

## Pemilihan Parameter Utama Pengacuan Suntikan dalam Pemrosesan Polimer: Ulasan Ilmiah

(Selection of Injection Moulding Main Parameters in Polymer Processing: A Review)

Norjamalullail Tamri<sup>a</sup>, Rozli Zulkifli<sup>a</sup>, Che Husna Azhari<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,  
Universiti Kebangsaan Malaysia

\*Corresponding author; email: n.jamalullail@gmail.com, rozlizulkifli@ukm.edu.my

Received 13 November 2018, Received in revised form 27 October 2019

Accepted 18 December 2019, Available online 28 February 2020

### ABSTRACT

*An injection system is a heart of an Injection Moulding process and it includes a variety of factors that need to be coordinated and adjusted. This control system covers parameter that are classified as four main parameters: pressure, temperature, time, and distance. Injection Pressure is the pressure needed to move melted polymer material into the mould. Holding Pressure is the phase which come after the injection pressure stage. Barrel Temperature which can be divided into four operated temperature zones in the injection unit consisted of the rear zone, the middle zone, the front zone, and the nozzle zone. Mould Temperature is typically used for cooling the polymer material once it is injected into a mould that has a cooling water channel. A total of 40 research papers have been studied and summarized based on their related parameters that has been used in the analysis. Most researchers includes the Taguchi method in their research methodology. From the analysis, there are four frequently used parameters which are Barrel Temperature, Mould Temperature, Injection Pressure and Holding Pressure in order to produce a product, to improve product with better quality or products with maximum strength. This paper is a review of all the main processing parameters that are involves in plastic injection molding process.*

*Keywords: Injection moulding; processing parameter; injection pressure; Taguchi method*

### ABSTRAK

*Sistem suntikan menjadi nadi utama di dalam proses Pengacuan Suntikan, di mana ia merangkumi pelbagai faktor yang perlu dikawal dan diselaraskan. Sistem kawalan ini merangkumi parameter yang dikategorikan sebagai empat parameter utama: tekanan, suhu, masa, dan jarak. Tekanan Suntikan adalah tekanan yang diperlukan untuk menggerakkan bahan leburan polimer ke dalam acuan. Tekanan Pegangan adalah fasa selepas fasa tekanan suntikan. Suhu Barel mengandungi empat zon suhu pada unit suntikan yang terdiri daripada zon belakang, zon tengah, zon depan, dan zon muncung. Suhu Acuan biasanya digunakan ketika proses penyejukan bahan plastik selepas ia disuntik ke dalam acuan yang mempunyai saluran air penyejuk. Sejumlah 40 kertas penyelidikan telah dikaji dan diringkaskan berdasarkan kepada parameter yang digunakan di dalam penganalisaan. Kebanyakan penyelidik mengamalkan kaedah Taguchi dalam kaedah penyelidikan mereka. Dari analisa, terdapat empat parameter yang kerap digunakan iaitu Suhu Barel, Suhu Acuan, Tekanan Suntikan dan Tekanan Pegangan dalam usaha untuk menghasilkan produk, menambahkan produk agar lebih berkualiti atau menaikkan kadar kekuatan maksimum produk. Kertas kerja ini adalah ulasan ilmiah semua parameter utama yang terlibat dalam proses pengacuan suntikan tersebut.*

*Kata kunci: Pengacuan suntikan; parameter pemrosesan; tekanan suntikan; Kaedah Taguchi*

### PENGENALAN

Proses pembuatan plastik secara asasnya adalah memasukkan bahan plastik lebur ke dalam acuan dan setelah plastik menjadi beku, produk plastik dikeluarkan. Tetapi proses memasukkan plastik lebur ke dalam acuan memerlukan satu tekanan yang tinggi kerana kelikatan plastik serta ruang kecil di muncung acuan (dipanggil *sprue bush*) (Rizwan Mohd Khan et al. 2016). Apabila tekanan plastik yang tinggi

dikenakan di muncung acuan maka mengikut hukum fizik satu tekanan untuk menahan juga diperlukan, tekanan ini biasa dikenali sebagai tekanan himpitan (clamping force).

Proses pembuatan plastik mempunyai kepelbagaian sistem atau kaedah, ini mengikut kepada kesesuaian produk, jumlah yang diperlukan tetapi yang paling utama adalah jumlah harga yang mampu dibayar untuk proses tersebut. Proses Pengacuan Suntikan (Injection Moulding), Pengacuan Tiupan (Blow Moulding), Pengacuan

Penyemperitan (Extrusion Moulding), Pengacuan Pusingan (Rotor Moulding) serta Pengacuan Tekanan (Compression Moulding) adalah beberapa jenis proses pembuatan plastik yang lazim digunakan. Tetapi di dalam setiap jenis proses yang utama tadi, terdapat beberapa perbezaan proses yang lain dari kebiasaan seperti Pengacuan Suntikan mempunyai sistem Pengacuan Suntikan bercampur gas, Pengacuan Suntikan pelbagai warna, Pengacuan Suntikan Label Dalam (“In Labeling”) (Shia-Chung Chen et al. 2010) dan sebagainya. Di dalam dunia yang bertambah maju, sistem pemrosesan plastik menjadi lebih berkembang dengan pesat (Hiromasa Uezono et al. 2016). Pada masa dahulu, beberapa acuan digunakan untuk mendapatkan satu produk dengan pelbagai warna tetapi sekarang, dengan menggunakan kaedah Pengacuan Suntikan tiga barel, maka satu acuan boleh menghasilkan satu produk yang mengandungi tiga warna secara serentak atau dengan sekali suntikan sahaja.

Di dalam sistem Kawalan Utama Mesin Pengacuan Suntikan (rujuk Rajah 1), terdapat tiga faktor utama yang perlu dikawal seperti Sistem Tekanan Pengapitan (Clamping Force System), Sistem Penyuntikan (Injection System) dan Sistem Kawalan Mesin (Machine Control System). Sistem Tekanan Pengapitan berfungsi sebagai pergerakan acuan yang diikat pada mesin platen yang disokong oleh mesin *tie bar*. Pergerakan acuan disokong oleh sistem hidraulik yang besar atau sistem hidraulik kecil yang menggunakan kaedah mekanikal toggle (Udit Mamodiya et al. 2014). Sistem ini juga berperanan sebagai penahan acuan dari terbuka ketika proses penyuntikan bahan leburan dilakukan. Akhirnya sistem ini juga akan membantu membuka serta mengeluarkan produk yang telah siap menjadi pepejal.

Pada asalnya kawalan analog (analog controller) dan sistem gegantai (relay system) digunakan dalam proses pengawalan mesin, kerana komputer pada masa itu masih asing (kurang dikenali) oleh manusia, kalau adapun ianya terlalu mahal dan amat perlahan operasinya malahan kosnya lebih mahal berbanding kos proses itu sendiri terutamanya untuk mengawal sistem pergerakan mesin suntikan. Sekitar tahun 1960, sistem digital mula menggantikan kawalan

analog di dalam menguruskan operasi pengawalan. Seterusnya pada tahun 1970an timbul pula Pengawal logik boleh atur cara (Programmable Logic Control) berasaskan kawalan secara tersendiri (discrete) yang menjadi sistem pilihan menggantikan Kawalan Tebing Gegantai ‘(Relay Bank Control) (Muthamizhselvi et al. 2013). Akhirnya, komputer yang lebih maju teknologinya wujud pada era tahun 1960 hingga 1970an yang mana komputer digital yang bersumberkan peranti mikroprosesor digunakan di dalam pengoperasian mesin suntikan.

Dari penggunaan injap kawalan pada zaman dahulu, kemudian dipertingkatkan dengan penyelarasan secara analog seterusnya sekarang mesin menggunakan kaedah kawalan digital, tetapi masih terdapat lagi penyelarasan parameter untuk proses penyuntikan dilakukan secara manual. Sistem penyuntikan yang menjadi nadi di dalam sesuatu proses pengacuan suntikan mengandungi kepelbagaian faktor yang perlu dikawal dan diselaraskan.

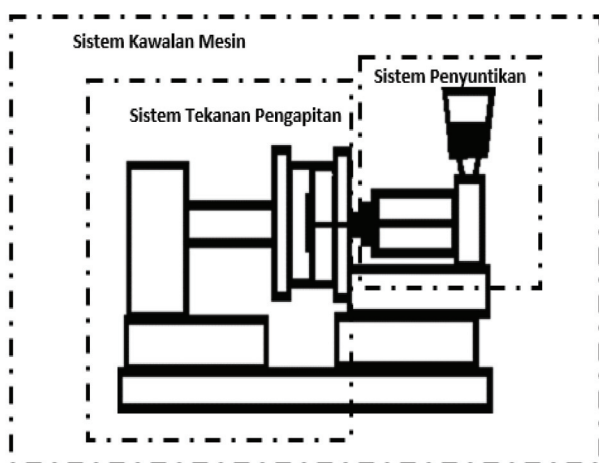
#### TEKANAN SUNTIKAN

Pengawalan tekanan diperlukan terutama untuk menggerakkan bahan leburan ke dalam acuan. Bahagian pertama proses penyuntikan plastik adalah di mana majoriti bahan leburan disuntik melalui get (gate) ke rongga acuan. Realitinya ini akan menjadi satu-satunya langkah dimana bahan akan disuntik, dan seterusnya memenuhi ruang kosong di dalam acuan. Secara teori fizik, setiap bahan leburan akan membeku mengikut komposisi bahan dan suhu yang terlibat apabila bahan itu disuntik. Tekanan suntikan perlu ditingkatkan untuk mengelakkan bahan membeku sebelum keseluruhan rongga acuan dipenuhi (Tan et al. 2001). Kadang kala terdapat bahan yang tidak padat disebabkan bahan membeku sebelum ia sempat memenuhi rongga acuan.

Tekanan yang dijanakan dari motor di bahagian belakang barel akan menolak bahan leburan ke hadapan yang seterusnya memasuki acuan melalui muncung acuan, tekanan ini dipanggil tekanan suntikan (Injection Pressure). Bekalan tenaga untuk tekanan biasa dijanakan melalui sistem hidraulik atau elektrik (Mao-Hsiung Chiang et al. 2009). Tekanan ini akan memaksa bahan leburan ke dalam acuan, kadar sesuatu tekanan diselaraskan mengikut kesesuaian bentuk produk serta rekabentuk acuan dan ia juga melibatkan jenis bahan yang digunakan. Kedudukan *gate* dan *runner* juga boleh mempengaruhi jumlah tekanan yang diperlukan. Rajah 2 menunjukkan perbezaan kadar aliran bahan leburan.

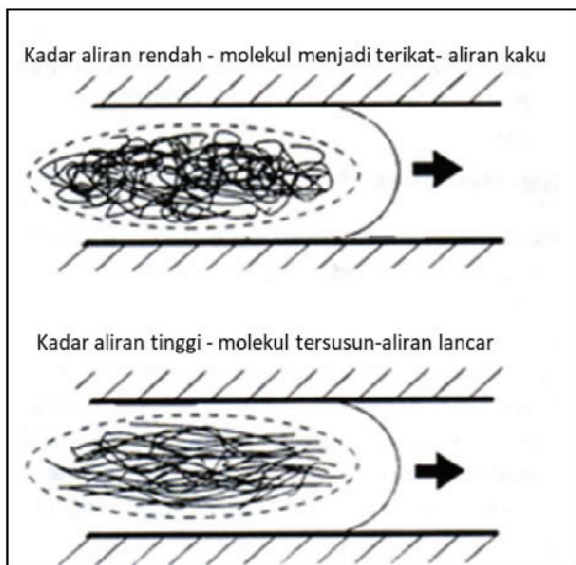
Bahan perlu mengalir dengan cepat dan seragam di sepanjang jejak aliran ke dalam acuan. Ini akan mengurangkan masalah seperti kesan tidak lengkap (short-shot), kesan garisan (weld lines), kesan aliran (flow marks) ataupun produk yang mengalami ketegangan (moulded in stress). Apa yang sebenarnya berlaku apabila bahan leburan mengalir masuk ke dalam acuan boleh adalah seperti:-

1. Bahan leburan melepasi *gate* yang sempit. Ini menyebabkan penambahan suhu leburan dan suhu



RAJAH 1. Kawalan utama mesin pengacuan suntikan

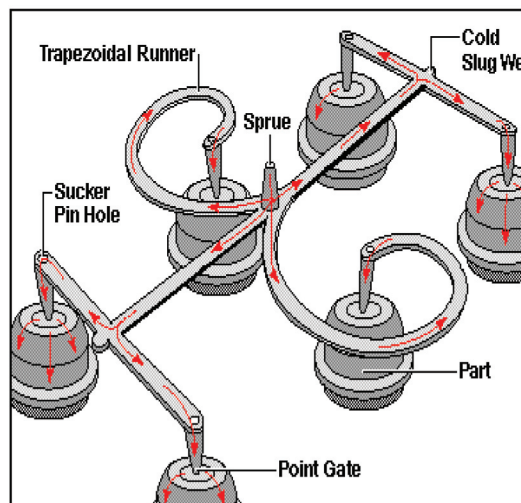
- padanya. Pertambahan suhu ini adalah berkadar terus dengan kelajuan bahan leburan.
2. Bahan Termoplastik mengalir dalam keadaan di mana bentuk molekulnya panjang dan nipis. Pada kadar aliran rendah (Tekanan suntikan rendah) molekul-molekul di dalam bahan leburan cenderung untuk mengalir dalam keadaan rawak (struktur amorfus). Maka bahan mempunyai kelikatan yang tinggi dan sukar untuk mengalir.
  3. Apabila kadar aliran bertambah (Tekanan suntikan tinggi), bahan leburan akan menjadi lebih cair atau kadar kelikatannya berkurangan, tetapi perubahan ini tidak melibatkan perubahan suhu. Apa yang berlaku ialah molekul menjadi lebih tersusun apabila kadar aliran meningkat. Pergerakan ini menyebabkan rantai-rantai molekul yang panjang tersusun dan selari antara satu dengan lain sepanjang aliran. Untuk kebanyakan jenis polimer, ini akan menyebabkan peningkatan dalam aliran. Keadaan ini membolehkan komponen yang berinding nipis membentuk produk mengikut acuan dengan mudah.
  4. Bagi komponen yang mempunyai ketebalan kurang dari 2 mm, tekanan suntikan yang rendah hendaklah dielakkan, ia boleh menyebabkan kesukaran bagi leburan untuk memenuhi kaviti serta ia akan menghasilkan bahagian yang boleh menjadi herot (distort) semasa proses suntikan dimana bahan leburan dipaksa masuk.



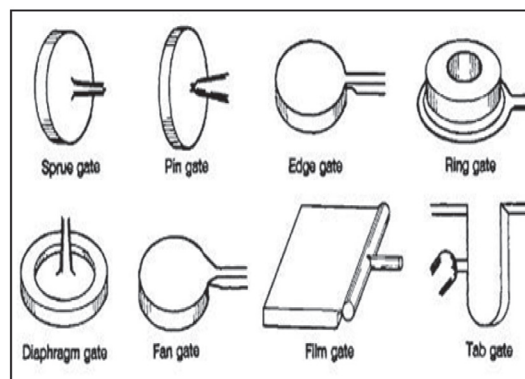
RAJAH 2. Perbezaan kadar aliran bahan leburan

*Gate* dan *runner* adalah ruang atau longkang yang mengalirkan bahan leburan ke dalam bentuk produk. Kepelbagaian *gate* direka mengikut kesesuaian sesuatu produk seperti di dalam Rajah 3 dan 4.

Pada mesin Pengacuan Suntikan, tekanan yang dikenakan oleh skru pada bahan cair di bahagian hujung hanya boleh didapati secara tidak langsung. Tekanan hidrolik dalam silinder suntikan boleh diukur dengan mudah oleh sensor



RAJAH 3. Contoh *gate* untuk perjalanan bahan ke produk



RAJAH 4. Contoh jenis-jenis *gate* untuk produk plastik

tekanan dan, jika perlu, direkodkan. Hubungan antara tekanan hidrolik dan tekanan suntikan (tekanan suntikan tertentu) bergantung kepada kawasan mengikut nisbah yang ditetapkan (Tan et al. 2001).

TEKANAN PEGANGAN

Sebagaimana yang telah diterangkan sebelum ini, fasa suntikan (injection) akan disusuli dengan fasa Tekanan Pegangan (Holding Pressure). Dalam fasa suntikan, lebih 90% bahan leburan dimasukkan menggunakan tekanan dan kelajuan (speed) yang tinggi. Apabila kaviti acuan hampir penuh (lebih kurang 90-95%), tekanan dan kelajuan yang rendah berbanding dengan tekanan yang awal digunakan, proses ini dikenali sebagai fasa Tekanan Pegangan.

Pengendali mesin perlu menentukan tempoh tukaran (change-over / switch-over) dari fasa suntikan (first stage) kepada fasa pegangan (second stage) pada tempat yang betul dan tepat. Tempoh penukaran ini boleh dicapai samada menggunakan kaedah masa suntikan, kedudukan barrel (barrel position switch) ataupun kaedah alat tentukur tekanan (pressure sensor) dalaman acuan. Selepas kaedah tersebut dipilih dan diselaraskan, semua operasi akan dikawal oleh mesin dengan sendiri.

Kedudukan tempoh tukaran fasa ini penting kerana:

1. Jika tempoh tukaran dilakukan terlalu lewat, terlalu banyak bahan yang dimasukkan, maka akan berlaku lebihan (flash) atau mungkin juga produk menjadi terlalu padat (overpack).
2. Jika tempoh tukaran dilakukan terlalu awal, jumlah bahan yang dimasukkan tidak mencukupi maka akan berlaku produk yang tidak lengkap (short-shot).

Tekanan pegangan adalah tekanan rendah peringkat kedua selepas tekanan suntikan. Unit yang digunakan adalah dalam kN/cm<sup>2</sup> atau bar. Fungsi tekanan pegangan adalah untuk memasukkan bahan (antara 5% hingga 10%) bagi memadamkan kaviti acuan selepas fasa suntikan. Ia juga menampung kekurangan isipadu bahan di dalam kaviti acuan yang terjadi disebabkan oleh kesan kecutan (shrinkage). Tekanan pegangan juga bertindak untuk menahan leburan yang masih cair di dalam acuan daripada terkeluar semula melalui muncung acuan (sprue). Akhir sekali ia boleh memanipulasi agar kadar kecutan dikurangkan serta untuk memastikan dimensi (ukuran) produk dapat diperolehi mengikut ukuran yang dikehendaki.

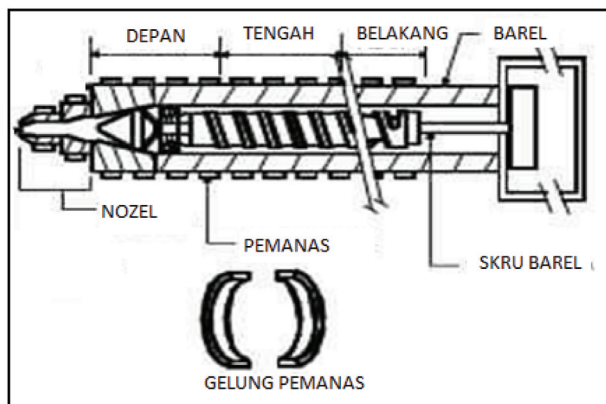
Parameter seterusnya adalah penyelarasan suhu haba pada barel suntikan. Haba digunakan untuk meleburkan plastik ke tahap ia boleh disuntik.

#### SUHU SUNTIKAN

Terdapat empat zon suhu yang dikawal dalam unit suntikan iaitu zon belakang, zon tengah, zon depan, dan zon muncung. Rajah 5 Menunjukkan setiap zon dikawal secara berasingan.

Unit suntikan direka bentuk agar bahan plastik melalui keempat-empat zon dan memanaskannya secara beransur-ansur kerana ia bergerak melalui silinder pemanasan. Kadar suhu harus lebih rendah di zon belakang daripada di depan, dan zon nozzle harus sama atau hampir sama dengan zon depan. Tetapi kadar suhu ini diselarasikan mengikut jenis bahan dan bentuk produk yang dijalankan.

Haba di dalam barel boleh meleburkan bahan plastik (resin) serta setiap penguubahsuaian parameter boleh menyebabkan kualiti serta rekebentuk produk menjadi

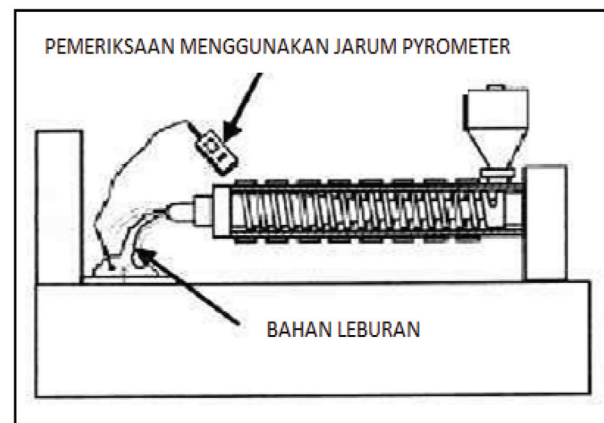


RAJAH 5. Lakaran pemanas untuk barel mesin Plastik

bertambah baik. Gelung pemanas (heater band) yang dipasang di bahagian luar barel menghasilkan haba melalui dinding barel ke dalam barel yang berisi leburan bahan. Gelung pemanas menggunakan elektrik atau gas sebagai bahan tenaga untuk menghasilkan haba. Haba juga dihasilkan dari kesan geseran barel dan bahan serta kesan geseran skru dan bahan. Jadi kesan dari haba-haba ini akan mengakibatkan kualiti dan reka bentuk menjadi bertambah baik atau sebaliknya.

Unit kawalan suhu tidak mengukur suhu sebenar plastik yang dipanaskan, tetapi ia mengukur suhu barel pemanasan (Charpe et al. 2015). Ia penting kerana kadar suhu pada barel mestilah lebih tinggi daripada suhu lebur sebenar bahan plastik yang digunakan. Ini juga menjadi teramat penting kerana bahan leburan plastik bergerak melalui barel pada kadar yang agak pantas dan mesti menyerap haba yang cukup semasa perjalanannya untuk sampai ke dalam acuan plastik.

Bahan plastik mestilah berada di dalam acuan mengikut suhu yang bersesuaian selepas ia disuntik melalui muncung mesin suntikan. Kadar suhu bahan leburan boleh dikenalpasti dengan melakukan suntikan ke udara (tanpa meletakkan nozel di sprue acuan) serta membiarkan bahan disuntik di atas platform mesin, dengan segera memeriksa suhu dengan memasukan prob *Pyrometer* ke dalam bahan leburan yang panas, sila rujuk Rajah 6.



RAJAH 6. Kaedah Pemeriksaan Suhu Bahan Leburan

#### SUHU ACUAN

Kaedah yang paling umum digunakan untuk menyejukkan bahan plastik adalah sebaik sahaja ia disuntik ke dalam acuan yang mempunyai saluran air penyejukan. Saluran air ini disambungkan kepada sumber air terkawal, dimana suhu yang beredar melalui acuan disejukan sebelum dimasukkan kembali ke dalam acuan dari masa ke masa.

Kebanyakan pengilang menggunakan air penyejukan menggunakan kaedah Menara Penyejukan (Cooling Tower), dimana air yang keluar dari mesin atau acuan dimasukkan ke dalam Menara penyejukan ini, kemudian air diseratakan secara rawak dan disejukan menggunakan kaedah edaran angin secara terbuka. Air yang masuk dan keluar sepatutnya

hampir sama dimana air dapat menyejukkan acuan tersebut. Jika air yang keluar lebih panas dari air yang masuk, ia menandakan jumlah haba yang panas masih lagi tertinggal di dalam acuan.

Suhu acuan mestilah mengikut tahap penyejukan bahan yang digunakan. Jika suhu acuan terlalu sejuk, bahan leburan akan membeku dengan terlalu cepat, ini tidak memberi peluang kepada molekul di dalam bahan kristal (atau semi-kristal) terikat dengan kuat (bonding). Ia akan menghasilkan produk yang tidak setara, dimana terdapat sebahagian yang kuat dan sebahagian bahagian yang lemah atau rapuh (Postawa et al. 2015).

Suhu acuan menjadi satu parameter yang kritikal disebabkan suhu akan menentukan kualiti sesuatu produk (Meister et al. 2013). Suhu acuan juga akan menentukan kadar masa penyejukan produk, jika acuan panas, maka kadar masa penyejukan akan bertambah panjang. Kadar hayat sesebuah acuan juga bergantung kepada suhu acuan kerana jika acuan dioperasikan semasa ia panas, banyak komponen dalaman acuan akan menjadi cepat rosak.

#### KAJIAN TERHADAP PENGAWALAN PARAMETER

Satu kajian ilmiah dilakukan berdasarkan kepada beberapa jurnal yang terlibat dan mempunyai kaedah pemrosesan plastik polimer yang berlainan. Analisa berdasarkan parameter-parameter yang dikawal semasa ujikaji sebenar ataupun ketika menggunakan kaedah simulasi.

Pelbagai kajian terhadap kertas penyelidikan yang berbeza disusun secara sistematik seperti yang ditunjukkan Jadual 2. Ia menunjukkan maklumat untuk setiap kertas penyelidikan yang berlainan (kajian kes); Tajuk kertas penyelidikan, maklumat mengenai penerbitan (jurnal dan lain-lain) dengan tahun penerbitan kajian tersebut. Nama penulis dan butir-butir kajian kes dalam proses berkaitan dengan proses pembuatan plastik juga disertakan.

Di dalam usaha untuk menerapkan corak fikiran yang positif dengan mengurangkan pembaziran dan menambahkan pengeluaran berlandaskan prinsip Lean, dimana pembaziran dihapuskan maka, kajian ini dijalankan adalah ini adalah untuk menentukan atau mengesahkan apakah parameter yang lazim digunakan ketika sesuatu proses pembuatan atau pembentukan barangan plastik. Setiap kajian yang mempunyai tujuan tertentu akan menggunakan beberapa parameter yang berlainan di dalam usaha untuk menghasilkan produk atau barangan yang bermutu atau barangan yang mempunyai kekuatan yang maksimum. Kajian tidak tertumpu melalui kaedah simulasi tetapi juga kajian secara praktikal (menggunakan mesin, acuan dan bahan sebenar) ataupun ia menggunakan kedua-dua kaedah sekaligus, rujuk Jadual 2 Kolum B. Kajian juga berdasarkan kearah kepelbagaian kajian termasuk dari segi proses, bahan dan produk.

Sebanyak 40 kertas kajian ilmiah telah dikaji dan diringkaskan didalam usaha mencari satu kata putus berkaitan apakah parameter yang harus digunakan ketika membuat

sesuatu produk atau barangan plastik. Semua kajian kes yang dipilih dalam karya ini adalah dari penerbitan terbukti untuk menunjukkan penyelidikan sebenar dan memberi maklumat terhadap parameter yang digunakan. Antara skop kajian ilmiah yang digunakan adalah: -

1. Tinjauan Kertas Penyelidikan / kajian kes dan penerbitan dengan nama pengarang.
2. Metodologi serta peralatan yang digunakan
3. Alat dan Teknik yang digunakan
4. Hasil kajian yang diperolehi.
5. Parameter yang digunakan ketika kajian

Ini semua kajian kes kemudian dibandingkan dari perspektif yang berbeza dan dibentangkan di dalam kertas kajian ini.

#### KAEDAH PENYELIDIKAN

Dari 40 kertas ilmiah yang dikaji, kebanyakan penyelidik menggunakan kaedah Taguchi didalam asas penulisan mereka, rujuk Lampiran 1 kolum C. Kaedah Taguchi adalah kaedah statistik, atau dipanggil kaedah reka bentuk yang mantap, dibangunkan oleh Genichi Taguchi (Athreya et al. 2012) untuk meningkatkan kualiti barangan perkilangan, dan lazim digunakan untuk penyelidikan kejuruteraan, bioteknologi, pemasaran dan pengiklanan. Dengan menggunakan Kaedah Taguchi, kepentingan bentuk parameter yang dapat meningkatkan keupayaan dan mutu produk dapat diketahui. Mengikut keadah Taguchi ini juga terdapat beberapa penulis menggunakan kaedah tambahan bagi menentukan parameter-parameter yang betul-betul boleh digunakan secara optimum. Antara kaedah yang digunakan adalah kaedah analisis aliran acuan. Secara terperinci, kaedah dan cara penyelidikan disenaraikan seperti berikut: -

Analisis aliran acuan (Mould Flow), (Nuruzzaman et al. 2016) adalah proses mensimulasikan kitaran acuan suntikan dengan plastik tertentu dan menganalisis hasilnya. Analisa aliran acuan sepatutnya berlaku sebelum proses pengacuan suntikan dimulakan, melalui penggunaan perisian khusus yang mensimulasikan reka bentuk bahagian yang akan dihasilkan. Perisian ini melakarkan satu peta berwarna dari sifat-sifat yang berbeza mengikut dari maklumat bahan serta mesin yang digunakan dan juga bentuk produk yang akan dihasilkan berdasarkan pada lukisan produk tersebut. Tanpa lukisan produk, perisian ini tidak boleh dijayakan. Secara umumnya, ia amat membantu di dalam menentukan hasil rekabentuk produk, bahan (kadang kala tambahan pemangkin (additive) juga boleh disyorkan) dan ia juga boleh memberi maklumat awalan berkaitan dengan ketentuan parameter yang boleh menyumbang di dalam penghasilan produk yang bermutu.

Terdapat juga beberapa proses yang digunakan seperti proses suntikan acuan secara amali, kaedah plat panas (hot plate), kaedah surface response, kaedah pengadunan bahan melalui proses pengadunan (compounding) kemudian bahan disuntik melalui kaedah suntikan acuan dan ada juga

pengakaji yang menggunakan “*dumb belt*” sebagai produk sebelum ia diuji ketahanannya dari segi kekuatan tegangan (tensile strength).

Terdapat kepelbagaian bahan mentah yang digunakan oleh pihak pengalisa, rujuk jadual 2 kolom D seperti Kopolimer Olefin (*Olefin Copolymer*)(COC), Polistirena Pelbagaiguna (*General Purpose Polystyrene*) (GPPS), Polistirena (*Polystyrene*) (PS), Polivinil klorida (*Polyvinyl Chloride*)(PVC), Akrilonitril Butadiena Stirena (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) (ABS), Polipropilena (*Polypropylene*) (PP), Polipropilena Berketumpatan Tinggi (*High-Density Polyethylene*) (HDPE), Logam Kaca Pukal (*Bulk Metallic Glass*), Polioksimetilena (*Polyoxymethylene*) (POM), Polikarbonat + Akrilonitril Butadiena Stirena (*Polycarbonate + Acrylonitrile Butadiene Styrene*)(PC+ABS), Poliamide/ Nilon (*Polyamide/Nylon*), Polimetil Metakrilat (*Polymethyl*

*Methacrylate*) (PMMA), PP + Gentian (*Fibre*), Polipropilena Berketumpatan Rendah (*Low-Density Polyethylene*) (LPDE), HDPE + Gentian (*Fibre*), Polietilena Tereftalat (*Polyethylene Terephthalate*) (PET), Serbuk Zirkonia (*Zirconia Powder*), Akrilonitril Stirena (*Acrylonitrile Styrene*) + Gentian Kaca (*Glass Fibre*) (AS + GF), Getah (*Rubber*). Hampir keseluruhan bahan plastik digunakan mengikut kepelbagaian proses dan sasaran sesebuah kajian penyelidikan.

Walaupun terhadap beberapa proses dan pelbagai bahan mentah yang digunakan, tetapi pada setiap proses, ia mempunyai parameter yang harus diselaraskan, dikawal dalam tempoh masa yang tertentu untuk menghasilkan produk yang bermutu atau produk yang menghasilkan kekuatan yang disasarkan. Untuk setiap kajian, beberapa parameter digunakan oleh setiap penyelidik. Di dalam Jadual 1 disenaraikan apakah parameter utama yang digunakan.

JADUAL 1. Keputusan analisa pemilihan parameter kawalan proses Pengacuan Suntikan

No	Rujukan	Parameter					Lain-lain	Catatan
		Suhu Barel	Tekanan Suntikan	Kelajuan Suntikan	Tekanan Pegangan	Masa Penyejukan		
1	Michael et al. 2014	✓		✓	✓			Perubahan yang ketara mengikut perubahan parameter.
2	Jan et al. 2016	✓			✓	✓	Masa Pengisian	Tiga parameter digunakan semasa kajian dijalankan (Suhu acuan, Masa Tekanan Pegangan dan Masa pengisian). Kesan dari perubahan parameter menghasilkan kesan lekuk bertambah baik.
3.	Bhirud et al. 2017	✓			✓	✓	Masa Suntikan	Kesan kecutan produk menjadi bertambah elok apabila parameter diselaraskan,
4.	Wen-Chin Chen et al. 2007	✓	✓	✓			Masa Tekanan Pegangan	Berat dan ukuran produk digunakan sebagai kriteria kualiti. Ia berubah mengikut parameter yang diselaraskan
5.	Vito Speranza et al. 2013	✓			✓		Masa Tekanan & Tekanan Kaviti	Penyelarasan parameter dilaksanakan terhadap mesin dengan menggunakan bahan Polisterena dan kesan Dalamanperubahan dikesan melalui data dari alat ukur tekanan dalaman ( <i>Cavity Pressure</i> ).
6.	Rathi et al. 2012		✓				Pergerakan acuan dan tekanan kebelakang	Kaedah Anova memberikan kesan yang ketara untuk setiap parameter yang diselaraskan. Kelajuan tutup acuan memberi kesan yang efektif terhadap masalah kesan tidak lengkap ( <i>short shot</i> )
7.	Bhupesh Narote et al. 2014	✓	✓		✓			Kualiti produk dihasilkan disebabkan oleh proses parameter yang diselaraskan. Parameter perlu diselaraskan mengikut keperluan kualiti sesuatu produk.
8.	Wei Guo et al. 2012	✓			✓		Masa Suntikan	Penyelarasam dibuat dan dilaksanakan untuk memperbaiki mutu produk tanpa melihat kepada keadaan fizikal di mesin, ia berdasarkan hanya kepada kiraan DOE sahaja.
9.	Riduwan Bin Zakaria et al. 2012	✓	✓			✓		Menggunakan <i>Moldflow Simulation Advisor</i> untuk melihat proses Pengacuan Suntikan secara simulasi. Parameter optimum diambil dari analisa yang dijalankan seperti suhu leburan, masa penyejukan, tekanan suntikan dan suhu acuan di dalam usaha mengurangkan kesan lengkungan ( <i>warpage</i> ).
10.	Harshal et al. 2017	✓	✓		✓			Kaedah Taguchi dan ANOVA digunakan untuk mendapatkan kesan kecutan ( <i>shrinkage</i> ) terhadap produk HDPE berdasarkan kepada nilai yang diberikan untuk suhu leburan, tekanan suntikan, tekanan pegangan, masa pegangan dan masa penyejukan.

Bersambung ...

JADUAL 1. (Sambungan)

11	Nan Zhang et al. 2013		✓	✓		✓			Kelajuan suntikan menjadi kesan utama terhadap kelikatan peleburan terhadap sesuatu produk, walaupun terdapat kesan yang lain seperti suhu acuan dan tekanan pegangan. Menurunkan kelikatan peleburan dan menaikkan masa pengisian adalah kesan yang utama didalam pengawalan mutu produk.
12	Surace et al. 2012	✓		✓	✓		✓	Masa Pegangan	Proses Pengacuan Suntikan Makro menjadi lebih jitu dan penting ketika proses pembuatan produk makro polymetric (micro-component).
13	Wu-Lin et al. 2013	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Masa Suntikan	Kualiti produk untuk Pengacuan Suntikan Plastik ditentukan sebahagian besar melalui proses penyetaraan parameter.
14	Pujari et al. 2015	✓	✓		✓	✓		Masa Pegangan	Kadar perubahan kesan lekuk (sink mark) adalah bergantung kepada tekanan pegangan, suhu peleburan, masa penyejukan, dan tekanan suntikan. Tekanan pegangan adalah faktor yang utama.
15	Himanshu Arora et al. 2015	✓	✓						Parameter yang terlibat seperti suhu barrel, tekanan suntikan dan masa penyejukan dilakukan untuk menilai kesan terhadap Tutup Botol yang menggunakan bahan PP. Suhu leburan didapati boleh mengurangkan berat bahan yang digunakan semasa proses pengeluaran.
16	Pujari (A) et al. 2015	✓	✓		✓	✓			Mengikuti turutan kesan penyetaraan parameter semasa proses pengacuan suntikan untuk mengurangkan kecacatan sesuatu produk; yang pertama adalah suhu leburan; tekanan pegangan; tekanan suntikan dan masa penyejukan. Suhu leburan adalah kesan yang paling utama sekali.
17	Humbe et al. 2014	✓	✓		✓	✓			Begitu juga dengan penambahan tekanan pegangan, ia juga akan meningkatkan masa kitaran dan kekuatan tegangan ( <i>tensile strength</i> ) tetapi sasaran adalah meningkatkan tegangan tetapi mengurangkan masa kitaran.
18	Mohd Hilmi et al. 2014	✓		✓	✓				Dari kajian mendapati faktor kelengkungan adalah disebabkan dari kesan tekanan pegangan sebanyak 33.68%, diikuti dengan tekanan suntikan sebanyak 25.71%. Tekanan suntikan dikenalpasti sebagai kesan yang utama dari segi penambahbaikan kesan kecutan dan diikuti dengan tekanan pegangan.
19	Amran et al. 2016	✓				✓	✓	Masa Suntikan	Kaedah Taguchi mendapati bahawa kesan utama terhadap parameter untuk berat produk adalah suhu acuan, diikuti dengan suhu leburan, masa suntikan dan masa penyejukan. Ia juga mendapati bahawa beza berat produk minima dan maksimum adalah sebanyak 0.35 % ~ 1.43 %.
20	Radhwan et al. 2015	✓			✓	✓	✓	Masa Pegangan	Kajian mendapati bahawa suhu leburan (A) mengakibatkan 96.1 % diikuti dengan suhu leburan (B) sebanyak 2.41%.
21	Velia Garcia et al. 2008	✓		✓	✓		✓	Masa Pegangan	Pengawalan proses pengacuan suntikan adalah sukar disebabkan sifat bahan didalam acuan yang dibentuk berdasarkan kepada penyetaraan parameter.
22	Jae Kyung et al. 2017	✓	✓	✓	✓				Penyetaraan parameter mempengaruhi kekuatan spesiment LFT semasa proses peningkatan kekuatannya.
23	Jithin et al. 2015	✓	✓						Dengan peningkatan part, runner dan ketebalan get serta peningkatan suhu acuan dan leburan akan menyebabkan penurunan kelikatan isipadu plastik.
24	Manjunatha et al. 2014	✓	✓					Masa Suntikan	Analisa Aliran Acuan ( <i>Mould Flow</i> ) dilakukan untuk mengkaji kaedah perjalanan bahan lebur di dalam acuan iaitu ciri pengisian ( <i>filling characteristics</i> ). Ia melibatkan perubahan dari segi parameter seperti Tekanan Suntikan, Masa Tekanan dan Suhu Barel, terdapat kesan untuk setiap perubahan parameter.
25	Taghizadeh et al. 2013	✓			✓		✓	Masa Suntikan	Keputusan menu nunjukkan bahawa tekanan pegangan dan suhu leburan adalah kesan utama manakala suhu acuan adalah kesan yang terakhir untuk pengawalan kesan lengkungan produk.

Bersambung ...

JADUAL 1. (Sambungan)

26	Ming-Shyan et al. 2009	✓			✓	✓	✓	✓	Tekanan Kebelakangan Masa Pegangan	Suhu acuan, tekanan pegangan dan kelajuan suntikan memberikan satu impak terhadap kesan kualiti untuk gear berukuran 6 mm. Suhu acuan, tekanan pegangan dan masa penyejukan pula memberi kesan kualiti terhadap gear berukuran 4 mm.
27	Mohammad Saleh et al. 2013	✓			✓			✓	Masa Pegangan	Beberapa parameter boleh diselaraskan di dalam meningkatkan proses pengacuan suntikan plastik.
28	Ibrahim et al. 2014	✓	✓	✓				✓	Masa Suntikan	Kaedah Taguchi dengan L9-34 digunakan untuk kajian ini dimana dua perbezaan formula bahan diuji didalam usaha mencari formula yang utama serta jumlah parameter yang terbaik. Kesan parameter yang utama adalah suhu leburan, kelajuan suntikan, tekanan suntikan dan masa penyejukan. Kesan yang utama adalah suhu leburan yang menyumbangkan hasil produk yang baik diikuti dengan tekanan suntikan.
29	Asha Saturday et al. 2016	✓	✓					✓	Masa Pengisian	Keupayaan Analisa rekabentuk sistem pengacuan suntikan adalah amat diperlukan di dalam menghasilkan satu sistem pengeluaran secara cepat untuk produk plastik. Ia melibatkan suhu penyejukan, suhu air, tekanan clamping, tekanan suntikan serta suhu semasa palstik menjadi leburan. Ini semua akan menjadi kesan terhadap keupayaan pengeluaran produk PET
30	Harshal et al. 2015	✓	✓		✓			✓		Kaedah Anova dan Taguchi ini digunakan untuk mengkaji kesan suhu leburan, tekanan suntikan, tekanan pegangan, masa pegangan dan masa penyejukan terhadap kadar kecutan produk yang menggunakan bahan HDPE.
31	Pham Son Minh et al. 2014	✓			✓			✓	Masa Pengisian	Menggunakan penyelarasan parameter untuk menghasilkan kecutan diproduk yang melengkung.
32	Jie Zhu et al. 2004	✓	✓	✓	✓			✓	Masa Pegangan	Faktor kawalan seperti tekanan pegangan dan suhu leburan menjadi faktor utama terhadap kekuatan tegangan. Faktor yang lain juga memberi impak tetapi tidak begitu berkesan.
33	Yu-Sen et al. 2016	✓	✓	✓				✓	Masa Pegangan	Kajian pengoptimuman proses pengacuan suntikan dan penyelarasan parameter mengikut kaedah Taguchi. Software Analisa <i>mold flow</i> digunakan semasa simulasi proses untuk meningkatkan keupayaan rekabentuk acuan.
34	Markus et al. 2013			✓	✓			✓		Proses penyediaan dan proses penyelarasan parameter untuk <i>PNC-IMC</i> membolehkan ia ditingkatkan dengan dengan 2 <i>master batch</i> . Proses pengacuan suntikan percampuran biasa menggabungkan dua proses. Iaitu proses percampuran dan proses pengacuan suntikan.
35	Shaik Mohamed et al. 2004	✓		✓					Tekanan Kebelakang Masa Pegangan	Lima faktor penyelarasan dipilih semasa sesi ujikaji dimana: tekanan ke belakang, peralihan tekanan pegangan, suhu barel, suhu <i>manifold</i> dan kelajuan pusingan skru barel.
36	Kyas et al. 2004	✓			✓			✓	Masa Pegangan	Produk terakhir dari proses pengacuan suntikan getah mestilah disediakan dengan sepenuhnya. Proses <i>crosslinking</i> ini bergantung kepada suhu, tekanan dan masa. Masa <i>vulcanization</i> boleh dipendekkan dengan melakukan penyelarasan parameter seperti suhu dan tekanan.
37	Azizah Wahia et al. 2012;	✓	✓		✓			✓	Masa Pegangan	Kadar suntikan dan suhu acuan memberi impak yang tinggi terhadap kekuatan produk dan skor kecacatan
38	Chung Yen et al. 2014			✓	✓			✓		Suhu leburan yang tinggi akan merendahkan ketepatan bentuk produk dari arah get tetapi tidak dari arah yang bertentangan.
39	Wong et al. 2004	✓	✓					✓		Dari maklumat Analisa simulasi, Moldflow memberikan maklumat yang tepat seperti masa pengisian. Tekanan suntikan dan kejatuhan nilai tekanan. Dengan menggunakan keputusan ini, pengguna boleh mengelakkan masalah kecacatan didalam proses sebenar Pengacuan Suntikan seperti kesan lekuk, hesitation,perangkap angin dan kelebihan tekanan.

Bersambung ...



JADUAL 1. (Sambungan)

40	Barkoula et al. 2009	✓	✓		✓		Merujuk kepada kajian diantara NMT yang menggunakan percampuran dan pengacuan suntikan komposit PP/FLA, boleh dikatakan bahawa panjang gantian didalam proses pengacuan suntikan berkurangan tetapi ia tidak menjejaskan kesan kekuatan tegangan.
<b>Jumlah</b>	<b>36</b>	<b>21</b>	<b>14</b>	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	
<b>Kajian %</b>	<b>90 %</b>	<b>53 %</b>	<b>35 %</b>	<b>68 %</b>	<b>50 %</b>	<b>60 %</b>	

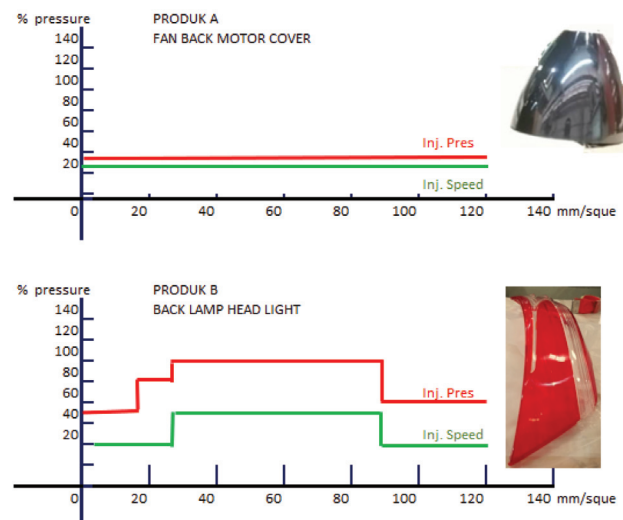
## KESIMPULAN

Dari segi pengoperasian mesin penyuntikan acuan, kita memerlukan kaedah penambaan dari segi pengawalan parameter, Ini kita namakan Kaizen, kaizen adalah proses penambahbaikan berterusan yang diamalkan oleh masyarakat Jepun Dengan mengamalkannya, productiviti dapat ditingkatkan.

Pengacuan Suntikan plastik adalah medan yang sangat penting dalam proses pembuatan. Terdapat banyak produk plastik yang dihasilkan oleh Pengacuan Suntikan. Dua perkara yang paling penting yang diperlukan dalam membentuk produk berkualiti tinggi dengan kos yang rendah adalah kawalan parameter yang tepat dan ini seterusnya akan menghasilkan satu proses yang stabil. Satu perkara yang kita kena fikirkan dari pelbagai parameter yang pelbagai iaitu Suhu Barel, Tekanan Suntikan, Kelajuan Suntikan, Tekanan Pegangan, Masa Penyejukan, Suhu Acuan, Masa Pengisian, Masa Suntikan, Masa Tekanan Pegangan, Tekanan Dalam Kavit, Tekanan Kebelakang dan lain-lain, yang manakah yang memberi kesan terhadap produk yang kita hasilkan? Dari hasil kajian mendapati terdapat empat parameter yang lazim digunakan untuk mendapatkan produk yang bermutu atau produk yang mempunyai kekuatan yang maksimum. Suhu barel seperti yang dinyatakan di dalam Jadual 1 merupakan satu parameter yang digunakan pada kebanyakan penyelidik dimana, suhu barel atau pemanas diselarasakan untuk menghasilkan produk yang diperlukan. Kawalan terhadap suhu acuan yang lazim menggunakan peralatan sokongan seperti menara penyejukan atau pengawal suhu acuan (mould temperature control) yang menggunakan minyak atau air.

Dari segi kawalan parameter, para penyelidik memfokuskan kepada Tekanan Pegangan dan Tekanan Suntikan. Jika dilihat kepada beberapa kajian, didapati bahawa keempat-empat parameter boleh mempengaruhi secara langsung berkaitan dengan kadar kekuatan sesebuah produk. Gabungan di dalam keempat-empat parameter untuk sesuatu produk adalah amat berbeza dimana ia akan dipengaruhi oleh bentuk, acuan dan bahan produk tersebut. Seperti didalam Rajah 7, tren tekanan suntikan untuk dua produk tidak sama dimana produk A menggunakan satu tekanan sahaja tetapi produk B menggunakan kepelbagaiaan tekanan mengikut jarak suntikan yang berlainan.

Dari sini, dapat disimpulkan bahawa keutamaan untuk menghasilkan produk yang bermutu, keempat-empat



RAJAH 7. Tren tekanan suntikan

parameter ini perlu dikawal kerana parameter ini memainkan peranan yang utama di dalam penghasilan mutu atau kekuatan sesuatu produk. Ini yang kita namakan skil untuk setiap pekerja penyuntikan acuan. Oleh itu, dengan mengawal suhu barel, suhu acuan, tekanan suntikan dan tekanan pegangan yang sewajarnya, ia akan meminimumkan masalah di dalam proses pembuatan produk plastik.

## RUJUKAN

- Amran, M. A. M., Idayu, N., Faizal, K. M., Sanusi, M., Izamshah, R. & Shahir, M. 2016. Part weight verification between simulation and experiment of plastic part in injection moulding process. *Materials Science and Engineering* 160(1): 1-7.
- Arora, H. & Pratap, D. 2015. Parametric effect during plastic injection moulding process on polypropylene material. *International Journal of Science, Technology & Management* 4(5): 118-121.
- Athreya, S. & Venkatesh, Y. D. 2012. Application of Taguchi method for optimization of process parameters in improving the surface roughness of lathe facing operation. *International Refereed Journal of Engineering and Science* 1(3): 3-19.
- Azis, N. H., Rahim, M. Z., Sa'ude, N., Rafai, N., Yusof, M. S., Tobi, A. L. M., Sharif, Z. M., Ibrahim, M. R. & Ismail, A. E. 2017. The influence of injection molding parameter on properties of thermally conductive plastic. *IOP*

- Conference Series: Materials Science and Engineering 2017*, 203.
- Barkoula, N. M., Garkhail, S. K. & Peijs, T. 2009. Effect of compounding and injection moulding on the mechanical properties of flax fibre polypropylene composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29(9): 1366-1385.
- Battisti, M. G. & Friesenbichler, W. 2013. Injection-Moulding compounding of PP polymer nanocomposites. *Journal of Mechanical Engineering* 59(1): 662-668.
- Bhirud, T. & Metkar, R. 2017. Experimentation and optimization of shrinkage in plastic injection moulded GPPS part. *Advances in Intelligent Systems Research* 137: 107-112.
- Charpe, K. R. & Jaju, S.B. 2015. Improving performance and life of screw in plastic injection moulding machine – A review. *International Journal for Scientific Research & Development* 3(2): 124-126.
- Chen, S. C., Li, H. M., Huang, S. T. & Wang, Y. C. 2010. Effect of decoration film on mould surface temperature during in-mould decoration injection moulding process. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37: 501-505.
- Chen, W. C., Fu, G. L., Tai, P. H., Deng, W. J. & Fan, Y. C. 2007. Ann and Ga-Based process parameter optimization for mimo plastic injection moulding. *Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Hong Kong 2007*, 19-22.
- Chen, W. L., Huang, C. Y. & Huang, C. Y. 2013. Finding efficient frontier of process parameters for plastic injection moulding. *Journal of Industrial Engineering International* 9: 1-11.
- Chiang, M. H., Chen, C. C. & Kuo, C. F. J. 2009. The high response and high efficiency velocity control of a hydraulic injection moulding machine using a variable rotational speed electro-hydraulic pump-controlled system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 43: 841-851.
- Farotti, E. & Natalini, M. 2017. Injection moulding. influence of process parameters on mechanical properties of polypropylene polymer: A first study. *International Conference on Stress Analysis AIAS2017* 256-264.
- Guo, W., Hua, L., Mao, H. & Meng, Z. 2012. Prediction of warpage in plastic injection moulding based on design of experiments. *Journal of Mechanical Science and Technology* 26(4): 1133-1139.
- Huang, M. S., Li, C. J., Yu, J. C., Huang, Y. M. & Hsieh, L. C. 2009. Robust parameter design of micro-injection moulded gears using A LIGA-like fabricated mould insert. *Journal of Materials Processing Technology* 209: 5690-5701.
- Huang, Y., Yang, B. & Li, Z. 2018. The moldflow analysis of thin plastic injection compression molding. *8th International Conference on Management and Computer Science (ICMCS) 2018*, 77.
- Humbe, A.B. & Kadam, M.S. 2014. Optimization of process parameters of plastic injection moulding for polypropylene to enhance productivity and reduce time for development. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 5(5): 160-162.
- Ibrahim, M. H. I., Zainol, M. Z. R., Othman, M. H., Amin, A. M., Asmawi, R. & Sa'udeh, N. 2014. Optimisation of processing condition using Taguchi method on strength of HDPE- natural fibres micro composite. *Applied Mechanics and Materials* 660: 33-37.
- Jain, B., Tony, A. R., Karthikeyan, S., Jeslin, B., Alex, A. R., & Hasan, Z. J. A. 2018. Injection molding parameters calculations by using visual basic (VB) programming. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2018* 330.
- Jan, M., Khalid, M. S., Awan, A. A., & Nisar S. 2016. Optimization of injection moulding process for sink marks reduction by integrating response surface design methodology & Taguchi approach. *Journal of Quality and Technology Management* XII(I): 12(1): 45-79.
- Jithin, K. & Kannakumar K. 2015. Process parameter optimization of injection mould using concurrent approach. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* 3(12): 1-3.
- Kale, P. H. & Hambire, U. V. 2015. Optimization of injection moulding process parameter for reducing shrinkage by using high density polyethylene (HDPE) material. *International Journal of Science and Research* 4(5): 722-725.
- Kale, H. P. & Hambire, U. V. 2017. Optimization of injection moulding process parameter for reducing shrinkage of high-density polyethylene (HDPE) material. *69th International Research Forum Conference 2017*, 27-30.
- Kaetkaew, J. & Chatakom, S. 2018. Effect of process parameter and gate size on gate freeze time in injection molding by using simulation software. *Third International Conference on Engineering Science and Innovative Technology (ESIT) 2018*.
- Kim, J. K., & Jeon, E. S. 2017. Optimization of injection moulding process parameters to improve mechanical strength of LFT specimen. *International Journal of Applied Engineering Research* 12(13): 3671-3676.
- Khan, R. M. & Acharya, G. 2016. Plastic injection moulding process and its aspects for quality: A review. *European Journal of Advances in Engineering and Technology* 3(4): 66-70.
- Kyas, K., Cerny, J., Stanek, M., Manas, M., Manas, D., Senkerik, V. & Skrobak, A. 2004. Measuring of temperature and pressure in injection mould. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation* 6(6): 600-607.
- Nuruzzaman, D. M., Kusaseh, N., Basri, S., Oumer, A. N. & Hamedon, Z. 2016. Modelling and flow analysis of pure nylon polymer for injection moulding process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 114: 1-8.
- Li, J., Gea, H. & Lee, E. 2019. A systematic optimization method for plastic injection molding operational parameters. In Z-W. Wang (Ed.), *21st IAPRI World Conference on Packaging 2018 - Packaging: Driving a Sustainable Future 2019*: 600-607.

- Loera, V. G., Diaz, J. M., Óscar L. Mondragón, C. & Ríos, M. C. 2008. Setting the processing parameters in injection moulding through multiple criteria optimization: A case study. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 38(5): 710-715.
- Mamodiya, U. & Priyanka Sharma, P. 2014. Review in controlling analysis of injection moulding machine. *International Journal of Engineering Research & Technology* 3(6): 509-513.
- Manjunatha, M. & Ramesh, B. K. 2014. Integrating flow simulation for injection moulding component Basetta Tu Base. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 3(3): 809-812.
- Meiabadia, M. S., Vafaeesefat, A. & Sharifi, F. 2013. Optimization of plastic injection moulding process by combination of artificial neural network and genetic algorithm. *Journal of Optimization in Industrial Engineering* 13: 49-54.
- Meister, S. & Drummer, D. 2013. Investigation on the achievable flow length in injection moulding of polymeric materials with dynamic mould tempering. *The Scientific World Journal* 2013(3): 1-7
- Minh, P. S. & Nhan, P. T. 2014. Effect of CaCO<sub>3</sub> additive on the warpage of injection moulding part. *Universal Journal of Mechanical Engineering* 2: 280-286.
- Muthamizhselvi, M. & Abraham, M. 2013. Design and implementation of can bus for distributed injection moulding machine have based on arm controller. *International Conference on Innovations in Intelligent Instrumentation, Optimization and Signal Processing 2013*, 17-20.
- Narote, B., Potdar, V. V. & Kulkarni, S.S. 2014. Identifying optimized levels for the processing factors of thermoplastic Abs to reduce cycle time for injection moulding. *International Journal of Scientific Research and Management Studies* 1(12): 452-464.
- Nikolić, S., Randelovic, S. & Milutinović, M. 2014. Effect of mould temperature on melt front temperature of thermoplastic resin at injection moulding. *Journal for Technology of Plasticity* 39(2): 55-65.
- Othman, M. H., Hassan, S. & Lin, L. 2014. The effect of processing condition towards the quality of snap fit samples using Taguchi method. *Journal of Industrial and Intelligent Information* 2(2): 154-158.
- Packianathera, M., Griffiths, C. & Kadir, W. 2014. Micro injection moulding process parameter tuning. *International Scientific Committee of "9th CIRP ICME Conference 2014*, 400-405.
- Pujari, G. V. & Naik, V. R. 2015. Optimization of parameters & minimization of defect by applying Taguchi & Moldflow method for injection moulding component. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science* 3(1): 95-101.
- Pujari, G. V. & Naik, V. R. 2015. Process parameters optimization for development of defect free injection moulded component. *International Journal of Science, Technology & Management* 4(10): 56-62.
- Postawa, P. & Stachowiak, T. 2015. Mould temperature control during injection moulding process. *AIP Conference Proceeding 2015*, 1-5.
- Radhwan, H., Mustafa, M. T., Annuar, A. F., Azmi, H., Zakaria, M. Z. & Khalil, A. N. M. 2015. An optimization of shrinkage in injection moulding parts by using Taguchi method. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics* 10(1): 1-8.
- Rathi, M. G. & Salunke, M. D. 2012. Analysis of injection moulding process parameters. *International Journal of Engineering Research & Technology* 1(8): 1-5.
- Raos, P. & Stojic, J. 2014. Influence of injection moulding parameters on tensile strength of injection moulded part. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering* 3(3): 1-3.
- Saturday, A., Emmanuel, A., Pope, I. N., Okafor, I. C. & Rowland, I. U. 2016. Parametric analysis of an injection moulding system performance for PET products production. *Scholars Journal of Engineering and Technology* 4(9): 441-458.
- Speranza, V., Vietri, U. & Pantani, R. 2013. Monitoring of injection moulding of thermoplastics: Adopting pressure transducers to estimate the solidification history and the shrinkage of moulded parts. *Journal of Mechanical Engineering* 59(11): 677-682.
- Surace, R., Trotta, G., Bellantone, V. & Fassi, I. 2012. The micro injection moulding process for polymeric components manufacturing. *ITIA-CNR, New Technologies - Trends, Innovations and Research*. Springer.
- Taghizadeh, S., Özdemir, A. & Uluer, O. 2013. Warpage prediction in plastic injection moulded part using artificial neural network. *Transactions of Mechanical Engineering* 37(2): 149-160.
- Tan, K. K., Huang, S. N. & Jiang, X. 2001. Adaptive control of ram velocity for the injection moulding machine. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 9(4): 663-671.
- Uezono, H., Fujii, K., Ochi, K. & Omobayashi, T. 2016. History of development of injection moulding machine technologies and future perspectives. *JSW Technical Review* 20: 57-69.
- Ünlükal, C., Şenel, M. & Şene, B. 2018. Risk assessment with failure mode and effects analysis and grey relational analysis method in plastic injection process. *ITM Web of Conferences : 2018* 22.
- Wahi, A., Muhamad, N., Jamaludin, K. R., Rajabi, J. & Madraky, A. 2012. Optimization of injection moulding parameters by data mining method in PIM process. *Jurnal Teknologi* 59(2): 193-196.
- Wang, C. Y. & Wang, P. J. 2014. Analysis of optical properties in injection-moulded and compression-moulded optical lenses. *Optical Society of America* 12(2): 85-89.
- Wong, C. T., Sulaiman, S., Ismail, N. & Hamouda, A. M. S. 2004. Design and simulation of plastic injection moulding process. *Pertanika Journal of Science & Technology Supplement* 12(2): 85-99.
- Yang, H., Zhan, M., Liu, Y.L., Xian, F.J., Sun, Z.C., Lin, Y. & Zhang, X.G. 2004. Some advanced plastic processing

- technologies and their numerical simulation. *Journal of Materials Processing Technology* 15: 63-69.
- Yang, Y. S., Chen, C. Y. & Chen, C. S. 2016. Effect of injection moulding and sintering behaviours on Y-TZP dental implants. *Research Article Open Access / Journal of Physical Chemistry & Biophysics* 6(3): 1-6.
- Yusoff, S. M. M., Rohani, J. M., Hamid, W. H. W., & Ramly, E. 2004. A Plastic injection moulding process characterisation using experimental design technique: A case study. *Jurnal Teknologi* 41(1): 1-16.
- Zakaria, Z., Haris, M. H. M. & Hamzah, Z. 2017. Optimization of plastic injection moulding process parameters using Taguchi method for warpage defect. *National Innovation and Invention Competition Through Exhibition 2017*, 1-10.
- Zhang, N., Browne, D. J. & Gilchrist, M. D. 2013. Characterization of micro injection moulding process for the replication of micro/nano features using bulk metallic glass insert. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology* 5(2): 198-201.
- Zhu, J., Chen, J. C. & Kirby, E. D. 2004. Tensile strength and optimization of injection moulding processing parameters using the Taguchi method. *The International Journal of Modern Engineering* 4(2): 1-6.