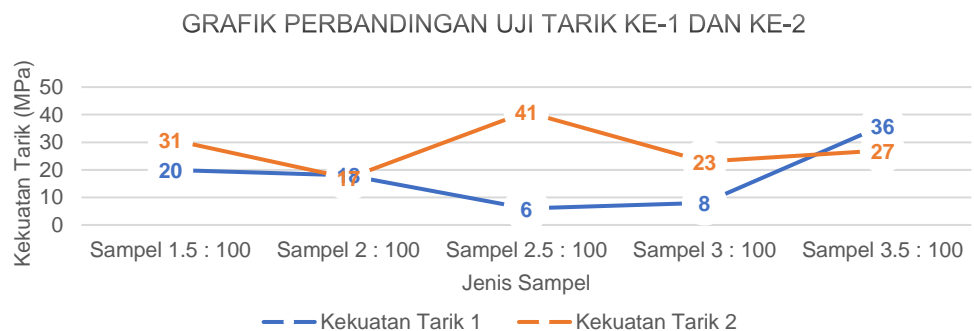
Berdasarkan hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 didapatkan semakin besar katalis yang dimasukkan pada resin polyester pada maka kemampuan menerima beban semakin tinggi. Selain itu paduan yang paling optimal adalah pada paduan 3 : 100 dengan kemampuan menerima beban mekanik yaitu sebesar 71 MPa. Hal ini lebih tinggi kurang lebih 38% dibandingkan dengan pada landasan teori yang sudah diberikan yaitu sekitar 40.6 MPa. Sedangkan kekuatan bengkok terendah adalah pada rasio 3.5:100 dengan kekuatan 57 MPa. Hal ini disebabkan karena katalis yang terlalu banyak sehingga membuat material menjadi semakin getas atau *britel* dan tidak mampu menahan beban bengkok.



Gambar 12. Hasil uji bengkok

Pengujian pada uji Tarik menggunakan 5 sampel. Berikut ini adalah data hasil pengujian tarik yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa hasil yang paling optimal adalah 3,5 : 100. Hal ini dikarenakan paduan katalis yang semakin banyak dan material yang semakin keras dan getas. Pada sampel ke 2 , 3 dan 4 terjadi penurunan kekuatan hal ini dikarenakan proses pengeringan yang kurang baik sehingga material kurang kuat menahan beban tarik. Selain itu diduga proses pengadukan kurang baik sehingga katalis kurang tercampur secara merata. Maka dari itu, setelah didiskusikan dengan pembimbing, diputuskan untuk melakukan pengujian uji tarik untuk yang kedua kali. Berikut ini adalah data hasil uji tarik yang ke dua yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Berdasarkan grafik hasil pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 13 didapatkan bahwa paduan yang paling optimal adalah pada rasio 2,5:100 sebesar 41 MPa dan hal ini lebih besar 19.5% dibandingkan dengan teori yang diberikan yaitu 33 MPa. Walaupun demikian gradik masih kurang *linear* walaupun waktu dan cara pengadukan sudah disamakan. Setelah itu penulis mencoba membandingkan data hasil uji tarik satu dan dua dalam satu grafik dan melihat bagaimana perbedaannya. Berikut ini adalah grafik perbandingan antara uji tarik 1 dan 2.



Gambar 13. Grafik perbandingan hasil pengujian tarik ke-1 dan ke-2

Dari grafik didapatkan bahwa terjadi kenaikan rata-rata kekuatan tarik yang sebelumnya 17.8 MPa menjadi 27.8 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa waktu dan cara pengadukan berpengaruh terhadap produk resin yang dibuat. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan data

yang kurang linear, hal ini memiliki 3 faktor utama penyebab data kurang linear yaitu temperature ruangan yang tidak stabil, desain cetakan yang kurang baik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14, dan waktu curing yang kurang optimal.



Gambar 14. Cacat produk akibat gagal eaksi

Proses produksi produk dilakukan diluar ruangan karena akan cukup berbahaya jika melakukan proses produksi didalam ruangan akibat dari zat beracun pada resin polyester. Karena proses produksi di luar ruangan maka suhu lingkungan pembuatan pada siang hari akan berbeda dengan suhu pembuatan pada pagi hari. Semakin tinggi suhu maka reaksi yang terjadi akan semakin cepat. Masalah utama pada cetakan adalah proses eaksi yang sulit dan kurang *rigid*. Sehingga pada saat eaksi pada produk, cetakan ikut rusak dan bagian dari dari cetakan kadang-kadang ikut menempel pada produk. Selain itu permukaan produk yang dihasilkan kurang rata sehingga pada saat produk hasil uji dicekam oleh mesin uji terdapat keretakan pada produk sebelum pengujian dilakukan. Pada produk yang dibuat terdapat beberapa sampel uji yang setelah dibuat beberapa jam kemudian langsung dilakukan pengujian. Sehingga sampel kurang kering sempurna pada saat pengujian. Waktu pengeringan untuk resin optimalnya adalah 1 hingga 2 hari setelah produk dibuat agar produk kering sempurna.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat di tarik beberapa kesimpulan. Semakin besar katalis yang dimasukan maka semakin besar pula penyusutan yang terjadi adalah benar berdasarkan hasil pengukuran manual dan *3D Scan*. Pada hasil pengukuran manual dan *3D Scanning* didapatkan deviasi atau penyimpangan terkecil akibat penyusutan adalah pada rasio 1.5 : 100. Dihasilkam parameter penyusutan untuk panjang dan lebar produk pada setiap variasi rasio katalis dengan resin. Pengaruh perubahan variasi rasio katalis pada resin polyester terhadap kemampuan menerima beban mekanik. Semakin besar katalis maka kemampuan mekanik semakin besar. Pada uji bengkok paduan yang paling optimal adalah 3:100 yaitu sebesar 71 MPa, sedangkan untuk uji tarik adalah 2.5:100 sebesar 41 MPa.

PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pengembangan, Penelitian, dan Pengabdian kepada Masyarakat yang telah memberikan dukungan materiil dalam penyelesaian penelitian

ini serta Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung atas fasilitas yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Sistem Monitoring Kesehatan Berbasis Internet Of Things (IoT) | Ratna | AL-ULUM: Jurnal Sains Dan Teknologi.” <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/JST/article/view/2913/2084> (accessed Jan. 29, 2023).
- [2] S. Tedesco et al., “*Design of a Multi-Sensors Wearable Platform for Remote Monitoring of Knee Rehabilitation*,” IEEE Access, vol. 10, pp. 98309–98328, 2022.
- [3] P. Lynch, C. R. Hasbrouck, J. Wilck, M. Kay, and G. Manogharan, “*Challenges and opportunities to integrate the oldest and newest manufacturing processes: metal casting and additive manufacturing*,” Rapid Prototyp. J., vol. 26, no. 6, pp. 1145–1154, 2020.
- [4] H. K. Balakrishnan et al., “*3D printing: An alternative microfabrication approach with unprecedented opportunities in design*,” Anal. Chem., vol. 93, no. 1, pp. 350–366, 2020.
- [5] M. Mele, M. Ricciarelli, and G. Campana, “*3D printing of clay paste enhanced by scrap polymer from powder bed processes*,” Rapid Prototyp. J., vol. 28, no. 2, pp. 285–296, 2022.
- [6] T. Sathies, P. Senthil, and M. S. Anoop, “*A review on advancements in applications of fused deposition modelling process*,” Rapid Prototyp. J., vol. 26, no. 4, pp. 669–687, 2020.
- [7] M. Liu, S. Fang, H. Dong, and C. Xu, “*Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications*,” J. Manuf. Syst., vol. 58, pp. 346–361, 2021.
- [8] J. C. Najmon, S. Raeisi, and A. Tovar, “*Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry*,” Addit. Manuf. Aerosp. Ind., pp. 7–31, 2019.
- [9] V. Kumar, A. Kumar, S. S. Han, and S.-S. Park, “*RTV silicone rubber composites reinforced with carbon nanotubes, titanium-di-oxide and their hybrid: Mechanical and piezoelectric actuation performance*,” Nano Mater. Sci., vol. 3, no. 3, pp. 233–240, 2021.
- [10] A. R. Fadhillah, S. A. Setiyabudi, and A. Purnowidodo, “*Karakteristik komposit serat kulit pohon waru (Hibiscus Tiliaceus) berdasarkan jenis resin sintesis terhadap kekuatan tarik dan patahan komposit*,” J. Rekayasa Mesin, vol. 8, no. 2, pp. 101–108, 2017.
- [11] C. Pramono, S. Widodo, and M. G. Ardiyanto, “*Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Epoxy*,” J. Mech. Eng., vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [12] M. K. Asrori, E. N. Hidayah, and H. Wibisana, “*Analisis Kinerja Resin Immobilized Photocatalyst dalam Meningkatkan Kualitas Efluen Limbah Cair*,” Envirotek J. Ilm. Tek. Lingkung., vol. 14, no. 2, pp. 152–158, 2022.
- [13] S. Hasan, B. Maryanti, and H. A. Puspito, “*Analisis Kekuatan Impact Komposit Berpenguat Serat Pelelepah Batang Salak Dengan Resin Polyester Menggunakan Fraksi Volume*,” J. Rekayasa Mesin Dan Inov. Teknol., vol. 2, no. 2, pp. 137–142, 2021.

- [14] A. S. Mekar and M. Mukhlis, “Analisis Pengaruh Komposisi Lapisan/Laminat Terhadap Kekutan Impak pada Komposit Hybrid Serat Jute, Glass dan Resin Yukalac 157 Katalis,” *DINAMIKA*, vol. 6, no. 2, 2022.
- [15] A. Muda, “Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis Terhadap Kekuatan Impak Komposit Resin Epoxy Diperkuat Serat Sabut Kelapa,” PhD Thesis, Universitas Mercu Buana Bekasi, 2020.
- [16] D. Saragih, “Analisis Kekuatan Mekanik Material Komposit Berserat Sabut Kelapa yang Berpeluang Diaplikasikan pada Pembuatan Spakbor Sepeda Motor,” PhD Thesis, Universitas Medan Area, 2022.