

Kajian Proses Pembuatan Suku Cadang Molding Pada Industri Elektronik

Benny Haddli Irawan^{1*)}, Rahman Hakim¹⁾, Nurul Laili²⁾, Ihsan Saputra³⁾,
Budi Baharudin⁴⁾, Abulija Maskarai⁵⁾

^{1,3,4,5)}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam, Jl. Ahmad Yani 29461

²⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Politeknik Negeri Batam,
Jl. Ahmad Yani 29461

E-mail Correspondence : benny@polibatam.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil survei dan investigasi pada industri elektronik yang berlokasi di Bintan. Perusahaan tersebut bergerak pada bidang *Design and Manufacture of Precision Engineering Plastic Components and Electronic Connectors*. Dari hasil konsolidasi diperoleh bahwa salah satu aktivitas yang dilakukan yaitu melakukan proses *maintenance* dengan cara melakukan penggantian suku cadang *Molding* yang digunakan untuk menghasilkan komponen plastik maupun elektronik. Oleh karenanya menjaga kesediaan suku cadang menjadi hal yang urgen demi terlaksananya proses produksi dan terpenuhi target perusahaan. Suku cadang yang dimaksud selama ini dipesan dan dibuat dari negara Singapura sehingga perputaran, proses transfer maupun kajian teknologi tidak termanfaatkan oleh industri di Indonesia. Berdasarkan hal tersebut diperlukan kajian yang berfokus untuk mendalami proses pembuatan suku cadang dari *Molding* sehingga industri tidak perlu mengimpor suku cadang dari negara luar. Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan baik dari segi rancangan, proses pembuatan, serta inspeksi dapat disimpulkan bahwa proses pengerjaan dimulai dari pemotongan, pembentukan dasar, hingga pembentukan detail. Kemudian berdasarkan hasil inspeksi diperoleh bahwa pada suku cadang yang dibuat memperoleh hasil cylinder 2, 4, dan 5 dimensi yang diperoleh di luar batas toleransi. Kemudian posisi dari lubang *distance 3* dan *distance 4* menghasilkan posisi di luar toleransi.

Kata kunci: *Molding, suku cadang, Elektronik*

1. PENDAHULUAN

Penelitian dilakukan untuk menjawab keinginan peneliti untuk dapat hadir menjadi solusi dalam menyediakan suku cadang bagi industri *Molding*. Dalam perjalanannya, penyediaan suku cadang dilakukan melalui proses kajian teknologi pada pemesinan presisi dan juga tentunya spesifikasi gambar teknik sehingga yang perlu menjadi fokus yaitu *Engineering Drawing, Computer Numerical Control (CNC) Milling, Electrical Discharge Machine (EDM), Super Drill Machine,*

Inspeksi, Metrologi serta teknologi *Perlakuan Panas*. Dari hasil konsolidasi diperoleh bahwa salah satu aktivitas yang dilakukan yaitu melakukan proses *maintenance* dengan cara melakukan penggantian suku cadang *Molding* yang digunakan untuk menghasilkan komponen plastik maupun elektronik. Pada aktivitas produksi, suku cadang *Molding* tersebut secara prosedur pasti dilakukan pergantian setiap jumlah produksi tertentu atau bisa diperkirakan setiap bulannya terjadi pergantian suku cadang. Oleh karenanya

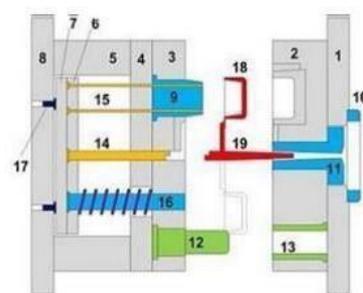
menjaga kesediaan suku cadang menjadi hal yang urgen demi terlaksananya proses produksi dan terpenuhi target perusahaan. Suku cadang yang dimaksud selama ini dipesan dan dibuat dari negara Singapura sehingga perputaran, proses transfer maupun kajian teknologi tidak termanfaatkan oleh industri di Indonesia. Padahal nilai suku cadang yang diganti setiap bulannya sangat besar dengan perkiraan secara kasar memiliki nilai total milyaran rupiah. Berdasarkan hal tersebut diperlukan kajian yang berfokus untuk mempelajari proses pembuatan suku cadang dari *Molding* sehingga industri tidak perlu mengimpor suku cadang dari negara luar. Alasan mengapa hal ini perlu dikaji ialah secara garis besar konsep pengerjaan sudah dapat diketahui namun yang menjadi hal krusial ialah mengingat dimensi serta toleransi pada produk berada pada rentang mikron serta bentuk profil produk hingga di bawah nilai 0,5 mm sehingga kajian proses pembuatan perlu untuk didalami. Selain itu kajian yang dilakukan sejalan dengan kebutuhan di Politeknik Negeri Batam khususnya pada roadmap Pusat Kajian atau *Center of Excellence (CoX) for Design and Manufacture Production, Mold, and Dies*.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam kajian proses pembuatan suku cadang *Molding* dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini :

Pertama, merujuk pada tingkat kompleksitas produk dan rancangan *mold* yang telah dibuat maka diperlukan kajian terhadap *mold*. *Mold* tersusun dari beberapa komponen-komponen yang dirangkai menjadi satu untuk membentuk suatu kontruksi. Secara umum desain dan kontruksi pada setiap *Mold* hampir sama yang membedakannya hanyalah beberapa bagian komponen tambahan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan ukuran

Mold. *Mold* dari beberapa macam tipe yaitu, *Two-plate Mold*, *Stripper Mold* dan *Three-plate Mold*. Cetakan (*Mold*) tersusun dari beberapa komponen-komponen yang dirangkai menjadi satu untuk membentuk suatu kontruksi dan masing-masing dari komponen ini memiliki fungsi yang penting dalam penggunaan *Mold*. Secara umum desain dan kontruksi pada setiap *Mold* hampir sama yang membedakannya hanyalah beberapa bagian komponen tambahan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan ukuran *Mold* [8]. Cetakan (*Mold*) terdiri dari beberapa macam tipe yaitu *Two-plate Mold*, *Stripper Mold* dan *Three-plate Mold*. Pada penelitian ini tipe *Mold* yang peneliti asumsi digunakan yaitu tipe *Two-plate Mold*. Adapun bagian-bagian pada standar *Two-plate Mold* yaitu : 1. *Top plate*, 2. *Cavity plate*, 3. *Coreplate*, 4. *Support plate*, 5. *Spacer block*, 6. *Ejectore retainer plate*, 7. *Ejectore plate*, 8. *Bottom plate*, 9. *Insert coreplate*, 10. *Locating ring*, 11. *Sprue bush*, 12. *Guide pin*, 13. *Guide bush*, 14. *Sprue lock pin*, 15. *Ejectore pin*, 16. *Return pin*, 17. *Stopper pin*, 18. *Product plastic*, 19. *Runner*. Gambar bagian-bagian pada standar *Two-plate Mold* dapat dilihat pada gambar 1. [1]



Gambar 1. Bagian-Bagian Standar *Mold*

Kedua, penentuan bahan yang digunakan untuk membuat cetakan dapat mempengaruhi kualitas cetakan plastik. Cetakan yang terbuat dari bahan berkualitas tinggi akan lebih tahan lama dan menghasilkan produk plastik yang berkualitas. Oleh karena itu, identifikasi

material cetakan dapat membantu untuk menentukan kualitas cetakan. Mengingat konsep awal dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan reusable Mold base, maka peneliti menggunakan Mold base bekas yang terbuat dari material NAK 80. Penentuan material penting dilakukan untuk menghitung berapa konstruksi yang menerima perlakuan yang berbeda sesuai system kerja tiap konstruksi pada mold^[2].

Ketiga, proses injeksi plastik yang digunakan untuk memproduksi komponen elektronik memiliki standar tertentu. Pada kajian ini peneliti asumsikan material yang digunakan untuk produksi berjenis *termoplastik*. Jenis material plastik yang akan digunakan dalam pembuatan produk pada penelitian yaitu material plastik jenis PC (*Polycarbonate*) merupakan *engineeringplastic* yang dibuat dari reaksi antara kondensasi *bisphenol A* dengan fosgen (*phosgene*) dalam media alkali. PC sendiri memiliki sifat-sifat sebagai berikut^[3]:

- a. Jernih seperti air.
- b. *Impact strength*-nya sangat bagus.
- c. Ketahanan terhadap pengaruh cuaca sangat bagus.
- d. Suhu penggunaannya tinggi.
- e. Mudah diproses.
- f. *Flameabilitas*-nya rendah.

Temperatur leleh dari plastik polikarbonat adalah yang tertinggi jika dibandingkan jenis material plastik yang lain. Pada tabel 1 ditampilkan temperatur leleh proses termoplastik pada beberapa jenis material plastik. Untuk pengerjaan suku cadang sendiri memerlukan proses pemesinan. Pemesinan merupakan tahap krusial dalam pembuatan suku cadang mold. Proses ini melibatkan pengubahan blok bahan baku (biasanya baja) menjadi bentuk cetakan yang kompleks sesuai dengan desain produk akhir.

Tabel 1. Temperatur Leleh Proses Termoplastik ^[4]

<i>Processing Temperature Rate</i>		
Material	°C	°F
ABS	180-240	356-464
<i>Acetal</i>	185-225	365-437
<i>Acrylic</i>	180-250	356-482
<i>Nylon</i>	260-290	500-554
<i>Poly Carbonate</i>	280-310	536-590
LDPE	160-240	320-464
HDPE	200-280	392-536
PP	200-300	392-572
PS	180-260	356-500
PVC	160-180	320-365

Secara umum, proses pemesinan yang digunakan meliputi langkah-langkah berikut:

1. Desain Cetakan:
 - Pemodelan 3D: Desain cetakan dibuat secara detail dalam bentuk model 3D menggunakan software CAD (*Computer-Aided Design*). Model ini mencakup semua detail rongga, saluran aliran material, dan komponen cetakan lainnya.
 - Analisis Cetakan: Model 3D dianalisis untuk memastikan kekuatan, kestabilan, dan kemampuan produksi cetakan.
2. Pembuatan Program CNC:
 - Konversi Data: Model 3D dikonversi menjadi kode program CNC (*Computer Numerical Control*) yang berisi instruksi untuk mesin CNC.
 - Optimasi Program: Program CNC dioptimasi untuk meminimalkan waktu pemesinan dan meningkatkan kualitas permukaan cetakan.
3. Pemesinan:
 - Pemilihan Mesin: Mesin CNC yang sesuai dipilih berdasarkan ukuran dan kompleksitas cetakan.
 - Fiksasi Bahan Baku: Blok bahan baku (biasanya baja) difiksasi dengan kuat pada meja mesin CNC.

- **Pemotongan:** Mesin CNC memotong bahan baku sesuai dengan program CNC yang telah dibuat. Proses pemotongan ini dapat melibatkan berbagai jenis alat potong seperti end mill, drill, dan lainnya.
 - **Finishing:** Setelah pemotongan selesai, permukaan cetakan dihaluskan dan diperbaiki menggunakan proses finishing seperti grinding, polishing, atau EDM (Electrical Discharge Machining).
4. **Pemeriksaan dan Perakitan:**
- **Inspeksi Dimensi:** Cetakan yang telah selesai diinspeksi secara cermat untuk memastikan dimensi dan toleransi sesuai dengan desain.
 - **Perakitan Komponen:** Jika cetakan terdiri dari beberapa komponen, maka komponen-komponen tersebut dirakit dengan presisi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode kajian yang digunakan yaitu :

1. **Pemilihan Material :** Pada tahapan ini melibatkan penelitian tentang jenis material yang digunakan dalam pembuatan suku cadang *mold* . Analisis yang dilakukan yaitu menganalisis karakteristik fisik, termal, dan mekanis material yang berbeda untuk memahami kinerja dalam aplikasi *mold* . Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan, untuk penelitian ini hanya digunakan material SKD 11 dimana material ini merupakan jenis baja perkakas (*tool steel*) yang sangat populer digunakan dalam pembuatan cetakan, khususnya untuk komponen elektronik.

Tabel 2. Komposisi Material SKD 11

Komposisi Material SKD 11				
Carbon (C)	Chromium (Cr)	Molybdenum (Mo)	Mangan (Mn)	Silikon (Si)
1,55%	11,60%	0,80%	0,30%	0,30%

Karakteristik Utama SKD 11 :

- **Ketahanan Aus Tinggi:** Kandungan karbon dan kromium yang tinggi pada SKD 11 membuatnya sangat tahan terhadap keausan. Ini sangat

penting untuk cetakan yang digunakan berulang kali dalam proses molding, terutama untuk komponen elektronik yang membutuhkan presisi tinggi.

- **Kekerasan Tinggi:** Setelah perlakuan panas yang tepat, SKD 11 dapat mencapai kekerasan yang sangat tinggi. Ini memungkinkan cetakan mempertahankan bentuknya dan menghasilkan komponen dengan dimensi yang akurat.
- **Tahan terhadap Deformasi:** SKD 11 memiliki stabilitas dimensi yang sangat baik, sehingga cetakan tidak mudah berubah bentuk akibat panas atau tekanan selama proses molding.
- **Ketahanan Korosi:** Tahan terhadap korosi, sehingga umur pakai cetakan lebih panjang.
- **Dapat Diperkeras:** SKD 11 dapat dikeraskan secara lokal untuk meningkatkan ketahanan aus pada area-area yang sering terpapar gesekan.

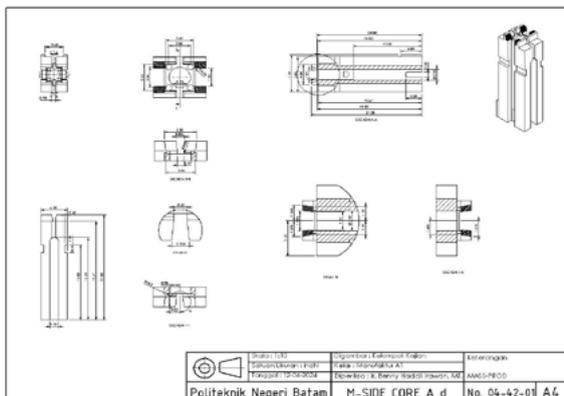
Penggunaan SKD 11 dalam *Molding* Komponen Elektronik

- **Cetakan Injeksi:** SKD 11 banyak digunakan untuk membuat cetakan injeksi karena kemampuannya menghasilkan komponen dengan toleransi yang sangat ketat.
- **Cetakan Transfer:** Karena sifatnya yang keras dan tahan aus, SKD 11 juga cocok untuk cetakan transfer, terutama untuk komponen dengan detail yang sangat halus.

Alasan Memilih SKD 11

- **Umur Pakai Cetakan Panjang:** Karena ketahanan aus dan deformasi yang tinggi, cetakan yang terbuat dari SKD 11 memiliki umur pakai yang lebih panjang, sehingga mengurangi biaya produksi jangka panjang.

- Kualitas Produk yang Konsisten: Cetakan yang presisi menghasilkan komponen dengan kualitas yang konsisten, mengurangi jumlah produk cacat.
 - Fleksibilitas Penggunaan: SKD 11 dapat digunakan untuk berbagai jenis proses molding dan aplikasi.
2. **Analisis Desain** : Pada tahapan ini melibatkan evaluasi desain suku cadang *mold* untuk memastikan bahwa mereka memenuhi persyaratan fungsional. Alat bantu yang dapat digunakan yaitu perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*) untuk membuat model 3D dan melakukan simulasi desain [8,9]. Berdasarkan hasil diskusi dengan PT. IPEX diperoleh komponen suku cadang yang rutin diperlukan setiap bulan namun penyedia masih harus impor yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Komponen Suku Cadang Mold

Komponen pada gambar 2 terletak pada bagian *Core* dari *Mold*. Pada proses *molding*, bagian *core* memiliki peran yang sangat krusial dalam menentukan bentuk akhir dari produk yang dihasilkan. Kedua bagian ini bekerja sama untuk menciptakan rongga yang akan diisi oleh material cair, lalu mengeras sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Untuk produk yang dihasilkan dari cetakan *mold* beserta detail *mold* yang dimaksud tidak

dapat ditunjukkan mengingat kondisinya merupakan rahasia dagang Perusahaan. Proses pembuatan desain dilakukan dengan bantuan software Solidwork.

3. **Analisis Proses** : Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan dan melihat kondisi mesin yang tersedia di Politeknik Negeri Batam diperoleh bahwa dalam pembuatan komponen *mold* pada gambar 4 memerlukan sejumlah tahapan proses yaitu :

- a. Proses Pemotongan
 Proses pemotongan material dari *raw material* menggunakan alat bantu mesin gergaji. Mesin gergaji adalah alat perkakas yang digunakan untuk memotong berbagai jenis material, mulai dari kayu hingga logam. Prinsip kerja dari mesin gergaji seperti yang terlihat pada gambar 3 melibatkan sebuah pisau bergerigi yang berputar dengan kecepatan tinggi untuk memotong material.



Gambar 3. Mesin Gergaji

- b. Proses Pembentukan Dasar
 Pada tahap proses pembentukan dasar diperlukan beberapa alat yang mendukung untuk membuat produk diantaranya yaitu mulai dari proses mesin Frais/ *Milling* kemudian dilanjutkan ke tahapan proses mesin Gerinda Datar/ *Surface Grinding*. Mesin frais/ *milling* adalah salah satu mesin perkakas yang sangat penting dalam industri manufaktur. Bentuk dari mesin frais dapat dilihat pada gambar 6 yang ini fungsi mesin ini digunakan untuk menghasilkan berbagai macam bentuk

pada benda kerja dengan cara memotong material secara bertahap menggunakan alat potong yang berputar.



Gambar 4. Mesin Frais/ *Milling*

Mesin gerinda datar/ *surface grinding* adalah jenis mesin perkakas yang khusus dirancang untuk menghasilkan permukaan yang sangat halus dan datar pada sebuah benda kerja. Seperti yang terlihat pada gambar 7, prinsip kerja dari mesin ini adalah dengan menggosokkan benda kerja terhadap permukaan sebuah roda gerinda yang berputar dengan kecepatan tinggi. Fungsi utama mesin gerinda datar yaitu :

- Membuat permukaan datar: Fungsi utama mesin ini adalah untuk menghasilkan permukaan yang sangat datar dan halus.
- Menghapus material: Proses penggosokan antara benda kerja dan roda gerinda akan menghilangkan material dari permukaan benda kerja sehingga menghasilkan permukaan yang diinginkan.
- Meningkatkan kekerasan permukaan: Proses penggerindaan juga dapat meningkatkan kekerasan permukaan benda kerja.



Gambar 5. Mesin Gerinda Datar/ *Surface Grinding*

c. Proses Pembentukan Detail

Pada tahapan proses pembentukan detail dilakukan dengan teknologi proses pemesinan non konvensional yaitu mesin (EDM). Prinsip kerja mesin *Electrical Discharge Machine* adalah pembuangan material dengan cara erosi listrik. Proses ini melibatkan pelepasan percikan listrik antara elektroda dan benda kerja untuk melepaskan material. Mesin EDM seperti yang terlihat pada gambar 8 memiliki prinsip kerja sebagai berikut :

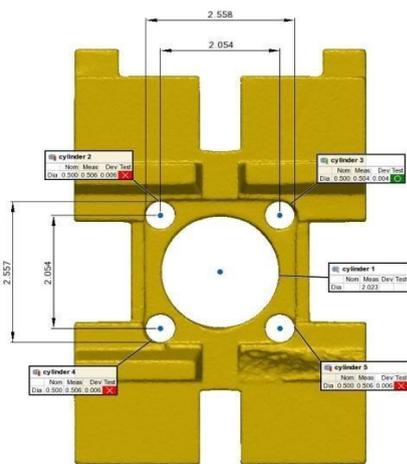
1. Elektroda dan Benda Kerja: Mesin EDM memiliki dua komponen utama: elektroda (biasanya terbuat dari grafit atau tembaga) dan benda kerja.
2. Aliran Dielektrik: Antara elektroda dan benda kerja terdapat cairan dielektrik (biasanya minyak atau air deionisasi). Cairan ini berfungsi sebagai isolator dan juga membantu membawa partikel material yang tererosi keluar dari zona kerja.
3. Percikan Listrik: Ketika tegangan listrik yang tinggi diterapkan antara elektroda dan benda kerja, terjadi pelepasan percikan listrik. Percikan ini menyebabkan erosi pada permukaan benda kerja, melepaskan partikel material.
4. Gerakan Relatif: Elektroda dan benda kerja bergerak relatif satu sama lain. Gerakan ini dapat berupa gerakan linear atau rotasi, tergantung pada bentuk yang diinginkan.
5. Pembuangan Material: Partikel material

yang tererosi terbawa oleh aliran dielektrik keluar dari zona kerja.



Gambar 6. Electrical Discharge Machine

4. **Inspeksi** : Inspeksi yang dilakukan pada tahap penelitian ini terbatas pada pengujian dimensi suku cadang^[10].



Gambar 7. Hasil inspeksi suku cadang menggunakan Video Measuring Machine (VMM)

Tabel 3. report hasil inspeksi menggunakan VMM

Feature Table								
Length Units: Millimeters								
Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol	
cylinder 1	Diameter		2.023	+1.000				
cylinder 2	Diameter	0.500	0.506	+0.005@0.000	0.006	Fail	0.001	
cylinder 3	Diameter	0.500	0.504	+0.005@0.000	0.004	Pass		
cylinder 4	Diameter	0.500	0.506	+0.005@0.000	0.006	Fail	0.001	
cylinder 5	Diameter	0.500	0.506	+0.005@0.000	0.006	Fail	0.001	
distance 1	Y Distance	2.900	2.054	+0.020	-0.006	Pass		
distance 2	X Distance	2.900	2.054	+0.020	-0.006	Pass		
distance 3	Y Distance	2.600	2.558	+0.005	-0.042	Fail	-0.037	
distance 4	X Distance	2.600	2.557	+0.005	-0.043	Fail	-0.038	

Dari hasil inspeksi yang dilakukan pada suku cadang yang dibuat diperoleh hasil bahwa cylinder 2, 4, dan 5 dimensi yang diperoleh di luar batas toleransi. Kemudian posisi dari lubang *distance 3* dan *distance 4* menghasilkan posisi di luar toleransi.

Berdasarkan kondisi di atas hasil yang dicapai sejauh ini adalah sebagai berikut :

1. Komponen *mold* yang menjadi bahan kajian telah disepakati yaitu *m-side core* yang berfungsi sebagai bagian untuk pembentukan komponen elektronik. Berdasarkan hasil kajian diperoleh bahwa material yang tepat untuk digunakan dalam pembuatan suku cadang ialah SKD 11.
2. Rancangan dari *m-side core* telah dibuat berdasarkan hasil penelaahan dengan pihak mitra. Dalam prosesnya kegiatan perancangan ini dilakukan bersama dengan mahasiswa prodi Teknik Mesin yang telah memiliki kompetensi dalam menggambar Teknik 3 Dimensi menggunakan perangkat lunak Solidworks.
3. Pembuatan *m-side core* dilakukan mulai dari proses pemotongan material, pembuatan bentuk dasar komponen yang memerlukan proses frais/ *milling* serta mesin gerinda datar/ *surface grinding* . Proses terakhir dilakukan dengan memanfaatkan teknologi pemesinan non konvensional yaitu mesin EDM.
4. Pengujian yang dilakukan menggunakan mesin *Video Measuring Machine* (VMM) dikarenakan dimensi material yang kecil. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan diperoleh bahwa bagian lubang serta pola posisi lubang masih menyimpang dari toleransi yang telah disepakati.

4. KESIMPULAN DAN KETERBATASAN

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan baik dari segi rancangan, proses pembuatan, serta inspeksi dapat disimpulkan bahwa Proses pengerjaan dimulai dari pemotongan, pembentukan dasar, hingga pembentukan detail. Kemudian berdasarkan hasil inspeksi yang ditampilkan pada gambar 8 diperoleh bahwa pada suku cadang yang dibuat memperoleh hasil cylinder 2, 4, dan 5 dimensi yang diperoleh di luar batas toleransi. Kemudian posisi dari lubang *distance 3* dan *distance 4* menghasilkan posisi di luar toleransi. Berdasarkan proses inspeksi tersebut maka dapat disimpulkan bahwa dalam pembuatan suku cadang memerlukan tinjauan lebih lanjut mengingat bentuk/ hasil yang diperoleh setelah dilakukan inspeksi kondisi dimensi masih berada di luar zona toleransi.

REFERENSI

- [1] L. Khoirul Miftakhul Ni, C. Budiyanoro, M. Budi Nur Rahman, "Desain Dan Optimasi *Injection Mold* Sistem *Slider* Pada Produk *Preform Stick T15*," Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 8, no. 3, pp. 155–165, 2017
- [2] L. K. M. Niám, dan C. Budiyanoro, "Desain dan Optimasi *Injection Mold* Sistem *Slider* Pada Produk *Preform Stick T15*," Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 8, no. 3, pp. 155-165, Dec. 2017
- [3] N. S. Eryan and D. A. Rahmadiyah, "*Quality Control* untuk Produksi *Spare Part* pada PT. YPTI Divisi *Plastic Injection* Menggunakan Metode *Six Sigma*," in Seminar Nasional IENACO-2017, 2017, pp. 522–530
- [4] R. Hakim, A. Makruf, A. Nurasa, W. Widodo, and I. Wahyudi, "Pengaruh Variasi Metering Stroke terhadap Cacat Produk Cetakan Injeksi Plastik," Jurnal Teknologi Terapan (JTT), vol. 6, no. 2, pp. 142–150, 2020.
- [5] Groover, M. P. (2018). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (5th ed.). Wiley.
- [6] Lee, K. H., & Kim, S. W. (2022).

Simulation of the rotational molding process for large-scale hollow products. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 119(11-12), 3457-3468.

- [7] Smith, J. A., & Johnson, B. C. (2023). *A review of recent advancements in injection molding of bio-based polymers.* Journal of Polymer Engineering, 43(2), 115-132.
- [8] H. Muzakki, "Perancangan Sistem Pengecoran Logam *Injection Die Casting* Produk Handel Rem Sepeda Motor dengan Simulasi Program *C Mold*," Performa, Vol. 9, No. 1, pp. 19-28, 2010
- [9] J. Jatira, dkk, "Perancangan Mold Set Komponen *Handle* Pintu Mobil dengan Material Alumunium 6061," Jurnal Teknologika, Vol. 13, No. 1, pp. 9-19, 2023.
- [10] R.A.N.A. Hakim, D. Purwanto, "Pengukuran Dimensi Komponen *Artificial Hip Joint* hasil *Investment Casting* menggunakan material AISI 316 L," Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Vol. 22, No.1, pp. 22 – 30, 2021