

## USULAN PERBAIKAN PROSES BAK PANAS UNTUK MENIMIASI CACAT DIAMETER PADA PRODUKSI TAMBANG *POLYETHYLENE* DI PT. XYZ BERDASARKAN PENDEKATAN METODE DMAI

### *PROPOSED IMPROVEMENT OF HOT TUB PROCESS TO MINIMIZE THE DIAMETER DEFECTS IN THE PRODUCTION OF POLYETHYLENE MINES IN PT. XYZ BASED ON THE APPROACH OF DMAI METHOD*

Yoga Cahyo Wibowo<sup>1</sup>, Ir. Marina Yustiana Lubis, M.Si<sup>2</sup>, Heriyono Lalu, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[yogacwibowo@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:yogacwibowo@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[marinayustianalubis@telkomuniversity.ac.id](mailto:marinayustianalubis@telkomuniversity.ac.id),  
<sup>3</sup>[heriyonolalu@telkomuniversity.ac.id](mailto:heriyonolalu@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang Tekstil Sandang dan Kulit (TSK), salah satu produk yang diproduksi adalah tambang *polyethylene*. Dalam melakukan produksi tambang *polyethylene* dari proses pengolahan bahan baku pada proses *extrude* hingga proses akhir yaitu proses packing tambang masih terdapat produk cacat yang dihasilkan. Salah satu proses yang terdapat cacat dan menjadi fokus penelitian adalah proses bak panas yang merupakan proses pengecilan diameter pada serat benang. Berdasarkan data historis produksi produk tambang *polyethylene* periode Oktober 2018 s.d September 2019 menghasilkan total jumlah produksi 1910108 Kg. Secara umum target produksi perbulan relative selalu tercapai namun tetap terdapat cacat yang terjadi. Diketahui jumlah rata-rata jumlah produk cacat 13258 Kg dan rata-rata presentase cacat sebesar 8,47 %. Nilai rata-rata cacat masih berada di atas batas toleransi yang ditetapkan perusahaan sebesar 2%. Untuk mengatasi permasalahan tersebut peneliti menggunakan pendekatan *Six Sigma* dengan tahapan DMAI yang diharapkan dapat meminimasi cacat. Diketahui nilai sigma sebesar 3,411 sigma dan nilai DPMO sebesar 28012,951 dan dapat diidentifikasi bahwa kapabilitas proses masih dibawah 6 *sigma*. Dengan mencari akibat permasalahan yang terjadi menggunakan tools analisis diagram sebab-akibat (*fishbone*) diketahui faktor penyebab terjadinya proses yang bermasalah yaitu proses *ekstrude* pada bak panas. Kemudian menentukan prioritas perbaikan menggunakan *Failure Mode and Effect* (FMEA). Usulan perbaikan yang dirancang pada proses *ekstrude* adalah dengan usulan pembuatan jadwal pemeliharaan mesin menggunakan strategi *preventive maintenance*, pembuatan usulan *checksheet* pemeliharaan perawatan mesin, dan pembuatan alarm penanda perubahan suhu.

**Kata Kunci:** Tambang *Polyethylene* (PE), *Six Sigma*, DMAI, CTQ, FMEA, Proses bak panas, *Preventive maintenance*, *Poka-yoke*

#### Abstract

PT. XYZ is a company in the field of leather textile Clothing (TSK), one of the products in the production is Mine *polyethylene*. In the production of mine *polyethylene* from the processing of raw materials in the extruder process until the final process of packing the process is still there are defective products produced. One process that contained defects and became the focus of research is the process of *ekstruder* in the hot tub which is the process of *reduciton* of the diameter of yarn fiber. Based on historical data of mining products production *polyetehelene* period October 2018 s.d September 2019 produce total production amount of 1910108 Kg. In general, the relative monthly production target is always achieved but there remains a defect occuring. It is known that the average number of defective products is 13258 Kg and the average percentage of defects is 8.47%. The average disability value is still above the company's defined tolerance limit of 2%. To slove the problem, researches use *Six Sigma* approaches with the expected *dmai* stage to minimize defects. Known sigma value of 3.411 Sigma and DPMO value of 28012.951 and can be identified that the process capability is still below 6 Sigma. By looking for a result of problems that occur using the analysis tool of *casual diagram* (*fishbone*) is known causation factor in the process of occurrence of problems that is the process in hot tubs. Then determine the priority of the fixes using *Failure Mode and Effects* (FMEA). Proposed improvements designed in the hot tub process are proposed the manufacture machine maintenance schedules using the *Preventive maintenance* strategy, making machine maintenance *checksheet* proposals, and temprature marker alarm recovery.

**Keywords:** Mine *Polyethylene* (PE), *Six Sigma*, DMAI, CTQ, FMEA, hot tub process, *Preventive maintenance* *poka-yoke*

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan, dan permintaan pelanggan yang lebih kompleks telah memaksa seluruh perusahaan industri untuk terus meningkatkan kualitas produk dan layanan mereka. Setiap perusahaan ingin selalu meningkatkan kepuasan pelanggan dengan meningkatkan kualitas produknya. Produk yang berkualitas merupakan produk yang memenuhi keinginan pelanggan dan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan oleh perusahaan dan mencapai kepuasan dan kepercayaan pelanggan [14] Suatu produk dapat dikatakan cacat apabila proses produksinya terdapat variasi proses yang melebihi toleransi dari perusahaan. Produk yang cacat akan diuji, diperbaiki, diganti, didaur ulang, atau dibuang, sehingga, menyebabkan ketidakpuasan pelanggan, biaya perbaikan, dan potensi kehilangan pangsa pasar [15].

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang Tekstil Sandang dan Kulit (TSK). Perusahaan tersebut memproduksi jaring nylon, jaring senar, jaring *polyethylene*, tali/tambang *polyethylene*, tali/tambang *polypropylene*, dan line. Pada penelitian ini berfokus pada produk tambang *polyethylene*.

Dalam produksi tambang *polyethylene*, CTQ produk yang didapatkan berdasarkan spesifikasi dan keinginan *customer* sesuai dengan kemampuan perusahaan. Berikut merupakan spesifikasi/ *Critical to Quality* (CTQ) produk dan kebutuhan produk tambang *polyethylene*.

Tabel 1 *Critical To Quality* (CTQ) Produk Tambang *Polyethelene*

| No | CTQ  | Keterangan  |
|----|--|---|
| 1  | Panjang dan diameter tambang sesuai standar yang telah ditentukan.         | Panjang tambang 200 m - 220 m<br>Diameter tambang 2 mm – 40 mm  |
| 2  | <i>Twiste per meter</i> (TPM) tambang sesuai standar yang telah ditentukan | Tambang memiliki tpm yang telah ditentukan perusahaan yang membuat tambang kuat yaitu 1800 – 3000 TPM                         |
| 3  | Tambang terdiri dari tiga jalur besar                                      | Didalam satu tambang terdapat tiga jalur benang yang sempurna dari awal hingga akhir dihasilkan dari proses <i>twisting</i> . |

Tabel 2 Data Jumlah Produksi dan Jumlah Cacat Tambang *Polyethylene*


| Bulan     | Target Produksi (Kg) | Realisasi Produksi (Kg) | Jumlah Produk Cacat (Kg) | % Produk Cacat | % Toleransi Produk Cacat |
|-----------|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Oktober   | 206759               | 225367                  | 15565                    | 6,91%          | 2%                       |
| November  | 159458               | 173100                  | 14805                    | 8,55%          | 2%                       |
| Desember  | 122015               | 130149                  | 10949                    | 8,41%          | 2%                       |
| Januari   | 227944               | 166399                  | 15638                    | 9,40%          | 2%                       |
| Februari  | 129888               | 143887                  | 15877                    | 11,03%         | 2%                       |
| Maret     | 150251               | 158097                  | 11759                    | 7,44%          | 2%                       |
| April     | 113421               | 123377                  | 11930                    | 9,67%          | 2%                       |
| Mei       | 122685               | 131000                  | 12323                    | 9,41%          | 2%                       |
| Juni      | 92378                | 99768                   | 8227                     | 8,25%          | 2%                       |
| Juli      | 159711               | 175132                  | 13463                    | 7,69%          | 2%                       |
| Agustus   | 168554               | 177712                  | 13566                    | 7,63%          | 2%                       |
| September | 203833               | 206120                  | 15000                    | 7,28%          | 2%                       |
| Total     | 1856894              | 1910108                 | 159102                   | -              | -                        |

Berdasarkan pada tabel 2 secara umum, target produksi perbulan relatif selalu tercapai namun tetap terdapat cacat % yang terjadi pada produksi tambang *polyethylene* dalam kurun waktu Oktober 2018 s.d September 2019.

Diketahui rata-rata jumlah produk cacat sebesar 13258 Kg dan rata-rata presentase cacat sebesar 8,47 %. PT. XYZ menetapkan batas toleransi cacat sebesar 2%. Dapat diketahui dari data diatas bahwa presentase produk cacat periode Oktober 2018 s.d September 2019 melewati presentase toleransi produk cacat yang ditetapkan oleh perusahaan .

Beriku pada tabel 3 merupakan jenis cacat yang terjadi pada proses *ekstrude*

Tabel 3 Jenis Cacat Pada Proses *Ekstrude*

| No | Jenis Defect                           | Gambar   |
|----|--|--|
| 1  | Diameter tambang yang melebihi standar |  |

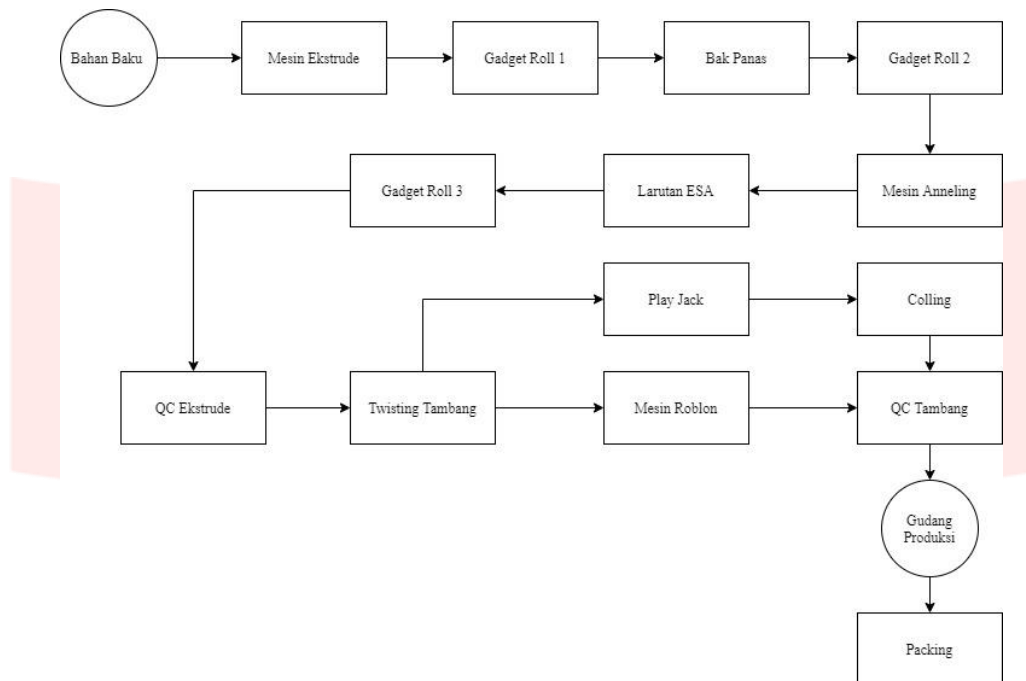
Pada tabel 3 jenis cacat yang terjadi pada produk tambang *polyethylene* yaitu cacat diameter yang melebihi standar. Jenis cacat ini merupakan jenis cacat yang paling krusial, karena berdasarkan hasil observasi dan wawancara bersama PIC tambang cacat diameter paling banyak muncul pada proses ekstrude.

Pada tabel 4 jenis cacat dijelaskan mengenai penyebab cacat dan juga tindakan *corrective* yang pernah dilakukan oleh bagian QC (*Quality Control*) perusahaan.

Tabel 4 Penyebab Cacat dan Tindakan *Corrective* Perusahaan

| No | Jenis Defect              | Penyebab cacat  | Tindakan <i>Corrective</i> yang sudah pernah dilakukan  |
|----|---------------------------|---|---|
| 1  | Diameter melebihi standar | Akibat performa mesin bak panas yang tidak stabil yang menyebabkan suhu mesin tidak stabil. | Melakukan pengecekan terhadap mesin yang tidak stabil dan produk yang mengalami cacat dibuang |

Berikut merupakan alur produksi dari produk tambang *polyethelene*.



Gambar 1 Alur Produksi Tambang *Polyethelene*

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa pada penelitian ini, peneliti berfokus pada proses produksi tambagn *polyethelene* melalui beberapa tahap. Berikut tabel 5 merupakan persyaratan proses yang harus dipenuhi untuk memastikan hasil produksi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan :

Tabel 5 *Critical to Quality (CTQ) Proses Ekstrude*

| Proses                | Input        | Deskripsi Proses  | CTQ Proses   | Permasalahan yang Terjadi  |
|-----------------------|--------------|---|--|--|
| Pengolahan Bahan Baku | Biji Plastik | Proses pemanasan biji plastic menjadi serat                           | 1. Temperatur suhu 240° C – 250° C<br>2. Kecepatan 30rpm | -  |
| Gadget roll stand 1   |              | Serat ditarik agar tetap lurus  | 1. Kecepatan 9rpm  | -  |
| Bak Panas             |              | Serat dimasukan kedalam bak panas untuk dilakukan pengecilan diameter | 1. Diamter 0.23 mm<br>2. Temperatur suhu 104° C          | Suhu pada saat proses pengecilan diameter tidak stabil pada suhu optimum (104°C) |
| Gadget roll stand 2   |              | Serat ditarik kembali agar tetap lurus                                | 1. Kecepatan 84rpm                                       | -  |
| Mesin Anneling        |              | Pada proses ini dilakukan proses pelenturan pada benang               | 1. Temperatur suhu 97° C – 100° C                        | -  |
| Gadget roll stad 3    |              | Serat ditarik kembali agar tetap lurus                                | 1. Kecepatan 80rpm                                       | -  |

|                            |  |   |   |   |
|----------------------------|--|---|---|---|
| Larutan ESA                |  | Serat dimasukkan kedalam larutan ESA agar benang tidak mudah luka | - | - |
| Pemindahan serat ke bobbin |  | Proses pemindahan serat   | - | - |

Pada tabel 5 di atas didapatkan CTQ pada setiap proses yang terjadi pada proses *ekstrude* dan tahapan proses yang bermasalah berdasarkan cacat yang terjadi, terdapat 1 proses yaitu pada proses dan pengecilan diameter benang dibak panas. Berdasarkan permasalahan yang terjadi, maka akan dilakukan penelitian yang berjudul “**USULAN PERBAIKAN PROSES EKSTRUDE UNTUK MEMINIMASI CACAT DIAMETER PADA PRODUKSI TAMBANG POLYETHELENE DI PT.XYZ BERDASARKAN PENDEKATAN DMAI**”.

### 2.1 Kualitas

Kualitas adalah upaya dari produsen untuk memenuhi kepuasan pelanggan dengan memberikan hal yang menjadi kebutuhan, ekspektasi dan harapan dari pelanggan, usaha tersebut terlihat dan terukur dari hasil produk yang dihasilkan. Produk yang berkualitas merupakan produk yang memenuhi keinginan pelanggan dan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan oleh perusahaan demi mencapai kepuasan dan kepercayaan pelanggan. [14]

### 2.2 Six Sigma

*Six Sigma* adalah alat bantu perbaikan proses dan kontrol. Ini adalah metodologi dan proses yang terstruktur, disiplin, berdasarkan data dan proses untuk meningkatkan kinerja bisnis, dengan penekanan *voice of customer* (VOC) dan menggunakan alat statistik. *Sistem* di dalam *Six Sigma* yang komprehensif dan fleksibel untuk mencapai, mempertahankan dan memaksimalkan kesuksesan bisnis. [5]

### 2.3 DMAIC

DMAIC adalah pemecahan masalah lima langkah terstruktur prosedur yang dapat digunakan untuk menyelesaikan proyek dengan berhasil melalui dan mengimplementasikan solusi yang dirancang untuk menyelesaikan akar penyebab kualitas dan proses masalah. DMAIC juga merupakan proses yang membantu mengurangi variasi dan meningkatkan produk atau layanan. [15]

### 2.4 CTQ

CTQ merupakan karakteristik terukur dari produk, proses, atau layanan yang ditetapkan untuk memastikan kepuasan pelanggan dan memastikan bahwa kegiatan *improvement* sesuai dengan kebutuhan pelanggan. Kepuasan pelanggan adalah faktor utama dalam pengembangan parameter CTQ. [3]

### 2.5 Peta Kendali – P

Peta kontrol adalah grafik garis yang digunakan untuk menilai stabilitas suatu proses dan didasarkan pada prinsip distribusi normal. Peta kontrol memiliki tiga garis yang di atasnya yaitu garis tengah (CL), batas kontrol atas (UCL), dan batas kontrol bawah (LCL). Peta kontrol yang digunakan untuk data variabel dikenal sebagai peta kontrol variabel, dan kontrol yang digunakan untuk data atribut diketahui sebagai peta kontrol atribut. Peta kontrol-P adalah salah satu peta kontrol atribut. Peta kendali-P yaitu peta untuk jenis data diskrit, fraksi *defective*, dan ukuran sampel tidak konstan. [1]

### 2.6 Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan kinerja suatu proses dalam keadaan terkendali yang digunakan untuk menganalisis apakah proses tersebut memenuhi persyaratan pelanggan. Tujuan dari kapabilitas proses adalah menghitung nilai DPMO untuk mendapatkan nilai level sigma. [9]

### 2.7 Fishbone Diagram

Diagram sebab akibat juga dikenal sebagai diagram *fishbone*, adalah metode grafis yang dapat digunakan untuk menganalisis akar penyebab masalah. Diagram *fishbone* dimulai dari masalah pernyataan, diikuti dengan menyortir kemungkinan penyebab masalah menjadi beberapa kategori 4M + 1E [15]

### 2.8 5 Why's

5 *why's* adalah alat analisis sederhana namun efektif untuk menentukan analisis akar penyebab. Suatu pertanyaan ditanyakan lima kali berdasarkan informasi yang diterima dalam jawaban sebelumnya sampai suatu kesimpulan tercapai. Terkadang, alat sederhana ini bisa menyelesaikan masalah. [13]

### 2.9 FMEA

*Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) adalah pendekatan langkah demi langkah untuk mengidentifikasi semua kemungkinan kegagalan dalam suatu desain, proses manufaktur atau jasa, atau sistem atau perakitan. 'Mode Kegagalan' berarti cara, atau mode, di mana sesuatu mungkin gagal. Kegagalan adalah kesalahan atau cacat apapun, terutama yang memengaruhi pelanggan, dan bisa berpotensi atau aktual. 'Analisis efek' mengacu pada mempelajari konsekuensi dari kegagalan tersebut. Kegagalan prioritas menurut seberapa serius konsekuensinya, seberapa sering mereka terjadi dan seberapa mudah mereka dapat dideteksi. [1]

### 2.10 Preventive Maintenance

*Preventive maintenance* dilakukan sesuai dengan kriteria waktu, penggunaan, atau kondisi yang ditentukan dan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan atau degradasi fungsional suatu barang. *Preventive maintenance* biasanya diharuskan mengambil item operasional dari layanan dan dimaksudkan untuk meningkatkan rentang masa pakainya atau keandalannya. [2]

### 2.11 MTTF

*Mean Time to Failure* (MTTF) merupakan rata-rata perawatan berkala yang dilakukan pada sistem setelah setiap jam, dimulai dari waktu nol serta pergantian bagian yang gagal atau rusak dengan yang baru dan identik secara statistik (8)

### 2.12 MTTR

*Mean Time to Repair* (MTTR) merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu aset yang mengalami kerusakan (4)

### 2.13 Software Minitab

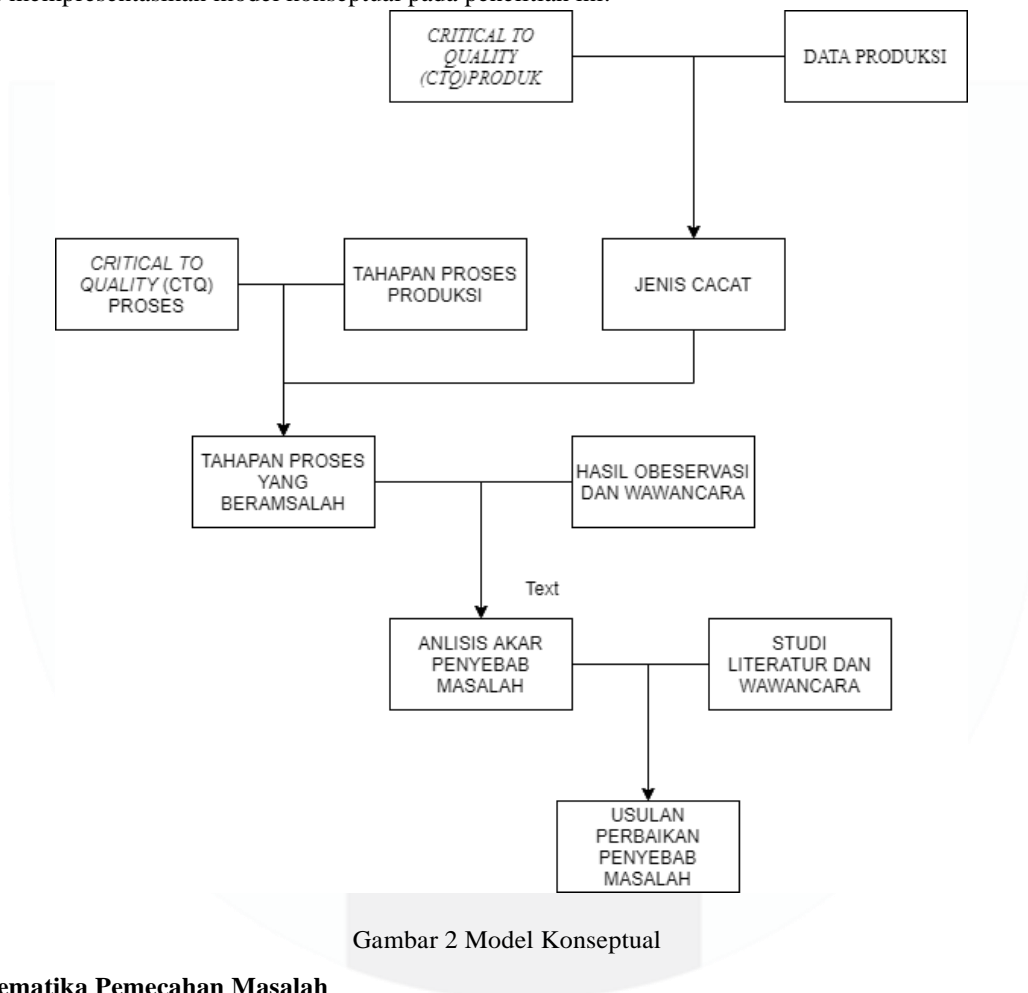
*Minitab* adalah program komputer yang dirancang untuk melakukan pengolahan statistik. *Minitab* mengkombinasikan kemudahan penggunaan layaknya *Microsoft Excel* dengan kemampuannya melakukan analisis statistik yang kompleks. [6]

### 2.14 Poka-yoke

*Poka-yoke* adalah sebuah tools yang digunakan sebagai mistake-proofing dengan menggunakan sinyal visual yang mencegah kesalahan atau cacat (12)

### 2.15 Model Konseptual

Model konseptual disini menjelaskan gambaran berupa data yang dibutuhkan selama penelitian berlangsung, proses yang akan dijalani dalam penelitian ini, dan output yang dihasilkan dari data yang telah diproses. Berikut gambar 2 mempresentasikan model konseptual pada penelitian ini:



Gambar 2 Model Konseptual

### 2.16 Sistematika Pemecahan Masalah

#### 1. Tahap Pendahuluan

Pada tahap pendahuluan merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian. Tahap ini dilakukan dengan menggunakan tahapan DMAIC dengan metode *Six Sigma* yaitu *Define*

#### 2. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap pengumpulan data dan pengolahan data ini merupakan tahapan DMAIC pada tahapan *Measure*. Dimana pada bab ini, melakukan pengukuran stabilitas proses dan kapabilitas proses.

#### 3. Tahap Identifikasi Penyebab Masalah

Tahap identifikasi penyebab masalah ini merupakan tahapan DMAIC pada tahapan *Analyze*. Dimana pada tahapan ini, mengidentifikasi akar penyebab masalah dengan menggunakan diagram *fishbone* dan *5 whys*. Setelah itu dilakukan identifikasi prioritas perbaikan menggunakan *failure mode and effect analysis* (FMEA).

#### 4. Tahap Analisis Hasil Rancangan

Tahap analisis hasil rancangan ini merupakan tahapan DMAIC pada tahapan *Improvement*. Dimana pada tahapan ini, merancang usulan pada proses yang bermasalah yaitu pada proses *ekstrude* dan juga menganalisis kekurangan dan kelebihan dari usulan yang telah diusulkan untuk memperbaiki proses.

Terdapat 3 usulan perbaikan yaitu penjadwalan pemeliharaan mesin, lembar pemeliharaan dan perawatan mesin, dan pembuatan alarm penanda perubahan suhu.

#### 5. Tahap Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan akhir dari penelitian yang berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan metode *Six Sigma*

### 3. Pembahasan

#### 3.1 Rancangan Usulan Perbaikan

##### 3.1.1 Rancangan Usulan Jadwal Perawatan dan Pemeliharaan pada Proses Bak Panas

Usulan rancangan menggunakan *preventive maintenance* yang diterapkan pada mesin memiliki tujuan untuk mengurangi terjadinya cacat diameter dan mengurangi resiko terjadinya tegangan mesin yang menurun akibat mesin yang sudah melewati masa teknisnya. Ouput yang dihasilkan dari tindakan ini yaitu mengetahui interval waktu dalam bentuk MTTF dan MTTR untuk melakukan pemeliharaan dan perawatan terhadap mesin.

Tabel 6 Parameter Distribusi TTR

| Mesin     | Distribusi | Parameter     |           |
|-----------|------------|---------------|-----------|
| Esktruder | Normal     | $\mu$         | 1.5644    |
|           |            | $\sigma$      | 0.403757  |
|           |            | $\rho$        | 0.948576  |
|           |            | $\varepsilon$ | 0.0736306 |
|           |            | B10           | 1.04697   |
|           |            | P0            | 0%        |

Tabel 7 Tabel Hasil MTTR

| Distribusi | Parameter      | MTTR (Hour) | MTTR (Hour)    |
|------------|----------------|-------------|----------------|
| Normal     | $\mu = 1.5644$ | 1.5644      | 1 Jam 34 Menit |

Tabel 8 Parameter Distribusi TTF

| Mesin     | Distribusi | Parameter     |           |
|-----------|------------|---------------|-----------|
| Esktruder | Weibull    | $\eta$        | 394.805   |
|           |            | $\beta$       | 2.86271   |
|           |            | $\gamma$      | 0         |
|           |            | $\rho$        | 0.946393  |
|           |            | $\varepsilon$ | 0.0782161 |
|           |            | B10           | 179.881   |

Tabel 9 Hasil MTTF

| Distribusi | MTTF (hour) | MTTR (day) |
|------------|-------------|------------|
| Weibull    | 352.2529171 | 15         |

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai MTTF sebesar 352.2529171 jam dan nilai MTTR sebesar 1.5644 jam. Interval waktu tersebut digunakan oleh divisi mekanik PT.XYZ untuk melakukan pemeliharaan dan perawatan mesin ekstrude, dengan melakukan kegiatan pemeliharaan atau perawatan pada 15 hari dari kerusakan sebelumnya dengan waktu untuk melakukan pemeliharaan dan perawatan sekitar 1 jam 34 menit.





#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil rancangan usulan perbaikan untuk memperbaiki permasalahan pada proses bak paans pada produksi tambang *polyethelyne*.
2. Hasil rancangan usulan perbaikan untuk memperbaiki masalah proses bak panas adalah merancang perbaikan penjadwalan pemeliharaan menggunakan strategi *preventive maintenance*, usulan *checksheet* pemeliharaan dan perawatan , dan pembuatan alarm penanda perubahan suhu.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Antony, J., Vinodh, S., & Gijo, E. (2016). *Lean Six Sigma for Small and Medium Sized Enterpries*. London: CRC Press.
- [2] Ben-Daya, M., Kumar, U., & Murthy, P (2016). *Introduction to Maintenance Engineering*. India: Wiley
- [3] Charron, R., James, H., Voeh, F. & Wiggin, H., 2015. *The Lean Management Systems Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- [4] Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenane A Modern Approach*. CRC Press.
- [5] Franchetti, M. J. (2015). *Lean Six Sigma For Engineers and Managers*. London: CRC Press.
- [6] Gao, S. & Low, S. P., 2014. *Lean Construction Management*. Singapore : Springer.
- [7] Keprofesian Maintenance. (2017). *Pelatihan Perhitungan MTTR dan MTTF*. Bandung : Keprofesian Maintenance.
- [8] McPherson, J. W. (2019). *Reliability Physics and Engineering Time-To-Failure Modeling (Third)*. Springer
- [9] Mitra, A. (2016). *Fudamentals of Quality Control and Improvement*. Canada: John Willey & Sons, Inc.
- [10] Morgan, John, and & Brenig-Jones. 2012. *Lean Six Sigma For Dummies*. 2nd ed. Lean Six Sigma Cocahes and Directors of Catalysy Consulting
- [11] Patel, S. (2016). *The Tactical Guide to Six Sigma Implementation*. London : CRC Press.
- [12] Stamatis, D., 2015. *The ASQ Pocket Guide to Failure Mode and Effect Analysis Milwaukee; American Society for Quality, Quality Press.*
- [13] Stern, T. V. (2016). *Lean Six Sigma*. London: CRC Press.
- [14] Tannady, H. (2015). *Pengendalian Kualitas: Yogayakarta: Graha Ilmu*
- [15] Zhan, W., Ding, X. (2016). *Lean Six Sigma and Statistical Tools for Engineers and Engineering Managers*. New York: Momentum Press Engineering.