

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimasi Produksi

2.1.1 Definisi Optimasi

Optimasi adalah proses produksi yang lebih efisien melalui seleksi, desain struktur data, algoritma dan urutan instruksi dan lain-lainnya. Optimasi produksi diperlukan perusahaan dalam rangka mengoptimalkan sumber daya yang digunakan agar suatu produksi dapat menghasilkan produk dalam kuantitas dan kualitas yang diharapkan, sehingga perusahaan dapat mencapai tujuannya.

Setiap perusahaan akan berusaha mencapai keadaan optimal dengan memaksimalkan keuntungan atau dengan meminimalkan biaya yang dikeluarkan dalam proses produksi. Perusahaan mengharapkan hasil yang terbaik dengan keterbatasan sumber daya yang dimiliki (Alfian, 2007).

Persoalan optimasi dibagi menjadi dua jenis yaitu tanpa kendala dan dengan kendala. Pada optimasi tanpa kendala, faktor-faktor yang menjadi kendala atau keterbatasan-keterbatasan yang ada terhadap fungsi tujuan diabaikan sehingga dalam menentukan nilai maksimum atau minimum tidak terdapat batasan-batasan terhadap berbagai pilihan alternatif yang tersedia. Sedangkan pada optimasi dengan kendala, faktor-faktor yang menjadi kendala terhadap fungsi tujuan diperhatikan dalam menentukan titik maksimum atau minimum fungsi tujuan (Alfian, 2007).

Optimasi dengan kendala pada dasarnya merupakan persoalan dalam menentukan nilai variabel suatu fungsi menjadi maksimum atau minimum dengan memperhatikan keterbatasan-keterbatasan yang ada. Keterbatasan-keterbatasan itu meliputi input atau faktor-faktor produksi seperti modal, bahan baku, tenaga kerja dan mesin. Optimasi produksi dengan kendala perlu memperhatikan faktor-faktor yang menjadi kendala pada fungsi tujuan karena kendala menentukan nilai maksimum dan minimum. Fungsi tujuan merupakan suatu persamaan matematis yang digunakan untuk mempresentasikan kriteria dalam mengevaluasi solusi suatu masalah. Fungsi tujuan dalam optimasi produksi merupakan unsur yang penting karena akan menentukan kondisi optimal suatu keadaan (Alfian, 2007).

Dalam melakukan *setting* mesin, perusahaan menggunakan sistem coba-coba sehingga tidak mempunyai standar proses yang pasti. Selama ini perusahaan memproduksi produk yang terbuat dari plastik dengan tingkat kecacatan yang cukup

besar, sehingga perusahaan sangat menginginkan untuk dapat mengurangi tingkat kecacatan yang terjadi. Karena itu, ingin dicari faktor-faktor yang berpengaruh agar dapat meminimalkan tingkat kecacatan tersebut (Rahardjo dan Rosalinawati, 2001: 36).

Untuk menyelesaikan penyebab kecacatan tersebut dilakukan suatu perancangan eksperimen. Perancangan eksperimen statistika merupakan suatu proses perencanaan eksperimen untuk memperoleh data yang tepat sehingga dapat dianalisa dengan metode statistik serta kesimpulan yang diperoleh dapat bersifat obyektif dan valid. Salah satu metode perancangan eksperimen yang digunakan untuk mengetahui kondisi optimal adalah Metode *Response Surface*. Metode *Response Surface* digunakan untuk menentukan titik optimal dari *setting* mesin di perusahaan, sehingga didapatkan jumlah produksi yang optimal.

2.1.2 Metode *Response Surface*

Menurut Montgomery (2001), *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan himpunan metode-metode matematika dan statistika yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu atau lebih variabel perlakuan berbentuk respon tersebut dalam suatu percobaan.

Dengan alasan inilah metode *response surface* digunakan. Metode *response surface* bisa digunakan untuk (*Engineering Statistic Handbook*: 5.3.1):

1. Mencari proses optimal yang *robust* dari suatu sistem dengan memaksimalkan atau meminimumkan suatu respon. Proses *robust* yaitu suatu proses yang kokoh walaupun terdapat faktor-faktor tak terkendali.
2. Mereduksi variasi dengan menggunakan teknik POE (*Propagation Error*).

Desain yang digunakan pada metode *response surface* ini diantaranya adalah *Central Composite Design*, *Desain Box-Behnken*, dan lain-lain.

Hubungan antara respon dan perlakuan dimodelkan secara linear didapatkan desain faktorial dengan pendekatan model regresi orde pertama yaitu:

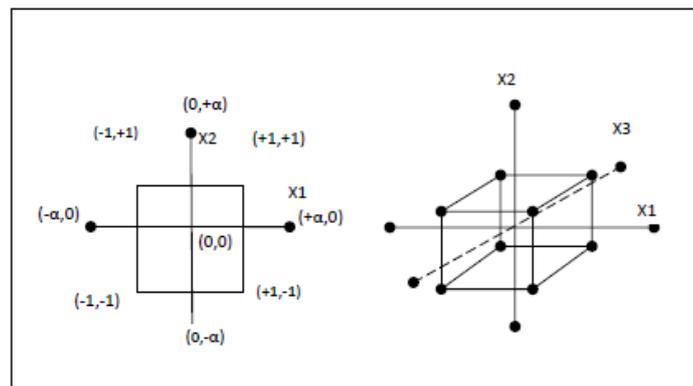
$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_mx_m + \varepsilon \quad (2.1)$$

Apabila hasil model orde pertama tidak memenuhi syarat maka akan dilakukan pendekatan dengan model regresi orde kedua yaitu:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_ix_i + \sum_{i=1}^m \beta_{ii}x_i^2 + \varepsilon \quad (2.2)$$

1. Central Composite Design (CCD)

Central Composite Design (CCD) adalah sebuah rancangan percobaan yang terdiri dari rancangan 2^k faktorial dengan ditambahkan beberapa *center runs* dan *axial run* (*star runs*) (Vardeman, 1998). CCD untuk $k=2$ dan $k=3$ secara visual ditunjukkan gambar 2.31.



Gambar 2.1 CCD untuk $k= 2$ dan $k=3$

Sumber : Vanderman 1998

Elemen dari CCD adalah sebagai berikut:

1. Rancangan 2^k faktorial (*runs/cube*) = n_c , dimana k adalah banyaknya faktor, yaitu percobaan pada titik $(\neq 1, \neq 1, \dots, \neq 1)$.
2. Center runs (n_c), yaitu percobaan pada titik pusat $(0,0,\dots,0)$.
3. *Dtsr rund/axial runs*, yaitu percobaan pada titik-titik $(a,0,\dots,0), (-a,0,\dots,0), (0,a,\dots,0), (0,-a,\dots,0), (0,0,\dots,\alpha)$, dan $(0,0,\dots,-\alpha)$ dengan menggunakan *axial* atau *star point* α yang nilainya ditentukan oleh jumlah variabel faktor dan jenis CCD yang digunakan.

Titik-titik pada rancangan 2^k faktorial digunakan untuk membentuk model orde satu. Sedang penambahan *center runs* dan *axial runs* digunakan untuk membentuk model orde dua.

Pada *Central Composite Design* (CCD), agar kualitas dari prediksi menjadi lebih baik, maka rancangannya selain memiliki sifat *orthogonal* juga harus *rotatable*. Suatu rancangan dikatakan *rotatable* jika ragam dari variabel respon yang diestimasi, ragam dari γ , merupakan fungsi dari x_1, x_2, \dots, x_3 yang hanya bergantung pada jarak dari pusat rancangan dan tidak bergantung dari arahnya (letak titik percobaan). Dengan kata lain

ragam dari variabel respon yang diduga sama untuk semua titik asalkan titik-titik tersebut memiliki jarak yang sama dari pusat rancangan (*center runs*).

2. Fungsi *Desirability*

Menurut Montgomery (2001), fungsi *desirability* merupakan suatu transformasi dari geometri respon ke nilai nol sampai satu. Respon-respon yang berada didalam batas yang ditentukan bernilai antara nol sampai dengan satu. Respon-respon yang berada dalam batas yang ditentukan bernilai nol sampai dengan satu ($0 < d_i \leq 1$) dan yang berada diluar batas spesifikasi diberi nilai nol ($d_i = 0$), yang kemudian disebut sebagai fungsi *individual desirability* (d_i). Kemudian fungsi *individual desirability* digabung dengan menggunakan rata-rata geometri yang hasilnya disebut fungsi *composite* atau *overall desirability* D yang ditunjukkan persamaan 2.3.

$$D = (d_1, d_2, \dots, d_i)^{1/k} \quad (2.3)$$

Dimana k menyatakan banyaknya respon. Jika ada sembarang respon berada diluar batas spesifikasi $d_i=0$, maka fungsi *overall desirability* nilainya nol ($D=0$).

Langkah-langkah optimalisasi dengan *fungsi desirability* adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan melakukan percobaan.
2. Membuat *individual desirability* untuk setiap respon yang terbentuk.
3. Menggabungkan fungsi *individual desirability* menjadi fungsi *overall desirability* kemudian di maksimalkan.

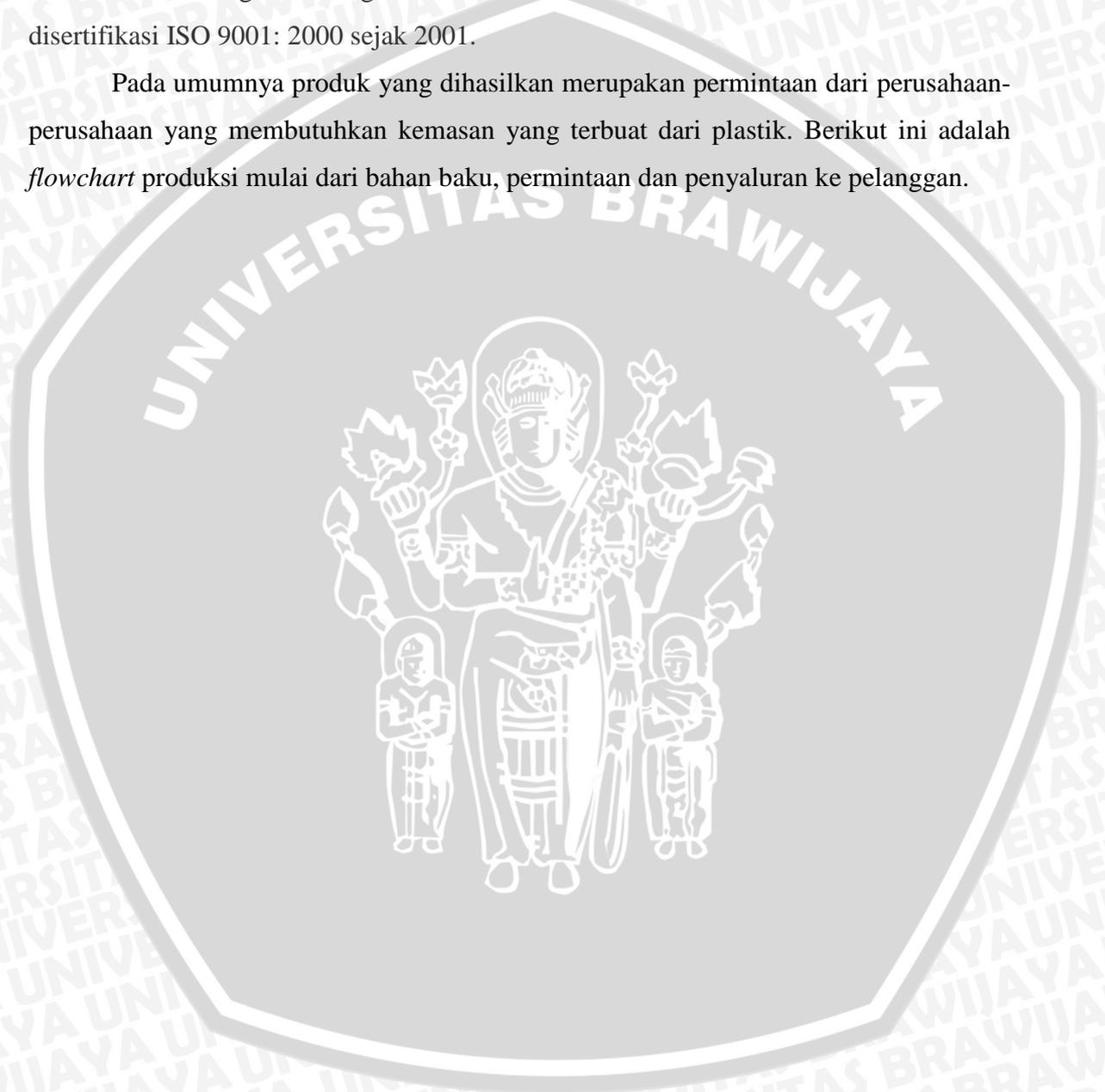
Dalam fungsi *desirability* diperlukannya pengaturan bobot fungsi *individual desirability*. Bobot (γ) mendefinisikan bentuk dari fungsi *desirability* untuk setiap respon. Bobot dipilih untuk menekankan atau melonggarkan targetnya (Montgomery, 2001).

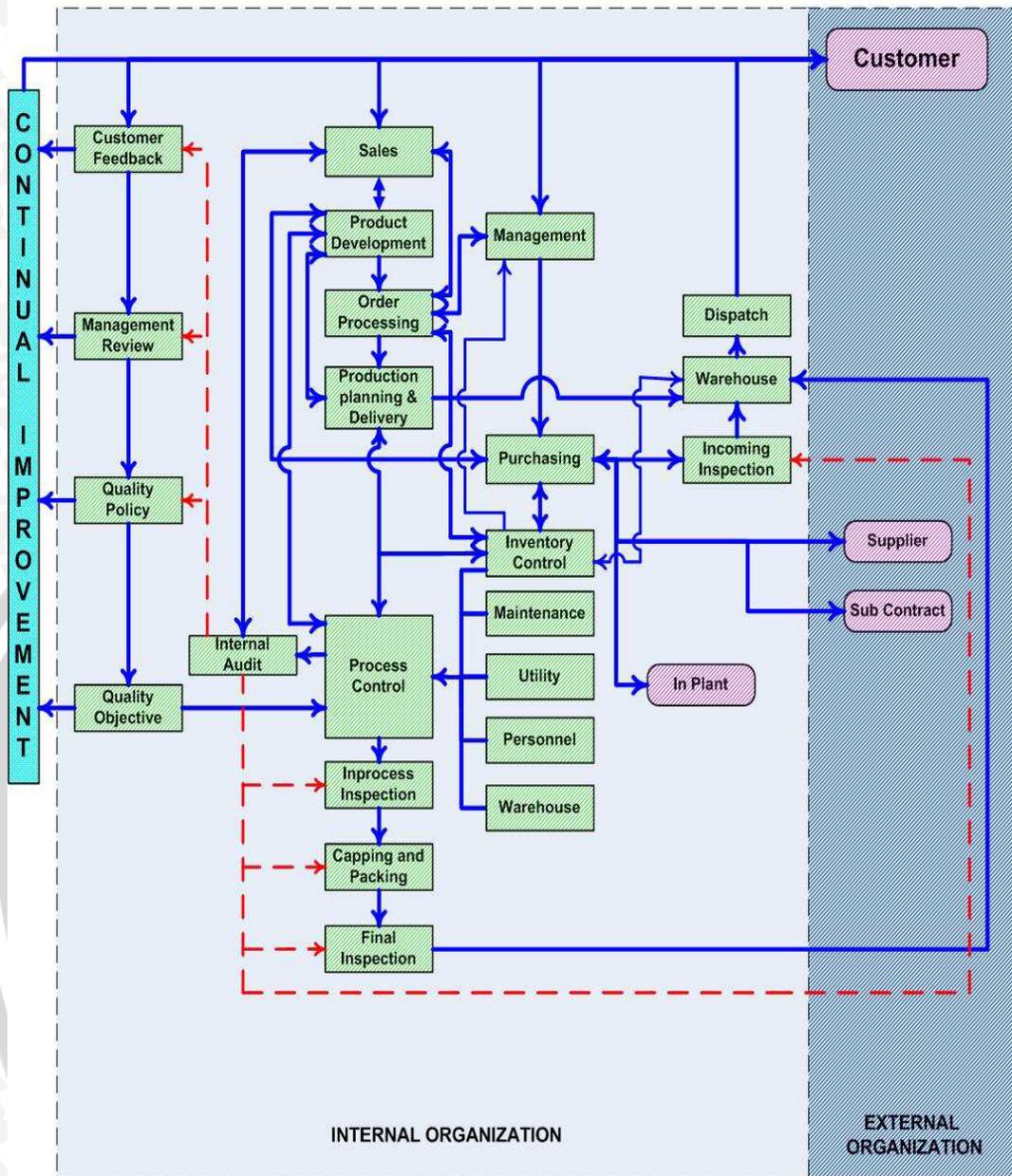
1. Untuk $0 < r < 1$, memberikan penekanan yang kurang pada targetnya. Semakin besar nilai *desirability* semakin jauh nilai dari target.
2. Untuk $r = 1$, memberikan nilai kepentingan yang sama pada target dan nilai batas-batasnya. Nilai *desirability* dari suatu respon bertambah secara linier.
3. Untuk $r > 1$, memberikan penekanan yang lebih pada targetnya. Suatu respon harus sangat dekat dengan target agar memiliki nilai *desirability* yang tinggi. (2-4)

2.2 Profil Perusahaan

PT. X didirikan pada tahun 1985. Lamipak dikenal sebagai pelopor di bidang pabrikasi *tube* di Indonesia dan bertujuan untuk menjadi pilihan utama dalam memberikan solusi untuk produk kemasan. Memproduksi *laminated tube* dan *plastic tube* dengan berbagai macam model dan fungsi untuk berbagai perusahaan lokal dan multinasional dengan berbagai macam merk internasional. Perusahaan ini telah disertifikasi ISO 9001: 2000 sejak 2001.

Pada umumnya produk yang dihasilkan merupakan permintaan dari perusahaan-perusahaan yang membutuhkan kemasan yang terbuat dari plastik. Berikut ini adalah *flowchart* produksi mulai dari bahan baku, permintaan dan penyaluran ke pelanggan.





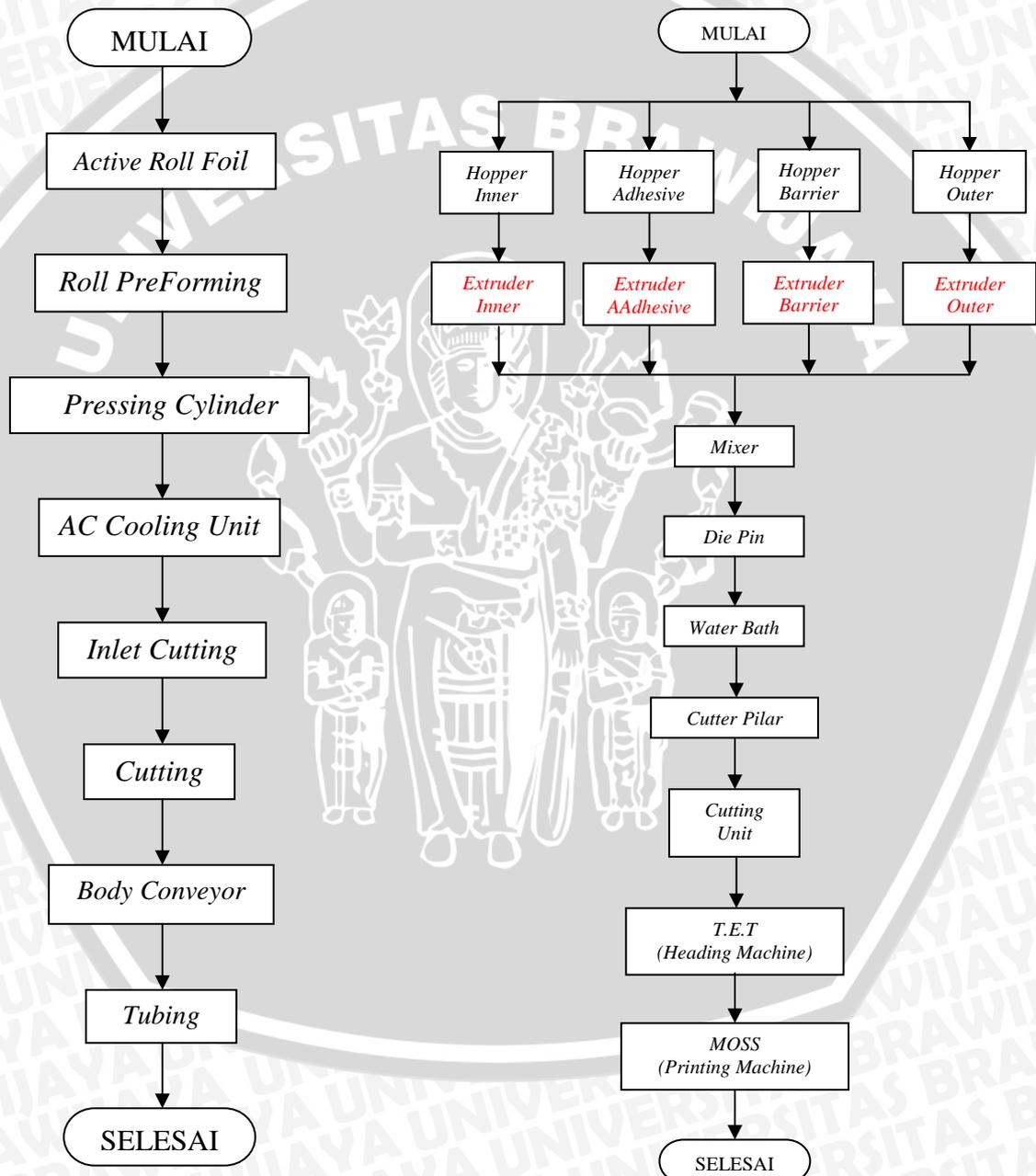
Gambar 2.2 Flowchart Proses Produksi PT. X
Sumber : PT. X

2.3 Proses Produksi

Proses produksi pada perusahaan dilakukan oleh divisi *process control*. Divisi ini melakukan dua proses produksi, yaitu *laminated tube* dan *plastic tube*. Berikut ini adalah flowchart proses produksi *laminated tube* dan *plastic tube*.

Flowchart Laminated Tube Process

Flowchart Plastic Tube Process



2.3.1 Laminated Tube Process

Proses pembuatan *laminated tube* melewati tahap-tahap sebagai berikut:

1. Active roll foil

Berfungsi sebagai tempat *roll web* yang akan di produksi



Gambar 2.3 Active roll foil
Sumber : PT. X

2. Roll PreForming

Pada proses ini *web* melewati *roll* pengatur tumpukan *web* sebelum masuk ke *pressing cylinder* sehingga menjadi *over lap/side seam* pada proses *welding*. Apabila *web* selip, *over lap/body* akan mengelupas. Posisi ketinggian pangkon preforming harus sama antara kiri dan kanan, dan posisi mandrel berada pas di tengah–tengah, sehingga *web* akan mudah di gerakan.

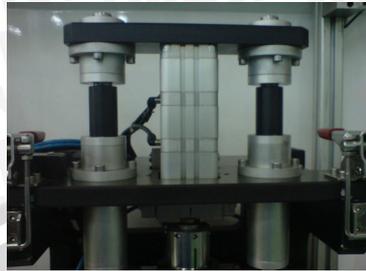


Gambar 2.4 Roll PreForming
Sumber : PT. X

3. Pressing Cylinder

Disini *web-web* akan di *welding*. Terdapat berbagai macam pengaturan di sini antara lain pengaturan temperatur dan tekanan. Apabila produksi tebal *web* 220 cukup set parameter pada *medium/high*. Apabila produksi tebal *web* 250

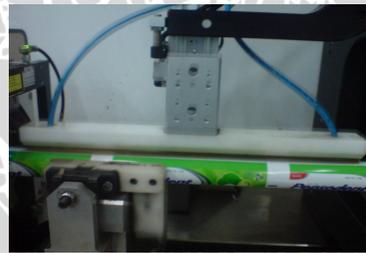
menggunakan *medium* juga bisa, bila perlu set pada *high*. Yang perlu di perhatikan *check/control* hasil produksi pada awal *setting*.



Gambar 2.5 Pressing Cylinder
Sumber : PT. X

4. AC Cooling Unit

Berfungsi sebagai pendingin hasil dari proses *welding*. Posisi *cooling* harus benar-benar sejajar dengan posisi *side seam*.



Gambar 2.6 AC Cooling Unit
Sumber : PT. X

5. Inlet cutting

Pada proses ini sebelum dipotong, *web-web* hasil *welding* tersebut diberi lubang. Lubang *inlet* harus bersih dari kerak tinta *web* agar *body* tidak *scrath*.



Gambar 2.7 Inlet cutting
Sumber : PT. X

6. Cutting

Pada proses ini, *web* hasil *welding* akan dipotong menurut ukurannya. Ada berbagai macam ukuran yang bisa di *setting*. Pada bagian ini, pada saat pemasangan *cutter*, posisi *cutter* harus berada pada rumah *cutter* dan tidak lebih atau kurang dari lubang *inlet*, karena bisa mengakibatkan *body* tidak terpotong/*scratch*.



Gambar 2.8 Cutting

Sumber : PT. X

7. Body Conveyor

Berfungsi sebagai pentransfer *body* sebelum masuk ke mesin untuk *tube making*.



Gambar 2.9 Body Conveyor

Sumber : PT. X

8. Tubing

Pada proses ini, setelah *web* melalui proses *welding* akan diberi *shoulder* dan *cap* yang akan menjadi *tube*.

2.3.2 *Plastic Tube Process*

Proses pembuatan *plastic tube* melewati tahap-tahap sebagai berikut:

1. *Hopper inner*

Berfungsi sebagai tempat penampungan material (biji plastik) untuk lapisan bagian dalam.



Gambar 2.10 *Hopper Inner*
Sumber : PT. X

2. *Hopper Adhesive*

Berfungsi sebagai tempat penampungan material (biji plastik) untuk lapisan tengah (pengeleman)



Gambar 2.11 *Hopper Adhesive*
Sumber : PT. X

3. *Hopper Barrier*

Berfungsi sebagai tempat penampungan material (biji plastik) untuk lapisan tengah (pelapisan/mencegah tembus)



Gambar 2.12 *Hopper Barrier*

Sumber : PT. X

4. *Hopper Outer*

Berfungsi sebagai tempat penampungan material (biji plastik) untuk lapisan bagian luar.



Gambar 2.13 *Hopper Outer*

Sumber : PT. X

5. Extruder

Berfungsi sebagai alat untuk melebur biji plastik sesuai dengan titik lebur yang ditentukan. Ada empat buah extruder:



Gambar 2.14 *Extruder Inner*
Sumber : PT. X



Gambar 2.15 *Extruder Adhesive*
Sumber : PT. X



Gambar 2.16 *Extruder Barrier*
Sumber : PT. X



Gambar 2.17 *Extruder Outer*
Sumber : PT. X

6. *Mixer*

Berfungsi sebagai alat atau tempat untuk menggabungkan material lebur dari 4 extruder menjadi 1 lapis (5 layer).



Gambar 2.18 *Mixer*
Sumber : PT. X

7. *Die Pin*

Berfungsi sebagai alat untuk membentuk *body* sesuai dengan diameter yang diinginkan. *Die pin* memiliki bermacam macam bentuk cetakan, seperti bujur sangkar, segitiga, oval, lingkaran dll. Tetapi pada mesin ini menggunakan *die pin* lingkaran, karena digunakan untuk mencetak *body tube*. Di dalam *die pin* terdapat *ring die pin* dan *blow material*. *Ring die pin* berfungsi untuk menyetel ketebalan *body* sesuai dengan yang diinginkan dan supaya permukaan *body* merata sedangkan *blow material* berfungsi sebagai pengembang udara agar *body* terbentuk.



Gambar 2.19 Die Pin
Sumber : PT. X

8. Water Bath

Berfungsi membentuk dan menstabilkan ukuran diameter *body* dengan pengaruh udara *vacum* serta mendinginkannya dengan pengaruh semprotan air dingin.



Gambar 2.20 Water Bath
Sumber : PT. X

9. Cutter Pilar

Berfungsi menjepit dan menarik *body* untuk diteruskan ke tahap selanjutnya.



Gambar 2.21 Cutter Pilar
Sumber : PT. X

10. *Cutting Unit*

Berfungsi untuk memotong *body* sesuai ukuran yang diinginkan.



Gambar 2.22 *Cutting Unit*

Sumber : PT. X

11. *T.E.T (Heading Machine)*

Berfungsi untuk memberi *shoulder*, ulir dan lubang *orifice* pada *body* sehingga menjadi *tube*.



Gambar 2.23 *T.E.T (Heading Machine)*

Sumber : PT. X

12. MOSS (Printing Machine)

Berfungsi untuk memberi dekorasi dan *varnish* permukaan *tube* sesuai dengan keinginan pelanggan.



Gambar 2.24 MOSS (Printing Machine)
Sumber : PT. X

2.4 Mesin Produksi

Pada perusahaan terdapat 2 jenis mesin yang digunakan, yaitu:

1. COMBITOOL CMB

Combitool CMB berfungsi sebagai mesin yang memproduksi *laminated tube* pasta gigi. Pada mesin ini *web layer* akan melalui proses *welding*, *shouldering* dan proses *tubing* sehingga menjadi *tube*.



Gambar 2.25 COMBITOOL CMB
Sumber : PT. X

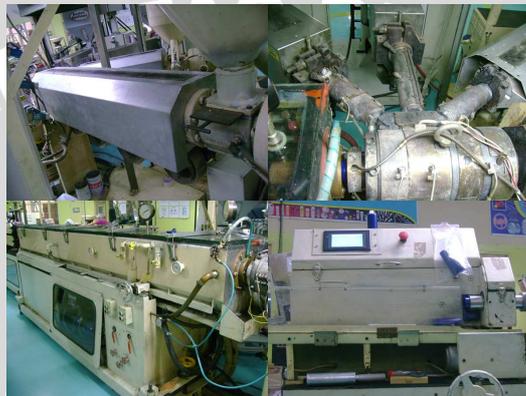
2. PTL (Plastic Tube Line)

PTL adalah satu kesatuan *system (line)* dari mesin-mesin yang dirancang dan dibangun untuk menghasilkan produk berupa kemasan berbahan plastik (P.E/PolyEthylen) berbentuk *tube/silinder* beserta dekorasinya. PTL dapat

menghasilkan produk dengan *body single* dan *multi layer* (s/d 5 layer) dan dengan variant diameter 22, 30, 35, 40 dan 50 mm dengan panjang *tube* menyesuaikan volume dari produk yang akan diisikan kedalam *tube* tersebut, serta dengan 5 warna dekorasi/cetakan yang berbeda. Adapun mesin-mesin itu adalah *Extrusion*, *T.E.T*, *MOSS*. Fungsi dari masing-masing mesin tersebut adalah:

a. *Extrusion*

Untuk membuat dan membentuk *body* atau selongsong sesuai dimensi yang diinginkan.



Gambar 2.26 *Extrusion*
Sumber : PT. X

b. *T.E.T*

Untuk memberi *shoulder*, ulir dan lubang *orifice* pada *body* sehingga menjadi *tube*.



Gambar 2.27 *T.E.T*
Sumber : PT. X

c. MOSS

Untuk memberi dekorasi dan varnish pada permukaan *tube* sesuai dengan keinginan pelanggan.



Gambar 2.28 MOSS
Sumber : PT. X

2.5 Produk

Ada 2 jenis tube yang diproduksi PT. Lamipak Primula Indonesia, yaitu :

1. *Laminate Tube*

Laminate tube adalah sebuah kemasan yang terbuat dari *plastic laminate web* dengan aluminium atau *plastic barrier* seperti PET dan EvoH. *Barrier* berfungsi untuk melindungi tube dari oksidasi dan korosi. *Laminate tube* digunakan untuk kemasan pasta gigi, industri, makanan, kosmetik dan produk lainnya (M.Syamsun, 2010).



Gambar 2.29 *Laminate Tube*
Sumber : PT. X

- a. Diameter *tube* : 22 mm, 25 mm, 27 mm, 30 mm, 32 mm, 35 mm dan 50 mm.
- b. *Standard screw cap, flip top cap, pop off cap.*
- c. *Web* (ABL dan PBL) :

- *White web*
- *Silver web*
- *PBL (Plastic Barrier Laminated)*

Ada 3 jenis PBL, yaitu PBL putih, PBL berwarna dan PBL transparan.

2. *Plastic Tube*

Plastic tube adalah sebuah kemasan yang terbuat dari material *plastic*, bisa terdapat *barrier* atau tidak. Bentuk *body tube* terbentuk melalui proses *extrusion*, dan tidak ada side seam pada *body tube*. *Plastic tube* digunakan untuk kemasan kosmetik, makanan, industri, pasta gigi dan produk lainnya (M.Syamsun, 2010).



Gambar 2.30 *Plastic Tube*
Sumber : PT. X

- a. Diameter *tube* : 22 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm dan 50 mm.
- b. *Standard screw cap or flip top cap, snap on cap*
- c. *Body (extrusion)* :
 - *Single layer*
 - *Multiple layer dengan EVOH barrier*
 - *Full colour printing*
 - Variasi ketebalan *body*
 - Variasi komposisi PE pada *body*, sesuai dengan tujuan dan komposisi (HDPE, LDPE, LLDPE)

2.5.1 *Polyethylene*

Molekul *polyethylene* merupakan deretan panjang atom C dengan sepasang hidrogen, mempunyai struktur seperti alkana $C_{2n}H_{4n+2}$, dimana n merupakan derajat polimerisasi. Derajat polimerisasi bisa mulai 100 hingga 250.000 lebih dengan berat

molekul antara 1400 hingga 3.500.000. Dengan $n = 8-100$ diperoleh bahan seperti lilin. Sementara bila $n < 8$ akan diperoleh material berbentuk gas atau cairan yang tergantung pada suhu dan tekanan.

Polyethylene (PE) mempunyai struktur amorfus dan kristal padat yang mempunyai sifat fleksibel. Struktur campuran ini disebut semi kristalin. Jumlah struktur kristal sangat berpengaruh pada sifat PE. Struktur campuran dua keadaan ini maka disebut semikristalin.

Struktur amorfus merupakan bentuk *random coil* dimana rantai tersebar bebas dan stabil. Struktur ini seperti cairan rantai polimer saling berkait dan mempunyai *viskositas* tinggi dibanding bahan organik lain. Fase amorfus tersebar dan menghubungkan antara kristal satu dengan yang lain sehingga posisinya tidak dapat disebut benar-benar acak.

Struktur kristal diperoleh bila cairan PE memadat, dimana sebagian rantai polimer akan terorganisasi membentuk kristal, sementara sebagian rantai polimer yang lain saling berkait tidak beraturan (bagian *amorfus*). Struktur kristal terkecil adalah unit sel, yang berulang-ulang menjadi tiga dimensi membentuk matrik kristal.

Ukuran akan bervariasi mulai dari garis tengah beberapa nanometer hingga beberapa milimeter. Besarnya ukuran ini mempunyai pengaruh terhadap sifat fisik *polyethylene* (Nasiri, Hatmi dan Andiman, Tanpa Tahun: 1-4).

2.5.1.1 High Density Polyethylene (HDPE)

Sesuai dengan namanya, *polyethylene* dengan densitas besar adalah *High Density Polyethylene* (HDPE). HDPE adalah hasil polimerisasi dari *etilene* yang mempunyai *densitas* lebih besar atau sama dengan 0.940. HDPE bisa homopolimer, bisa juga kopolimer dengan α olefin lebih besar. HDPE mempunyai ranti tidak bercabang (*linier*) dan derajat kristalinitas tinggi, atau bisa disebut *polyethylene linier*.

Produk plastik yang terbuat dari HDPE akan mudah dikenal dengan warnanya yang buram, tidak tembus cahaya. Bila disentuh terasa seperti ada lilin atau minyak, disamping tidak berbau dan tidak berasa. Diantara keluarga PE, HDPE mempunyai sifat paling kaku, jika ditekuk akan memberikan warna putih pada daerah tekukannya. Dalam bentuk film, bila diremas akan berbunyi renyak. Jika ditarik akan membentuk leher dan memutih, dan jika ditusuk langsung sobek.

Berkat sifatnya yang kaku, permeabilitas yang rendah serta ketahanan terhadap bahan kimia maka HDPE lazim digunakan sebagai botol atau pengemas bahan cair

seperti susu, botol deterjen, tangki penyimpanan bahan kimia, dll. Disamping itu HDPE dipergunakan sebagai pipa air minum, pipa air buangan, pipa gas alam dan pipa-pipa di industri petrokimia.

Dalam bidang pengemas, HDPE digunakan sebagai bahan pembuat karung dan kantong pengemas lainnya. Dalam rumah tangga sebagai kantong sampah, peralatan rumah tangga, mainan anak-anak, dll. Untuk memperbaiki sifat, seperti ketahanan fisik dan bahan kimia, maka dapat dilakukan proses *cross-link* terhadap HDPE.

Dalam proses manufaktur HDPE, pabrik HDPE dapat difungsikan sekaligus untuk memproduksi LLDPE. Sistem ini disebut *swing-plant*. Biaya bahan baku, monomer *etilene*, hidrogen, komonomer, katalis dan aditif sebesar 75% dari biaya operasi. Sedangkan utilitas seperti tenaga listrik, pendingin air, uap air, minyak bakar memerlukan 5% dari total biaya. Biaya perbaikan, tak terduga dan administrasi 5% (Nasiri, Hatmi dan Andiman, Tanpa Tahun: 5-6).

2.5.1.2 *Low Density Polyethylene (LDPE)*

LDPE dibuat dengan proses polimerisasi pada tekanan tinggi dengan mekanisme radikal bebas. LDPE mempunyai rantai bercabang. Rantai cabang terbentuk pada *back bone* ketika rantai tersebut tumbuh. Rantai cabang tersebut mengandung sebanyak 2-8 atom C, paling sering 4, seperti yang terjadi pada kopolimer dengan α olefin yang didominasi 1-hexene. Dengan adanya cabang-cabang ini kristalinitas polietilena menurun, dan dengan demikian maka titik leleh dan densitas polimer akan mengalami penurunan. Densitas polimer bervariasi dari 0.910-0.955 g/cm³; produk industri rata-rata mempunyai *densitas* antara 0.916-0.930 g/cm³.

Hasil cetak dari LDPE pada umumnya bersifat tembus cahaya atau *transluscent*. Jika disentuh seperti ada minyak, mudah ditebuk dengan tangan atau lunak, tidak berbau dan tidak berasa. Jika film LDPE ditarik akan terdeformasi secara merata dan sedikit memutih.

Banyaknya cabang rantai panjang menyebabkan LDPE mempunyai *melt strenght* (kekuatan dalam keadaan meleleh) tinggi, *viskositas* cukup rendah sehingga sesuai untuk diproses dengan cara *blown film* untuk kantong plastik.

Kegunaan terbesar LDPE adalah untuk kantong belanja dan kantong sampah. Kegunaan lain adalah untuk pelapis popok bayi, *shrink-wrap*, laminasi pengemas, pelapis karton pengemas susu, sari buah, dll. Sebagian kecil digunakan untuk industri kabel, pipa lentur dan benda cetak.

Kopolimer yang sedikit mengandung *vinyl acetate* akan sedikit lebih mahal dibanding LDPE murni (homopolimer), sebagai perbandingan, harga kopolimer *methacrylic acid* 1.76 \$/kg dan *rigid ionomer* 3.30 \$/kg.

Masa depan konsumsi LDPE memang begitu menentu, terlebih dengan adanya LLDPE sebagai pesaing dengan biaya produksi lebih murah. LLDPE sedikit demi sedikit menggantikan LDPE.

Dengan demikian ada kecenderungan bahwa pabrik plant LDPE akan memproduksi kopolimer *Ethylene-Vinyl Acetate* (EVA), *Ethylene-Ethyl Acrylate* (EEA), atau *Ethylene-Methacrylic Acid* (EMA). Sementara itu EVA dibersaingkan dengan VLDPE-*Very Low Density Polyethylene* yang mempunyai sifat fleksibel seperti EVA (Nasiri, Hatmi dan Andiman, Tanpa Tahun: 6-9).

2.5.1.3 Linier Low Density Polyethylene (LLDPE)

Kelompok ini dinamakan demikian karena memang mempunyai sifat seperti LDPE dengan struktur mirip HDPE yaitu *linier*. Banyaknya cabang pada rantai *linier* menyebabkan kristalinitas LLDPE berkurang. Proses pembuatan LLDPE berbeda dengan LDPE tetapi lebih dengan menyerupai proses pembuatan HDPE yaitu dengan ditambahkan α olefin saat polimerisasi berlangsung. Dibanding LDPE, LLDPE mempunyai cabang rantai panjang. Densitas LLDPE bervariasi antara 0.9-0.94 g/cm³.

Dibanding dengan LDPE, LLDPE lebih buram. Permukaannya sedikit berminyak, tidak berbau dan tidak berasa. Sifat kelunakan LLDPE tergantung kandungan komonomer dalam senyawa tersebut.

Pemakaian terbanyak dari jenis LLDPE ini adalah untuk film pengemas, kantong belanja, pengemas makanan, kantong sampah, dll. LLDPE juga digunakan untuk kabel, pipa dan lembaran, tempat makanan, mainan, tangki, pelapis jalan raya, dll (Nasiri, Hatmi dan Andiman, Tanpa Tahun: 9-10).

2.6 Cacat Produksi

Pada proses pembuatan *body plastic* terdapat berbagai macam cacat, antara lain *body crash*, *bounding* berlubang, *printing* tidak bagus dan *shoulder* luber. Cacat-cacat yang terjadi antara lain disebabkan oleh kecepatan *extruder* yang tidak sesuai atau tidak, jumlah material pada *hopper* yang berkurang dan tinta *print* terlalu banyak.

Tabel 2.1 Data Cacat

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Output	602.350	406.992	582.219	775.785	567.327	903.907	846.236	693.136	591.426	630.942	814.820	716.456	8.131.596
Body Crash	60.022	55.432	52.667	57.112	59.751	59.449	53.930	61.349	58.644	51.020	70.421	67.842	707.639
Bounding jebol	562					1.470				1.134	182		3.348
Printing	26.087	24.769	35.442	32.651	43.145	14.740	19.195	18.397	23.024	20.158	14.010	22.199	293.817
Mata Ikan													
Shoulder jembret													
shoulder amber	12.099	15.764	19.120	27.704	23.303	20.071	13.362	26.662	27.071	16.017	11.441	21.157	233.771
Shoulder mbendol													
Orifice krawak / buntu													
Welding nglontok													
Welding Kriting													
Panjang - pendek													
Total reject	98.770	95.965	107.229	117.467	126.199	95.730	86.487	106.408	108.739	88.329	96.054	111.198	1.238.575

Sumber : PT. X

Tabel 2.2 Data Cacat dalam Prosentase

Reject (%)	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
Body Crash	9.06	11.99	8.3	6.86	9.53	6.17	5.99	8.13	9.02	7.48	7.96	8.65	8.01
Bounding Berlubang	0.09					0.16				0.18	0.02		0.04
Printing	4.15	5.74	5.74	4.04	7.07	1.6	2.22	2.59	3.75	3.1	1.69	3.01	3.49
Mata Ikan													
Shoulder Tidak Rata													
Shoulder Luber	1.97	3.73	3.18	3.45	3.95	2.17	1.55	3.7	4.38	2.48	1.38	2.87	2.79
Shoulder Bergelombang													
Orifice Buntu													
Welding Rusak													
Welding Kriting													
Panjang - pendek													
Total	14.04	19.08	15.55	13.15	18.20	9.58	9.27	13.31	15.53	12.28	10.55	13.34	13.22

Sumber : PT. X

Berdasarkan Tabel 2.2 diketahui bahwa cacat yang paling banyak adalah cacat *body crash*. *Body crash* merupakan cacat pada *body tube* yang meliputi bentuk *body* yang penyok, *body* retak atau pecah, ukuran atau diameter *body* yang tidak sesuai dengan permintaan konsumen, bentuk *body* bergelombang dan permukaan *body* yang kasar atau bergaris. Cacat *body crash* biasanya disebabkan oleh kecepatan *extruder* yang tidak tepat dan jumlah material pada *hopper* berkurang. Cacat *body crash* telah melalui uji kontrol kualitas dan dinyatakan tidak bisa ditolelir karena sangat merugikan

proses produksi pada perusahaan yang menyebabkan target produksi tidak bisa terpenuhi.



(1)



(2)



(3)

Gambar 2.31 Macam-macam cacat *body crash*

(1) *Body* retak (2) *Body* bergelombang

(3) Permukaan dalam tidak rata dan bergaris

Sumber : PT. X

Berdasarkan uji kontrol kualitas, cacat-cacat yang lain seperti *bounding* berlubang, *printing* dan *shoulder* luber masih bisa dianggap lolos. Cacat-cacat tersebut bisa ditolerir karena proses produksi tidak terlalu terhambat dengan adanya cacat tersebut, dan dengan sedikit analisa maka cacat tersebut bisa diatasi.

Pada penelitian ini dilakukan variasi untuk mendapatkan kecepatan *extruder* yang optimal. Diharapkan cacat *body crash* bisa diminimalisir sehingga target produksi perusahaan dapat terpenuhi.