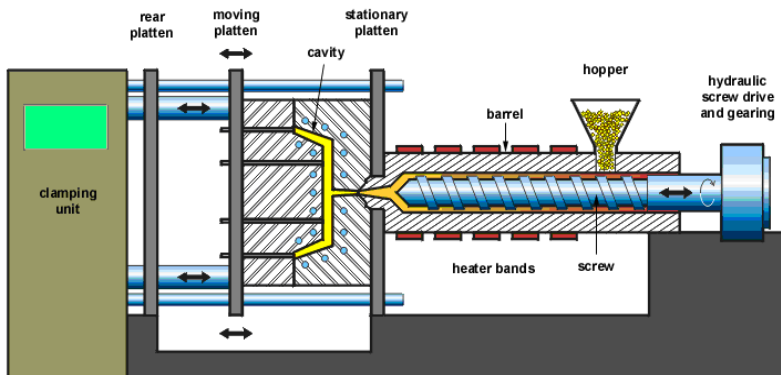


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Plastic Injection Moulding

Teknik *Plastic Injection Moulding* pertama kali dikenalkan oleh John Wesley Hyatt pada tahun 1868, dengan melakukan injeksi celluloid panas ke dalam mold, untuk membuat bola billiar. Bersama saudara perempuannya Isayah, dia mematenkan mesin *injection mold* untuk penyedot debu tahun 1872. Tahun 1946 James Hendri untuk pertama kalinya membuat mesin *screw injection mold*, sehingga terjadi perubahan besar pada industri plastik. Dan 95 % mesin molding saat ini mengikuti teknik ini, untuk menghasilkan efisiensi panas, efisiensi campuran dan injeksi plastik ke molding. (Anif Jamaludin : 2007)

Proses *injection moulding* merupakan proses dengan kecepatan tinggi dan otomatis yang dapat digunakan untuk memproduksi produk plastik dengan geometri yang kompleks. Proses ini merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan serangkaian langkah kerja, dimulai dari pemasukan *plastic granule*



Gambar 2.1. Unit Mesin *Injction Moulding* (Gutowski : 2002)

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) Material yang sudah dipanasi dan berubah menjadi lunak ini akan terus didorong melalui *nozzle* dengan injektor dan melewati *sprue* ke dalam rongga cetak (*cavity*) dari cetakan yang sudah tertutup seperti pada gambar 2.1.

Terdapat tiga bagian utama dalam mesin injection molding, yaitu (Anif Jamaludin:2007):

1. Clamping Unit

Merupakan tempat untuk menyatukan molding. Clamping system sangat kompleks, dan di dalamnya terdapat mesin molding (cetakan), dwelling untuk memastikan molding terisi penuh oleh resin, injection untuk memasukan resin melalui sprue pendingin, ejection untuk mengeluarkan hasil cetakan plastik dari molding.

2. Plasticizing Unit

Merupakan bagian untuk memasukan pellet plastik (resin) dan pemanasan. Bagian dari Plasticizing unit: Hopper untuk memasukan resin; Screw untuk mencampurkan material supaya merata, Barrel, Heater, dan Nozzle.

3. Drive Unit

Unit untuk melakukan kontrol kerja dari Injection Molding, terdiri dari Motor untuk menggerakkan screw, piston injeksi menggunakan Hydraulic system (sistem pompa) untuk mengalirkan fluida dan menginjeksi resin cair ke molding.

Langkah kerja pada proses *injection moulding* menurut Malloy antara lain meliputi (Malloy, Robert. A:1994) :

1. **Mold Filling**, setelah *mold* menutup, aliran plastik leleh dari *injection unit* dari mesin masuk ke *mold* yang relatif lebih dingin melalui *sprue, runner, gate*, dan masuk ke *cavity*.
2. **Holding**, plastik leleh ditahan di dalam *mold* di bawah tekanan tertentu untuk mengkompensasi *shrinkage* yang terjadi selama pendinginan berlangsung. Tekanan *holding* biasanya diberikan sampai *gate* telah membeku. Setelah plastik di daerah *gate* membeku, produk dapat langsung dikeluarkan dari *cavity*.
3. **Cooling**, plastik leleh itu kemudian mengalami pendinginan dan membeku.
4. **Part Ejection**, *mold* membuka dan produk yang telah membeku tadi dikeluarkan dari *cavity* menggunakan sistem *ejector* mekanis.

Setiap langkah kerja yang terjadi selama proses berlangsung mempunyai pengaruh terhadap produk plastik yang dihasilkan. Agar produk yang dihasilkan dapat memenuhi standar yang telah ditetapkan, maka perlu dikaji kembali kebutuhan-kebutuhan dari setiap langkah yang akan diterapkan. Produk yang dihasilkan dari cetakan injection moulding dapat dilihat dari ciri-ciri yang khusus, antara lain (Dadan Heryada:1998):

- Bentuk produk tidak memiliki rongga tertutup atau rongga berbentuk botol.

- Ketebalan botol relatif rata.
- Terdapat penampang kecil berbentuk lingkaran berupa titik atau bentuk empat persegi panjang yang terpotong/tersayat.
- Terdapat tanda bekas kontak suatu penampang dengan permukaan produk, umumnya berbentuk lingkaran, akan tetapi tidak mutlak terlihat pada setiap produk.
- Terdapat garis tipis menyerupai rambut pada sekeliling permukaan produk.

Untuk mendapatkan suatu produk plastik hasil injection moulding yang baik, tidak cukup dari langkah kerja atau dari aspek cetakan saja, akan tetapi perlu diperhatikan keterkaitan dengan faktor-faktor yang lain, antara lain (Dadan Heryada:1998):

1. Desain konstruksi produk

Sangat penting untuk memperhatikan perancangan konstruksi produk. Hal ini dilakukan untuk menghindari cacat produk hasil pembentukan.

2. Material Plastik

Sifat-sifat material plastik dan data-data teknis material merupakan masukan yang penting dalam proses pembuatan suatu produk, antara lain: penyusutan material, viskositas material, titik cair, titik beku, sifat mekanis material, kandungan material, dll.

3. Parameter Proses

Data-data dan proses di mesin injeksi sangat penting dalam pencapaian produk yang dihasilkan, antara lain: temperatur kerja, temperatur cetakan, tekanan injeksi, waktu siklus, pendinginan, dll.

4. Desain konstruksi cetakan

Cetakan injeksi ialah suatu alat untuk membentuk produk plastik yang diinginkan. Kesesuaian bentuk dan dimensi produk yang dirancang dengan produk yang dihasilkan banyak dipengaruhi oleh desain cetakan.

Cetakan terdiri dari komponen-komponen penyusun yang dirangkai membentuk satu konstruksi yang masing-masing komponen mempunyai fungsi penting dalam penggunaan cetakan.

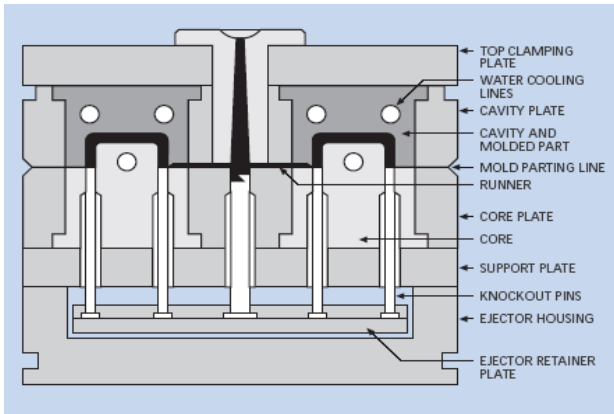
Peralatan pencetak terdiri dari dua sub utama, yaitu sub inti cetakan dan sub cavity cetakan (rongga cetak) yang satu sama lain dapat terbuka sebagai tempat pengeluaran produk. Kedua sub itu dibedakan menurut pemasangannya, yaitu (Budiarto, SST:2001):

1. Sisi tetap (fix side)

2. Sisi bergerak (moving side)

Pada sisi tetap terdapat komponen pemasukan cairan plastik (*sprue*) yang menghubungkan aliran material plastik yang diinjeksikan dari *nozzle* mesin pada saluran (*runner*) yang akan mengisi rongga cetakan melalui *gate*. Sedangkan pada sisi bergeraknya terdapat mekanisme pengeluaran produk (*ejector*) yang akan menendang produk dari inti cetakan setelah tahap pembentukan selesai dilakukan dengan sempurna dalam rongga cetak, seperti pada gambar 2.2.

Kedua sub bagian tersebut dipasang pada kedua pelat mesin dengan pengikatan baut. Hubungan kedua sub bagian tersebut diarahkan dengan pena pengarah/pilar yang umumnya terdapat pada bagian sisi bergerak (*moving side*) sebagai penepat bagian inti terhadap *cavity* cetakan. Setelah rongga yang terbentuk antara permukaan *cavity* dan inti cetakan terisi cairan plastik yang diinjeksikan melalui *nozzle*, dan tahap pematidan selesai dilakukan, bagian sisi



Gambar 2.2 Konstruksi Cetakan Dua Plat.

(Equistar Chemicals, LP : 2000)

bergerak akan membuka terhadap sisi tetapnya, dan mekanisme *ejector* akan bekerja mengeluarkan produk (Budiarto, SST:2001). Kemudian menutup kembali membentuk suatu siklus proses *injection moulding*.

II.2 High Density Poly Ethylene (HDPE)

Plastik ini merupakan jenis semi-crystalline dengan tekanan tinggi. Jenis plastik ini kaku, tetapi masih termasuk fleksibel dan tidak mudah pecah serta pada temperatur antara -50°C sampai 100°C mampu tetap berada pada bentuknya, transparan tetapi agak buram, tahan terhadap cairan pelarut, dan mempunyai daya elektrostatis kecil. High

Density Poly Ethylene (HDPE) mempunyai nama dagang hostalen, supralen(Malloy, Robert. A:1994). Banyak digunakan untuk katup, tangki, dan pipa.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik HDPE (Malloy, Robert. A:1994)

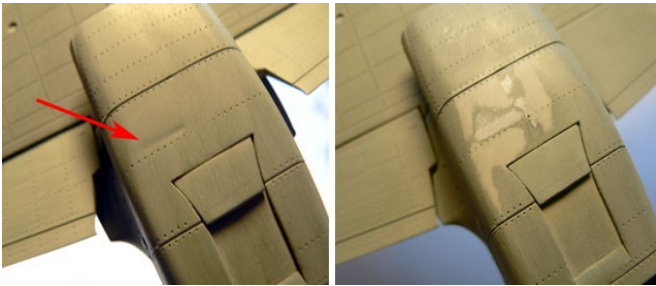
Sifat	Angka	Satuan
Density at 20°C	0,97	gram/cm ³
Density at 200°C	0,75	gram/cm ³
Specific volume at 20°C	1,03	Cubic-cm / g
Specific volume at 200°C	1,33	Cubic-cm / g
Glass transition or melting temperature	130	°C
Softening temperature	71	°C
Melt temperature (T _m)	180-240	°C
Mould temperature (T _w)	20-40	°C
Viscosity measured at a shear rate of 1000 s ⁻¹	156 240	Pa s °C
At melt temperature		
Flow Factor (K _f)	1,9	bar/mm
Flow length by wall thickness of 1mm/2mm	100/440	Mm
Max. peripheral screw speed (V)	0,9	m/s
Discharge factor (K _a)	0,72	g/cm ³
Effective thermal diffusivity (a _{eff})	0,092	mm ² /s
Max. demolding temperature (T _e)	110	°C
Enthalpy difference (Δh)	650	kJ/kg
Shrinkage in flow direction/transversal	2,4	%
Humidity absorption	0,01	%

II.3 Cacat Produk Injection Moulding

Kualitas akhir permukaan dari produk plastik hasil *injection moulding* merupakan kriteria utama dari standar kualitas produk. Namun keadaan ini tidak dapat mutlak dipenuhi sehingga seringkali terjadi gangguan/cacat produk yang dapat merusak penampilan produk. Cacat produk dapat ditimbulkan oleh berbagai faktor, baik yang bersumber pada faktor parameter proses maupun faktor disain. Untuk mengatasi masalah cacat tersebut tentunya harus disesuaikan dengan bentuk dan jenis gangguan atau cacat yang timbul serta pengaruhnya terhadap produk. Macam-macam cacat pada proses injection moulding ini ialah (Thienel, Prof. Dr.Ing Paul :1992): sink mark, weld line, streaks, jetting, burns, flashes, gloss difference, stress whitening, incompletely filled parts, air trapped, dll.

II.4 Sink Mark

Sink mark merupakan salah satu jenis cacat yang dapat timbul karena kondisi proses yang berbeda. Cacat ini berupa indentasi pada permukaan benda kerja yang biasanya terjadi akibat adanya perubahan tebal dinding secara signifikan. Contoh perubahan dapat berupa *ribs*, *bosses*, dan *undercuts*. *Sink mark* juga dapat diakibatkan oleh penyusutan dari plastik leleh selama mengalami pendinginan di dalam *mold*. Untuk mengantisipasinya dapat dilakukan dengan mengalirkan plastik cair secara lebih, menaikkan *holding pressure*, menaikkan tekanan injeksi, namun cara tersebut dapat berakibat pada kemudahan untuk mengeluarkan benda kerja dan dapat membuat *warpage* pada bagian yang tipis. (Amelia Sugondo dan Ian H. Siahaan:2008).



Gambar 2.3. Sink Mark

(<http://in.geocities.com/bolurpc/moldingdefects/sink/>.)

Sink mark banyak dikenal sebagai cacat produk yang membentuk lekukan pada permukaan produk, seperti pada gambar 2.3. Cacat ini timbul pada dinding produk yang tebal atau pertemuan antara dinding dan sirip (*rib*) yang membentuk bagian menebal pada bagian tersebut. *Sink mark* terjadi selama proses pendinginan jika kontraksi termal (*shrinkage*) dari plastik tidak dapat dikompensasi pada area tertentu. Jika dinding luar produk tidak cukup stabil, maka selama proses pendinginan akan tertarik ke dalam karena tegangan yang terjadi. Faktor penyebabnya dapat bersumber dari mesin injeksi, parameter proses, material plastik, dan disain geometri produk.

Pada dasarnya ketepatan pengaturan parameter proses injeksi akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan, baik dari ketepatan dimensi, berat produk, dan bentuk produk secara keseluruhan. Umumnya parameter injeksi tersebut dapat diatur di mesin berdasarkan *trial* yang dilakukan, akan tetapi ada beberapa parameter tertentu yang

harus dicapai terutama yang berhubungan dengan spesifikasi bahan plastik (Budiarto, SST:2001).

II.5 Temperatur Injeksi

Temperatur injeksi adalah temperatur leleh plastik saat diinjeksikan ke dalam cetakan melalui *nozzle*. Penentuannya ditentukan menurut zona temperatur pemanas pada *barrel* dan *nozzle* yang disesuaikan menurut spesifikasi material yang telah ditentukan industri pengolahan bahan plastik. Pada umumnya, temperatur material plastik yang terjadi saat injeksi lebih rendah 10°C-20°C dari temperatur pada *nozzle* mesin injeksi.

Proses *injection molding* diawali dengan mentransfer material dari *hopper* ke dalam silinder pemanas dan menuju *nozzle*. Material kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan melalui serangkaian saluran *sprue*, *runner*, dan *gate*. Temperatur leleh material harus dijaga sepanjang aliran yang dimulai dari silinder pemanas. (M. Bryce, Douglas: 1997)

Di dalam cetakan, bahan mulai mengalami pendinginan dan temperatur semakin turun. Pembekuan dimulai dari bagian terluar produk kemudian dilanjutkan oleh pembekuan pada bagian dalam, sehingga menarik kulit permukaan ke arah dalam.

II.6 Waktu Pendinginan (Cooling Time)

Waktu siklus merupakan waktu keseluruhan pembentukan produk mulai dari pemasukan plastik leleh ke dalam cetakan sampai produk tersebut membeku dan dikeluarkan dari cetakan. Waktu siklus terdiri dari waktu gerak cetakan menutup, waktu injeksi, waktu pemadatan, waktu pendinginan, waktu gerak cetakan membuka, dan waktu pengeluaran produk.

Waktu pendinginan merupakan salah satu bagian waktu siklus yang sangat penting dalam proses injeksi plastik. Waktu pendinginan ialah sejumlah waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan material plastik titik dimana material mengalami 1) pembekuan, 2) menjadi cukup kaku untuk dikeluarkan dari mold dengan mekanisme *ejector*. Proses *ejection* ialah proses yang mendorong produk cetakan yang telah jadi keluar dari mold setelah siklus pencetakan telah komplet. Walaupun produk telah membeku, namun bukan berarti bahwa produk cukup kuat untuk didorong keluar dari cetakan. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan sebenarnya memakan waktu selama 30 hari untuk menyelesaikannya. Pendinginan awal biasanya cepat, dan 95% dari pendinginan total terjadi di mold. Namun sisa 5% pendinginan terjadi di

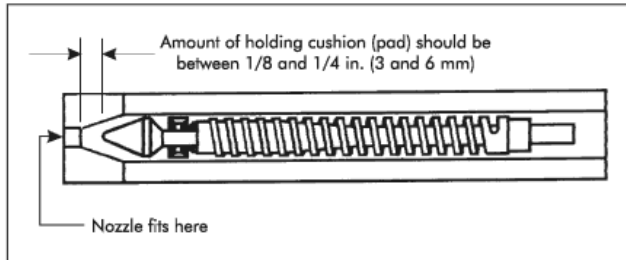
luar mold. Bila kulit terluar dari produk plastik membeku sampai pada kedalaman yang sesuai, pendinginan sisa tidak akan mempunyai efek yang berarti pada produk plastik. Namun bila kulit produk plastik terlalu tipis pendinginan sisa akan menyebabkan *shrinkage stress* dan produk plastik akan mengalami warp, twist, blister, atau crack. (M. Bryce, Douglas: 1997)

Kunci untuk meminimalkan persoalan ini ialah dengan menjaga produk di dalam cetakan untuk periode waktu yang cukup lama, namun tidak lebih lama dari waktu kebutuhannya, karena waktu sangat berharga, dan siklus yang lama adalah mahal. Kebanyakan material plastik senang untuk membagi kebutuhan waktu pendinginan untuk material spesifik mereka pada ketebalan produk yang bervariasi (semakin tebal produk, semakin lama waktu pendinginan yang dibutuhkan), namun pada rata-rata ketebalan produk 0,062 in (1,57 mm), waktu pendinginan harus mencapai antara 9-12 detik untuk membeku (tergantung jenis material plastik) sampai pada titik dimana produk kuat untuk didorong keluar dari mold tanpa mengalami distorsi fisik pada produk.

II.7 Tekanan Holding (Holding Pressure)

Tekanan holding (holding pressure) diberikan saat akhir langkah injeksi dan digunakan untuk akhir 5% pengisian dari bentuk cavity. Tekanan ini dinamakan tekanan holding (holding pressure) karena berfungsi untuk menahan tekanan selama proses pendinginan plastik agar memenuhi profil cavity sampai plastik membeku. Hal ini membantu untuk memastikan pengisian pada bagian yang menyempit, pencetakan dengan tekanan uniform, dan mengendalikan penyusutan (shrinkage). Tekanan holding biasanya sebesar 50% dari tekanan injeksi. Sehingga, bila diperlukan tekanan injeksi sebesar 10.000 psi (703,1 kg/cm²), tekanan holding haruslah mendekati nilai 5000 psi (351,5 kg/cm²). (M. Bryce, Douglas: 1997)

Pad atau chusion material (antara 1/8-1/4 in atau 3-6 mm) harus berada di sebelah kiri barrel untuk tekanan holding yang diberikan.



Gambar 2.4 Chusion Pada Proses Injection Molding
(M. Bryce, Douglas: 1997)

Sejumlah chusion diberikan dengan menciptakan total ukuran langkah yang lebih besar dari yang dibutuhkan untuk pengisian mold. Sebagai contoh, jika sejumlah material dibutuhkan untuk mengisi mold adalah 82 gram, maka total ukuran langkah yang akan diberikan mendekati 85 gram. Hal ini selanjutnya akan bertambah atau berkurang selama proses sampai 1/8 in (3mm) chusion yang terjadi. Kegiatan ini dibuat dengan merubah set point untuk putaran screw.

Ketebalan chusion sangat kritis dan tidak boleh kurang dari 1/8 in (3mm) karena akan sulit untuk mengontrol keakuratan dan terdapat kesempatan baik kalau chusion akan menjadi nol dalam suatu basic random karena ketidakkonsistenan nilai *specific gravity* material. Bila chusion menjadi nol, tidak akan terdapat tekanan untuk menahan material di dalam mold dan produk akan mengalami warp, crack, atau hasil cacat lain karena tidak adanya *holding pressure*. Apalagi, shirkage akan bervariasi dan dimensi produk tidak akan memenuhi kebutuhan. (M. Bryce, Douglas: 1997)

Jika panjang chusion lebih dari 1/4 in (6 mm), plastik dalam chusion akan membeku karena baja di sekitarnya, menghalangi nozzle, sehingga menyebabkan aliran material yang lambat atau tidak ada aliran sama sekali.

II.8 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan suatu metode statistik yang digunakan sebagai salah satu alat untuk meningkatkan atau melakukan perbaikan perbaikan kualitas. Desain eksperimen dapat didefinisikan sebagai suatu uji atau rentetan uji dengan mengubah-ubah variable input suatu proses sehingga bias diketahui penyebab perubahan output (respon) agar dapat dicari setting variable input yang dapat mengoptimalkan respon.

II.8.1. Langkah-langkah dalam Desain Eksperimen

Desain eksperimen memerlukan tahap-tahap penting yang berguna agar desain mengarah pada hasil yang diinginkan. Berikut adalah langkah-langkah melakukan desain eksperimen (Iriawan dan Astuti, 2006):

1. Mengenal Permasalahan

Tahap awal desain eksperimen adalah mengenali permasalahan. Tahap ini merupakan tahap penting sebagai permulaan suatu eksperimen. Dengan melakukan identifikasi permasalahan, diperoleh suatu kesimpulan yang dapat menjawab segala permasalahan. Dari permasalahan yang ada kemudian dibuat suatu pernyataan yang tepat mewakili permasalahan agar memperoleh penyelesaian yang tepat.

2. Memilih Variabel Respon

Tahap kedua adalah menetapkan variabel respon. Variabel respon adalah variabel dependen, yaitu variabel yang dipengaruhi oleh level faktor atau kombinasi level faktor.

3. Menentukan Faktor dan Level

Tahap selanjutnya adalah menentukan faktor dan level faktor dalam suatu eksperimen. Peneliti harus pula menentukan cara mengendalikan faktor dan cara mengukurnya. Tahap ini memerlukan pengetahuan yang lebih mengenai permasalahan yang akan diteliti agar faktor dan level yang ditentukan tidak menyimpang jauh dari hasil yang diinginkan.

4. Memilih Metode Desain Eksperimen

Metode desain eksperimen harus disesuaikan dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang ada. Beberapa metode desain eksperimen antara lain desain Faktorial, desain Taguchi, dan permukaan respon. Dalam penelitian ini digunakan metode permukaan respon (*Response Surface*).

5. Melaksanakan Percobaan

Selama eksperimen dilakukan, proses harus diamati dengan cermat agar eksperimen berjalan sesuai rencana. Sebelum percobaan dilakukan, terlebih dahulu dibuat rancangan percobaan *Box-Behnken Design*.

6. Menganalisa Data

Analisis data merupakan dasar dalam membuat suatu keputusan dan pernyataan yang tepat. Analisis data pada desain eksperimen dilakukan sesuai dengan metode yang dibuat. Salah satu tahap dalam analisis data eksperimen adalah melakukan analisis residual dan uji kecukupan model.

7. Membuat Suatu Keputusan

Setelah analisis data dilakukan, langkah terakhir adalah membuat suatu keputusan berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

Pendekatan regresi logistik digunakan bila variabel responnya bersifat kualitatif. Apabila variabel responnya bersifat biner, yaitu kemungkinan kejadiannya hanya dua dan dapat dikategorikan 0 dan 1, maka pendekatan model regresinya adalah sebagai berikut (Dididk Wahyudi: 1999):

II.8.2 Metode Permukaan Respon

Response Surface Methodology (RSM) merupakan suatu metode gabungan antara teknik matematika dan teknik statistik yang digunakan untuk membuat model dan menganalisa suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas atau faktor x untuk mengoptimalkan respon tersebut. Hubungan antara respon y dan variabel bebas x adalah sebagai berikut (Soejono Tjiro):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \quad 2-1$$

dimana y = variabel respon, x_i = variabel bebas / faktor ($i = 1, 2, \dots, k$),
 ε = error

Langkah pertama dari RSM adalah menemukan hubungan antar respon y dan faktor x melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linier atau yang lebih dikenal dengan *first orde model* (model orde I).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad 2-2$$

dimana β = koefisien regresi

Rancangan eksperimen orde I dilanjutkan dengan tahap penyaringan faktor dari pengujian *anova* dapat diketahui faktor-faktor yang signifikan. Sedangkan untuk model orde II digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad 2-3$$

Rancangan eksperimen orde II yang digunakan adalah rancangan desain faktorial 3^k yang sesuai untuk menyelesaikan masalah optimasi.

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --