

PEMBUATAN CETAKAN *INJECTION MOLDING* UNTUK MEMBUAT BANTALAN KETIAK TONGKAT KRUK DARI MATERIAL *POLYPROPYLENE*

*Ian Aditama Putra¹, Yusuf Umardani², Agus Suprihanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: ianaditamaputra14@gmail.com

Abstrak

Tongkat kruk adalah salah satu perangkat medis yang penting dalam membantu mobilitas individu yang mengalami cedera, cacat fisik, atau kondisi medis tertentu. Bantalan ketiak pada tongkat kruk memainkan peran penting dalam menopang beban tubuh dan mengurangi tekanan pada ketiak. Pada penelitian kali ini dilakukan pembuatan cetakan *injection molding* untuk pembuatan bantalan ketiak tongkat kruk yang berbahan *polypropylene*. Untuk mendapatkan hasil produk yang terbaik dilakukan perancangan, pembuatan, dan percobaan cetakan dengan variasi parameter yaitu tekanan injeksi sebesar 100, dan 150 bar. Kemudian dilakukan variasi temperatur leleh sebesar 160°C, 180°C, dan 200°C. Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian densitas pada material hasil cetakan. Simulasi statik dilakukan menggunakan *Solidworks 2018* untuk mengetahui kelayakan dari desain produk yang dibuat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa parameter pencetakan yang paling sesuai adalah tekanan injeksi 150 bar dan temperatur leleh 200°C, kemudian pengujian material dan simulasi statik menunjukkan bahwa produk bantalan ketiak tongkat kruk sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan oleh ISO 1134:2007.

Kata kunci: cetakan; *injection molding*; *silicone rubber*

Abstract

The crutch is one of the essential medical devices aiding the mobility of individuals with injuries, physical disabilities, or specific medical conditions. The armpit cushion on the crutch plays a critical role in supporting body weight and reducing pressure on the armpit. In this research, an injection molding mold was created to produce armpit cushions for crutches using polypropylene material. To achieve the best product outcomes, the mold was designed, manufactured, and tested with variations in parameters, namely, injection pressure at 100 and 150 bar, and melt temperatures at 160°C, 180°C, and 200°C. Hardness and density tests were conducted on the molded material. Static simulations were performed using Solidworks 2018 to assess the feasibility of the designed product. The findings of this study indicate that the most suitable printing parameters were injection pressure of 150 bar and melt temperature of 200°C. Furthermore, material characterization and static simulations demonstrated that the crutch's armpit cushion product complies with the standards set by ISO 1134:2007.

Keywords: *injection molding*; *mold unit*; *polypropylene*

1. Pendahuluan

Tongkat kruk adalah salah satu perangkat medis yang penting dalam membantu mobilitas individu yang mengalami cedera, cacat fisik, atau kondisi medis tertentu yang membatasi kemampuan seseorang untuk berjalan. Bantalan ketiak pada tongkat kruk memainkan peran penting dalam menopang beban tubuh dan mengurangi tekanan pada ketiak, sehingga meningkatkan kenyamanan dan stabilitas bagi pengguna. Bantalan ketiak harus dirancang dengan ergonomis agar tidak menyebabkan iritasi atau lecet pada kulit pengguna, terutama karena penggunaan tongkat kruk mungkin berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Selain itu, bantalan ketiak yang tahan lama dan berkualitas tinggi akan memastikan kinerja tongkat kruk yang optimal dan membantu dalam proses pemulihan pasien [1]. *Injection molding* adalah salah satu teknik manufaktur yang paling umum digunakan dalam produksi massal produk plastik. Proses ini melibatkan melelehkan bahan baku plastik, seperti PP, menjadi bentuk cair dan menginjeksikannya ke dalam cetakan dengan tekanan tinggi. Setelah bahan plastik mengisi seluruh rongga cetakan, ia akan didinginkan dan mengeras untuk membentuk produk akhir [2].

Proses *injection molding* menawarkan berbagai keunggulan, termasuk kecepatan produksi yang tinggi, presisi geometri produk yang tinggi, dan kemampuan untuk menghasilkan produk dalam volume besar dengan biaya yang relatif rendah. Oleh karena itu, proses ini menjadi pilihan utama dalam pembuatan produk plastik untuk berbagai industri, termasuk industri medis [3]. Salah satu material yang sering digunakan dalam *injection molding* adalah material termoplastik. Material ini memiliki sifat fleksibel dan mudah dicetak. Material termoplastik yang paling banyak digunakan dalam *injection molding* adalah *polypropylene*. Material ini memiliki sifat ringan, tahan terhadap korosi, dan memiliki kekuatan yang baik. Selain itu, material ini juga tahan terhadap suhu tinggi, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan suhu tinggi [4].

Bantalan ketiak tongkat kruk adalah salah satu komponen penting dalam tongkat kruk. Penggunaan bahan termoplastik untuk membuat bantalan ketiak tongkat kruk dapat memberikan banyak keuntungan. Bahan ini memiliki sifat fleksibel, ringan, dan tahan terhadap korosi. Selain itu, bahan termoplastik juga mudah dicetak dengan teknik *injection molding*. Oleh karena itu, perancangan cetakan *injection molding* untuk pembuatan bantalan ketiak tongkat kruk dari bahan termoplastik menjadi sebuah solusi yang menarik [5][6]. Meskipun PP menawarkan banyak keunggulan sebagai bahan baku untuk bantalan ketiak tongkat kruk, perancangan cetakan *injection molding* untuk produk ini menghadapi beberapa tantangan dan pertimbangan khusus. Diantaranya adalah pertimbangan desain cetakan bantalan ketiak tongkat kruk harus mempertimbangkan aspek kenyamanan dan kebutuhan teknis bantalan ketiak tongkat kruk. Cetakan yang tidak tepat dapat menyebabkan cacat pada produk akhir. Desain cetakan juga harus menghindari adanya tepi yang tajam atau permukaan yang kasar yang dapat menyebabkan iritasi kulit pada pengguna. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis untuk mencari desain cetakan yang optimal agar produk akhir memenuhi standar kualitas yang tinggi [7].

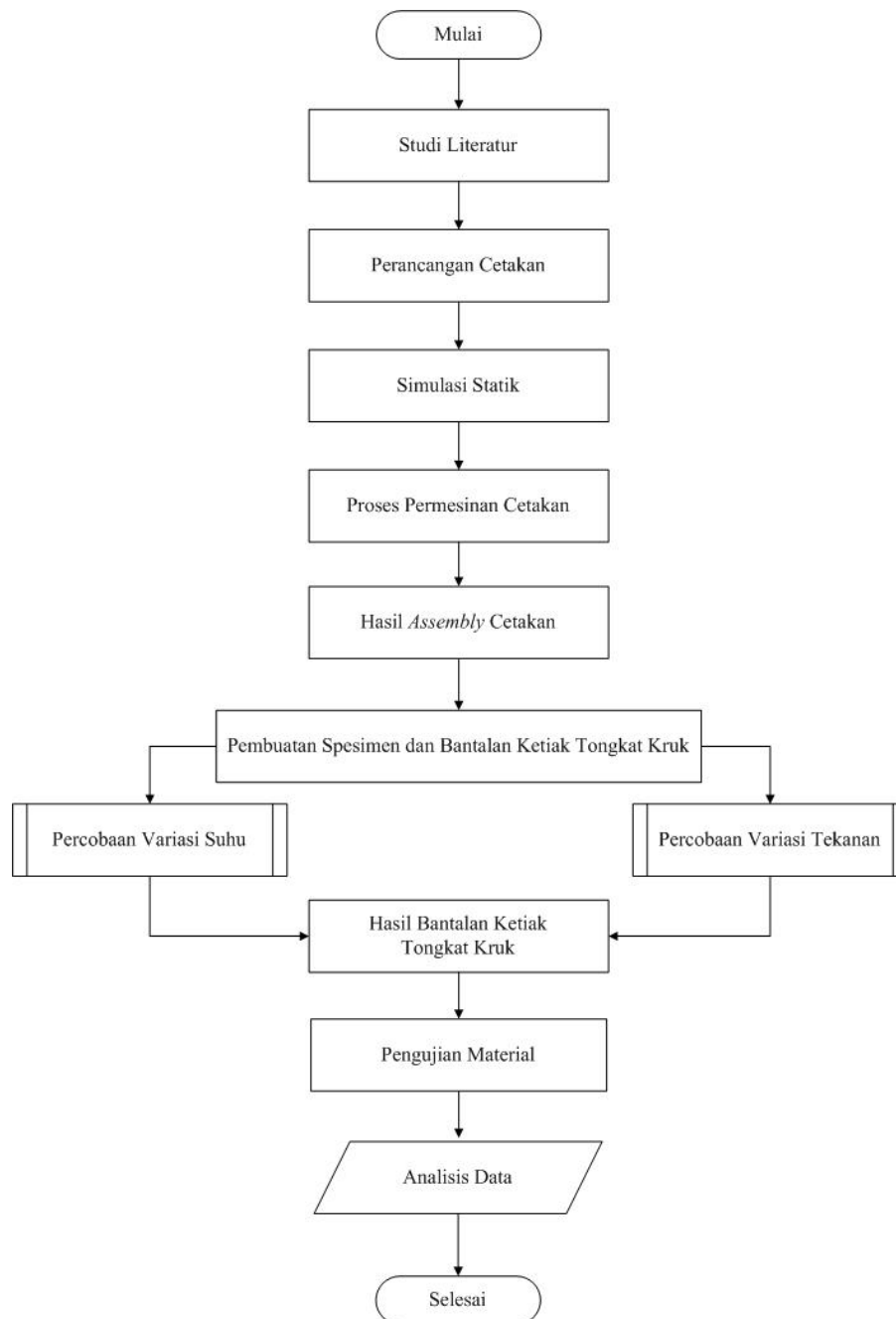
Penelitian perancangan cetakan *injection molding* untuk pembuatan bantalan ketiak tongkat kruk berbahan *polypropylene* memiliki relevansi yang signifikan dalam beberapa aspek diantaranya kontribusi pada industri medis, industri manufaktur plastic dan kontribusi pada pengembangan teknologi. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi industri medis dalam pengembangan bantalan ketiak tongkat kruk yang lebih ergonomis dan berkualitas tinggi. Produk yang dihasilkan dapat meningkatkan kenyamanan dan efektivitas penggunaan tongkat kruk, sehingga membantu dalam pemulihan pasien yang membutuhkan perangkat tersebut.

2. Dasar Teori dan Metodologi

Bantalan ketiak tongkat kruk adalah komponen penting pada alat bantu berjalan yaitu tongkat kruk, untuk membantu meminimalkan rasa sakit pada ketiak. Bantalan ini biasanya terbuat dari busa untuk memberikan kenyamanan dan mencegah gesekan yang berlebihan. Selain itu, bantalan ketiak juga membantu mendistribusikan berat badan ke seluruh permukaan ketiak secara merata sehingga tidak menimbulkan tekanan pada satu titik saja [8]. Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat bantalan ketiak tongkat kruk antara lain busa, karet, gel, dan bahan-bahan sintetis lainnya. Pemilihan bahan tersebut harus mempertimbangkan faktor kenyamanan, daya tahan, dan keamanan pengguna. Sebagai contoh, bahan yang terlalu empuk mungkin tidak tahan lama dan mengurangi efektivitas bantalan [4]. Desain dan bentuk bantalan ketiak juga harus dipertimbangkan agar sesuai dengan anatomi ketiak. Oleh karena itu, ukuran bantalan ketiak harus disesuaikan dengan ukuran ketiak pengguna (Choi dkk, 2018). Standar untuk tongkat kruk itu sendiri didasarkan pada ISO 1134:2007 mengenai *Assistive products for walking manipulated by one arm — requirements and test methods*. Desain produk dan pengujian yang dilakukan harus disesuaikan dengan standar ISO. [9].

Untuk memastikan kenyamanan dan keamanan pengguna, bantalan ketiak harus dijaga kebersihannya secara teratur. Penggunaan bantalan yang kotor atau basah dapat meningkatkan risiko infeksi atau iritasi kulit. Oleh karena itu, bantalan harus dibersihkan dan dikeringkan secara teratur [10]. Penggunaan bantalan ketiak tongkat kruk yang tepat dapat membantu mengurangi rasa sakit pada ketiak dan meningkatkan kenyamanan pengguna. Selain itu, penggunaan bantalan yang tepat juga dapat mencegah risiko cedera dan infeksi kulit pada ketiak [11].

Cetakan adalah suatu alat yang digunakan sebagai tempat cairan yang akan dibentuk oleh model. Pembuatan cetakan dalam proses *injection molding* merupakan hal yang sangat penting dan harus sesuai dengan modelnya masing-masing. Cetakan dibagi menjadi dua jenis ditinjau dari bahan yang digunakan, yakni cetakan logam dan cetakan pasir. Kelebihan dari cetakan logam adalah dapat digunakan berulang kali, tetapi dengan biaya pembuatan cetakan yang mahal, sedangkan cetakan pasir tidak dapat digunakan berulang kali, tetapi biaya pembuatannya tidak terlalu mahal. Dalam proses pengecoran logam sendiri terdapat beberapa macam cetakan yang digunakan. Cetakan yang biasa digunakan antara lain cetakan permanen dan cetakan tidak permanen (cetakan pasir). Pada umumnya industri atau usaha kecil menengah dibidang pengecoran, media cetaknya menggunakan cetakan pasir (*Sand Casting*). Dalam pengoperasian cetakan pasir hanya dapat dipergunakan untuk satu kali benda cor (sekali pemakaian). Cetakan permanen (*Permanent Mold*) yaitu jenis cetakan yang dapat digunakan berulang-ulang dan biasanya cetakan ini terbuat dari material logam, dengan memanfaatkan cetakan logam akan menghasilkan hasil produk cor yang lebih ekonomis baik dari kualitas maupun kuantitas, dengan cetakan logam (*Permanent Mold*) ini walaupun investasi awal relatif lebih mahal, namun untuk jumlah produksi yang lebih banyak, penggunaan cetakan logam akan menguntungkan dan cetakan ini dapat digunakan berulang-ulang [12].



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin UNDIP yang bertujuan untuk memperoleh atau memperluas fakta yang sudah ada sebelumnya. Tahapan proses pembuatan cetakan bantalan ketiak tongkat kruk dan percobaan injeksi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

2.1 Prosedur pembuatan cetakan bantalan ketiak tongkat kruk

Adapun prosedur pembuatan cetakan bantalan ketiak tongkat kruk adalah sebagai berikut:

a. Proses dengan mesin CNC

1. Desain cetakan bantalan ketiak tongkat kruk yang telah dibuat dimasukkan ke *software Solidworks*.
2. Pada *software Solidworks*, dilakukan proses pembuatan *G-code*.
3. Kemudian *G-code* akan dimasukkan ke dalam komputer yang terhubung dengan mesin CNC.
4. Setelah itu, aluminium dimasukkan ke dalam pencekam di mesin CNC.
5. Lalu lakukan setting nol pada mesin CNC.
6. Mulai proses pemotongan aluminium pada mesin CNC.
7. Pelepasan aluminium dari pencekam pada mesin CNC.
8. Selesai.

- b. Proses dengan mesin bubut dan frais
 1. Desain mesin *injection molding* menggunakan *software Solidworks*.
 2. Pada *software Solidworks* dilakukan proses pembuatan gambar mesin.
 3. Kemudian dari gambar mesin tersebut dilakukan proses permesinan.
 4. Proses permesinan awal dilakukan menggunakan mesin frais.
 5. Proses permesinan akhir dilakukan menggunakan mesin bubut.
 6. Tahap penyelesaian dari hasil yang telah didapati menggunakan amplas.
 7. Selesai.
- 2.2 Prosedur pencetakan bantalan ketiak tongkat kruk
Adapun prosedur pembuatan bantalan ketiak tongkat kruk adalah sebagai berikut:
 1. *Polypropylene* PM903 dimasukkan kedalam gelas ukur lalu ditimbang sesuai dengan volume yang sudah ditentukan.
 2. Lalu berikan *silicone spray* ke dalam *injection uni* dan cetakan agar mempermudah proses pelepasan hasil spesimen.
 3. Proses penuangan *polypropylene* kedalam *injection unit*.
 4. Dilakukan proses pemanasan *polypropylene* menggunakan elemen panas dengan diatur oleh *temperature control* selama 15 menit
 5. Proses injeksi *polypropylene* kedalam cetakan.
 6. Proses pendinginan dilakukan agar produk dapat terbentuk dengan sempurna dan cetakan dapat dibuka.
 7. Pelepasan cetakan untuk diambil specimen bantalan ketiak tongkat kruk s.
 8. Selesai.
- 2.3 Prosedur simulasi *static* menggunakan *solidworks* 2018
 1. Langkah awal dalam melakukan simulasi statik pembebanan vertikal pada bantalan ketiak tongkat kruk adalah membuka aplikasi *Solidworks* 2018.
 2. Buka *file* geometri bantalan ketiak tongkat kruk yang sudah di desain pada aplikasi *Solidworks* 2018 dan pilih *feature simulation*, setelah itu klik *new study* lalu pilih menu *static*.
 3. Setelah itu klik *fixtures* lalu pilih *fixed geometry* yang berfungsi untuk menahan/mencekam sisi geometri pada saat *simulation*.
 4. Selanjutnya setelah dipilih *fixed geometeri*, klik *external loads* lalu pilih *force* dengan beban tekan sebesar 1100 N dan klik bagian atas dari bantalan ketiak tongkat kruk yang akan diberikan gata, kemudia pilih *select direction*.
 5. Setelah semua sudah selesai, lalu dilakukan proses *meshing* pada geometri dengan variasi *mesh* yang sudah ditetapkan dan setelah selesai dilakukan *meshing* maka klik *run this study* agar proses simulasi berjalan.
 6. Setelah proses simulasi selesai maka akan didapatkan hasil dari simulasi *static* pada bantalan ketiak tongkat kruk untuk selanjutnya dilakukan analisa terhadap hasil simulasi

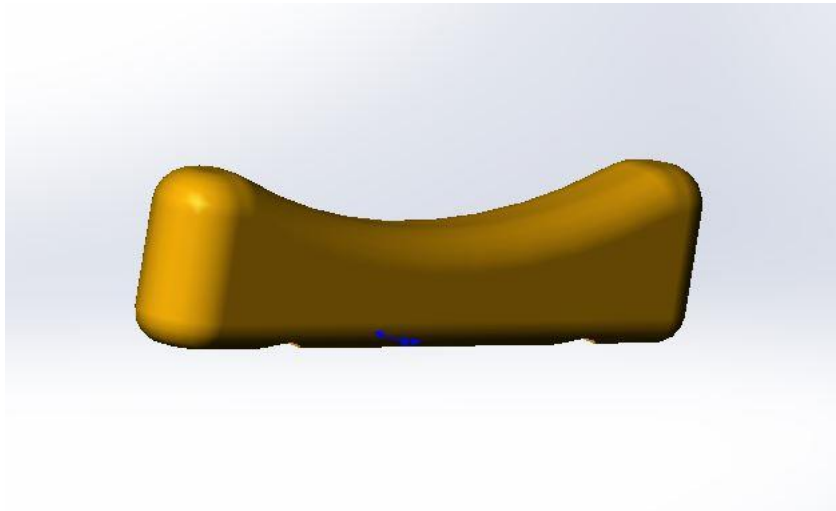
3. Analisis dan Pembahasan

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan dan pembuatan mesin *injection molding* dan pencetakan bantalan ketiak tongkat kruk dengan menggunakan material *polypropylene*. Variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah pengaruh temperatur dan tekanan terhadap hasil dari bantalan ketiak tongkat kruk dengan proses pencetakan menggunakan mesin *injection molding*.

3.1 Proses Perancangan

3.1.1 Perancangan Desain Bantalan Ketiak Tongkat Kruk

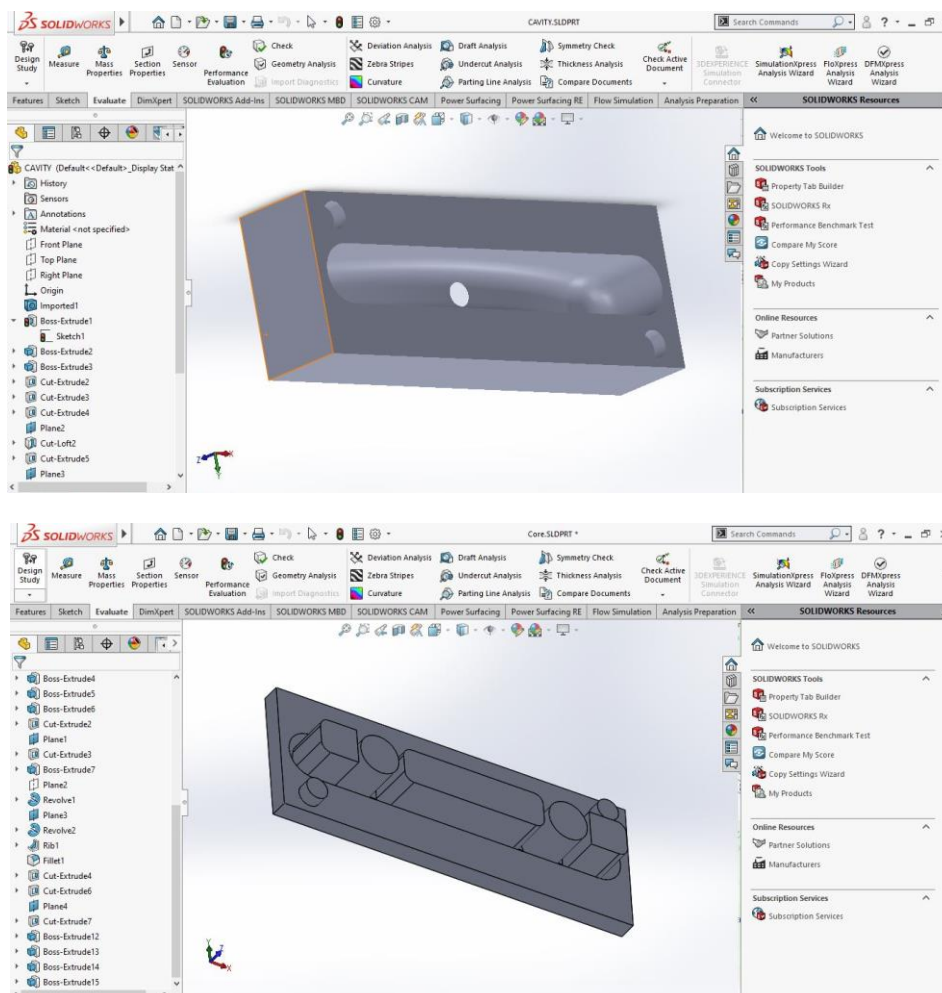
Desain mesin *injection molding* dibagi menjadi beberapa bagian, diantaranya adalah *hydraulic unit*, *injection unit*, *molding unit* dan *clamping unit*. Dalam proses perencanaannya, dilakukan proses desain CAD perbagian yang mana setelah itu akan dilakukan proses perakitan bagian menjadi keseluruhan mesin *injection molding*. Desain bantalan ketiak tongkat kruk yang digunakan pada cetakan dirancang menyesuaikan dengan desain cetakan dan memiliki dimensi standar sesuai dengan bantalan ketiak tongkat kruk yang tersedia di pasaran. Berikut merupakan gambar desain 3D bantalan ketiak tongkat kruk.



Gambar 2. Model 3D Bantalan Ketiak Tongkat Kruk

3.1.3 Proses CAD Menggunakan *Solidworks* 2018

Proses yang dilakukan sebelum melakukan proses permesinan yaitu mendesain bentuk mesin *injection molding* dengan menggunakan aplikasi *Solidworks* 2018. Dalam proses pembuatan desain tersebut, masing – masing bagian dari mesin *injection molding* dilakukan perancangan secara terpisah. Hasil dari desain tersebut berupa bentuk 3D. Berikut merupakan hasil desain 3D cetakan bantalan ketiak tongkat kruk.



Gambar 3. Model 3D Cetakan Bantalan Ketiak Tongkat Kruk

3.1.3 Proses CAM Menggunakan *Solidworks* 2018

Berdasarkan desain 3D, kemudian dilanjutkan dengan proses CAM menggunakan *software Solidworks* 2018 yang nantinya akan di transfer pada mesin CNC untuk selanjutnya kepada proses permesinan. Langkah selanjutnya yang harus dilakukan dalam proses CAM adalah sebagai berikut :

- a. *Defines machine*
Memilih tipe mesin seperti apa yang akan digunakan dan disesuaikan dengan mata pahat yang diperlukan
- b. *Coordinates system*
Menentukan dari mana titik pusat koordinat yang akan diproses atau titik nol yang akan dilakukan
- c. Menentukan *stock*
Menentukan tipe stock box, lalu memasukan dimensi sesuai dengan cetakan yang akan kita buat
- d. Proses permesinan
Proses ini dimulai dengan menggunakan *extractmachineble feature* yang dimana akan menentukan proses pemakanan dan diperlukan menggunakan pahat apa saja. Proses selanjutnya adalah *generate operation plan* yang mana akan menentukan aturan dari setiap pahat yang digunakan pada saat proses permesinan, selanjutnya adalah *generate toolpath* yang mana akan memberikan langkah proses permesinan yang akan dilakukan. Langkah terakhir adalah *simulatetoolpath* dimana akan dilakukan simulasi untuk proses permesinan yang akan dilakukan
- e. Identifikasi masalah
Pada tahap ini akan dilakukan identifikasi masalah dimana setelah dilakukannya simulasi akan terlihat beberapa bagian yang belum termakan, untuk itu perlu diidentifikasi kesalahan, untuk pemecahan masalah ada pada aturan yang digunakan dan pahat yang digunakan.
- f. Proses pembuatan *G-code*
Setelah kita memastikan tidak ada masalah yang terjadi dan semua bagian sudah termakan, maka akan dilakukan proses pembuatan *G-code* dengan cara melakukan *post process* yang mana akan otomatis akan membuat *G-code* yang sesuai dengan simulasi yang dilakukan

3.1.4 Proses pembuatan gambar 2D menggunakan aplikasi *Solidworks* 2018

Berdasarkan desain 3D, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan gambar mesin, yaitu dengan menggunakan fitur *drawing* pada aplikasi *solidworks*. Gambar mesin yang diperlukan harus mencakup semua dimensi yang ada pada bagian yang akan dikerjakan, selain itu juga dapat menjelaskan secara rinci terhadap desain yang akan digambar.

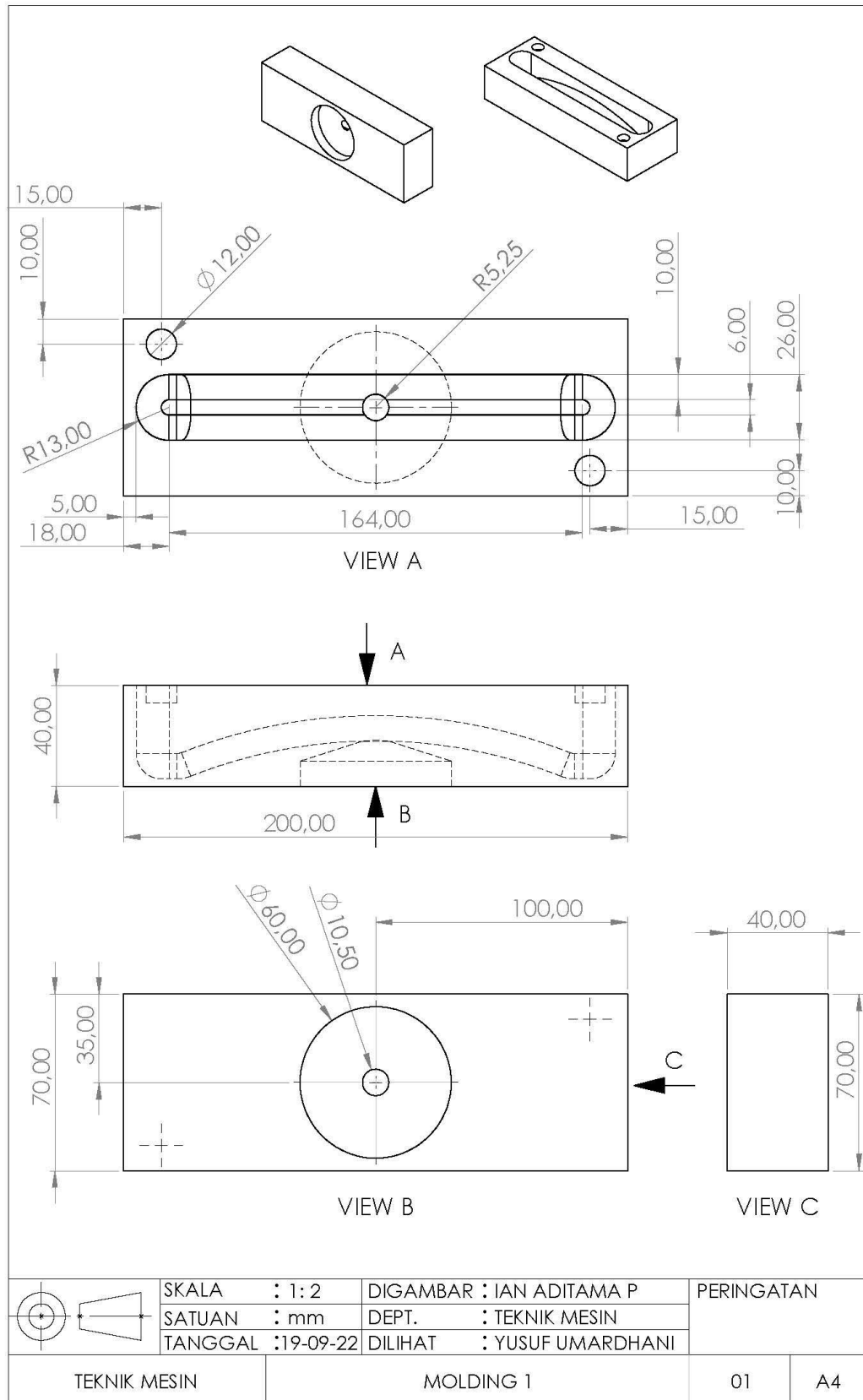
Pada Langkah ini dilakukan proses *drawing* yang fungsinya untuk mengetahui ukuran ukuran part dengan pasti, sehingga memudahkan dalam pembuatan part atau cetakan tersebut. Hasil gambar 2D dari cetakan dan mesin *injection molding* pada penelitian kali ini dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.

3.2 Hasil Cetakan

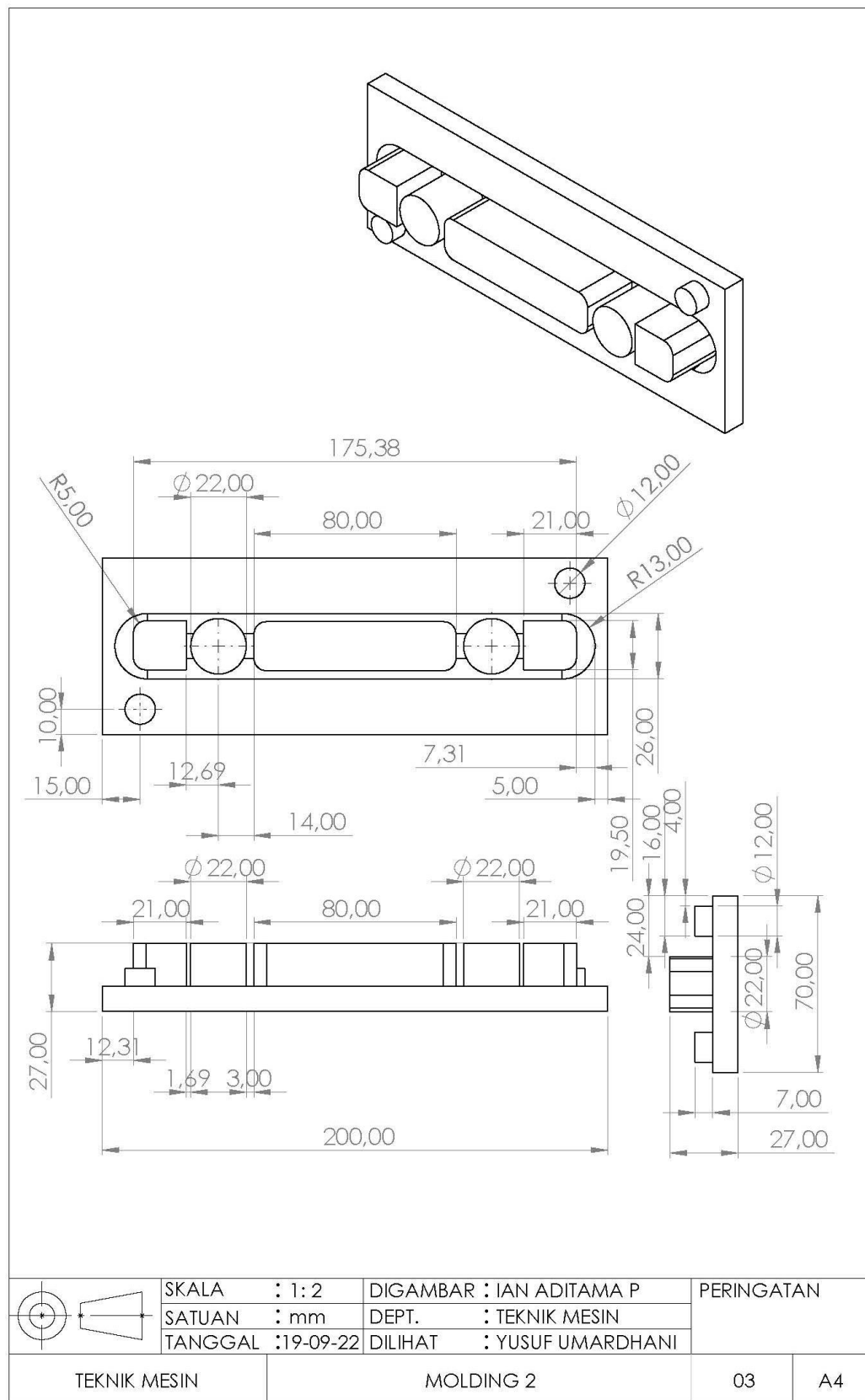
Hasil dari suatu produk yang dibuat dengan proses pembentukan mesin *fashion master* adalah pembelian karya atau penelitian yang dilakukan melalui eksperimen berulang-ulang. Hal tersebut dicapai dengan kualitas yang tinggi, sehingga diperoleh hasil yang baik dan maksimal, dan hasilnya bisa dilihat pada gambar 4, memiliki hasil yang sangat baik dan memiliki kualitas yang baik pula bisa dilihat dari permukaan yang rata dan sesuai dengan ukuran yang diinginkan sehingga semua *part* bisa terhubung satu sama lain dan mampu memudahkan pengerjaan dan penelitian dalam pembuatan bantalan ketiak tongkat kruk dengan material *polypropylene*



Gambar 4. Hasil Cetakan



Gambar 5. Drawing Cavity Cetakan Bantalan Ketiak Tongkat Kruk



Gambar 6. Drawing Core Cetakan Bantalan Ketiak Tongkat Kruk

3.3 Proses Pencetakan Bantalan Ketiak Tongkat Kruk

Proses selanjutnya dari pembuatan bantalan ketiak tongkat kruk menggunakan mesin *injection molding* adalah proses pencetakan bantalan ketiak tongkat kruk menggunakan alat yang telah dibuat sebelumnya. Pada penelitian ini menggunakan 2 variasi untuk melakukan percobaan pada mesin *injection molding* yaitu variasi temperatur leleh *polypropylene*, dan tekanan injeksi. Untuk variasi temperatur leleh propylene pada penelitian ini menggunakan 3 variasi temperatur yaitu 160°C, 180°C, dan 200°C. Percobaan variasi temperatur ini dilakukan untuk mengetahui temperatur leleh *polypropylene* yang paling tepat untuk menghasilkan produk bantalan ketiak tongkat kruk yang minim cacat. Variasi tekanan injeksi yang digunakan pada penelitian ini adalah 100 bar dan 150 bar, variasi tekanan injeksi dilakukan untuk memastikan seberapa besar tekanan yang diperlukan untuk melakukan injeksi dengan material *polypropylene*. Berikut merupakan hasil dari percobaan pencetakan bantalan ketiak tongkat kruk.



Gambar 7. Hasil bantalan ketiak tongkat kruk variasi temperatur leleh 160°C dengan tekanan injeksi 100 Bar



Gambar 8. Hasil bantalan ketiak tongkat kruk variasi temperatur leleh 180°C dengan tekanan injeksi 100 Bar



Gambar 9. Hasil bantalan ketiak tongkat kruk variasi temperatur leleh 200°C dengan tekanan injeksi 100 Bar



Gambar 10. Hasil bantalan ketiak tongkat kruk variasi temperatur leleh 200°C dengan tekanan injeksi 150 Bar

3.4 Analisa Produk Bantalan Ketiak Tongkat Kruk

Berdasarkan percobaan pencetakan bantalan ketiak tongkat kruk dengan variasi temperatur leleh 160°C, 180°C, dan 200°C pada tekanan injeksi 100 bar didapatkan hasil bahwa temperatur leleh 200°C merupakan variabel terbaik untuk menghasilkan produk yang minim cacat. Hasil yang didapatkan adalah semakin tinggi temperatur leleh maka biji plastik yang meleleh didalam barrel semakin merata menyebabkan laju aliran leleh (*melt flow rate*) *polypropylene* semakin tinggi. Dengan laju aliran yang semakin tinggi, menyebabkan *polypropylene* yang diinjeksikan kedalam cetakan semakin merata. Akan tetapi, pada hasil variasi temperatur leleh dengan temperatur 200°C masih terlihat adanya cacat *short-shot* yang disebabkan oleh kurangnya tekanan injeksi. Maka dari itu, perlu dilakukan percobaan variasi tekanan injeksi untuk menentukan tekanan injeksi yang menghasilkan bantalan ketiak tongkat kruk terbaik. Berdasarkan percobaan pencetakan bantalan ketiak tongkat kruk dengan variasi tekanan injeksi 100 bar dan 150 bar pada temperatur leleh 200°C didapatkan hasil bahwa tekanan injeksi 150 bar merupakan variabel yang paling tepat untuk menghasilkan produk bantalan ketiak tongkat kruk yang terbaik. Dapat disimpulkan bahwa tekanan injeksi yang terlalu rendah mengakibatkan penyebaran material leleh didalam cetakan kurang merata dan cetakan belum sepenuhnya terisi mengakibatkan cacat produk *short-shot* yang mengakibatkan beberapa bagian produk hilang. Berdasarkan penjelasan dan hasil percobaan variasi tekanan injeksi dan temperatur leleh dapat disimpulkan bahwa untuk mencetak bantalan ketiak tongkat kruk yang paling baik adalah menggunakan temperatur leleh 200°C dan tekanan injeksi 150 bar.

3.5 Pengujian Material

3.5.1 Pengujian Densitas

Pengujian yang pertama kali dilakukan terhadap produk bantalan ketiak tongkat kruk yaitu uji densitas. Pengukuran densitas dilakukan dengan melakukan perhitungan teoritis, kemudian dibandingkan dengan pengujian secara langsung pada 3 spesimen bantalan ketiak tongkat kruk. Berikut merupakan hasil pengujian densitas yang akan ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pengujian secara langsung yang ditunjukkan pada tabel diatas, didapatkan hasil densitas rata – rata sebesar 0,89 gr/cm³. Secara teoritis, nilai densitas *polypropylene* adalah sebesar 0,90 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa nilai densitas aktual hamper sama dengan densitas teori. Perbedaan densitas diakibatkan oleh terjadinya sedikit perbedaan volume pada produk hasil cetakan yang diakibatkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah menempelnya lelehan *polypropylene* pada cetakan dan terjadinya penyusutan (*shrinkage*) pada saat proses injeksi.

Tabel 1 Data hasil pengujian densitas *polypropylene* PM 903

Densitas Polypropylene 903				
PP (%)	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Densitas Rata –Rata (gr/cm ³)
100	11,78	10,48	0,89	0,89
100	11,40	10,26	0,90	
100	10,62	9,45	0,89	

3.5.2 Pengujian Kekerasan

Setelah dilakukan uji densitas terhadap spesimen *polypropylene*, tahap selanjutnya dilakukan uji kekerasan pada permukaan spesimen menggunakan alat *Shore D Durometer*. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil 3 kali pengujian setiap spesimen. Nilai kekerasan dari *polypropylene* murni adalah sebesar 76 Shore D [13]. Sedangkan, hasil uji kekerasan dari spesimen yang diuji didapatkan hasil bahwa nilai kekerasan *polypropylene* adalah 75,6 Shore D. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari nilai kekerasan secara teoritis dengan nilai kekerasan yang didapat saat dilakukan pengujian secara langsung.

Tabel 2 Data hasil pengujian kekerasan *polypropylene* PM 903

Kekerasan <i>Polypropylene</i> 903				
PP (%)	Pengujian			Kekerasan Rata –Rata
	1	2	3	
100	74	78	75	75,6

3.6 Pemilihan Material Cetakan

3.6.1 Aluminium

Aluminium adalah salah satu material ringan yang memiliki kelebihan yaitu kuat terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Selain itu aluminium merupakan logam yang memiliki *mechanical properties* dan memiliki kemampuan untuk pengelasan yang cukup baik. Selain itu, aluminium juga mempunyai beberapa kelebihan diantaranya rendahnya massa jenis, menahan korosi yang baik, memiliki harga yang ekonomis, baik dalam menghantarkan listrik serta panas, serta ketahanan oksidasi

Dan alasan cetakan menggunakan berbahan aluminium dikarenakan memudahkan proses pengerjaan pembuatan cetakan, ketahanan panas yang baik, aluminium juga ringan, tahan korosi dikarenakan cetakan digunakan berkali kali

4. Kesimpulan

Pada penelitian kali ini telah dilakukan pembuatan bantalan ketiak tongkat kruk dengan material *polypropylene* menggunakan cetakan berbahan dasar aluminium dengan metode *injection molding*. Maka bisa di ambil kesimpulan sebagai berikut, Telah dilakukan proses perancangan cetakan menggunakan software Solidworks 2018 yang digunakan untuk membuat 3D desain, gambar mesin dan G-code. Proses permesinan yang digunakan dalam pembuatan cetakan *injection molding* adalah proses permesinan non-konvensional yaitu dengan mesin CNC (Computerized Numerical Control) dan proses permesinan konvensional yaitu mesin bubut dan mesin frais. Bahan yang digunakan untuk membuat cetakan tersebut adalah aluminium. Hasil percobaan pencetakan menunjukkan hasil bahwa parameter temperatur dan tekanan memengaruhi hasil dari material yang dicetak. Semakin tinggi temperatur leleh maka biji plastik yang dilelehkan didalam barel semakin merata menyebabkan laju aliran leleh (*melt flow rate*) *polypropylene* semakin tinggi. Sedangkan, tekanan injeksi yang terlalu rendah mengakibatkan penyebaran material didalam cetakan kurang merata yang mengakibatkan cacat produk *short-shot*. Berdasarkan percobaan pencetakan produk maka parameter temperatur leleh dan tekanan injeksi yang paling baik adalah 200°C dan 150 bar. Hasil pengujian material *polypropylene* didapatkan hasil nilai uji kekerasan sebesar 75,6 Shore D dan nilai uji densitas sebesar 0,89 gr/cm³, dimana nilai uji tersebut sudah sesuai dengan nilai teoritis material *polypropylene*.

5. Daftar Pustaka

- [1] Herlina, E., Lintang, D. P., & Hanifah, N. (2018). Analisa Ergonomi Dan Perancangan Alat Bantu Jalan Bagi Pengguna Tongkat Kruk. *Jurnal Teknik Mesin SINERGI*, 16(2), 50-56..
- [2] Wibowo, S. S. (2018). Pengaruh Variasi Temperatur dan Lama Perendaman Terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Serat Alam Termomodifikasi. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 29(1), 23-30.
- [3] Sulistio, A., Nurfalah, M., & Hikam, M. A. (2018). Peningkatan Kualitas Kekerasan pada Aluminium 6061-T6 Melalui Heat Treatment. *Jurnal Material Teknik dan Sains*, 7(2), 59-65.
- [4] Novitasari, D. A., Pramutadi, A., & Nuryani, Y. (2017). A Review of Biomechanical Analysis of Axillary Crutch during Stance and Swing Phase. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 812, No. 1, p. 012031).
- [5] Gao, Z., Hu, H., Zhang, Y., Wu, S., & Han, H. (2019). The Effect of Fiber Orientation and Content on the Mechanical Properties of Long-Glass-Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 58(8), 797-805..
- [6] Li, Q., Liu, Y., Wang, H., Li, H., & Song, L. (2021). Effect of Surface Treatment on the Mechanical Properties of Short Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 60(1), 1-9.
- [7] Zhang, C., Zhang, Z., Yao, X., Wei, H., & Li, Y. (2020). The Effect of Nano-Calcium Carbonate on the Performance of Polypropylene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 59(3), 294-300.
- [8] Herlina, E., Lintang, D. P., & Hanifah, N. (2018). Analisa Ergonomi Dan Perancangan Alat Bantu Jalan Bagi Pengguna Tongkat Kruk. *Jurnal Teknik Mesin SINERGI*, 16(2), 50-56.
- [9] Choi, K. H., Cho, Y. K., & Kim, S. Y. (2018). The effects of axillary padding pressure on pain and comfort among crutch users. *Journal of physical therapy science*, 30(2), 229-232.
- [10] Kusumawati, A. (2019). Pengaruh Pemakaian Bantalan Ketiak Terhadap Kesehatan Kulit Ketiak Pada Pengguna Tongkat.

-
- [11] Setyono, A., Suardi, A., & Fathurrahman, M. (2020). The performance of an elbow crutch with a spring mechanism as a load-bearing assistive device. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 14(4), 7364-7375.
- [12] Supriyanto. (2018). *Desain dan Proses Pembuatan Cetakan Permanen dengan Material Logam Besi Cor Kelabu Hasil Coran Pasir CO2 Untuk Proses Pembuatan Flange dengan Material Kuningan*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- [13] Mohamad, N., Zainol, N.S., Rahim, F.F., Ab Maulod, H.E., Abd Rahim, T., Shamsuri, S.R., Azam, M.A., Yaakub, M.Y., Abdollah, M.F.B. and Abd Manaf, M.E., 2013. Mechanical and morphological properties of polypropylene/epoxidized natural rubber blends at various mixing ratio. *Procedia Engineering*, 68, pp.439-445.