

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penyusunan penelitian terdahulu dilakukan dengan cara membagi subyek penelitian menjadi beberapa aspek spesifik yang sesuai, kemudian penelusuran dilakukan untuk mendapatkan kebaruan dari penelitian yang akan dilakukan ketika dibandingkan dengan penelitian terdahulu.

Dari aspek material, penelitian oleh Chen (2019) dan Nugroho (2024) telah menggunakan material *mold base JIS S50C* untuk pembuatan *mold* dengan produk yang memiliki kerumitan ringan hingga sedang dan kapasitas injeksi yang rendah. Material ini memiliki keunggulan *manufacturability* yang baik tanpa menggunakan *tools* khusus jika dibandingkan material yang biasa digunakan di industri seperti *JIS SKD 11* dan *JIS SCM 440*, sehingga cocok digunakan di Politeknik XYZ dengan mesin dan *tools* yang masuk dalam kategori pembelajaran.

Selanjutnya untuk material plastik, *ABS* telah banyak digunakan sebagai *body* perangkat elektronik dan *body* kendaraan bermotor (Lin, 2022; Wibowo, 2023). Hal ini menandakan karakteristiknya sudah teruji secara langsung utamanya pada kendaraan bermotor yang setiap harinya digunakan oleh semua masyarakat di berbagai kondisi perjalanan, kondisi tersebut membuktikan material ini mampu digunakan dalam jangka panjang dan memiliki durabilitas yang baik.

Dari aspek tipe *mold*, *mold* dengan tipe *family mold* yang dijadikan obyek penelitian ini sebelumnya pernah diteliti Huang (2021). Dengan memanfaatkan tipe *mold* ini kemudahan pemasangan antar produk dalam penelitiannya 20 % lebih mudah dilakukan daripada menggunakan *mold* terpisah. Pada penelitian Huang (2022) selanjutnya, *mold* dengan tipe *family mold* dan modifikasi *cooling* menggunakan *conformal cooling system* membuat produk yang saling berpasangan memiliki kualitas yang meningkat 47,40 %. *Family mold* pada dasarnya memiliki keunggulan mampu memaksimalkan komponen berpasangan atau kecil ke dalam satu *cavity* sehingga dapat menghemat dari segi pembuatan *mold*.

Selanjutnya aspek kecacatan, cacat yang timbul dari hasil injeksi tidak dapat dihilangkan sepenuhnya dari produk plastik sehingga muncul toleransi atau batas

wajar yang berlaku. Oleh karenanya meskipun ditemukan cacat, produk tersebut tetap dapat diproduksi dan dijual secara komersil tanpa mengurangi fungsinya (Anwarullah, 2019). Cacat *sink mark* merupakan jenis cacat dalam proses plastik injeksi yang sering ditemukan (Chen, 2020). Meskipun sering, diperlukan penanganan spesifik untuk meminimalisasi cacat tersebut. Penelitian oleh Chen (2020) dan Solanki (2021) tentang cacat *shrinkage* dan *sink mark*, menghasilkan temuan terjadinya *shrinkage* pada produk yang diteliti akibat ketebalan yang terlalu tipis dan pada titik tertentu penyusutan menyebabkan adanya *sink mark*. Temuan ini sudah dapat diprediksi melalui *CAE* sehingga pencegahannya adalah dengan menghitung ulang prediksi volume penyusutan tetapi cacat *sink mark* yang berkurang tidak lebih dari 50 %. Kemudian pada penelitian Tamri (2022) dan Wibawansyah (2024) adanya *short shot* dan *burn mark* memiliki kesamaan penyebab yaitu adanya udara yang terjebak dan tidak dapat keluar sehingga panas yang ada membakar udara tersebut dan mengakibatkan adanya bercak terbakar. Solusi yang ditawarkan adalah membuat *air vent* tetapi untuk produk seperti mangkuk dan memiliki cacat di bagian tengah akan sulit untuk membuat *air vent* sehingga solusi maksimal yang dapat dilakukan adalah dengan memaksimalkan pengaturan parameternya.

Dari aspek proses, pembuatan *mold* berbasis *Computer Aided Engineering (CAE)* menjadi teknologi *modern* yang digunakan secara luas dalam industri global saat ini tetapi di Indonesia masih terbatas hanya pada industri skala besar dan nasional saja. Hal ini terjadi karena biaya pengadaan *CAE* yang tinggi bagi industri skala menengah-kecil bahkan pendidikan, padahal *CAE* memiliki keunggulan mampu memprediksi kesalahan proses dan potensi hasil produk yang tidak sesuai atau cacat (Nugroho, 2024) sehingga sejatinya cocok digunakan oleh semua skala industri karena memegang peranan penting dalam proses kerekayasaan *engineering* mulai dari desain awal, optimasi hingga analisis hasil produk karena mampu meminimasi biaya simulasi yang berlebihan sehingga pengeluaran dapat ditekan (Hutama, 2022; Nugroho, 2024).

Dalam kaitannya dengan optimasi, Metode Taguchi merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan. Wibowo (2023) dan Utama (2022) menggunakan Metode Taguchi untuk menemukan parameter yang paling dominan hanya saja pada penelitian Wibowo (2023) tidak dilakukan simulasi ulang terhadap hasil proses sehingga hanya sebatas pada temuan penyebab. Penelitian lanjutan oleh Utama

(2022) menghasilkan parameter yang juga sudah dioptimalkan tetapi luarannya masih menghasilkan *reject* produk yang banyak. Penggunaan Metode Taguchi pada penelitian (Anwarullah, 2019) terlihat mampu memberikan informasi parameter yang dominan mempengaruhi dan optimasi yang sesuai tetapi hanya untuk 1 respon saja. Untuk respon yang diharapkan lebih dari 1 seperti dalam penelitian ini, Metode Taguchi perlu diintegrasikan dengan pendekatan metode lain sehingga optimasi dapat dilakukan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Martowibowo (2017) pendekatan *Genetic Algorithm* menjadi metode yang dikombinasikan dengan Metode Taguchi dan menghasilkan optimasi untuk 2 respon tetapi hanya untuk produk sederhana *plastic cup for collecting rubber*.

Analisis dan optimasi yang lebih terukur menggunakan Metode Taguchi secara umum sudah diimplementasikan dengan 7 pendekatan metode.

Tabel 2.1. Perbandingan pendekatan Metode Taguchi

<i>Numerical Simulation</i>	<i>Grey Relational Analysis</i>	<i>Principal Component Analysis</i>	<i>Artificial Neural Network</i>	<i>Fuzzy Logic</i>	<i>Genetic Algorithm</i>	<i>Response Surface Method</i>
+ Validasi yang dilakukan mendetail	Mampu mengerjakan masalah multirespon lebih komprehensif	Menekankan respon yang paling signifikan untuk efisiensi analisis	Mampu menangkap hubungan non linear	Menangani ketidakpastian dan ketidakpresisian dalam data dan keputusan	Solusi hampir optimal dan optimal untuk skala parameter yang besar	Mampu membangun model prediktif dari hasil eksperimen
	Kompleksitas tinggi dan jika ada kekeliruan penelusurannya dari awal	Pemahaman statistika dan hasil interpretasinya harus kuat	Risiko <i>overfitting</i> jika tidak dikendalikan dengan baik	Hasilnya sulit diinterpretasikan dan diterjemahkan ke dalam keputusan	Durasi komputasinya panjang dan <i>tuning</i> parameter harus tepat	Asumsi hubungan linear atau polinomial yang tidak selalu akurat

Tabel 2.1. memberikan perbandingan dari berbagai pendekatan yang dapat dikombinasikan dengan Metode Taguchi ditinjau dari kelebihan dan kekurangannya. Pendekatan *Grey Relational Analysis (GRA)* terlihat lebih menjanjikan karena dapat diintegrasikan dengan Metode Taguchi untuk mendapatkan respon parameter secara komprehensif dengan tingkat kerumitan yang lebih sederhana dalam analisisnya. Penelitian yang dilakukan oleh Sylajakumari (2018) menggunakan pendekatan tersebut pada Metode Taguchi dalam menganalisis produk komposit dari keramik

menghasilkan produk komposit yang dioptimasi mengalami kenaikan kualitas sebesar 35,25 % dari konsep awal dengan multirespon berupa *applied load*, *sliding speed* dan *sliding distance*. Penelitian (Muffarih, 2019; Prayogo, 2022) menggunakan integrasi Metode Taguchi dan *GRA* dalam proses pemesinan sehingga *Material Removal Rate (MRR)* dapat dimaksimalkan dan kekasaran permukaan menjadi minimal dari sebelum penelitian dilakukan. Penelitian dengan metode serupa oleh Girish (2019) menghasilkan optimasi parameter untuk menyelesaikan 3 karakteristik respon yang diinginkan pada *Aluminium Al 6061*. Berdasarkan **Tabel 2.1.** dan penelitian yang sudah dilakukan serta mempertimbangkan tingkat kerumitan yang ada, maka Metode Taguchi dengan pendekatan *Grey Relational Analysis* ini yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Aspek karakteristik berkaitan erat dengan respon yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Karakteristik yang diinginkan oleh PT ABC dari pengamatan langsung hasil injeksi *casing* Gundala adalah cacat yang dominan seperti *sink mark* harus minim, *burn mark* dan *short shot* harus hilang, *shrinkage* pada material yang digunakan tidak melebihi batas, *casing* Gundala dapat berfungsi untuk memasang mikrokontroler, tidak mudah lepas ketika dipasangkan dan tahan terhadap temperatur apabila digunakan di daerah industri. Respon yang pertama adalah *shrinkage*, besaran *shrinkage* selain dipengaruhi oleh spesifikasi material juga dipengaruhi oleh dimensi dan desain dari produk tersebut oleh karenanya standar *shrinkage* yang digunakan adalah $\leq 4,5 \%$ (Lin, 2022) untuk produk-produk yang umum diinjeksi. *Sink mark* memiliki kaitan langsung dengan terjadinya *shrinkage* maka *sink mark* menjadi respon yang kedua. Semakin besar dan dalam *sink mark* maka potensi *shrinkage* yang terjadi juga akan semakin tinggi dan menurut (Wibowo, 2023) standar *sink mark* yang berlaku pada komponen kendaraan bermotor dan elektrik adalah $\leq 0,05 \text{ mm}$ dengan *sink marks*, *indexnya* 2 % (Lin, 2022) tetapi besaran dari batasan *sink mark* ini dapat disesuaikan dengan fungsi dan tingkat kepresisian desain produk. Selanjutnya *burn mark* dan *short shot* harus hilang karena jalur *air vent* tidak dapat dibuat pada area yang mengalami cacat sehingga menganalisis parameter yang ada menjadi tindakan yang paling optimal. Fungsi untuk memasang mikrokontroler, tidak mudah lepas ketika dipasangkan dapat ditinjau dari penelitian (Huang, 2021; Lin, 2022) yang menyatakan kesesuaian produk satu sama lain dapat diukur dari tingkat penyusutan material atau *shrinkage* masing-masing produk dan juga batasan cacat *warp* dari produk

tersebut. Adanya potensi cacat *warp* melebihi standar ≤ 3 mm (Lin, 2022) mengindikasikan produk dapat mengalami defleksi akibat proses injeksi yang berpengaruh terhadap kesesuaian produk, sehingga *warp* menjadi respon yang ketiga. Penelitian terkait ketahanan terhadap temperatur dilakukan Huang (2022) dengan mengamati *bulk temperature* pada saat proses injeksi apakah merata atau tidak sesuai batasan *melt temperature* material plastik (Zhou, 2008). Ketidakrataan temperatur yang terdistribusi lebih dari 20 °C mengindikasikan *shear strength* yang tidak homogen sehingga potensi produk keropos seiring waktu penggunaan menjadi tinggi (Autodesk, 2025). Oleh karenanya akan digunakan *bulk temperature* yang terdistribusi sebagai respon yang keempat dalam penelitian ini. *Software Autodesk Moldflow Insight Ultimate 2025* juga merekomendasikan untuk dilakukan *stress analysis* pada produk hasil injeksi untuk mengetahui *life expectancy from products*. Penelitian (Martowibowo, 2017) menganalisis homogenitas dari *shear stress* yang dapat mempengaruhi usia pakai dari produk mangkuk sadap karet. Adanya *shear stress* yang melebihi batas 0,3 MPa (Kurt, 2009; Autodesk, 2025) dapat mengindikasikan kekuatan yang tidak merata dan terlalu besar pada area produk yang berakibat mudah keropos seiring penggunaan. Oleh karenanya *stress analysis* menjadi respon yang ke lima dalam penelitian ini.

Untuk mendapatkan respon yang diinginkan, perlu adanya parameter yang menjadi tolak ukur data dalam penelitian ini. Parameter yang ada didapatkan dari spesifikasi material plastik ABS dan spesifikasi mesin yang digunakan. Rosato (2000) menuliskan panduan dalam permasalahan yang kecacatan untuk menurunkan *shrinkage* dan *sink mark*, parameter yang harus diperhatikan adalah *holding pressure*, *melt temperature*, *injection time*, *mold temperature*, *cooling time* dan *holding time*. Untuk menghilangkan *short shot* dan *burn mark*, parameter yang diperhatikan adalah *melt temperature*, *injection speed*, *cooling time* dan *holding time*.

Kompleksitas dari parameter-parameter ini nantinya diuji dan disimulasikan dengan *software Autodesk Moldflow Insight Ultimate 2025*, untuk selanjutnya dianalisis dengan Metode Taguchi dan pendekatan *GRA* untuk mendapatkan respon yang diinginkan.

Tabel 2.2. Daftar penelitian terdahulu

No.	Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Obyek Penelitian	Respon Obyek Penelitian	Metode Analisis	Hasil
1	You, B. H., et al. (2008)	<i>Assembly Tolerance Analysis for Injection Molded Modular, Polymer Microfluidic Devices</i>	Polycarbonate	Assembly Tolerance	Experimental and statistics	Toleransi pada <i>part</i> yang saling berkaitan dapat berkisar hingga ukuran mikron
2	Kurt, M., et al. (2009)	<i>Experimental Investigation of Plastic Injection Molding: Assesment of the Effects of Cavity Pressure and Mold Temperature on the Quality of the Final Products</i>	ABS	Effects of cavity pressure and mold temperature	Experimental and CAE	The cavity pressure and mold temperature strongly affect the shrinkage
3	Martowibowo, S. Y., Kaswadi, A. (2017)	<i>Optimization and Simulation of Plastic Injection Process using Genetic Algorithm and Moldflow</i>	Plastic cup for collecting rubber	Reducing shrinkage and shear stress using conformal cooling	Genetic algorithm and CAE	Volumetric shrinkage hanya menjadi 5,61% dan <i>shear stress</i> hanya 0,17 MPa
4	Sylajakumari, P. A., Ramakrishnasamy, R., Palaniappan, G. (2018)	<i>Taguchi Grey Relational Analysis for Multi-Response Optimization of Wear in Co-Continuous Composite</i>	Ceramic composites	Applied load, sliding speed and sliding distance	Metode Taguchi and Grey Relational Analysis	Parameter yang ditemukan memperbaiki kualitas produk sebesar 35,35%
5	Chen, C. C. A., Lai, C. S., Yu, C. W., Wang, L. H. (2019)	<i>Study on Liquid Crystal Polymer Molding for Off-Axial Aspherical Reflective Grating Optical Element by Injection Molding Process</i>	JIS S50C mold base dan OAA-RGOE product	Best material for OAA-RGOE of spectrometer	Komparasi hasil dari 3 material berbeda	Material <i>mold base</i> JIS S50C yang digunakan mampu membentuk komponen sederhana

Tabel 2.2. Daftar penelitian terdahulu (lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Obyek Penelitian	Respon Obyek Penelitian	Metode Analisis	Hasil
6	Muffarih, A., Nadliroh, K. (2019)	Aplikasi Metode Taguchi-Grey untuk Optimasi Multirespon pada Pembubutan Aluminium	Material aluminium Al 6061	<i>Material Removal Rate (MRR)</i>	Metode Taguchi and Grey Relational Analysis	<i>MRR</i> meningkat hingga 6 % dari 3,967 cm ³ / s menjadi 4,215 cm ³ / s
7	Anwarullah, Kumar, S. P. A. (2019)	<i>Minimization of Sink Mark Defects in Injection Molding Process Optimization of a Composite Drive Shaft Used in Automobiles</i>	Upper part motorcycle speedometer	Reducing sink mark value	Metode Taguchi	Penurunan nilai shrinkage
8	Girish, B. M., Siddesh, H. S., Satish, B. M. (2019)	<i>Taguchi Grey Relational Analysis for Parametric Optimization of Severe Plastic Deformation Process</i>	Material aluminium Al 6061	Micro hardness, tensile strength and grain size	Metode Taguchi and Grey Relational Analysis	Micro hardness 3,5 µm; tensile strength 119,01 MPa and grain size 52,73 HV
9	Chen, Y. C., Hsu, C. C., Hsu, C. H. (2020)	<i>Numerical Simulation for Predicting Sink Marks on Injection Molding and Injection Compression Molding Process</i>	Flat plate with 4 ribs	Proses injeksi dengan cacat sink mark minimal	Numerical simulation dan simulasi 3D	Proses injeksi dengan tenaga kompresi menghasilkan cacat sink mark minimal
10	Solanki, B., Singh, H., Sheorey, T. (2021)	<i>Experimental and Numerical Studies of Shrinkage and Sink Marks on Injection Molded Polymer Gears</i>	Polymer gear	Reducing shrinkage dan sink mark value	Numerical simulation dan simulasi 3D	Nilai shrinkage lebih rendah dengan cacat sink mark yang masih tetap muncul
11	Huang, C. T., Lin, T. W., Jong, W. R., Chen, S. C. (2021)	<i>A Methodology to Predict and Optimize Ease of Assembly for Injected Parts in a Family-Mold System</i>	Plastic assembly part	Optimize the ease of assembly	CAE-DOE	Nilai kemudahan perakitan dapat ditingkatkan hingga mencapai 20 %

Tabel 2.2. Daftar penelitian terdahulu (lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Obyek Penelitian	Respon Obyek Penelitian	Metode Analisis	Hasil
12	Lin, W. C., et al. (2022)	<i>Analysis of the Warpage Phenomenon of Micro-Sized Parts with Precision Injection Molding by Experiment, Numerical Simulation and Grey Theory</i>	ABS Micro-sized parts	<i>Best method for injecting micro-sized parts</i>	Komparasi hasil dari 3 metode berbeda	Material plastik ABS yang digunakan mampu untuk membuat komponen kecil dalam elektronik
13	Hutama, A. S., Widyasmara, N. A. R. (2022)	Minimasi Cacat Sink Mark pada Proses Injeksi Molding Produk T-Valve Female GeNose C19	T-Valve Female GeNose C19	<i>Reducing sink mark value</i>	Metode Taguchi dan CAE	Nilai <i>sink mark</i> berkurang namun produk <i>reject</i> tetap masih tinggi tetapi karena kebutuhan jadi tetap digunakan
14	Wibowo, E. A., et al. (2023)	<i>Optimization of Plastic Injection Molding Process Parameters for Cowl B (L/R) Sink Mark Defects by using Taguchi Methods and ANOVA</i>	ABS Cowl B (L/R) motorcycle	<i>Best parameters from experimental without respon needed</i>	Metode Taguchi	Urutan parameter optimal berdasarkan analisis dan simulasi
15	Prayogo, G. S., Nuraini, L. (2022)	<i>Optimasi Parameter Proses Pemesinan ECM (Electro Chemical Machining) Skala Laboratorium Dengan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis (GRA)</i>	Turbine blade	<i>Voltage, konsentrasi elektrolit dan gap width turbine blade</i>	Metode Taguchi and Grey Relational Analysis	Kondisi optimalnya <i>voltage</i> sebesar 48 V, konsentrasi elektrolit 150 g/l dan <i>gap width</i> 2 mm
16	Huang, W. T., Tasi, Z. Y., Ho, W. H., Chou. J. H. (2022)	<i>Integrating Taguchi Method and Gray Relational Analysis for Auto Locks by using Multi Objective Design in Computer Aided Engineering</i>	PA66	<i>Family mold, warpage dan average temperature</i>	Metode Taguchi and Grey Relational Analysis	Perbedaan temperatur hanya 7,59 °C dan kualitas meningkat hingga 47,40 %

Tabel 2.2. Daftar penelitian terdahulu (lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Obyek Penelitian	Respon Obyek Penelitian	Metode Analisis	Hasil
17	Tamri, N., Zulkifli, R. (2022)	Penggunaan Kaedah Aliran Angin untuk Mengatasi Masalah Kecacatan Produk Plastik	<i>Fan blade 16 “, case, head lamp len dan roller holder</i>	Hasil identifikasi cacat <i>air vent</i>	Observasi, wawancara dan studi dokumentasi	Perlunya dibuat jalur <i>air vent</i> atau rekayasa parameter saat melakukan injeksi
18	Wibawansyah, S., Akbar, A. (2024)	<i>Identify Product Defects in the Injection Molding Process</i>	Mold di PT CDE	Hasil identifikasi penyebab kecacatan	Observasi, wawancara dan studi dokumentasi	Penyebab cacat umum seperti <i>short shot, flash, sink mark, flow mark, black spot, warpage</i> dan <i>color streak</i> .
19	Nugroho, V. H. A., Syaifullah, H., Bawono, B. Anggoro, P. W. (2024)	Optimasi Parameter <i>Plastic Injection Molding</i> pada <i>Mold ID Card Holder Landscape</i>	<i>JIS S50C mold base dan ABS ID card holder landscape</i>	<i>Sink mark ≤ 0,02 mm</i>	Metode Taguchi dan <i>Principal Component Analysis-Grey Relational Analysis</i>	Dengan menggunakan material <i>mold base JIS S50C, ID card holder landscape</i> berhasil diinjeksi

2.2. Penelitian Terkini

Penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan tren yang semakin naik dalam integrasi metode Taguchi dengan pendekatan *GRA* untuk melakukan optimasi secara multirespon. Pendekatan ini memberikan model yang lebih sederhana dalam kaitannya dengan pendidikan dan integrasinya dengan *CAE* untuk dikembangkan serta kaitannya dengan industri, kualitas produk yang diinginkan dapat tetap terjaga. Kombinasi keduanya juga menjadi landasan kuat bagi penelitian saat ini, yang menargetkan penurunan kecacatan dan total biaya secara bersamaan pada produk *casing* Gundala.

Dengan menggabungkan *CAE* dan statistik inferensial dari Metode Taguchi yang dikombinasikan dengan *GRA*, penelitian ini berupaya untuk bagaimana menurunkan kecacatan dan memastikan kesesuaian dalam pemasangan dengan tetap mengendalikan *properties* dari produk yang mempengaruhi usia pakai menjadi satu kesatuan dalam kebaruan penelitian. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk menekan biaya yang dikeluarkan dalam kaitannya dengan *business analytics*.