

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Kavade dkk. (2103) bahwa variasi parameter untuk proses injeksi bahan *polypropylene* meliputi *barrel temperature*, *injection pressure*, *injection speed*, *coolant flow rate*, *holding preassure*, *holding time*, *cooling time*. Hasil optimalisasi parameter dengan variasi *barrel temperature* sebesar 235⁰C, *injection pressure* 30 MPa, *injection speed* sebesar 45 %, *coolant flow rate* sebesar 7 l/m, *holding preassure* sebesar 35 MPa, dan *holding time* sebesar 2 detik dan *cooling time* sebesar 1,75 s. Pada metode Taguchi dihasilkan optimalisasi didapat 96,539 gram dengan siklus waktu 28 .1 detik.

Kaswadi dkk. (2015) menyimpulkan proses injeksi melewati 3 fase yaitu *injection step*, *packing step*, dan *cooling phase*. Fase tersebut berhubungan dan berpengaruh diberbagai faktor diantaranya kondisi mesin cetak injeksi, parameter proses, karakteristik material, desain cetakan, kekuatan dan kualitas akhir produk. Penelitian tersebut disimulasi menggunakan perangkat lunak Autodesk Moldflow. Metode yang digunakan untuk pengopimalan parameter adalah metode ANOVA dan DOE dari Taguchi untuk mendapatkan nilai minimum cacat defleksi. Diketahui penelitian tersebut parameter *melt temperature* sebesar 220 ⁰C dan *injection pressure* yang digunakan sebesar 20 MPa mendapatkan hasil defleksi yang kecil yaitu 1.34 mm. Parameter-parameter yang digunakan mempunyai pengaruh, tetapi parameter *injection pressure* mempunyai pengaruh paling besar.

Budiyantoro (2016) menyimpulkan ada faktor yang sangat penting dalam proses *injection molding* meliputi seleksi bahan, desain cetakan, desain produk, dan parameter proses. Produk yang dihasilkan yang ideal adalah hasil produk yang telah didesain sebelumnya, akan tetapi variasi model akan mempengaruhi produk yang akan berpengaruh terhadap cacat pada produk yang dihasilkan. Cacat yang dihasilkan dari variasi meliputi *warpage*, *sink mark*, dan *void*. Penelitian yang dilakukan menggunakan *software* Autodesk Moldflow Plastic Insight yang

memprediksi kegagalan dengan pengurangan indeks *marks*. Produk yang disimulasi berupa pegangan sikat yang dioptimalkan dengan pendekatan desain eksperimen Taguchi. Hasil indeks minimum yang diperoleh 2,642% dan susut volumetrik 19,28%.

Penelitian yang dilakukan Wavare dkk. (2016) bahwa optimasi proses *injection molding* dengan metode Taguchi dilakukan untuk meningkatkan kualitas produksi pada material *polypropylene*. Parameter yang paling berpengaruh dari penelitian adalah *temperature*, diikuti *injection time*, *injection pressure*, *cooling time*, dan *holding time* pada cacat *shrinkage*. Level parameter yang dihasilkan adalah *injection pressure* 45 bar, *temperature* 175 °C, *holding pressure* 30 bar, *injection time* 4.2 s dan *cooling time* 15 s dengan nilai 3,75 %.


Naik (2014) dalam penelitian “*A Study on Reducing the Sink mark in Plastic Injection moulding - Taguchi Technique*”, pada penelitian ini *sink mark* merupakan cacat yang paling utama. Parameter yang optimum digunakan pada penelitian ini adalah *temperature* 200 °C, *injection pressure* 70 bar, *injection speed* 3 mm/sec, *screwspeed* 20% and *cooling time* 25 s dengan masa produk 2,65 gram. Parameter yang paling berpengaruh adalah *temperature*.

Berdasarkan tinjauan diatas bahwa penelitian tentang *injection molding* dengan bahan *polypropylene* belum pernah dilakukan sebelumnya. Variasi parameter yang berpengaruh pada tinjauan pustaka adalah *temperature*, *injection pressure*, dan *cooling time*. Respon yang diteliti adalah *shrinkage* dan *sink mark* dianalisis dengan menggunakan metode Taguchi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Polypropylene

Polypropylene merupakan polimer termasuk dalam termoplastik yang dipolimerisasi dengan bantuan katalis titaniumhalide/aluminium alkyl.

Polypropylene memiliki simbol , simbol tersebut tercantum dikemasan.

Penggunaan *polypropylene* banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, selain itu PP juga bisa digunakan di bidang otomotif, industri, dan alat laboratorium.

Pada umumnya permukaan dari *polypropylene* mempunyai kekakuan yang tinggi terlihat pada karakteristik pada Tabel 2.1, juga mempunyai sifat fleksibel jika dibuat tipis dan tahan panas, oleh karena itu banyak digunakan pada produk kemasan makanan.

Tabel 2.1 MSDS PP HI 10 HO (www.ides.com)

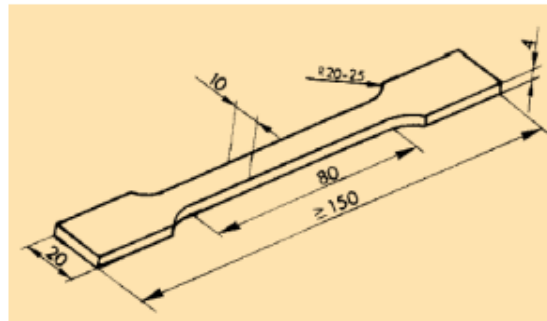
<i>Properties</i>	Satuan	Nilai
<i>Specific gravity</i>	g/cm ³	0.903
<i>Melt mass-flow rate</i>	g/10min	10
<i>Tensile strength</i>	MPa	34.0
<i>Tensile elongation</i>	%	13
<i>Flexural modulud</i>	MPa	1280
<i>Notched izod impact</i>	J/m	35
<i>Rockwell hardness</i>		100
<i>Vicat softening temperature</i>	⁰ C	152
<i>Melting temperature</i>	⁰ C	163
<i>Processing melt temp</i>	⁰ C	220 to 250
<i>Mold temperature</i>	⁰ C	20.0 to 40.0

2.2.2 Spesimen *Multipurpose*

Spesimen *multipurpose* merupakan suatu bahan yang digunakan untuk penelitian maupun pengujian dibidang teknik pada Gambar 2.1 . Penelitian yang dilakukan menggunakan spesimen dengan seri ISO 294-1 (2012) yang berukuran sebagai berikut :

- Panjang keseluruhan : 150 mm
- Panjang gauge : 80 mm
- Tebal : 4 mm

Lebar : 20 mm



Gambar 2.1 Bentuk dan ukuran specimen multipurpose

Sumber : (Standar ISO 294-1)

2.2.3 Injection Molding

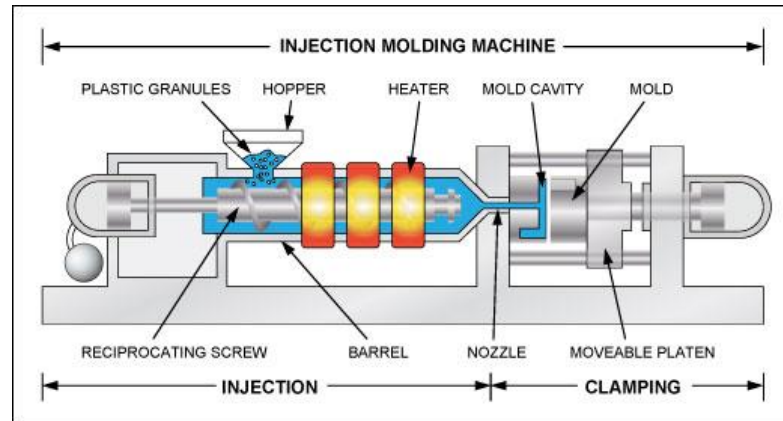
Injection molding adalah siklus dari proses untuk menghasilkan barang dari cetakan, dan banyak digunakan untuk pengolahan polimer. Keuntungan dari proses ini adalah kemampuan repetitif bagian produksi memiliki geometri kompleks pada produksi. (Kavade, dkk, 2012).

Adapun bagian utama dari mesin *injection molding* terdiri tiga komponen besar antara lain:

1. Injection Unit

Proses ini merupakan proses yang detail dengan melibatkan serangkaian langkah kerja, dimulai dari pemasukan *plastic granule* kedalam *hopper*, setelah itu menuju *barrel* yang didalamnya terdapat *screw* yang berfungsi untuk mengalirkan material leleh yang telah dipanasi oleh *barrel* menuju *nozzle* (Malloy, Robert. A, 1994). Proses ini merupakan proses awal bijih plastik yang diubah menjadi produk kompleks yang menggunakan kecepatan, tekanan, dan suhu yang cukup tinggi secara otomatis.

Bagian-bagian *Injection Molding*



Gambar 2.2 *Bagian Injection Molding* (sumber: *pmmindustri.com*)

Mesin *injection molding* pada Gambar 2.2 mempunyai bagian-bagian terpenting dengan fungsi yang berbeda. Bagian tersebut antara lain :

1) *Clamping Unit*

Merupakan bagian yang menyatukan bagian *mold* satu dengan yang lainnya. *Clamping system* mempunyai bagian yang sangat kompleks, dan diantaranya terdapat *mold* , lalu ada *injection* untuk memasukkan resin melalui *sprue* , sesudah di injeksi material ditekan *ejector* untuk mengeluarkan produk plastik dari *molding* . *Clamping unit* terdiri empat macam namun yang biasa digunakan ada dua macam yaitu *hydrolic clamp* , dan *toggle clamp* (Ajis, 2010), berikut adalah macam-macam *clamping unit* :

1. *Hydraulic clamp* yaitu *clamping system* yang menggunakan tenaga hidrolis untuk menghasilkan *clamp force* secara langsung.
2. *Toggle clamp* yaitu *clamping system* yang menggunakan tenaga mekanis dari *linkage* untuk menghasilkan gaya yang dibutuhkan saat menahan cetakan selama injeksi.

2) *Mold Unit*

Mold merupakan suatu rongga pada bagian dari mesin *injection molding* yang berongga berfungsi membentuk atau mencetak suatu produk mesin *injection* lalu didinginkan, bentuk *mold* bermacam-macam sesuai

pesanan. Mold yang paling simple atau biasa disebut dengan standard mold, secara umum terdiri dari :

a. *Sprue dan runner system*

Bagian ini yang menerima plastik dari *nozzle* lalu oleh *runner* akan dimasukkan ke dalam *cavity mold*.

b. *Cavity side*

Bagian ini merupakan salah satu sisi yang membentuk bentuk plastik, *cavity side* terletak pada *stationary plate*, yaitu plate yang tidak bergerak saat proses injeksi produk plastik.

c. *Core side*

Bagian ini juga merupakan bagian yang ikut andil memberikan bentuk produk plastik yang dicetak, bedanya *core side* berada pada *moving plate*, dan bagian ini selalu di hubungkan dengan ejector. Secara umum dua bagian inilah yang membentuk produk plastik.

d. *Ejector system*

Setiap jenis mold selalu mempunyai sistem untuk melepas produk yang selesai di cetak dari *cavity mold*, bagian inilah yang disebut dengan ejector, walau jenis ejector bermacam-macam. Penggerak utama ejektor adalah mesin hidrolis yang terhubung pada bagian clamping unit.

3) *Injection Process*

Injection molding seperti operasi pada jarum suntik, dimana lelehan plastik disuntikan kedalam mold (cetakan) yang tertutup rapat yang berada didalam mesin sehingga lelehan tersebut memenuhi ruang yang berada pada mold sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan (Bryce, 1998) .

Bagian dari *Injection unit* terdiri atas:

a. Motor dan *Transamission Gear Unit*

Bagian ini berfungsi untuk menghasilkan daya yang digunakan untuk memutar *screw* di bagian barrel, sedangkan *transmission unit* berfungsi untuk memindahkan daya dari putaran motor ke dalam *screw*, selain itu *transmission unit* juga berfungsi untuk mengatur tenaga yang di salurkan sehingga tidak terjadi pembebanan yang terlalu besar.

b. *Cylinder Screw Ram*

Bagian ini berfungsi untuk mempermudah gerakan *screw* dengan menggunakan momen inersia sekaligus menjaga putaran *screw* agar tetap konstan, sehingga didapat dihasilkan kecepatan dan tekanan yang konstan saat proses injeksi plastik dilakukan.

c. *Hopper*

Hopper adalah tempat untuk menampung material plastik sebelum masuk ke barrel. Biasanya untuk menjaga kelembaban material plastik, digunakan tempat penyimpanan khusus yang dapat mengatur kelembaban, sebab apabila kandungan air terlalu besar pada udara, dapat menyebabkan hasil injeksi yang cacat.

d. *Barrel*

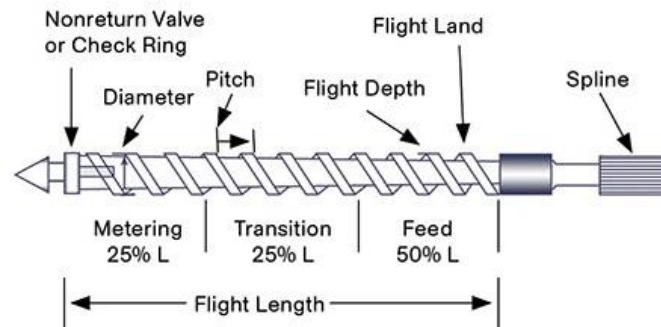
Barrel adalah tempat *screw* dan selubung yang menjaga aliran plastik ketika dipanaskan oleh *heater*. Pada bagian ini juga terdapat *heater* untuk memanaskan plastik sebelum masuk ke *nozzle*.

e. *Screw*

Screw (Gambar 2.3) berfungsi untuk mencampur material polimer berfungsi sebagai pendorong material plastik cair ke dalam mold. *Screw* pada barrel dibagi menjadi tiga zona yaitu pengisian (*mettering*), kompresi, dan pengumpan (*feeding*) (Yuswinanto, 2016).

f. *Nonreturn Valve*

Valve ini berfungsi untuk menjaga dan menghambat aliran plastik yang telah meleleh agar tidak kembali saat *screw* berhenti berputar.



Gambar 2.3 Part of screw and non return valve

(sumber: www.ptonline.com)

2.2.4 Cara Kerja Mesin *Injection*

Proses *injection molding* secara horizontal mempunyai lima bagian besar urutan (Putra, 2013), urutannya sebagai berikut:

1. *Mold close*, dalam 1 siklus kerja proses injeksi, diawali oleh proses menutup *mold*. *Mold* itu sendiri terdiri dari 2 bagian besar yaitu sisi *core* dan sisi *cavity*. Sisi *cavity* diikat pada *stationery* platen mesin injeksi. Sedangkan sisi *core* diikat pada *moving platen* mesin, bagian inilah yang bergerak membuka dan menutup. Pada proses menutup terbagi menjadi 4 urutan proses, yaitu: Gerakan menutup pada kecepatan perlahan dengan tekanan rendah. (*Low Mold Close Velocity & Low Mold Close Pressure*). Tekanan yang dimaksud adalah tekanan hidrolik. Posisi awal cetakan adalah terbuka penuh yang diatur sedemikian rupa sehingga memungkinkan produk yang dihasilkan nantinya dapat dikeluarkan atau diambil dengan mudah. Dari posisi ini bergerak hingga posisi tertentu yang tidak terlalu jauh dari posisi terbuka penuh.
2. *Fill injection*, setelah dipastikan *mold* ditekan dengan pressure tinggi. Maka unit injeksi yang terdiri dari *nozzle*, *barrel*, dan *screw* dan seterusnya. Unit injeksi mendekati *mold* hingga *nozzle* bersentuhan *mold* dengan pressure tinggi. Ketika *nozzle* sudah bersentuhan dengan *mold*. Bagian *mold* yang bersentuhan langsung dengan *nozzle* disebut *sprue bush*. Kemudian mesin melakukan proses injeksi pengisian, yaitu menyuntikkan plastik cair ke dalam *mold*. Pada proses ini melibatkan beberapa parameter yang bisa kita atur sedemikian rupa mengikuti tingkat kesulitan produk yang akan kita buat.

3. *Holding injection*, penyempurnaan hasil produk berada pada bagian proses ini. Sengaja harus dibuat seperti itu agar pada proses penyempurnaan nantinya hanya akan membutuhkan nilai yang benarbenar efisien.
4. *Charging dan cooling*, isi ulang charging plastik cair untuk siap diinjeksikan pada siklus selanjutnya, bersamaan perhitungan waktu pendinginannya *cooling* pun dimulai.
5. *Mold open*, proses terakhir adalah pembukaan *mold* yaitu pembukaan pada cetakan yang setelah itu produk akan dilepas menggunakan ejektor pada kecepatan tertentu.

2.2.5 Sink Mark

Sink mark (Gambar 2.4) adalah cacat yang membentuk lekukan pada produk, yang timbul pada dinding produk yang tebal atau pertemuan antara dinding dan sirip yang membentuk bagian yang menebal pada daerah tersebut (Sutiawan, 2013).

Penyebab :

1. Temperatur barrel terlalu tinggi, sehingga penyerapan panas oleh dinding cetakan terlalu besar dan mengakibatkan meningkatnya daerah yang kosong antar molekul plastik. Pada saat pendinginan, bagian permukaan akan mengeras dan molekul plastik yang berada dibawahnya akan mengisi kekosongan dan menarik kulit permukaan tersebut kearah dalam semakin besar.
2. Kekosongan yang terjadi, semakin besar derajat penyusutannya dan sink mark terbentuk semakin besar.
3. Tekanan yang rendah atau waktu injeksi yang kurang, sehingga menyebabkan terbentuknya kekosongan yang berlebihan antarmolekul dan menarik material yang telah dingin dan menyebabkan penyusutan berlebih.
4. Pembukaan cetakan terlalu cepat sehingga waktu pendinginan menjadi kurang.

Cara mengatasi :

1. Penambahan *cycle time*
2. Penambahan *holding pressure*
3. Penambahan *volume injection*

4. Penambahan *injection pressure*



Gambar 2.4 Cacat sink mark

(www.engineersrule.com)

2.2.6 *Shrinkage*

Shrinkage adalah penyusutan atau selisih antara ukuran rongga cetakan dan ukuran bagian jadi dibagi dengan ukuran cetakan. Biasanya dinyatakan dalam persentase (Kale dkk, 2013). Penyusutan produk yang terjadi pada proses injection molding terbagi menjadi dua macam yaitu molding shrinkage adalah perbedaan ukuran antara produk yang dihasilkan dengan ukuran cetakan, dan post shrinkage adalah penyusutan ukuran produk setelah di bentuk, dalam kurun waktu penyimpanan, atau kurun waktu pemakaian (Budiyantoro, 2010).

Menurut Oktaviani, (2012) ada empat faktor yang harus diperhatikan pada saat proses pembentukan plastik dengan menggunakan *injection molding*, yaitu temperatur *mold*, temperatur leleh, tekanan injeksi, dan tekanan holding produk plastik yaitu dengan mengatur parameter proses secara optimal seperti Penambahan tekanan *holding*, penambahan *holding time*, penambahan *cooling time*, dan mendisain *mold* secara khusus dengan memperhitungkan nilai *shrinkage* yang terdapat pada material plastik.

Rumus yang digunakan untuk mengetahui nilai *shrinkage* dalam satuan % yaitu sebagai berikut (Kwon A.,2006) :

$$S = \frac{Lm-Lp}{Lm} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

S = Nilai *shrinkage*

L_m = ukuran dimensi panjang *mold*

L_p = ukuran dimensi panjang produk atau spesimen

2.2.7 Minitab

Minitab adalah *software* yang digunakan untuk membantu perhitungan statistik yang dapat mengkombinasikan analisis statistik yang kompleks seperti microsoft excel. Software minitab mempunyai menu perhitungan yang terdiri dari *basic statistics, DOE, ANOVA, Regression, dan multivariate*.

2.2.8 Metode *Design Of Experiment (DOE)* Taguchi

Metode Taguchi adalah sebuah metode statistik yang dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dari hasil produksi *manufacture, engineering*. Metode Taguchi melibatkan reduksi variasi dari proses melalui desain robust dari eksperimen. Tujuan utama dari metode ini adalah memproduksi produk yang high quality dengan cost yang rendah. Taguchi mengembangkan sebuah metode untuk mendesain eksperimen agar dapat menginvestigasi secara bersamaan pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses dan karakteristik produk dengan level yang divariasi, hasil dari kombinasi variasi parameter akan dianalisa untuk menentukan seberapa besar pengaruh dari peningkatan atau penurunan kualitas dari parameter yang digunakan (Soejanto, 2009). DOE menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *ortogonal array*. Matriks ini merupakan langkah untuk mengelompokkan faktor-faktor yang berpengaruh pada proses dan level-level yang diberi variasi sehingga diharapkan dapat memperoleh kualitas yang baik, serta menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang berpengaruh terhadap parameter (Soejanto, 2009). DOE ini melibatkan parameter-parameter yang berpengaruh pada proses dan tingkatan-tingkatan yang perlu diberi variasi. Dengan metode DOE dapat mengkombinasikan antara faktor-faktor dan variabel yang berpengaruh untuk meningkatkan kualitas produk. Hal ini dikarenakan DOE dapat mengumpulkan

2.2.9 S/N Ratio

S/N ratio merupakan kriteria pemilihan parameter yang meminimumkan *error variance* yang melibatkan banyak faktor. Formula *Rasio S/N* untuk memilih nilai level faktor untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Oleh karenanya metode perhitungan rasio S/N tergantung pada karakteristik kualitas, apakah respon semakin kecil, semakin baik, semakin besar semakin baik, atau tertuju pada nilai tertentu (Soejanto, 2009). Berikut adalah Rasio S/N menurut tipe karakteristik yang dituju pada penelitian.

1. *Smaller is better* (STB)

Smaller the better atau semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas yang secara kontinu, memiliki nilai non-negatif dan nilai terdiri dari nol sampai tak terhingga (∞) dimana pada nilai *defect* atau cacat yang diinginkan adalah nol. Sehingga rasio S/N STB dapat dihitung dengan rumus:

$$SN_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

- n : jumlah pengulangan dari suatu percobaan
- y_i : data pengamatan ke-i

2. *Larger is better* (LTB)

Larger is better atau semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas yang secara kontinu, memiliki nilai non-negatif dan nilai terdiri dari nol sampai tak terhingga (∞) dengan nilai target yang diharapkan adalah selain nol atau tertuju pada nilai yang sebesar mungkin. Pada rasio S/N LTB dapat dihitung dengan rumus:

$$SN_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

- n : jumlah pengulangan eksperimen
- y_i : data pengamatan ke-i

3. *Nominal is best* (N.T.B)

Nominal the best atau tertuju pada nilai tertentu adalah karakteristik kualitas yang secara kontinu, memiliki nilai non-negatif dan nilai terdiri dari nol sampai

tak terhingga (∞) dengan nilai target yang diharapkan adalah selain nol dan memiliki bilangan yang terbatas atau tertuju pada nilai tertentu. Sehingga rasio S/N NTB dapat dihitung dengan rumus:

$$SN_{NTB} = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan:

μ : *mean*

σ : *deviasi*

2.2.10 Analysis of Variance (ANOVA)

Menurut Soejanto, (2009) ANOVA atau analisis varians adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistika. Analisis ini merupakan teknik yang analisisnya dilakukan dengan menguraikan seluruh varians atas bagian-bagian yang diteliti. Penggunaan ANOVA bertujuan untuk membantu mengidentifikasi kontribusi suatu faktor sehingga dapat diketahui perkiraan akurasi pada suatu model.

Analisis varian pada matriks orthogonal dilakukan dengan perhitungan yang berdasarkan jumlah kuadrat (*sum of square*) pada masing masing-kolom. Rumus perhitungan jumlah kuadrat pada analisis varians adalah sebagai berikut:

1. Jumlah Kuadrat Total (SS_T)

Sum of Squares total atau jumlah kuadrat total adalah jumlah penyebaran agregat nilai data individu melalui beberapa level faktor berdasarkan data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus:

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y^2 \dots \dots \dots (2.5)$$

keterangan:

N : jumlah percobaan

y : data yang diperoleh dari percobaan.

2. Jumlah Kuadrat Faktor (SS_A)

Sum of Squares faktor atau jumlah kuadrat faktor adalah jumlah penyebaran agregat nilai data individu pada level suatu faktor berdasarkan data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan:

A_i : level ke i pada faktor A

n_{Ai} : jumlah percobaan untuk level ke i pada faktor ke A

3. Jumlah Kuadrat *Error* (SS_e)

Sum of Squares total faktor atau jumlah kuadrat *error* adalah hasil penjumlahan nilai kuadrat *error* pada lapisan *output* setiap data dan dinyatakan sebagai berikut dalam rumus:

$$SS_e = SS_T - SS_A \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan:

SS_T : *Sum of Squares* total

SS_A : *Sum of Squares* faktor ke A

4. Jumlah Kuadrat Rata-Rata (S_m)

Sum of Squares rata-rata atau jumlah kuadrat rata-rata adalah jumlah kuadrat dari nilai rata-rata data yang diperoleh dan dinyatakan sebagai berikut dalam rumus:

$$S_m = n \times \hat{y}^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

dengan:

n : jumlah percobaan

\hat{y}^2 : rata-rata data hasil percobaan

5. Jumlah Kuadrat Total Faktor (S_t)

Sum of Squares total faktor atau jumlah kuadrat total faktor adalah hasil penjumlahan nilai kuadrat dari semua faktor yang digunakan dan faktor *error*, dinyatakan sebagai berikut dalam rumus:

$$S_t = S_{q_A} + S_{q_e} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan:

S_m : jumlah kuadrat karena rata-rata

SS_A : jumlah kuadrat karena faktor ke A

2.2.11 Variasi parameter proses injection molding

Variasi parameter merupakan proses memasukkan angka pada monitor dimana sebelum proses injection mulai, pengaturan parameter mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Parameter yang dibutuhkan untuk optimalisasi parameter seperti tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter yang digunakan untuk Optimalisasi parameter (Kavade,2012)

REFERANCE NUMBER	PARAMETERS CONSIDERED											OPTIMIZATION METHOD	RESPONSE STUDIED	NOTATIONS USED	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k				
1			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	PCA & REGRESSION ANALYSIS	QUALITY	a – FILLING TIME
2	*				*	*	*					*	DOE & KRIGING ALGORITHM	WARPAGE	b – INJECTION TEMPERATURE
3	*				*	*	*					*	ANN & GENETIC ALGORITHM	PARAMETER LEVELS	c – INJECTION SPEED
4			*	*	*	*	*	*			*	*	TAGUCHI METHOD	TENSILE STRENGTH	d – INECTION PRESSURE
5	*				*	*	*	*				*	GENETIC ALGORITHM	RUNNER DESIGN	e – BARREL TEMPERATURE
6	*				*	*	*					*	TAGUCHI METHOD	WARPAGE	f – HOLDING PRESSURE
7	*	*										*	3D-SIMULATION	FLOW ANALYSIS	g – HOLDING TIME
8	*		*	*								*	3D-SIMULATION	GATE DESIGN	h – COOLING TIME
9			*			*	*				*	*	FEM MODELLING	DIMENSIONAL STABILITY	i – SCREW STROKE
*- INDICATES PARAMETERS CONSIDERED AT VARIED LEVELS															
j – NOZZLE TEMPERATURE															
k – MOLD TEMPERATURE															

Parameter yang digunakan dalam metode Taguchi ada delapan parameter, namun yang digunakan hanya tiga. Parameter yang akan digunakan untuk optimalisasi mengurangi cacat *sinkmark* dan *shrinkage* yaitu:

a. Temperatur leleh (*Melt Temperature*)

Melt temperature adalah temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh apabila diberikan setting temperatur.

b. Tekanan injeksi hidrolik (*Injection Hydrolic Pressure*)

Injection Pressure ini merupakan tekanan yang diberikan oleh *screw* digunakan untuk menginjeksi cairan plastik kedalam cetakan. Tekanan ini dipengaruhi oleh luas proyeksi benda dan gaya yang dibutuhkan. Secara teoritis untuk mengetahui parameter *injection molding* dapat diperoleh dengan perhitungan untuk digunakan parameter pada proses *injection molding*, perhitungan tersebut menggunakan rumus:

$$Ph = \frac{Ps \times As}{Ah} \dots \dots \dots (2.10)$$

Ph : *Pressure hydrolic* (bar)

Ps : *Pressure screw* (bar)

As : Luas *screw* (mm)

Ah : Luas *hydrolic* (mm²)

c. Waktu pendinginan (*Cooling Time*)

Cooling time adalah waktu yang dibutuhkan untuk proses pendinginan setelah cairan plastik diinjeksikan ke dalam cetakan agar cepat menjadi produk. Nilai *cooling time* didapatkan untuk *setting* parameter dengan perhitungan secara teoritis.