

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sub bab ini membicarakan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Hasil penelitian tersebut akan menjadi referensi dalam penelitian yang akan dilakukan peneliti saat ini. Fokus penelitian saat ini pada pembuatan produk CT103 *Casing* P1-P2 untuk mengurangi cacat produk berupa *sink marks*, *shrinkage* dan *warpage*. Sub bab ini juga memuat landasan teori yang berisi tentang konsep dan prinsip dasar yang digunakan pada penelitian sekarang.

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan pencarian pustaka yang telah dilakukan penulis, penulis menemukan penulis terdahulu dari Program Studi Teknik Industri UAJY yang telah membahas penelitian yang menyangkut tentang metode desain eksperimen. Berikut adalah penelitian yang telah dilakukan:

Menurut Riyanto (2015) membahas analisis optimasi mesin injeksi molding yang dilakukan pada produk *base plate*. Fokus dari optimasi yang dilakukan adalah untuk mengurangi volume *shrinkage* yang tidak boleh diatas 10% dan *shrinkage* produk sebesar 0,4% - 0,7%. Untuk menyelesaikan masalah yang terjadi penelitian ini menggunakan metode *Taguchi* dan *CAE Moldflow dual-domain*. Metode *Taguchi* digunakan peneliti untuk mendapatkan parameter mesin injeksi molding yang sesuai. Sedangkan teknologi CAE digunakan pada metode *Moldflow dual-domain*, metode ini digunakan untuk menganalisis secara proses yang terjadi pada proses injeksi. Pada akhir penelitian didapatkan hasil parameter proses injeksi molding produk *base plate* yang dimana *melt temperature* 235°C, *mold temperature* 70°C, *injection pressure* 100 Mpa, *cooling time* 9,782 detik, dan *injection time* 1,008 detik. Berdasarkan parameter optimal yang telah didapatkan kemungkinan *shrinkage* maksimal yang terjadi pada produk *base plate* adalah 7,612% dengan rata-rata kemungkinan *shrinkage* sebesar 0,4871%.

Menurut Pratama (2016) melakukan penelitian tentang *warpage* pada produk *headpiece kit* R67 dengan material *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode *Taguchi* dan CAE. Pada penelitian ini metode *Taguchi* hanya berhenti sampai didaparkannya hasil

orthogonal array yang sesuai dengan parameter yang akan diteliti. Analisis yang dilakukan menggunakan *software Moldflow Adviser 2015* dengan *software* pembantu yaitu *SolidWorks 2010*. Untuk menghasilkan produk yang optimal parameter yang di perhatikan pada penelitian adalah waktu injeksi, suhu leleh, suhu *mold*, tekanan injeksi, waktu pendinginan. *Output* dari penelitian ini adalah parameter yang optimum dalam pembuatan produk *headpiece kit R67* yang didapat dari hasil analisis, mendapatkan kesejajaran sebesar 1,5mm, mengurangi *warpage* dan *sink marks*, serta hasil analisis penggunaan terhadap dua *gate* dan tiga *gate*.

Widyatmoko (2017) membahas mengenai optimasi parameter mesin injeksi dengan memanfaatkan desain produk berbasis CAD/CAM dan analisis CAE *Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2015 dual-domain*. Dalam penelitiannya produk yang digunakan adalah CT103 *Casing P1-P2* dengan material *Polycarbonate (PC)*. Optimasi yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengurangi cacat produk berupa *shrinkage*, *sink marks* dan *warpage*. Penerapan metode Taguchi pada penelitian ini hanya untuk mendapatkan desain matriks *orthogonal array* yang sesuai yaitu $L_{27}3^6$. Metode *zero-one* digunakan untuk melakukan pemilihan dari hasil yang terbaik dari eksperimen menggunakan *software Moldflow dual-domain* yang telah dilakukan. Hasil akhir dari penelitian ini berupa didapatkannya analisis *setting* parameter injeksi yang optimal dengan prediksi terjadinya *shrinkage* sebesar 4,222%, *sink marks* maksimal 0,0557mm dan maksimal terjadinya *warpage* sebesar 0,3079mm.

Aji (2019) membahas mengenai optimasi parameter mesin injeksi terhadap produk *acetabular cup* pada *artificial hip joint* dengan menggunakan CAE (*Computer-Aided Engineering*) *Autodesk MoldFlow Adviser 2016*. Optimasi dilakukan untuk mengurangi cacat produk berupa *shrinkage* dan *warpage* pada produk *acetabular cup* pada *artificial hip joint* dengan material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*. Percobaan yang dilakukan berdasarkan desain eksperimen dari *orthogonal array Taguchi* untuk mendapatkan parameter optimal awal. Keberhasilan dari penelitian ini adalah ditemukannya *setting* parameter proses yang optimal untuk dilakukan proses permesinan produk *acetabular cup* pada *artificial hip joint* berdasarkan MFA yaitu: temperatur *mold* 50°C, temperatur *melt* 180°C, *injection pressure* 150 Mpa, *cooling time* 35 seconds. Parameter proses permesinan ini menghasilkan nilai *shrinkage* 7,604% dan *warpage* <1% dengan nominal *maximum deflection* 0,1mm.

Selain penelitian yang dilakukan terdapat penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti di luar Program Studi Teknik Industri UAJY yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan diantaranya:

Ramakrishnan dan Mao (2017) membahas secara detail tentang optimasi mesin injeksi *molding* untuk mengurangi cacat produk berupa *shrinkage*. Dalam penelitiannya penulis menggunakan desain eksperimen berdasarkan *orthogonal array Taguchi* dan analisis metode varians (ANOVA). Berdasarkan penggunaan metode terkait penelitian ini, menurut penulis metode yang dipakai dalam penelitian ini sangat berguna dalam menentukan parameter proses signifikan yang memiliki efek maksimum pada penyusutan volumetrik variabel respon dan juga membantu dalam mengoptimalkan parameter kontrol untuk mencapai penyusutan volumetrik minimum. Hasil akhir dari penelitian ini adalah didapatkannya parameter mesin injeksi yang optimal, dimana untuk memproses produk *acetal polymer gear* disarankan mesin injeksi *molding* untuk beroperasi dengan batas bawah suhu leleh 205°C dan batas atas tekanan pengepakan 100 Mpa.

Mahajan dan Ulhe (2018) membahas tentang optimasi parameter mesin injeksi untuk mengurangi cacat produk berupa *short-shot*. Dalam penelitiannya penulis menggunakan metode desain eksperimen berdasarkan metode *Taguchi* dan ANOVA sebagai metode penyelesaian permasalahan yang diteliti. Penelitian ini berfokus pada produk *3/4 inch Elbow Samples*. Berdasarkan penelitiannya peneliti menemukan efek dari tekanan injeksi, kecepatan penutupan cetakan, tekanan cetakan dan kecepatan penutupan sekurup parameter mempengaruhi dari hasil produk yang dihasilkan. Parameter mesin injeksi yang optimal didapatkan melalui penggunaan *S/N ratio*. Sedangkan dengan metode ANOVA didapatkan hasil derajat signifikansi dari setiap parameter proses. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan hasil dari penelitian 70 persen kecepatan penutupan cetakan mempengaruhi terjadinya cacat produk berupa *short shot*.

2.1.2 Penelitian Sekarang

Berdasarkan aplikasi teknologi *computer aided engineering* (CAE) menggunakan metode *Taguchi* dalam peningkatan kualitas permesinan injeksi plastik yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yaitu Widyatmoko (2017) masih meninggalkan celah dalam penelitiannya. Hal ini terjadi karena Widyatmoko (2017) berfokus pada penyelesaian masalah secara *mechanical engineering*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Widyamoko (2017), penelitian yang dilakukan lebih cenderung

berfokus dalam *software CAE Autodesk Simulation Moldflow Dual-Domain*, dimana aspek teknik aplikasi simulasi injeksi secara komprehensif dan detail dapat terlihat dengan jelas tahapan dan analisis proses injeksi *molding* secara simulasi dengan pendekatan pada mesin *real* yang digunakan. Namun terdapat satu metode lain yang dapat membantu *engineer* dalam upaya penentuan parameter permesinan, yaitu setelah penentuan *layout orthogonal array* yang diduga menghasilkan respon yang optimal terhadap parameter permesinan yang ditetapkan, maka ada satu tahapan yang belum dikerjakan oleh Widyatmoko (2017) dan tahapan inilah yang dikerjakan oleh peneliti dalam penelitian saat ini.

Peneliti menemukan desain matriks *orthogonal array* $L_{27}3^6$ yang digunakan oleh Widyatmoko (2017) sebagai dasar pengerjaan secara *mechanical engineering* dapat diselesaikan secara keilmuan *industrial engineering* dengan melakukan pengolahan data secara statistik. Pengolahan data secara statistik pada penelitian ini dibantu dengan *software Minitab 19*.

Pengolahan data secara statistik akan dimulai dengan melakukan eksperimen dengan dasar matriks *orthogonal array* $L_{27}3^6$ untuk mendapatkan respon yang diperlukan. Berdasarkan respon dan matriks *orthogonal array* yang telah didapat maka data tersebut akan diolah menjadi *S/N ratio* untuk mengetahui parameter berpengaruh dan *noise*. Analisis varian pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui tingkat pengaruh parameter terhadap respon. Pada analisis varian juga nantinya didapatkan persamaan regresi dari masing-masing faktor berpengaruh yang nantinya sebagai dasar dilakukannya *confirmatory experiment* untuk mengetahui keberhasilan eksperimen yang dilakukan.

Pada penelitian ini akan menunjukkan hasil dari perhitungan secara numerik dengan *software Minitab 19* dan *software CAE Autodesk Simulation Moldflow Dual-Domain* dari respon yang telah diukur apakah memberikan error yang besar atau sama dengan 2,00% maka metode yang dilakukan oleh peneliti dapat dilakukan oleh *engineer* PT. ATMI-IGI Center Surakarta dan *engineer* teknik industri dalam upaya peningkatan kualitas terhadap cacat yang terjadi pada produk injeksi *modling*. Hal ini mengingat mahalnya operasional dari penggunaan *software CAE Autodesk Simulation Moldflow Dual-Domain*.

2.2 Dasar Teori

Dalam suatu penelitian dasar teori dibutuhkan dibutuhkan untuk menjadi pedoman penyelesaian suatu masalah yang dikerjakan agar mendapat hasil yang maksimal. Berikut dasar teori yang digunakan pada penelitian ini:

2.2.1 Pengertian Plastik Injeksi

Goodship (2017) dalam bukunya menjelaskan plastik injeksi adalah produk berbahan dasar plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu. Langkah penting dalam pembuatan produk injeksi adalah pemberian suhu panas dan tekanan yang nantinya akan diproses mulai dari mesin injeksi sampai cetakan atau *mold*. Prinsip dasar *mold* adalah alat bantu cetak yang nantinya akan dipasang pada mesin injeksi untuk penentu produk pada suatu produksi.

Dalam pembuatan suatu produk plastik terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah material yang digunakan, desain produk, luasan produk, ketebalan produk, dan toleransi terhadap ukuran produk. Berdasarkan jenis material plastik yang digunakan pada saat proses injeksi, proses pembuatan injeksi plastik dibedakan menjadi beberapa proses, diantaranya adalah:

a. *Blowing Molding*

Proses *blow molding* merupakan suatu proses pembentukan plastik dengan memberi tekanan udara kedalam material plastik yang sebelumnya telah dibentuk menjadi *bottle preform*. Selain diberikan tekanan udara pada saat proses pembuatan, *bottle preform* juga diberikan suhu tertentu. Pemberian suhu dan tekanan diberikan agar *bottle preform* dapat menyesuaikan bentuk pada cetakan atau *mold* yang telah ditentukan.

b. *Compression Molding*

Compression molding merupakan teknik pencetakan plastik dengan material *compound plastic* yang diletakan kedalam *mold* yang dipanaskan kemudian setelah material tersebut menjadi lunak dan bersifat plastis, maka bagian atas dari *die* atau *mold* akan bergerak turun. *Compression molding* sering digunakan untuk mencetak plastik yang diperkuat *glass fibre*.

c. *Extrusion Molding*

Extrusion molding merupakan teknik pencetakan material plastik yang memiliki profil tertentu yang panjang. Proses pada *extrusion molding* memiliki perbedaan dimana material yang telah dipanaskan akan keluar seperti pasta akan keluar pada

forming die. *Forming die* adalah cetakan dengan profil tertentu yang khusus digunakan pada proses *extrusion molding*. Setelah keluar dari *forming die* produk yang masih panas akan ditarik dengan *conveyor*. Pada proses ini plastik akan didinginkan dan dipotong sesuai dengan kebutuhan. Dalam keseharian hasil dari proses ini dapat ditemui dalam bentuk sedotan, kantung plastik, kabel, benang sintesis, dan lain lain.

d. *Transfer Molding*

Pembuatan produk plastik dengan cara memproses material dengan memanaskan dan memprosesnya pada mold yang tertutup merupakan jenis proses injeksi *transfer molding*. Mesin injeksi yang digunakan pada proses ini adalah mesin dengan arah vertikal dikarenakan material akan diproses dengan tekanan dan panas yang berasal dari arah vertikal. Selanjutnya material yang menerima tekanan dan panas akan masuk kedalam *runner* dan masuk kedalam *cavity*.

e. *Injection Molding*

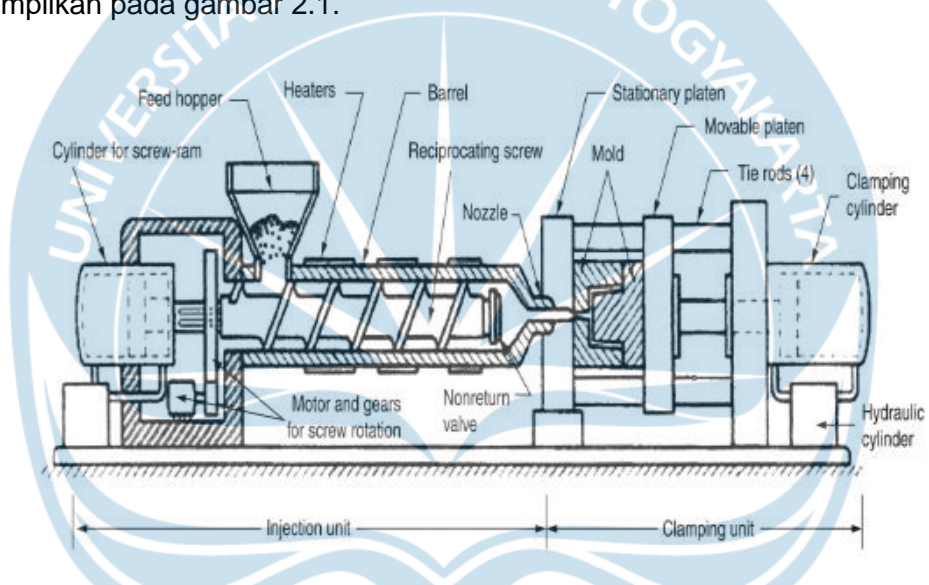
Injection molding adalah teknik pembentukan material thermoplastik dengan cetakan dengan profil tertentu. *Injection Molding* merupakan metode yang cenderung menghasilkan produk dengan ukuran dan kerumitan yang beragam. Keakuratan ukuran yang dapat diproses pada proses ini membuat banyak digunakan oleh banyak industri plastik. Selain keakuratannya, keunggulan lainnya adalah biayanya yang lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan metode lain.

2.2.2 Prinsip Dasar *Injection Molding*

Kutz (2016) menjelaskan *injection molding* merupakan metode pembentukan benda kerja dengan bahan dasar biji plastik. Untuk mengawali prosesnya biji plastik akan diletakan pada *hopper* atau tempat material sebelum diproses. Setelah mesin dioperasikan biji plastik yang berada pada *hopper* akan masuk kedalam silinder injeksi dan akan di dorong dengan *screw* yang terdapat pada dalam silinder injeksi. Plastik yang sudah mencair akan didorong keluar melau *sprue bush* dan *nozzle* kedalam *cavity* dari mold yang sudah tertutup. Setelah plastik masuk kedalam *cavity* cairan plastik membutuhkan waktu sebelum mold dibuka. Untuk mengeluarkan produk akan dibantu dengan *ejector*. Biji plastik yang sesuai digunakan pada metode ini adalah material *thermoplast*, hal tersebut dikarenakan karakteristik yang dimiliki oleh material *thermoplast* yang akan mengeras saat didinginkan.

Pada proses pemanasan yang terjadi karena perputaran *screw* dan bantuan *heater* dapat menghasilkan panas antara 117 °C sampai 274 °C. Suhu tersebut adalah suhu yang dibutuhkan plastik agar kembali menjadi material cair. Setiap material plastik memiliki karakter suhu yang berbeda. Semakin rendah viskositas dari material yang akan diproses akan semakin mudah untuk diproses dalam *mold* . Dalam menentukan suhu dapat disesuaikan dengan kandungan plastis dari material, jika semakin tinggi kandungannya maka gunakan suhu rendah sedangkan jika rendah gunakan suhu tinggi.

Berdasarkan bagiannya, mesin injeksi dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan fungsinya. Pembagian mesin injeksi berdasarkan fungsinya akan ditampilkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Bagian Mesin Injeksi (Kutz, 2016)

Pembagian menurut fungsinya yang terdapat pada gambar bagian mesin injeksi menurut buku yang telah ditulis oleh Kutz (2016) dapat dijelaskan sebagai berikut ini:

a. Injection Unit

Bagian *injection unit* memiliki beberapa bagian penting yang tiap bagiannya memiliki fungsi utama untuk memproses dan mengalirkan material yang akan diinjeksikan kedalam *mold* . Dalam prosesnya material biji plastik akan di proses menjadi cairan agar material yang diinginkan sesuai dengan bentuk cetakan.

b. Mold Unit

Tempat dimana plastik akan dicetak sesuai dengan profil yang diinginkan adalah definisi dari *mold unit* . Sesuai dengan fungsinya sebagai cetakan maka bagian ini

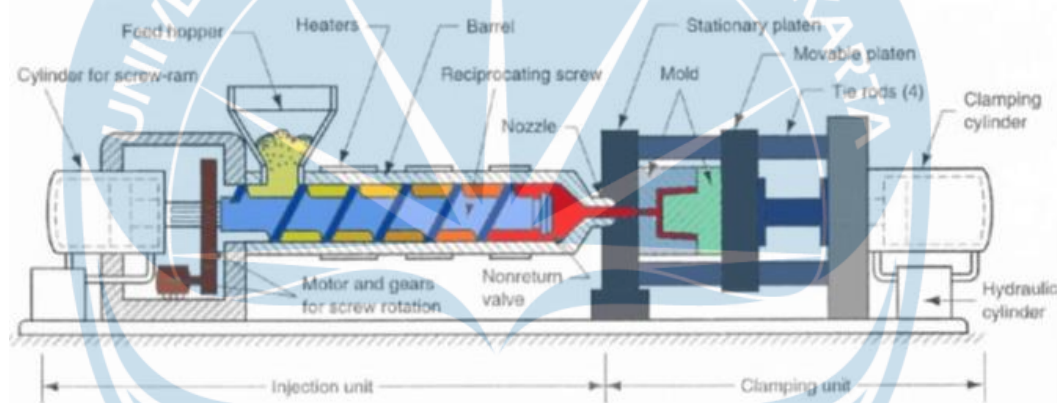
dapat dibongkar pasang sesuai dengan bentuk cetak yang terdapat pada *mold*. *Mold* terdiri dari 2 bagian utama, yaitu *core* dan *cavity*. Bagian yang kontak langsung dengan *nozzle* merupakan *cavity*, sedangkan bagian yang memiliki kontak dengan *ejector* adalah *core*.

c. *Clamping Unit*

Tempat dimana *mold* diletakan adalah *clamping unit*. Pada unit ini pergerakan buka dan tutup dari *mold* akan diatur. Panjang langkah buka *mold* dan berapa panjang gerakan *ejector* diatur juga pada unit ini.

2.2.3 Injection Unit

Dalam proses pembuatan produk cetak dibutuhkan mesin injeksi yang terdiri beberapa bagian yang memiliki fungsi tersendiri, untuk lebih jelasnya akan ditampilkan pada gambar 2.2. tentang bagian dari *injection unit*.



Gambar 2.2. Injection Unit (Menges dkk, 2001)

Bagian *injection unit* yang terdapat pada gambar 2.2. menurut buku yang telah ditulis oleh Menges dkk, (2001) dapat dijelaskan sebagai berikut ini:

a. *Hopper*

Tempat dimana material diletakan dan disimpan sebelum masuk kedalam *barrel* merupakan fungsi utama dari *hopper*. Fungsi lain dari *hopper* adalah untuk menjaga kelembaban dari material sebelum diproses, kelembaban dari material sangat berpengaruh pada saat proses injeksi berlangsung.

b. *Barrel*

Proses pemanasan material plastik terjadi pada *barrel*. Material yang telah dimasukan kedalam *hopper* akan dicairkan dan disalurkan ke *nozzle*. Proses

pemanasan terjadi karena adanya *screw* yang berputar dan *heater* yang terdapat pada susunan *barrel*.

c. *Heater*

Pemanasan material plastik sampai menjadi cairan plastik memerlukan alat bantuan yaitu *heater*. Fungsi dari *heater* sendiri adalah untuk menjaga suhu dari material cair agar temperaturnya sesuai dengan kebutuhan.

d. *Motor dan Gear*

Perputaran yang terjadi pada *screw* disebabkan oleh perputaran *motor* dan *gear*. Perputaran *screw* membuat tekanan pada material yang ada didalam *barrel* sehingga material dapat keluar dari *nozzle*.

e. *Cylinder for screw*

Gerakan mendorong dan memundurkan *screw* diakibatkan oleh bantuan dari *cylinder*. Fungsi dari *cylinder for screw* adalah membantu proses injeksi sehingga material yang terdapat pada *nozzle* dapat keluar menuju cetakan.

f. *Non-return Valve*

Non-return valve adalah katup yang digunakan untuk menjaga cairan yang telah diinjeksikan melalui *nozzle* tidak memberikan tekanan balik setelah selesai proses injeksi.

2.2.4 Molding Unit

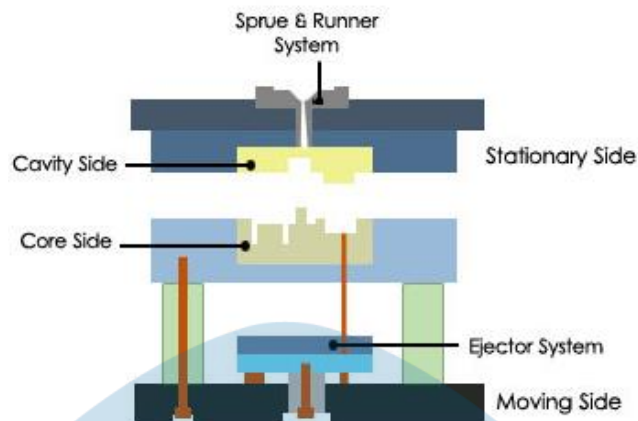
Bagian dari *molding unit* memiliki dua bagian penting yaitu *core* dan *cavity*. Bagian dari cetakan yang memiliki kontak langsung dengan *nozzle* merupakan bagian yang disebut *cavity*. Sedangkan bagian yang memiliki kontak langsung dengan *ejector* merupakan bagian yang disebut dengan *core*.

Dibandingkan dengan proses manufaktur lainnya, pembuatan injeksi *mold* membutuhkan biaya persiapan yang mahal namun memiliki *cycle time* yang cepat. Sehingga dalam pertimbangan ini biaya tiap bagian dari proses pembuatan injeksi *mold* dapat direduksi lebih murah bila berjalan secara otomatis.

Molding unit yang seperti dipaparkan oleh Gastrow (2006), terdiri atas beberapa bagian yang menyusun suatu sistem injeksi yang terdiri dari:

a. *Standard Mold*

Dalam membuat suatu produk injeksi dibutuhkan tipe dasar *mold* atau *standard mold*. Untuk lebih jelasnya gambaran *standard mold* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Mold Standard (Gastrow, 2006)

Berdasarkan gambar 2.3. karakteristik dari standard *mold* antara lain adalah:

i. *Stasionary Side*

Stasionary side merupakan nama lain dari *cavity*. Pada proses injeksi berlangsung, bagian *cavity* tidak melakukan pergerakan. Bagian dari *cavity* yang membantu material masuk kedalam pada saat proses injeksi adalah *sprue bush*. *Sprue bush* merupakan *part* yang akan kontak langsung dengan *nozzle* mesin injeksi dan bagian ini juga adalah pintu masuk material kedalam *mold*.

ii. *Moving Plate*

Moving plate merupakan bagian yang bergerak pada saat proses injeksi. *Moving plate* secara umum dikenal sebagai *core*. *Ejector* yang terdapat pada bagian *moving plate* berguna untuk membantu produk yang telah selesai dicetak keluar dari *mold*.

b. *Runner*

Pada saat material diinjeksikan menuju *core* dan *cavity* dibutuhkan jalur khusus, jalur ini disebut sebagai *runner*. Bentuk dari *runner* cenderung menyerupai *cone* atau mengkerucut dari ukurannya yang kecil saat mulai diinjeksikan lalu membesar dan akhirnya menuju *gate*. Ukuran dari *runner* tidak boleh melebihi dari ketebalan maksimal dari produk yang dicetak, hal itu akan mempengaruhi *cooling time* dari produk tersebut.

c. *Gate*

Gate merupakan titik material cair masuk yang berasal dari *gate* ke dalam profil yang akan dicetak. Penempatan *gate* sangat berpengaruh terhadap proses pencetakan. Posisi dari *gate* harus sedekat mungkin dengan dinding paling tebal

dari produk yang akan dicetak. Ukuran dari *gate* juga berpengaruh terhadap keberhasilan produk yang dicetak. Fungsi lain dari *gate* adalah memudahkan pada saat memisahkan antara produk dan *runner*.

2.2.5 Jenis-Jenis Material Plastik

Berdasarkan sifat plastik jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Nomor kode plastik akan tercantum pada produk-produk berbahan plastik seperti yang ditampilkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Nomer Kode Plastik (Astuti dkk, 2020)

Penjelasan dari kode dan bahan yang tertera pada nomer kode plastik menurut hasil riset yang pernah dilaporkan oleh Astuti dkk (2020) dapat dijelaskan berikut ini:

a. PETE (*Polyethylene Terephthalate*)

Sesuai dengan gambar 2.4 pada segitiga dengan angka 1 dapat digambarkan sebagai PETE (*Polyethylene Terephthalate*). PETE biasa dipakai pada botol plastik dengan kriteria berwarna jernih atau transparan atau tembus pandang (botol air mineral, botol jus, dan hampir semua botol minuman lainnya).

Botol jenis ini direkomendasikan hanya sekali pakai dan bila sering dipakai, apalagi untuk menyimpan air hangat atau panas, berimbas pada melelehnya lapisan polimer pada botol serta mengeluarkan zat karsinogenik yang dapat menyebabkan kanker dalam jangka panjang.

b. HDPE (*High Density Polyethylene*)

Sesuai dengan gambar 2.4 pada segitiga dengan angka 2 dapat digambarkan sebagai HDPE (*High Density Polyethylene*) di bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol susu yang berwarna putih susu, tupperware, galon air minum, kursi lipat, dan lain-lain. HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi.

HDPE merupakan salah satu bahan plastik yang aman untuk digunakan karena kemampuan untuk mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE dengan makanan atau minuman yang dikemasnya. Sama seperti PET, HDPE juga direkomendasikan hanya untuk sekali pemakaian karena pelepasan senyawa antimoni trioksida terus meningkat seiring waktu.

c. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

Sesuai dengan gambar 2.4 pada segitiga dengan angka 3 dapat digambarkan sebagai PVC (*Polyvinyl Chloride*). Plastik jenis ini merupakan plastik sangat sulit untuk di daur ulang. Penggunaan dari plastik ini biasa digunakan pada platik pembungkis dan botol. Bagi kesehatan penggunaan plastik ini kurang baik manusia karena reaksinya dapat membahayakan ginjal dan hati.

d. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Sesuai dengan gambar 2.4 pada segitiga dengan angka 4 dapat digambarkan sebagai LDPE. Plastik jenis ini memiliki karakteristik berwarna coklat karena berbahan dasar minyak bumi. Kegunaan yang paling sering digunakan dengan plastik berbahan dasar LDPE adalah plastik kemasan, dan botol yang plastis. Reaksi yang dimiliki oleh plastik ini dengan manusia masih tergolong baik sehingga plastik ini dapat digunakan sebagai pembungkus makanan. Sifat yang dimiliki membuat plastik berjenis ini dapat di daur ulang namun sulit untuk dihancurkan.

e. PP (*Polipropilen*)

Sesuai dengan gambar 2.4 pada segitiga dengan angka 5 dapat digambarkan sebagai PP. Plastik jenis ini memiliki karakteristik dengan warna transparan. Plastik jenis ini sangat baik jika berhubungan dengan makanan, karena memiliki sifat yang kuat, ringan dan tahan akan suhu tinggi.

f. PS (*Polystyrene*)

Sesuai dengan gambar 2.4 pada segitiga dengan angka 6 dapat digambarkan sebagai PS. Plastik yang berbahan dasar PS biasa aplikasikan pada tempat makan seperti *styrofoam*. Jika bahan dasar plastik ini berhubungan langsung dengan makanan atau minuman kurang baik, hal itu dikarenakan reaksinya dapat merusak kesehatan otak. Jangka waktu yang dibutuhkan plastik ini agar dapat di daur ulang sangat lama.

g. OTHER

Sesuai dengan gambar 2.4 pada segitiga dengan angka 7 dapat digambarkan sebagai *other*. *Other* terbagi dalam beberapa jenis, yaitu: *Styrene Acrylonitrile*,

Acrylonitrile Butadiene Styrene, *Polycarbonate*, dan *Nylon*. Penggunaan plastik berbahan dasar tersebut biasa digunakan pada produk rumah tangga, produk elektronik, produk untuk aksesoris otomotif dan beberapa kegunaan lainnya. Karakteristik dari plastik berjenis *Styrene Acrylonitrile*, *Acrylonitrile Butadiene Styrene* yang tahan akan reaksi kimia, suhu tinggi dan memiliki karakteristik yang kuat dapat diaplikasikan pada barang yang membutuhkan resistensi yang tinggi seperti termos, mangkuk makanan, dan sebagainya.

2.2.6 Hubungan Antara Plastik Dengan Desain *Plastic Molding*

Plastik merupakan bahan baku yang didapat melalui proses sintesis dengan bahan baku minyak bumi. Bahan dasar plastik masih tergolong dalam bahan organik, hal itu didasarkan dengan bahan penyusun plastik adalah senyawa karbon. Plastik merupakan bahan baku yang memiliki struktur makro molekul, hal tersebut disebabkan oleh susunan molekul yang membentuk plastik terdiri dari molekul yang besar. Berdasarkan struktur molekul yang menyusun plastik, plastik dibedakan menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah:

- a. *Thermoplast*, plastik jenis ini memiliki susunan molekul yang tidak beraturan dan tidak terikat satu sama lain. Susunan molekul dapat berkaitan diakibatkan oleh adanya gesekan dan ikatan secara acak antar molekul. Dengan susunan yang tidak beraturan membuat plastik jenis ini lebih mudah untuk deformasi.
- b. *Duroplast*, plastik jenis ini memiliki struktur molekul berbentuk belah ketupat seperti jala yang rapat. Susunan molekul yang dimiliki oleh plastik terjadi karena adanya gaya sambung kimia. Berdasarkan susunan molekul yang dimiliki membuat plastik jenis ini akan mengalami penyusutan saat mengalami kenaikan temperatur.
- c. *Elastomer*, plastik jenis ini memiliki susunan molekul seperti yang dimiliki oleh plastik jenis *duroplast*, hanya saja yang membedakan adalah kerapatan susunan dari molekul yang lebih renggang. Hubungan antar molekul terjadi karena adanya gesekan, ikatan dan gaya sambung kimia yang terjadi antar dua makro molekul.

2.2.7 Dasar Pembuatan *Mold*

Dalam membuat desain *mold*, ada aturan yang harus diperhatikan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Desain *mold* sangat mempengaruhi terhadap mesin yang digunakan, hasil produk, dan kemungkinan

cacat yang terjadi, berikut adalah aturan atau langkah yang harus diperhatikan saat mendesain *mold*:

- a. Keseragaman tebal yang digunakan dalam suatu produk. Ketebalan yang sama dalam setiap bagian akan meminimalkan terjadi cacat pada produk yang akan dibuat. Selain itu keseragaman tebal antar dinding akan membuat proses lebih efisien pada saat proses injeksi dan waktu siklus yang digunakan.
- b. Memberikan radius pada sudut produk, setidaknya satu kali dari tebal maksimal material. Hal ini dilakukan agar meminimalkan cacat produk yang terjadi akibat sudut tajam produk.
- c. Saat menentukan ketebalan produk perlu memperhatikan desain produk, bahan baku yang digunakan dan proses yang akan dilakukan. Ketebalan sangat mempengaruhi proses injeksi secara keseluruhan dan juga mempengaruhi dari biaya produksi.
- d. Memberikan penguat atau *rib* pada bagian yang rentan terjadi *crack* atau patah. Penguat biasanya dipakai pada bidang yang panjang atau pada titik lemah pada suatu produk. Hal ini dilakukan agar bidang yang rentan terjadi *crack* tidak perlu diperkuat dengan mempertebal bidang tersebut. Hal ini dapat mengurangi penggunaan bahan baku yang digunakan untuk membuat produk injeksi.

2.2.8 Cacat Produk Plastik Pada Proses *Molding*

Pada proses pencetakan plastik terdapat beberapa jenis cacat yang terjadi pada plastik. Cacat pada plastik dapat dipengaruhi oleh parameter mesin saat proses pencetakan, jenis material, cetakan atau *mold*, jenis cairan pendingin. Goodship (2017) menyebutkan terdapat beberapa jenis cacat produk yang terjadi pada proses pembuatan plastik, yaitu:

a. *Short Shot*

Cacat produk berupa tidak sesuainya jumlah plastik yang diinjeksikan sehingga produk yang dihasilkan tidak berbentuk sesuai dengan cetakan disebut *short shot*. Penyebab terjadinya *short shot* dapat disebabkan oleh beberapa masalah, diantaranya tekanan injeksi yang kurang sesuai, suhu yang kurang sesuai, karakteristik viskositas dari material plastik, desain posisi dari gate, kelayakan dari cetakan yang digunakan, dan kondisi dari mesin yang digunakan saat proses injeksi. Gambaran dari cacat produk *short shot* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Contoh *Short Shot* (Iskandar dan Vendiza, 2019)

b. *Flashing*

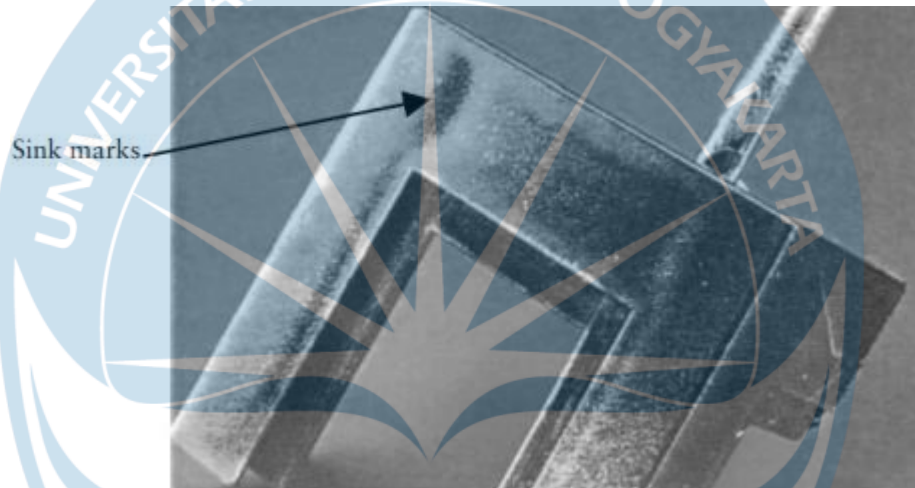
Terdapatnya material berlebih di pinggir-pinggir pada produk mold yang telah dicetak merupakan cacat produk berupa *flashing*. *Flashing* merupakan cacat produk yang masih tergolong dapat ditoleransi karena dapat dibersihkan secara manual. Cacat produk ini dapat terjadi karena kurangnya *clamping force* yang diberikan dan viskositas dari material yang rendah. Selain itu cacat produk ini dapat disebabkan karena kerapatan pada *mold* yang digunakan tidak sesuai dengan *standard* yang berlaku. Desain, pengerjaan *mold* , dan parameter mesin saat proses injeksi sangat berpengaruh pada kemungkinan terjadinya *flashing*. Gambaran dari cacat *flashing* ditampilkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Contoh *Flashing* (Gooship, 2017)

c. *Sink marks*

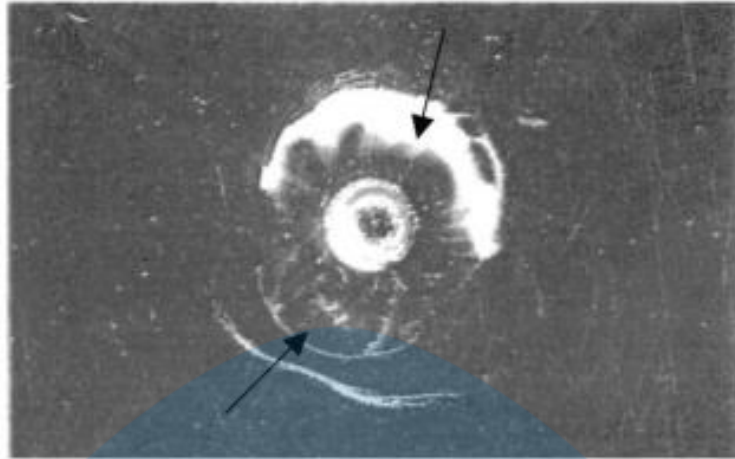
Terjadinya cacat berupa cekungan pada permukaan produk *mold* merupakan cacat produk berupa *sink marks*. *Sink marks* dapat dikategorikan sebagai cacat produk apabila kualitas secara penampilan tidak diperlukan. Cacat produk ini terjadi karena adanya pada desain produk terdapat perbedaan tebal tiap dinding pada produk. *Sink marks* terjadi karena pada saat proses injeksi material yang masuk terlalu cepat sehingga terjadi perbedaan suhu antara *core* dan *cavity*. Waktu pendinginan, desain dari jalur *cooling*, *holding time* juga mempengaruhi terjadinya cacat *sink marks*. Contoh bentuk *sink marks* yang terjadi dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Contoh Sink Marks (Goodship, 2017)

d. *Flow Mark*

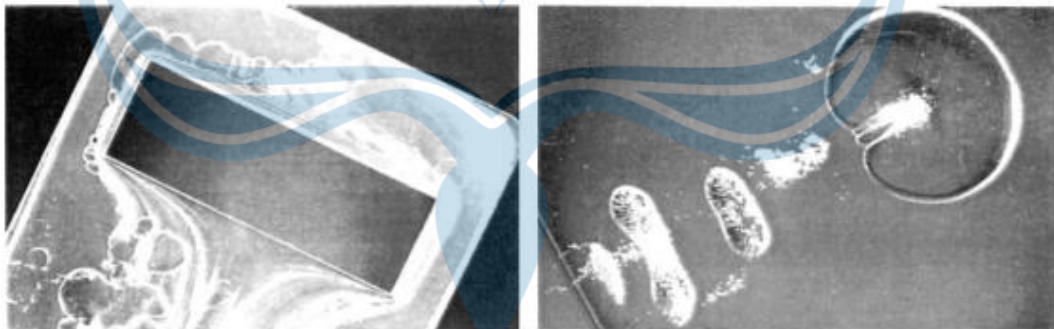
Flow mark merupakan cacat produk berupa terdapatnya garis alur material masuk saat proses injeksi. Garis alur terbentuk pada *gate* pada saat material material mulai diinjeksikan kedalam *cavity*. Cacat produk ini dapat terjadi karena aliran material yang yang masuk pada cetakan lambat sedangkan proses pendinginan memiliki waktu yang singkat. Contoh dari *flow mark* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Contoh Sink Marks (Goodship, 2017)

e. *Bubbles*

Cacat produk berupa melepuhnya produk atau adanya gelembung pada produk merupakan cacat berupa *bubbles*. Gelombang udara terperangkap pada produk saat proses injeksi yang menyebabkan cacat produk ini. Udara yang membuat cacat terperangkap disebabkan udara yang ada tidak keluar melalui *airvent* pada saat material diinjeksikannya material kedalam *cavity*. *Bubbles* dapat disebabkan oleh dekompresi terlalu tinggi atau cepat dan kualitas dari material plastik yang kurang baik. Gambaran dari *bubbles* dapat dilihat pada gambar 2.9.

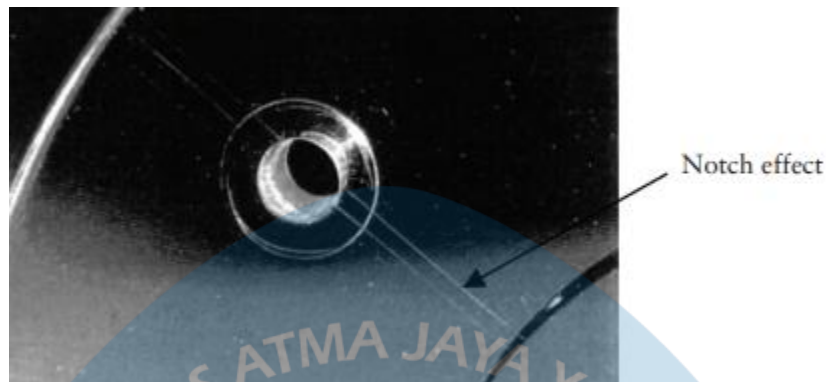


Gambar 2.9. Contoh Bubbles (Goodship, 2017)

f. *Weld Line*

Cacat produk yang berupa garis yang berbentuk “V” menyerupai garis hasil las dapat disebut cacat produk berupa *weld line*. Terjadinya cacat produk ini dikarenakan penggunaan multi *gate* pada cetakan yang digunakan. Parameter yang digunakan pada proses injeksi seperti kecepatan injeksi, waktu pendinginan, dan suhu material yang tinggi sangat berpengaruh dalam terjadinya *weld line*. Dalam

pengaplikasiannya cacat ini tidak dapat dihilangkan, tapi dapat dikurangi kemungkinannya. Adanya *weld line* dapat mengurangi kekuatan yang ada pada produk. Gambaran dari *weld line* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Contoh *Weld Line* (Goodship, 2017)

g. *Shrinkage*

Pada proses injeksi perlu dilakukan perhitungan terhadap volumetric penyusutan material yang akan terjadi pada saat material telah membeku dan dikeluarkan dari cetakan. Setelah suhu dari material plastik menurun akan terjadi penyusutan volumetric yang menyebabkan ukuran dari produk yang dihasilkan lebih kecil dari rongga cetakan. Perhitungan yang dilakukan adalah menghitung nilai *shrinkage*, yaitu besaran nilai penyusutan volumetric yang dilambangkan dengan persen. Menurut Widyatmoko (2017) *shrinkage* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Shrinkage = \frac{\Delta L}{L} (\%) \quad (2.1)$$

Keterangan:

ΔL : Perbedaan ukuran antara awal dan akhir

L : Ukuran awal

Untuk membuat sebuah *cavity* diperlukan perhitungan terhadap faktor *shrinkage* agar ukuran produk yang dihasilkan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.

Faktor *shrinkage* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Faktor shrinkage = (1 + \Delta L) \quad (2.2)$$

Keterangan:

ΔL : persentase *shrinkage*

Setelah mendapatkan nilai faktor *shrinkage*, fakto tersebut akan dikalikan dengan ukuran-ukuran yang terdapat pada *cavity* agar mendapatkan hasil produk dengan ukuran yang sesuai.

Faktor lain yang dapat menyebabkan terjadinya *Shrinkage* adalah besarnya tekanan injeksi dan *holding time*, kurang baiknya sistem *cooling*, posisi dan jumlah gate yang digunakan, dan penguat atau *rib* yang digunakan pada produk yang dicetak.

h. *Warpage*

Cacat produk berupa terjadinya lengkungan atau bengkoknya produk yang dikarenakan tekanan yang diberikan pada produk tidak merata merupakan cacat produk berupa *warpage*. Terjadinya *warpage* dapat disebabkan oleh *injection pressure* yang kurang terlalu tinggi atau rendah, *clamping force* yang kurang cukup dan waktu *cooling* yang terlalu singkat. Gambaran dari cacat *warpage* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Contoh *Warpage* (Zulianto, 2015)

2.2.9. Rekayasa Kualitas

Menurut ISO 8402:1986 kualitas merupakan karakteristik produk atau jasa yang dimana dapat memuaskan kebutuhan penggunaannya. Menurut Taguchi dkk (2005) kualitas merupakan kerugian yang diakibatkan dari penyimpangan nilai nominal atau target terhadap produk. Menurut Taguchi dkk (2005) dalam aktifitas penelitian yang dilakukan, rekayasa kualitas terbagi menjadi dua, yaitu secara *off line* dan *online*. Dalam penggunaan metode Taguchi akan dijelaskan hubungan antara kualitas dengan biaya kualitas, yang dimana dilakukan rekayasa kualitas secara *off line* dan *online* pada rancangan produk, rancangan proses produksi dan rekayasa kualitas pada pelayanan terhadap konsumen.

2.9.1. Rekayasa Kualitas Secara *Off Line*

Perancangan eksperimen merupakan bagian yang paling penting, yang dimana akan dilakukan identifikasi terhadap sumber dan variasi yang selanjutnya menjadi dasar didapatkan perancangan dan proses yang optimal. Dalam tahap yang dilakukan terdapat tiga tahapan, yaitu:

a. Perancangan Konsep

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap permasalahan yang dimiliki dan selanjutnya memilih dasar atau metode penyelesaian yang sesuai dengan

permasalahan yang dimiliki. Adapun beberapa metode yang terdapat pada tahap ini adalah:

- i. *Design of Experiment*.
- ii. *Quality Function Development*.
- iii. *Pugh Concept Selection Process*.
- iv. *Dynamic Signal to Noise Optimization*.
- v. *Theory of Inventive Problem Solving*.
- vi. *Competitive Technology Assessment*.

b. Perancangan Parameter

Tahap ini berfokus pada optimalisasi level dari faktor berpengaruh sehingga hasil yang didapatkan terhindar dari pengaruh faktor lain (*noise*). Adapun metode yang dilakukan pada tahap ini mendapatkan hasil yang optimal, yaitu:

- i. *Engineering Analysis*.
- ii. *Cross Array Experiment*.
- iii. *Dynamic and Static Signal-to-Noise Optimization*.
- iv. *The System P Diagram*.

c. Perancangan Toleransi

Pada tahap perancangan toleransi dilakukan penimbangan antara biaya kualitas dari suatu produk dengan cara dibuatnya matriks *orthogonal array*, *loss function* dan ANOVA. Beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan perancangan toleransi, yaitu:

- i. *Design of Experiment*
- iii. *Analysis of Variance (ANOVA)*
- iii. *Quality Loss Function*

2.9.2. Rekayasa Secara *Online*

Tahapan yang dilakukan pada rekayasa secara *online* adalah melakukan pengendalian pada setiap proses secara langsung. Pengendalian secara langsung dapat mengontrol biaya yang dikeluarkan pada saat produksi dengan angka yang rendah dan juga dapat mengontrol setiap mesin produksi agar meminimalisasi terjadi kerusakan pada mesin. Adapun beberapa metode yang dilakukan pada tahapan ini yaitu:

- a. *Static Signal-to-Noise Ratio*
- b. *Loss Function-Based Process Control*
- c. *Statistical Process Control*
- d. *Compensation*

2.2.10. Design of Experiment

Desain eksperimen dapat membantu menemukan variabel yang mempengaruhi karakteristik kualitas yang akan ditingkatkan dalam suatu proses. Montgomery (2009) dalam bukunya menjelaskan bahwa desain eksperimen merupakan pendekatan yang dilakukan secara sistematis dengan memvariasikan faktor yang dapat dikontrol dalam proses dan menentukan pengaruh dari masing-masing faktor tersebut terhadap parameter produk yang dihasilkan. Menurut Iriawan dkk (2006) penggunaan secara umum desain eksperimen adalah untuk menentukan faktor yang mempengaruhi respon, menentukan faktor agar mendapatkan nilai yang mendekati dari hasil yang diinginkan, dan menentukan faktor yang menyebabkan hasil variasi respon terkecil. Menurut Taguchi dkk (2005) tahapan yang dilakukan dalam melakukan desain eksperimen adalah sebagai berikut:

- a. Identifikasi masalah terhadap eksperimen yang dilakukan
- b. Pemilihan kerangka konseptual terhadap permasalahan eksperimen yang dilakukan serta keterkaitan dengan penelitian sebelumnya.
- c. Merancang masalah terhadap eksperimen yang dilakukan.
- d. Melakukan observasi.
- e. Memilih dan memberi definisi akan variabel-variabel yang didapat saat pengukuran.
- f. Melakukan sampling eksperimen.
- g. Menentukan alat dan teknik untuk pengumpulan data.
- h. Mengolah data yang didapatkan dari hasil penelitian.
- i. Membuat analisa terhadap hasil dari data yang diolah secara statistik.
- j. Membuat hasil penelitian, termasuk proses penelitian, data yang didapatkan, hasil akhir penelitian, serta memberikan saran akan penelitian yang dilakukan selanjutnya.

Menurut Park (1996) terdapat beberapa tipe dari desain eksperimen yang didasari dengan penempatan dari kombinasi faktor dan derajat kebebasan dari eksperimen yang dilakukan, berikut adalah klasifikasinya:

a. Factorial Design

Factorial design dilakukan dengan cara mengidentifikasi kemungkinan kombinasi perlakuan yang didasari dari faktor-faktor yang telah ditentukan. Dalam hal ini urutan pemilihan kombinasi perlakuan dipilih secara acak. Berdasarkan bentuknya *factorial design* memiliki beberapa model bentuk diantaranya adalah *single factor*,

two factor, three factor, dan juga bentuk perpangkatan seperti 2^k dan 3^k yang dimana k adalah faktor dan angka didepannya adalah level yang digunakan.

b. Fractional Factorial Design

Fractional factorial design dilakukan dengan cara melakukan identifikasi terhadap seluruh kombinasi perlakuan yang memungkinkan. Pemilihan urutan kombinasi yang dilakukan dalam desain ini dilakukan secara acak. Penggunaan desain *fractional factorial* difokuskan pada suatu eksperimen yang membutuhkan biaya pelaksanaan yang tinggi dan waktu pengerjaan yang lama. Adapun kelas dari *fractional factorial design* diantaranya adalah *Plackett-Burman design*, *Latin Square design*, *Graeco-Latin Square design*, dan *orthogonal array*.

c. Randomized Complete Block Design

Randomized complete block design digunakan untuk mengontrol variasi yang timbul dari eksperimen yang tidak seragam (homogen). Dalam rancangan blok semua blok mengandung semua perlakuan. Oleh karenanya rancangan ini disebut sebagai rancangan blok lengkap. Dalam rancangan setiap blok seluruhnya memiliki perlakuan.

d. Incomplete Block Design

Incomplete block design terjadi pada saat adanya perlakuan yang tidak terdapat pada suatu blok pada *randomized complete block design*. Desain ini diterapkan pada saat ketidak mampuan suatu eksperimen dalam mendapatkan perlakuan dari masing masing blok karena fasilitas eksperimen yang kurang memadai.

e. Response Surface Design

Response surface design dilakukan dengan tujuan agar dapat mengetahui hubungan fungsional antara faktor-faktor terkait dengan respon yang ada agar mendapatkan kondisi optimal dari faktor-faktor tersebut. Untuk mendapatkan hasil tersebut perlu dilakukan eksplor terhadap model regresi agar didapatkan hasil yang optimal. Adapun beberapa kelas yang termasuk dalam *response surface design* yaitu *rotatable design*, *mixture design*, *simplex design* dan *Evolutionary Operation (EVOP) design*.

2.2.11. Metode Taguchi

Pada tahun 1949 Dr. Genichi Taguchi dalam tugasnya dalam meningkatkan kualitas pada sistem telekomunikasi yang berada di Jepang menemukan metode *Taguchi*. Metode ini diaplikasikan dalam meningkatkan kualitas pada produk dan sistem atau proses dengan tujuan untuk meminimalkan biaya dan sumber daya

yang dituju. Tujuan dalam penggunaan metode *Taguchi* adalah menjadikan pengembangan produk terhadap *noise*, dengan tujuan seperti itu metode *Taguchi* dapat dikenal dengan *robust design*. Metode lain yang telah diterapkan untuk meningkatkan kualitas proses dan produk, antara lain menggunakan metode rekayasa kualitas dengan desain kokoh (*quality by robust design*) dalam proses dan produk (Belavendram,1995).

Pengaplikasian pada metode *Taguchi* terdapat susunan matriks yang sering dikenal dengan nama *orthogonal array*. *Orthogonal array* merupakan susunan matriks minimal yang digunakan untuk mengetahui seberapa banyak jumlah eksperimen yang dilakukan yang didasari oleh faktor-faktor yang mempengaruhi respon. Penggunaan matriks *orthogonal array* pada metode *Taguchi* akan membantu memperkecil jumlah eksperimen yang dilakukan, akan tetapi hal tersebut haruslah didasari dengan pemilihan kombinasi level variabel input yang tepat untuk suatu respon.

Ross (1996) dalam bukunya menyatakan terdapat tiga konsep kualitas berdasarkan metode *Taguchi*, konsep tersebut yaitu:

- a. Dalam membuat produk harus memperhatikan kualitas mulai dari desain hingga hasil setelah produk diimplementasikan.
- b. Deviasi target harus diminimalisir dalam tujuan mencapai kualitas yang baik. Hal tersebut termasuk dengan membuat pengembangan desain dengan memperhatikan faktor-faktor yang dapat dikontrol dan tidak dapat dikontrol.
- c. Pada keseluruhan sistem harus di perhatikan kerugian yang disadari dari *standard* yang ada. Perhitungan biaya kualitas adalah dasar didapatkannya fungsi deviasi.

Pada penggunaan metode *Taguchi* eksperimen yang dilakukan dengan tujuan meminimalisasi variasi suatu proses atau produk menggunakan desain parameter. Dalam penggunaan metode *Taguchi* terdapat istilah *control factor* dan *noise*. *Control factor* merupakan parameter dominan yang mempengaruhi dari proses, sedangkan *noise* merupakan parameter gangguan. Dengan diketahuinya *control factor* pada suatu proses maka dapat dilakukan optimasi terhadap parameter yang ada. Dengan kata lain proses optimasi tersebut dapat disebut desain parameter.

Dalam tujuan meminimalisasi penyimpangan karakteristik kualitas suatu produk perlu dilakukan identifikasi faktor yang mempengaruhi dari karakteristik kualitas.

Jika telah diketahui faktor yang mempengaruhi maka langkah yang dapat dilakukan adalah melakukan analisa terhadap level dari faktor yang mempengaruhi agar mendapatkan hasil sesuai target. Pada pemilihan faktor yang berpengaruh terdapat beberapa faktor yang menyebabkan variasi terhadap produk yang dapat juga disebut faktor gangguan. Berdasarkan jenisnya, gangguan terbagi menjadi 3 yaitu:

a. Gangguan Internal

Gangguan internal berkaitan dengan faktor yang menyebabkan produk menjadi aus, sehingga tidak mencapai target.

b. Gangguan Eksternal

Faktor gangguan eksternal diartikan sebagai sumber-sumber variabilitas yang berasal dari luar produk. Gangguan eksternal berkaitan dengan lingkungan atau kondisi yang mempengaruhi fungsi ideal dari produk.

c. Gangguan Antar Unit

Keragaman dari unit ke unit berkaitan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara tiap produk yang telah dibuat dalam spesifikasi yang sama. Variasi ini tidak dapat dihindari dalam parameter produk dari suatu unit ke unit lainnya.

Berdasarkan nilai targetnya, karakteristik kualitas dibagi menjadi tiga, yaitu:

a. *Smaller The Best*

Pada target *smaller the best* besarnya tertuju pada suatu nilai tertentu.

b. *Smaller The Better*

Target *smaller the better* berfokus pada nilai terkecil atau dapat diibaratkan mendekati nilai 0, semakin kecil nilainya semakin baik. Contoh eksperimen yang bisa menerapkan target ini adalah optimasi cacat produk dan kekasaran *surface* suatu produk.

c. *Larger The Better*

Berdasarkan targetnya, *Larger the better* berfokus pada nilai terbesar pada suatu eksperimen, semakin besar semakin baik, dan pada target ini tidak ada batasan nilai tertinggi. Contoh penerapan target nilai terbesar dilakukan pada eksperimen uji tekan suatu material dan eksperimen uji panas suatu material.

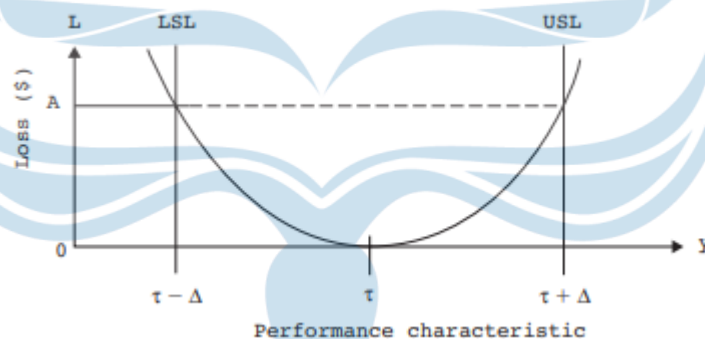
2.2.12. Taguchi Loss Function

Taguchi dkk (2005) dalam bukunya menyebutkan bahwa *Taguchi Loss function* secara umum merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat

(produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Kualitas pada suatu produk sangat berpengaruh pada produsen dan customer. Dimana produsen membutuhkan biaya lebih untuk meningkatkan kualitas suatu produk, dan efek yang dirasakan oleh customer pada saat mendapat kualitas yang kurang baik akan membuat rasa tidak puas akan kualitas yang dikerjakan oleh produsen.

Penyimpangan yang terjadi pada suatu karakteristik kualitas produk dengan targetnya merupakan definisi dari *loss*. Besaran *loss* dapat meningkat apabila nilai karakteristik kualitas menyimpang dari target yang telah ditentukan.

Biaya yang ditimbulkan antara produsen dengan konsumen yang diakibatkan dari penetapan karakteristik suatu kualitas dapat di gambarkan dengan *loss function*. Dengan demikian fungsi *loss function* sendiri adalah sebagai alat ukur perfomasi karakteristik suatu kualitas terhadap target yang telah ditentukan sebelumnya, besaran *loss* dapat dilihat dari variasi yang terjadi disekitaran target yang digambarkan dengan kurva. Adapun fungsi lain dari *loss function* yaitu sebagai dasar evaluasi pengaruh perbaikan yang dilakukan dalam meningkatkan kualitas. Gambaran dari kurva yang dihasilkan pada *Taguchi loss function* dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Taguchi Loss Function (Besterfield, 2012)

Keterangan gambar:

LSL (*Lower Spesification Limit*) = Batas toleransi minimal dari spesifikasi yang telah ditentukan oleh *customer*.

USL (*Upper Spesification Limit*) = Batas toleransi maksimal dari spesifikasi yang telah ditentukan oleh *customer*.

τ = Besaran spesifikasi yang diharapkan.

Δ = Jarak toleransi dengan besaran spesifikasi yang diharapkan.

A = Besaran toleransi maksimal dari biaya yang diakibatkan oleh produk yang dihasilkan.

y = rata-rata distribusi.

Bedasarkan grafik pada gambar 2.12. yang menggambarkan grafik *Taguchi loss function*, dapat dilihat bahwa kerugian akan menurun ketikan kualitas y mendekati nilai τ , dan sebaliknya jika kualitas y menjauhi nilai τ kerugian akan meningkat. Pada *Taguchi loss control* terdapat koefisien yang disebut koefisien kerugian kualitas (k). Koefisien k ditetapkan sebagai basisinformasi tentang kerugian yang disebabkan pada terminologi moneter yang diakibtakan dari spesifikasi produk yang melewati dari batas toleransi konsumen. Besterfield (2012) menjelaskan pendekatan *loss function* terbagi menjadi tiga, hal tersebut didasari dengan karakteristik kualitasnya. Kategori tersebut yaitu:

a. *Nominal Is The Best*

Pada kategori *nominal is the best*, karakteristik kualitas yang didapatkan dapat berupa nilai positif ataupun negatif. Besaran nilai diukur dari target yang telah ditentukan, dengan kata lain semakin besaran nilai yang didapat dengan target yang ditentukan maka hasil yang didapatkan semakin baik. Adapun cara perhitungan yang digunakan untuk menemukan nilai *nominal is the best* sebagai berikut:

$$L_n = k_n \times (y - \tau)^2 \quad (2.3)$$

$$k_n = \frac{A}{\Delta^2} \quad (2.4)$$

Keterangan:

L = biaya yang dikeluarkan karena kualitas menyimpang dari target

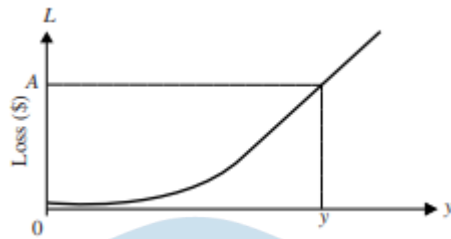
Gambaran grafik pada *nominal is the best* sama dengan gambaran yang ada pada gambar 2.12.

b. *Lower Is Best*

Kategori *lower is best* merupakan karakteristik kualitas yang dimana pencapaiannya adalah semakin nilai mendekati nol maka hasil yang dihasilkan semakin baik. Adapun cara perhitungan dalam mendapatkan hasil *lower is best* sebagai berikut:

$$L_l = k_l \times y^2 \quad (2.5)$$

$$k_l = \frac{A}{y^2} \quad (2.6)$$



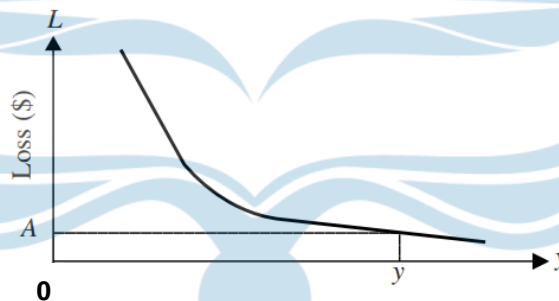
Gambar 2.13. Grafik Lower Is Best (Besterfield, 2012)

c. Higher Is Best

Pada kategori *higher is best* pencapaian yang baik apabila nilai yang didapatkan sebesar mungkin dan tidak ada batasan, semakin besar nilai yang didapatkan maka semakin baik hasilnya. Persamaan yang digunakan dalam mendapatkan nilai *higher is best* sebagai berikut:

$$L_h = k_h \times \frac{1}{y^2} \quad (2.7)$$

$$k_h = Ay^2 \quad (2.8)$$



Gambar 2.14. Grafik Higher Is Best (Besterfield, 2012)

2.2.13. Signal to Noise Ratio (S/N ratio)

Signal to noise ratio (S/N ratio) digunakan oleh *Taguchi* pertama kali dalam eksperimen rekayasa elektronika dan komunikasi. Park (1996) dalam bukunya menjelaskan S/N ratio merupakan suatu angka yang digunakan dalam membandingkan tingkatan sinyal yang ditargetkan dengan tingkat *noise* yang ada. Dalam bukunya *Taguchi* dkk. (2005) menjelaskan penggunaan S/N ratio dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dengan meminimalkan variasi dan meningkatkan pengukuran. Pengaplikasian konsep S/N ratio pada desain

eksperimen nilai kekuatan sinyal dan *noise* diubah dengan nilai estimasi rata-rata (μ^2) dan variasi (σ^2).

Dalam eksperimen yang dilakukan akan menghasilkan data percobaan dari beberapa kombinasi level terhadap parameter kendali, data percobaan tersebut akan diolah sehingga mendapatkan nilai *S/N ratio*. Dari nilai yang didapatkan dari masing-masing kombinasi level terhadap parameter dapat mempengaruhi proses permesinan sehingga hal tersebut dianggap sebuah sinyal. Semakin besar nilai yang didapat semakin baik, hal tersebut akan menunjukkan parameter yang dipilih merupakan parameter penting pada proses permesinan. Sedangkan jika nilai yang didapatkan kecil maka hal tersebut dianggap sebagai gangguan atau *noise*. Dalam pemilihan *S/N ratio* nilai yang dipilih adalah nilai yang terbesar pada masing-masing level pada setiap parameter. Besterfield (2012) menjelaskan bahwa berdasarkan *Taguchi loss function* dalam pengaplikasian optimasi suatu permasalahan statistik *S/N ratio* terbagi menjadi tiga yaitu:

a. *Larger the Better*

Penggunaan jenis karakteristik *larger the better* digunakan dalam optimasi pencarian hasil nilai terbesar, dengan kata lain semakin besar nilai yang didapat semakin baik. Batasan pada jenis ini tidak terhingga dan nilai yang didapatkan harus non negatif. Pengaplikasian optimasi menggunakan karakteristik ini sebagai contoh adalah uji kekuatan pada suatu benda, semakin besar nilai uji maka semakin baik. Dalam perhitungannya Besterfield (2012) menyebutkan, persamaan yang digunakan dalam menentukan *S/N ratio larger the better* sebagai berikut:

$$SNR_l = -10 \log_{10} \left[\frac{\sum \left(\frac{1}{y^2} \right)}{n} \right] \quad (2.9)$$

Dengan keterangan:

y = rata-rata distribusi.

s² = varian

n = jumlah pengulangan dari tiap kombinasi

b. *Nominal the Better*

Dalam pengaplikasiannya *nominal the better* merupakan jenis karakteristik yang berfokus pada nilai yang ditentukan oleh *customer*. Nilai yang didapatkan merupakan nilai positif atau negatif, hasil terbaik akan tercapai jika nilai yang didapatkan mendekati nilai yang telah ditentukan. Kasus optimasi yang menggunakan *nominal the better* adalah pada proses optimasi suatu tegangan

listirik terhadap nilai tetapan yang telah ditentukan, semakin nilai yang didapat mendekati *standard* semakin baik. Menurut Besterfield (2012) perhitungan *nominal the better* dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$SNR_n = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{y^2}{s^2} \right) - \frac{1}{n} \right] \quad (2.10)$$

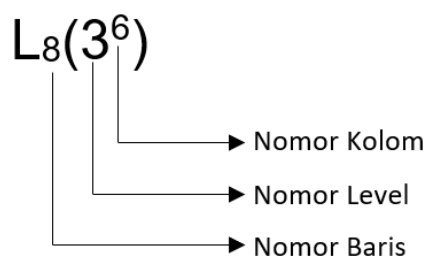
c. *Smaller the Better*

Smaller the better merupakan jenis karakteristik yang berfokus pada nilai terkecil yang dimana semakin kecil nilai (mendekati 0) yang didapatkan semakin baik. Hasil nilai yang didapatkan adalah hasil non negatif. Contoh kasus dalam aplikasi ini adalah optimasi parameter permesinan dalam mengurangi cacat produk. Menurut Besterfield (2012) perhitungan *smaller the better* dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$SNR_s = -10 \log_{10} \left[\frac{\sum y^2}{n} \right] \quad (2.11)$$

2.2.14. Orthogonal Array

Dalam pengaplikasian metode *Taguchi* terdapat susunan matriks yang didalamnya terdiri dari kombinasi faktor dan level dari parameter berpengaruh dalam suatu eksperimen, matriks tersebut disebut *orthogonal array*. Penggunaan *orthogonal array* pada metode *Taguchi* digunakan dalam pemilihan jumlah eksperimen terhadap tiap faktor berpengaruh dengan jumlah pengulangan eksperimen seminimal mungkin. Ross (1996) dalam bukunya menyebutkan langkah terpenting pada *orthogonal array* adalah pemilihan beberapa level yang berpengaruh dari variabel input dari tiap eksperimen. Susunan matriks *orthogonal array* dijabarkan pada baris dan kolom. Masing-masing baris pada matriks *orthogonal array* akan menunjukkan level dari faktor berpengaruh, sedangkan kolom pada matriks *orthogonal array* menunjukkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi eksperimen. Untuk mempermudah dalam penulisan matriks *orthogonal array* dilambangkan dalam notasi yang dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Contoh Notasi *Orthogonal Array*

Keterangan:

- Nomor kolom menyatakan jumlah faktor yang mempengaruhi eksperimen.
- Nomor level menyatakan jumlah level faktor. Taguchi dkk (2005) menjelaskan bahwa berdasarkan levelnya bentuk desain matriks *orthogonal array* terbagi menjadi dua. Pada dua level akan digunakan desain matriks $L_4, L_8, L_{12}, L_{16}, L_{32}$, dan pada penggunaan tiga level digunakan desain matriks L_9, L_{18}, L_{27} .
- Nomor baris menyatakan jumlah pengulangan eksperimen yang akan dilakukan.

2.2.15. *Analysis Of Variance (ANOVA)*

Besterfield (2012) dalam bukunya menjelaskan analisis varian dapat digunakan untuk mengetahui parameter yang berkontribusi terhadap variabilitas total dan *loss function* digunakan untuk mendapatkan *trade off* antara kualitas dan biaya. Untuk mengetahui efek yang terjadi dari masing-masing parameter dapat dilihat dari perbandingan *sum of square* dari salah satu parameter dengan keseluruhan parameter berpengaruh.

Menurut Montgomery (2009) dalam bukunya menjelaskan penggunaan ANOVA pada eksperimen yang memiliki faktor dua atau lebih menggunakan *two ways ANOVA*. Dalam penyajiannya ANOVA ditampilkan pada tabel yang didalamnya mencakup perhitungan derajat kebebasan, *means square*, *sum of square*, dan *F-ratio*. Berikut adalah gambaran hasil dari analisa ANOVA:

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaction	SS_{AB}	$a - 1 \quad b - 1$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{a - 1 \quad b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab \quad n - 1$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab \quad n - 1}$	
Total	SS_T	$abn - 1$		

Gambar 2.16. Tabel ANOVA (Montgomery, 2009)

Berdasarkan tabel yang bersumber dari buku yang dibuat oleh Montgomery (2009) terdapat beberapa persamaan untuk mengitung hasil ANOVA yang terdapat pada tabel 2.16. Berikut adalah persamaannya:

a. Persamaan *sum of square* (SS)

i. Persamaan dalam perhitungan *sum of square main effect*.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.12)$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{bn} - \frac{y_{..}^2}{abn} \quad (2.13)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_j^2}{an} - \frac{y_{..}^2}{abn} \quad (2.14)$$

ii. Persamaan untuk menghitung *sum of square interaction*.

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B \quad (2.15)$$

iii. Persamaan untuk menghitung *sum of square Error*.

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.16)$$

b. Perhitungan derajat kebebasan

i. Persamaan dalam perhitungan *degrees of freedom main effect*.

$$V_T = (kA - 1) + (kB - 1) + (kA - 1)(kB - 1) \quad (2.17)$$

$$V_A = kA - 1 \quad (2.18)$$

$$V_B = kB - 1 \quad (2.19)$$

Notasi k pada perhitungan merupakan jumlah level faktor.

ii. Persamaan dalam perhitungan *degrees of freedom interaction*.

$$V_{AB} = (kA - 1)(kB - 1) \quad (2.20)$$

iii. Persamaan dalam perhitungan *degrees of freedom Error*.

$$V_E = V_T - V_A - V_B - V_{AB} \quad (2.21)$$

c. Perhitungan *means square* (MS)

Untuk mendapatkan *mean square* langkah yang perlu dilakukan adalah membuat rata-rata *sum of square* berdasarkan masing-masing drajat kebebasan. Selanjutnya hasil *sum of square* dibagi dengan *degrees of freedom*.

d. Perhitungan F_o

Berdasarkan hasil F_o atau F-test yang didapat akan mempresentasikan besaran pengaruh masing-masing faktor yang mempengaruhi dalam eksperimen yang

dilakukan. Hasil F_o ditunjukkan dengan nilai rata-rata (μ). Hasil analisis yang dilakukan dapat dikatakan berhasil jika pada F_o didapatkan sama dengan lebih besar dengan $F_{(\alpha;f_1;f_2)}$, dengan kata lain pada analisa yang dilakukan didapatkan perbedaan faktor berpengaruh yang signifikan.

