

Pembangunan Acuan Suntikan Secara Manual

Syed Jamil Rusydi Bin Syed Baharom^{1*}, Sharvina A/P Irulandy², Syaiful Nizam Bin Ab Rahim^{3*}
Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Abdul Halim Muadzam Shah (POLIMAS),
06000, Jitra, Kedah, Malaysia

*Main Corresponding author: ¹syedjamilrusydi@polimas.edu.my

*3rd Corresponding author: ³syaifuln@polimas.edu.my

Abstrak :

Pengacuan suntikan manual merupakan proses kritikal dalam pengeluaran produk plastik, khususnya polietilena ketumpatan tinggi (HDPE), yang menekankan kualiti dan pengurangan kecacatan. Kajian ini menumpukan kepada pengoptimuman proses pengacuan manual melalui pengawalan parameter kritikal seperti suhu tong, suhu muncung, dan masa penyejukan bagi mengurangkan isu kelengkungan, flash, dan pengisian tidak lengkap. Kaedah Taguchi digunakan untuk menganalisis secara sistematik kesan setiap parameter terhadap kualiti produk. Reka bentuk eksperimen yang terancang membolehkan setiap kombinasi parameter diuji bagi menilai konsistensi, kebolehlulangan, dan kadar kecacatan produk. Data dikumpul melalui pengukuran dimensi, pengesanan kecacatan visual, serta analisis statistik bagi mengenal pasti tetapan optimum. Hasil eksperimen menunjukkan bahawa tetapan optimum meningkatkan konsistensi dimensi, mengurangkan kecacatan, dan menjimatkan bahan. Produk yang dihasilkan menunjukkan kualiti lebih tinggi dengan kepuasan pelanggan meningkat. Kajian ini menekankan kepentingan pengurusan parameter dan pendekatan saintifik dalam pengoptimuman proses manual, seterusnya menyokong keberkesanan operasi pengeluaran. Dapatan kajian menyediakan panduan praktikal kepada pengendali dan pengeluar dalam industri plastik tempatan dan membuka potensi pengembangan sistem pengacuan suntikan yang lebih automatik dan lestari pada masa hadapan. Secara keseluruhan, kajian ini membuktikan bahawa pengoptimuman proses manual meningkatkan kualiti, kebolehpercayaan, kecekapan, dan penjimatan kos dalam pengeluaran produk HDPE.

Kata kunci : *Pengacuan Suntikan Manual, Pengoptimuman Parameter, Kaedah Taguchi, HDPE*

1.0 Pengenalan

Teknik ini merujuk kepada proses pengacuan plastik yang menggunakan mesin acuan suntikan kendalian manual, iaitu mesin yang menyuntik bahan plastik cair ke dalam bentuk acuan tertentu. Proses ini menggambarkan kaedah pengacuan plastik di mana mesin beroperasi melalui sistem elektronik, namun semua langkah utama tetap bergantung pada kawalan operator. Antara tugas operator termasuk mengisi bahan plastik ke dalam mesin, menutup acuan, menyuntik plastik cair, serta menanggalkan produk yang telah mengeras daripada acuan. Acuan suntikan manual merupakan kaedah yang mudah dan berstruktur. Prosesnya merangkumi pengisian bahan plastik ke dalam mesin, pemasangan dan penutupan acuan, penyuntikan plastik cair ke dalam rongga acuan, penyejukan acuan, dan pembukaan acuan untuk mengeluarkan produk akhir. Kaedah shot weight injection biasanya digunakan apabila mesin pengacuan automatik tidak dapat diperoleh kerana kosnya yang tinggi, khususnya bagi penghasilan prototaip, produk bersaiz kecil, berketepatan tinggi dan produk khusus (Ashok Chowk, S. M., 2020).

Dua komponen utama mesin acuan suntikan manual ialah hopper dan barrel. Hopper berfungsi sebagai ruang kemasukan bahan plastik sebelum diproses, manakala skru dalam barrel bertanggungjawab mencairkan serta menyuntik bahan tersebut ke dalam acuan sambil memastikan acuan berada pada kedudukan yang stabil sepanjang proses penyuntikan. Antara kelebihan kaedah ini termasuk fleksibiliti yang tinggi kerana pertukaran acuan dapat dilakukan dengan mudah, kos operasi yang lebih rendah berbanding mesin automatik, serta kawalan kualiti yang baik kerana setiap langkah dikendalikan secara langsung oleh operator. Berbanding mesin acuan suntikan automatik yang lazim digunakan untuk pengeluaran berskala besar, kaedah acuan suntikan manual tetap menawarkan prestasi yang baik, boleh dipercayai dan efisien bagi pengeluaran berskala kecil, pembuatan unit tunggal atau perniagaan yang sangat menitikberatkan kos. Penglibatan operator pada setiap peringkat proses membolehkan kawalan dan pemantauan dilakukan dengan lebih teliti, sekali gus mengekalkan kebolehpercayaan teknik ini dalam industri pembuatan plastik (Faleq Fitri Ashaari *et.al.*, 2022).

Acuan suntikan manual ialah satu teknik menghasilkan produk plastik dengan menyuntik bahan plastik cair ke dalam struktur acuan. Kaedah ini melibatkan beberapa peringkat dan sangat bergantung pada kemahiran serta kepakaran operator. Acuan biasanya diperbuat daripada keluli atau aluminium, mengikut reka bentuk produk akhir, dan terdiri daripada dua bahagian iaitu cavity dan core yang digabungkan untuk membentuk geometri produk. Proses ini menggunakan bahan termoplastik di mana pelet plastik atau bahan dalam bentuk granul dipanaskan sehingga mencair. Plastik cair ini kemudian disuntik ke dalam rongga acuan menggunakan mesin suntikan yang dikendalikan secara manual. Acuan dikekalkan dalam keadaan tertutup ketika tekanan dikenakan bagi memerangkap plastik panas dan membiarkannya sejuk sehingga mengeras. Setelah proses penyejukan selesai, acuan dibuka dan produk plastik yang terbentuk dikeluarkan.



Rajah 1 : Mesin Pengacuanan Suntikan Manual Mini

Kaedah ini memerlukan operator yang mahir untuk mengawal parameter penting seperti suhu, tekanan dan tempoh penyejukan bagi memastikan kualiti bahagian yang dihasilkan memenuhi spesifikasi. Teknik acuan suntikan manual amat sesuai untuk kelompok pengeluaran kecil dan prototaip kerana persediaannya mudah dan tidak memerlukan pelaburan awal yang tinggi seperti sistem automasi. Secara keseluruhannya, acuan suntikan manual merupakan teknik penting dalam pembuatan komponen plastik yang mengutamakan ketepatan, kawalan kualiti dan kos operasi yang rendah.

2.0 Literature Review

Pencetakan suntikan manual merupakan salah satu proses teras dalam pengeluaran komponen plastik, namun ketidakseragaman kualiti dan ketidakstabilan proses masih menjadi cabaran utama. Sebahagian besar isu ini dipengaruhi oleh parameter kritikal termasuk suhu tong, suhu muncung, masa penyejukan, isipadu resin serta hasil kecacatan kualiti. Kaedah Taguchi telah dikenal pasti sebagai alat yang berkesan dalam usaha pengoptimuman proses seperti ini. Selaras dengan tiga konsep penting dalam kaedah Taguchi, kajian ini mengaplikasikan pendekatan pencapaian kualiti melalui pengurangan penyimpangan daripada sasaran.

Fokus kajian ini tertumpu pada konsep tersebut dan memberi penekanan terhadap usaha menstabilkan parameter yang terlibat dalam proses bagi meningkatkan kualiti, mengurangkan pembaziran bahan, serta memastikan konsistensi dalam hasil pengeluaran (M. A. Lajis *et.al.*, 2017). Kajian ini menggunakan dapatan daripada penyelidikan terkini untuk mengoptimumkan proses pencetakan suntikan manual, khususnya hubungan saling kebergantungan antara suhu tong, suhu muncung, masa penyejukan dan isipadu resin dengan berlakunya kecacatan kualiti. Oleh itu, kajian ini menggunakan kaedah Taguchi untuk memperoleh tetapan parameter optimum yang mampu meminimumkan variasi dalam proses pengeluaran, seterusnya memastikan komponen plastik berkualiti tinggi dapat dihasilkan.

Berpandukan kajian sendiri mengenai kawalan suhu barrel bagi proses acuan suntikan manual, julat suhu yang dipersetujui umum ialah antara 170°C hingga 220°C, dengan sedikit perbezaan dilaporkan merentas kajian-kajian terdahulu. Rasidi (2020) mencadangkan julat 170–200°C, Zhongbau & Zhen (2020) menunjukkan kecenderungan kepada suhu sekitar 220°C. Faleq Fitri Ashaari *et.al.*, (2022) pula mengesyorkan suhu yang sedikit lebih rendah, iaitu 190–210°C, dan hal ini memberi gambaran bahawa julat tersebut lebih sesuai untuk mengawal sesetengah jenis bahan. Oleh sebab julat suhu optimum dalam kajian-kajian ini bertindih, adalah munasabah untuk mengandaikan bahawa 190–200°C boleh digunakan sebagai titik permulaan bagi eksperimen seterusnya yang melibatkan pelbagai bahan termoplastik. Sorotan literatur di atas dapat diaplikasikan bagi meningkatkan projek ini melalui pelarasan suhu tong, iaitu antara pembolehubah paling penting dalam proses acuan suntikan manual berbanding parameter lain

yang tersedia. Dengan penerapan suhu yang tepat seperti yang dicadangkan dalam projek tersebut, variasi terhadap kualiti yang disasarkan dapat diminimumkan.

Jadual 1 : Perbandingan analisa kajian terdahulu

Kriteria	Suhu Barrel	Suhu Nozzel	Masa Penyejukan	Resin Volume	Kecatatan Kualiti	Sumber
Penyelidikan 1	180 - 200 °C	190 - 210 °C	8 – 10 sec	3.57cm ³ (Scope used:1)	Flashing, Shortshot, Burnmarks,	(Rasidi, 2020)
Penyelidikan 2	190 - 210 °C	200 - 220 °C	12 – 15 sec	4.6 cm ³ (Scope used:1)	Flash,Incomplete Filling,Chipped Mold Pieces	(Lazano,2023)
Penyelidikan 3	170 - 200 °C	190 - 210 °C	10 - 12 sec	7.27cm ³ (Scope used:2)	Warpage And Shrinkage	(T., & Uzman, I.,2022)
Penyelidikan 4	200 - 210 °C	210 – 220 °C	15 – 20 sec	18.4cm ³ (Scope used:2)	Shrinkage, Warpage, Sink Marks, Weld Lines	(Gruber ,2021)
Penyelidikan 5	190 - 220 °C	200 – 230 °C	20 – 25 sec	8.07cm ³ (Scope used:2)	Shrinkage, Warpage,Flow Marks ,Sink Marks	(Zhongbau , Zhen,2020)

Pelbagai kajian telah melaporkan julat masa penyejukan yang berbeza dalam proses acuan suntikan manual, sama ada dari aspek kualiti produk atau masa kitaran. Menurut Rasidi (2020), bagi komponen yang ringkas, masa penyejukan yang disarankan ialah 8–10 saat. Nehemiah Mengistu, S. K. (2019) pula mencadangkan bahawa bagi komponen dengan ketebalan sederhana, masa 12–15 saat adalah sesuai bagi mengelakkan kecacatan. Masa penyejukan 10–12 saat sebagai ideal dalam kaitannya dengan masa kitaran antara lapisan untuk mempengaruhi kualiti pelbagai jenis bahan termoplastik standard. Komponen yang kompleks atau lebih tebal memerlukan kira-kira 15–20 saat bagi memastikan proses pengpejalan bahan berlaku dengan cekap. Sehubungan itu, Hongbo Fu, H. X. (2020) mencadangkan masa penyejukan paling lama iaitu 20–25 saat bagi komponen yang lebih tebal atau mempunyai geometri yang kompleks, bagi mengekalkan variasi dimensi yang minimum serta mengurangkan kecacatan. Dengan menyasarkan julat masa ini, projek ini dapat mengawal tempoh penyejukan yang diperlukan, sekali gus memperoleh hasil produk yang boleh diulang serta meningkatkan produktiviti proses pengacuan.

3.0 Metodologi Kajian

Ketiadaan kaedah khusus menimbulkan persoalan tentang bagaimana pendekatan yang lebih sistematik dapat dibentuk bagi memastikan projek berjalan lancar. Tanpa struktur yang teratur, projek mudah mengalami kelewatan, ketidakseragaman dan peningkatan kos. Pengurusan yang lemah juga boleh menyebabkan pembaziran perbelanjaan jika usaha tidak selaras dengan objektif. Oleh itu, carta alir menjadi alat penting untuk menyusun kerja dengan lebih teratur, menjimatkan kos dan meningkatkan keberkesanan. Selain itu, ia bersifat serbaguna, mudah dirujuk dan membantu menyokong keputusan serta pergerakan projek secara menyeluruh.

a. Perancangan Projek

Projek ini memfokuskan usaha menambah baik parameter dalam proses acuan suntikan manual, iaitu suhu tong, suhu muncung, masa penyejukan dan kelajuan suntikan, yang memainkan peranan penting dalam menentukan kualiti produk akhir. Matlamatnya ialah meminimumkan variasi serta mengurangkan kecacatan, di samping menyeragamkan berat dan dimensi sampel menggunakan kaedah Taguchi.

b. Penyediaan Projek

Kajian literatur menggariskan prinsip serta prosedur dalam kaedah Taguchi khususnya berkaitan reka bentuk eksperimen dan penilaian parameter dalam proses acuan suntikan. Empat parameter kritikal dipilih untuk dioptimumkan: suhu tong, suhu muncung, masa penyejukan dan kelajuan suntikan. Tatasusunan ortogon L4 digunakan bagi mengurangkan bilangan percubaan dengan mencuba kombinasi secara serentak.

c. Pengumpulan Data

Dengan bantuan tatasusunan ortogon, empat percubaan dijalankan dengan menggunakan kombinasi faktor yang berbeza. Parameter utama yang dipertimbangkan ialah suhu tong, suhu muncung, masa penyejukan dan kelajuan suntikan. Kualiti produk dinilai melalui pengukuran berat produk. Semua eksperimen dijalankan dalam keadaan terkawal, memastikan keputusan yang diperoleh adalah sah dan boleh dipercayai (SN Ab Rahim *et.al.*, 2020).

d. Analisis Data

Bagi memastikan kestabilan proses selepas percubaan, nisbah isyarat kepada hingar (S/N ratio) serta kesan parameter terhadap kualiti produk dianalisis menggunakan pendekatan “lebih besar lebih baik”. Nilai min, varians dan sisihan piawai berat produk turut dikira untuk menilai keseragaman serta punca variasi. Graf hubungan antara parameter dan kualiti produk turut dihasilkan.

e. Pengoptimuman

Parameter optimum dipilih berdasarkan nilai S/N ratio tertinggi yang memberikan kombinasi terbaik dari segi kualiti dan variasi. Percubaan tambahan dilakukan bagi mengesahkan penambahbaikan semasa ujian

pengesanan. Analisis varians (ANOVA) digunakan untuk menilai kepekaan setiap faktor terhadap perubahan kecil terhadap kualiti produk (S N Ab Rahim, 2019).

f. Kesimpulan dan Pelaporan

Melalui analisis data, parameter paling optimum berjaya dikenal pasti untuk menghasilkan kualiti produk maksimum. Proses pengoptimuman langkah demi langkah dan peningkatan kualiti produk diterangkan, diikuti cadangan untuk kajian masa hadapan dan penambahbaikan berterusan terhadap proses acuan suntikan.

g. Pelaksanaan

Berdasarkan data yang dikumpulkan, parameter yang mampu menghasilkan produk berkualiti terbaik dikenal pasti. Pengalaman dan penambahbaikan yang dicapai dalam proses awal turut dibincangkan, diikuti cadangan untuk penyelidikan seterusnya serta peningkatan berperingkat terhadap proses acuan suntikan (Neza Nurulhuda Nekmat *et.al.*, 2025).

h. Semakan Projek

Langkah seterusnya ialah membandingkan keputusan akhir dengan objektif asal projek bagi menilai keberkesanan fasa pengoptimuman. Antara dapatan penting ialah pembangunan senarai semak untuk merekodkan pengajaran tambahan daripada analisis proses pengacuan, yang boleh digunakan bagi terus memperkukuh nilai yang dikenal pasti demi memastikan peningkatan berterusan dalam bidang pengacuan.

Pelaksanaan Eksperimen

Setiap uji kaji dijalankan berdasarkan kombinasi parameter yang telah ditetapkan dalam tatasusunan ortogon. Kombinasi parameter berikut digunakan dalam setiap percubaan :

Berat produk direkodkan selepas setiap percubaan.

Pengukuran dan Pengumpulan Data

Tujuan mengukur berat produk (g) selepas setiap percubaan adalah kerana berat produk mempunyai hubungan langsung dengan jumlah resin yang digunakan serta kualiti keseluruhan produk yang diacu. Berat produk yang konsisten menunjukkan parameter proses berada dalam keadaan stabil, sekali gus memastikan jumlah bahan yang betul disuntik ke dalam acuan (Riduwan Bin Zakaria *et.al.*, 2024).

Variasi atau ketidakstabilan dalam berat produk boleh menunjukkan wujudnya ketidakkonsistenan dalam proses pengacuan, yang mungkin berpunca daripada tetapan parameter yang tidak sesuai seperti suhu tong, suhu muncung, atau jumlah resin.

4.0 Analisis Data dan Keputusan

Dapatan kajian yang bertujuan mengoptimumkan proses acuan suntikan manual bagi menghasilkan produk yang konsisten serta berkualiti tinggi menggunakan resin HDPE (*High-Density Polyethylene*). Data daripada eksperimen dirumus dan dianalisis dalam jadual-jadual berikut.

Perincian ujian yang dijalankan



Rajah 2 : Mesin Pengacuanan Suntikan Manual

Kajian ini menguji empat kombinasi parameter berbeza bagi menentukan tetapan terbaik untuk mengoptimumkan proses acuan suntikan manual. Parameter yang dikaji meliputi suhu tong, suhu muncung dan masa penyejukan. Tujuan utama ialah memahami kesan setiap parameter terhadap kualiti produk, khususnya dari segi berat dan konsistensi.

Jadual 2 : Keputusan eksperimen untuk mengoptimumkan parameter pengacuan suntikan manual

PROCESS PARAMETER	Barrel Temperature (°C)	Nozzle Temperature (°C)	Cooling Time(s)	Product Weight(g)	Resin Volume (cm ³)
LEVEL 1	150	160	50	14.60	15.37
LEVEL 2	150	260	60	6.69	7.03
LEVEL 3	250	160	60	12.38	13.03
LEVEL 4	250	260	50	17.05	17.95

Keputusan daripada eksperimen menunjukkan bagaimana setiap parameter memberi kesan terhadap berat produk. Berat produk tertinggi diperoleh dalam Uji Kaji 4, yang menggunakan suhu tong dan suhu

muncung paling tinggi, serta masa penyejukan paling singkat. Jadual ini menunjukkan berat produk dan isipadu resin bagi setiap uji kaji. Uji Kaji 4 mencatatkan berat dan isipadu resin tertinggi, menunjukkan bahawa gabungan suhu tong dan suhu muncung yang lebih tinggi bersama masa penyejukan yang lebih singkat memberikan keputusan terbaik.

5.0 Hasil dan Perbincangan

Analisis data memainkan peranan penting dalam hampir semua jenis penyelidikan, sama ada berskala kecil atau besar. Kepentingannya terbukti melalui kesan yang dihasilkannya selepas proses penyelidikan dijalankan. Selain itu, ia turut membantu dalam pengurusan perbincangan, penulisan kesimpulan serta pemahaman terhadap tujuan utama sesuatu penyelidikan. Tambahan pula, untuk memastikan ketepatan data lebih hampir kepada pemahaman kebanyakan pihak, analisis data membolehkan penyelidik memahami data yang diperoleh dengan lebih mudah melalui pendekatan yang paling ringkas dan berkesan. Jadual 3 menunjukkan kaedah analisa data yang dijalankan.

Jadual 3 : Kaedah Analisa Data

No	Kriteria Perbandingan	Sebelum Projek	Selepas Projek
1	Kualiti Produk	Kadar kecacatan lebih tinggi	Kadar kecacatan berkurang
2	Kecekapan Proses	Masa kitaran lebih panjang disebabkan tetapan parameter yang tidak efisien	Masa kitaran berkurang melalui pengoptimuman parameter
3	Penggunaan Bahan	Pembaziran bahan lebih tinggi akibat pengisian tidak sempurna atau limpahan	Penggunaan bahan bertambah baik dengan pembaziran minimum
4	Keberkesanan Kos	Kos operasi lebih tinggi akibat kecacatan, pembaziran dan ketidakcekapan	Kos operasi berkurang melalui peningkatan kecekapan

6.0 Kesimpulan

Pendekatan kajian yang dirancang secara sistematik dan berpandukan rangka kerja konseptual membolehkan penyesuaian parameter kritikal dilakukan dengan lebih tepat, menghasilkan prestasi proses yang lebih baik. Namun begitu, kajian ini tidak mencapai sepenuhnya objektif yang ditetapkan kerana beberapa kekangan, khususnya masalah berkaitan kestabilan dan prestasi mesin. Bagi memastikan penambahbaikan pada masa hadapan, penaiktarafan peralatan serta penambahbaikan dalam prosedur operasi perlu diberi keutamaan. Secara keseluruhan, kajian ini memberikan sumbangan penting dalam meningkatkan pemahaman mengenai proses pengacuan suntikan manual dan menyediakan asas kukuh untuk pembangunan selanjutnya dalam bidang ini.

Rujukan

- Ashok Chowk, S. M. (2020), Automation Of Manual Plastic Injection Moulding Machine. *International Journal of Innovations in Engineering, Research and Technology*, 5.
- Faleq Fitri Ashaari, Sri Yulis M. Amin (2022), Optimization of thermoplastic material for plastic injection molding process by using Taguchi method, *Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering*, Vol. 3 No. 1 (2022): RPMME
- Hongbo Fu, H. X. (2020). Overview of Injection Molding Technology for Processing Polymers and Their Composites. www.espublisher.com, 21.
- M Z Mahadzir, S N Ab Rahim, N A F Nik Abdullah, M A Lajis (2019), Effect of Extrusion Ratio of Recycling Aluminium AA6061 Chips by the Hot Extrusion Process, *International Journal of Advanced Research in Engineering Innovation*
- M. A. Lajis, S.N. Ab Rahim (2017), Mechanical Properties and Surface Integrity of Recycling Aluminum 6061 by Hot Extrusion Process, *Materials Science Forum* (Volume 894), <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.894.21>
- Nehemiah Mengistu, S. K. (2019). Design and Development of Hand Operated . *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)* , 11.
- Neza Nurulhuda Nekmat, Syaiful Nizam Ab Rahim, Azunaidi Abdul Aziz (2025), Innovative Semi-Automated Kuih Kapit Production: Leveraging Infrared Heating for Consistent Quality and Sustainability, *Journal of Advanced Research in Technology and Innovation Management*.
- Rasidi, N. . (2020). Pembangunan Mesin Acuan Suntikan Menegak Bagi Bahan Lilin. *Journal on Technical and Vocational Education*, 1-13.
- Riduwan Bin Zakaria, Mohd Hairol Mizzam Bin Haris, Syaiful Nizam Bin Ab Rahim (2024), Mereka Bentuk Sistem Kawalan untuk Mesin Eco Cutter, *Journal on Technical and Vocational Education*, Volume 9, Issue 3, Pages 74-82
- S N Ab Rahim (2018), Effect of Hot Extrusion Parameters of AA6061 Recycle Aluminium Chips, *iCompEx18 Pembentangan Kertas Penyelidikan Akademik*, Publication 2018/2/28
- SN Ab Rahim, MZ Mahadzir, MA Lajis (2020), Fracture Mode Effect Using Finite Element Analysis On Recycling Aluminium Chips, *International Journal of Engineering Advanced Research* 1 (1), 14-21