

## PERBAIKAN SISTEM PEMBONGKARAN BATUBARA PADA PT X MENGUNAKAN METODE SIMULASI

Christopher Theo Halim<sup>1</sup>, Nicholas Kevin WSH<sup>2</sup>, Michael Alexander<sup>3</sup>, dan Fran Setiawan<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Industri Universitas Katolik Parahyangan  
Jl. Ciumbuleuit No 94, Gedung 8, Bandung 40141

\*E-mail: [fransetiawan@unpar.ac.id](mailto:fransetiawan@unpar.ac.id)

### ABSTRAK

*PT X merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada sektor pertambangan. Berdasarkan Ishikawa Diagram, PT X memiliki permasalahan pada salah satu sistem pembongkaran berupa bottleneck yang menyebabkan keterlambatan proses pembongkaran. Keterlambatan proses bongkar menyebabkan deviasi SOP (batas waktu bongkar) yang berakibat pada penundaan jadwal pembongkaran kereta api berikutnya dan berakibat pada kehilangan profit. Metode dalam penyelesaian masalah ini adalah dengan melakukan percobaan pada model sistem dibandingkan pengujian pada sistem aktual. Percobaan pada model sistem bersifat fleksibel dan mengurangi kemungkinan kegagalan ketika diaplikasikan pada sistem aktual sehingga dapat digunakan untuk merepresentasikan letak permasalahan atau penyebab dari bottleneck, kemudian ditemukan bahwa bottleneck terjadi pada salah satu conveyor yang mengangkut batubara. Dalam penyelesaian masalah tersebut, telah dirancang beberapa alternatif perbaikan berupa perubahan variabel pada sistem berupa kecepatan dan ukuran conveyor berdasarkan batasan yang dimiliki perusahaan dan supplier untuk perbaikan. Pada akhir penelitian, telah dipilih satu alternatif terbaik yang dapat mengurangi lama waktu menunggu atau yang disebut dengan bottleneck hingga 27,42% dari sistem aktual.*

**Kata kunci:** sistem pembongkaran, pelanggaran SOP, simulasi sistem, bottleneck

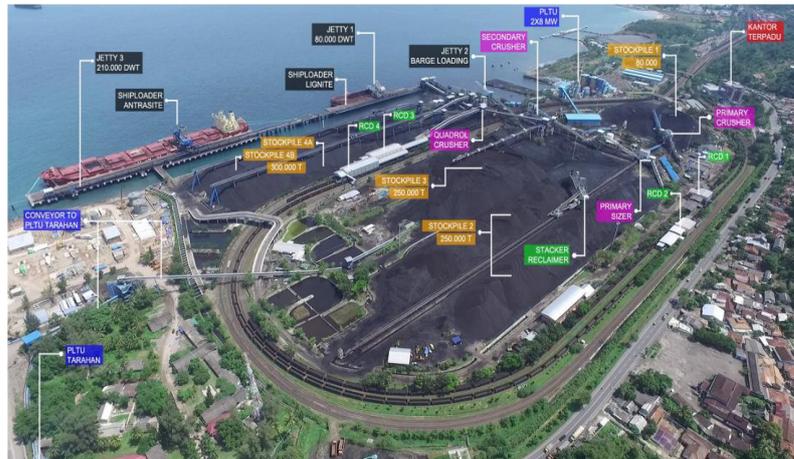
### 1. PENDAHULUAN

PT X merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang penjualan dan pengolahan pertambangan batu bara dengan jumlah material yang tersebar luas di Indonesia. PT X memiliki fungsi sebagai pelabuhan utama bagi unit pertambangan yaitu pembongkaran dan pengangkutan batu bara yang sebelumnya telah dikirim menggunakan kereta api. Semua batu bara yang dikirimkan akan diolah merupakan objek penelitian yang akan diamati. Operasi pembongkaran batu bara pada PT X dilengkapi oleh beberapa fasilitas utama, yaitu 4 unit RCD (*Rotary Cart Dumper*), 4 *Stockpile* (area penyimpanan batu bara), dan 3 buah Dermaga untuk pengiriman. PT X beroperasi selama 24 jam, 7 hari seminggu. RCD merupakan mesin yang digunakan untuk memutar setiap gerbong kereta api, dengan tujuan mempermudah proses pembongkaran batu bara. Setiap hari, seluruh RCD dapat membongkar 21 rangkaian kereta, dengan tiap rangkaian memiliki 58 - 60 gerbong yang masing masing berisi 50 ton batu bara.

Setiap RCD bekerja secara semi-otomatis dengan bantuan mekanisme *car dumper* dan *positioner arm* untuk memposisikan setiap gerbong menuju *cart dumper* yang dikendalikan oleh bagian operasi. Keempat *Stockpile* memiliki kapasitas penampungan yang berbeda sesuai dengan ukuran lahan. Setiap gerbong akan diposisikan untuk diputar dengan waktu proses 60 rangkaian gerbong selama 150 menit (SOP bongkar). Terdapat RCD 3 dan RCD 4 yang kini dijadikan sebagai mesin penunjang operasional unggulan dari PT X dengan kemampuan untuk memutar setiap 2 gerbong sekaligus yang disebut dengan *double dumper* dengan waktu proses dari RCD 3 dan RCD 4 ini dilakukan selama 120 menit (SOP bongkar) untuk membalikan 60 rangkaian gerbong kereta. Batu bara dari setiap *Stockpile* akan dikirim menuju kapal kapal yang bersandar di ketiga Dermaga menggunakan bantuan *conveyor* sesuai dengan *demand* konsumen. Pengiriman batu bara dari setiap *Stockpile* menuju pelabuhan tentunya tetap mempertimbangkan kualitas batu bara yang berbeda beda dari setiap *Stockpile*, yang akan dikirimkan sesuai dengan permintaan *buyer* yang menginginkan kualitas batu bara yang seperti apa. Peta sistem pembongkaran PT X dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada hasil pengamatan, terdapat permasalahan pada proses pembongkaran batubara menuju *Stockpile* 3, salah satu permasalahan yang sering terjadi berupa penumpukan batubara pada *conveyor* hingga berjatuh pada saat pengiriman hasil bongkaran. Pada *Stockpile* 3 hanya menerima pembongkaran batubara dari RCD 2, 3, dan 4. Sebelumnya telah dijelaskan bahwa sistem pembongkaran pada RCD 3 dan 4 menggunakan mesin *double dumper* dan *quadrol crusher* (tidak perlu melewati proses penghancur 2 kali), jika dibandingkan RCD 2 yang menggunakan

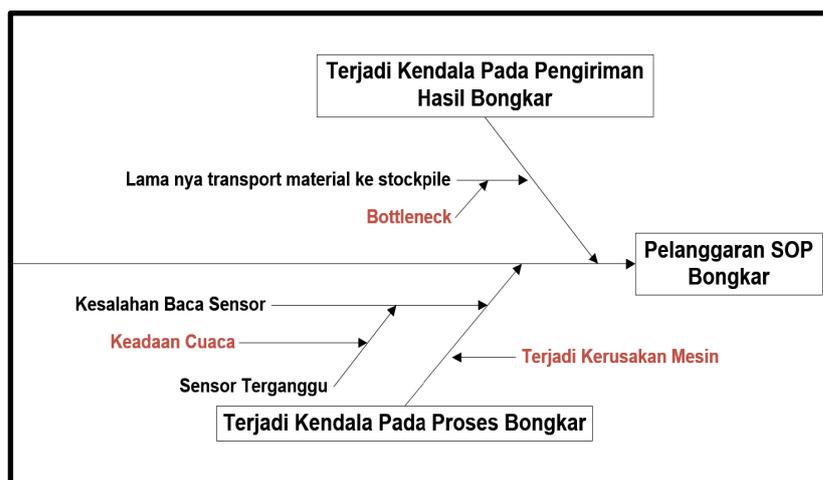
single dumper dan melewati 2 sizer tentunya memiliki proses dan waktu penyelesaian yang berbeda. Hal tersebut menyebabkan waktu proses pembongkaran RCD 3 dan 4 lebih cepat dibandingkan dengan waktu proses RCD 2, sehingga memungkinkan terjadinya penghambatan batu bara dalam proses pengiriman menggunakan *conveyor*. Selain permasalahan pada penumpukan, terdapat *delay* pembongkaran pada *Stockpile* 3 hingga memakan waktu kurang lebih 3 jam dikarenakan terdapat kerusakan pada mesin bongkar.



**Gambar 1.** Peta Sistem Pembongkaran PT X

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, jika terdapat pelanggaran pada SOP, maka PT X akan mengalami kehilangan keuntungan sebesar \$63,3 untuk setiap ton (dihitung berdasarkan data harga batu bara acuan atau HBA se-Indonesia), dikarenakan akan terjadi *delay* untuk jadwal pembongkaran berikutnya. Berikut merupakan contoh 10 data waktu bongkar awal pada bulan Juli dari data proses bongkar pada setiap RCD ketika membongkar pada *Stockpile* 3 yang dapat dilihat pada Tabel 1 pada Tabel Appendix.

Dapat dilihat pada Tabel 1, terdapat beberapa penyimpangan SOP dari setiap RCD, dengan waktu bongkar RCD 2 yang melebihi 120 menit dan waktu bongkar baik RCD 3 maupun RCD 4 yang melebihi 150 menit. Pada data keseluruhan, telah dilakukan rekapitulasi untuk mengetahui apakah permasalahan ini memang terjadi dalam sistem pembongkaran atau hanya terjadi pada bulan Juli saja dikarenakan *seasonal factor*. Pada pengolahan data historis selama 6 bulan, didapatkan rata-rata waktu proses bongkar pada RCD 2 sebesar 175,95 menit yang masih melebihi batas SOP RCD 2 dan rata-rata waktu proses bongkar pada RCD 3 dan 4 secara berturut-turut sebesar 132,57 dan 140,89 menit masih melebihi batas SOP untuk RCD 3 dan 4. Standar deviasi pada proses bongkar pada setiap RCD secara berurut sebesar 88,89; 62,63; dan 73,54 menit, berdasarkan data tersebut dapat dikatakan besar persebaran data setiap RCD cukup besar. Penyebab terjadinya keterlambatan waktu proses sehingga melanggar ketentuan SOP dibagi menjadi 2 yaitu terjadi kendala pada pengiriman hasil bongkar dan terjadi kendala pada proses bongkar. Hasil penentuan *Ishikawa Diagram* pada masalah pelanggaran SOP dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** *Ishikawa Diagram* SOP Bongkar

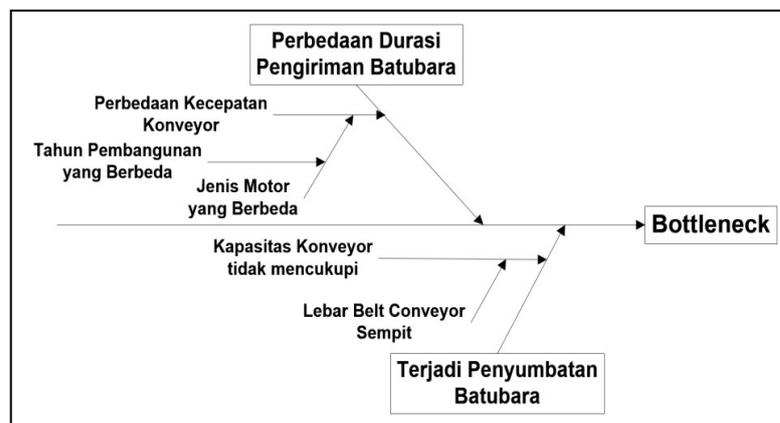
Dilihat pada Gambar 2, permasalahan keterlambatan waktu bongkar atau pelanggaran SOP disebabkan oleh *bottleneck*, terjadi kerusakan mesin, dan keadaan cuaca. Kemudian dari antara penyebab masalah tersebut, telah ditentukan penyebab yang paling berdampak pada keterlambatan proses bongkar dengan menggunakan Pareto Chart. Diagram ini ditentukan berdasarkan jumlah frekuensi untuk setiap jenis penyebab keterlambatan, dengan bobot biaya keuntungan yang hilang. Sebelumnya telah dipaparkan bahwa harga batu bara menurut harga batubara acuan (HBA) se-Indonesia adalah \$63,3 tiap ton. Berikut merupakan tabel biaya keuntungan yang hilang untuk setiap frekuensi (F) pada penyebab masalah pada setiap RCD. Keuntungan yang hilang dihitung dari ekspektasi jumlah tonase batu bara yang dapat dibongkar pada lama waktu keterlambatan setiap faktor. Setelah dilakukan perhitungan, telah diperoleh jumlah keuntungan yang hilang pada sistem pembongkaran PT X sebesar \$1266/menit. Jumlah keuntungan yang hilang pada setiap penyebab dapat ditentukan dengan hasil perkalian total waktu keterlambatan setiap faktor penyebab dengan jumlah biaya yang hilang per menit. Data jumlah keuntungan yang hilang pada setiap penyebab dapat dilihat pada Tabel 2 pada Tabel Appendix.

Dapat dilihat pada Tabel 2, bahwa *bottleneck* memiliki frekuensi terbesar dibandingkan dengan penyebab masalah lainnya, sehingga permasalahan *bottleneck* merupakan penyebab kerugian yang paling besar dapat dilihat dari jumlah frekuensi yang sangat tinggi. Kemudian dibuat *Pareto Chart* dengan nilai hasil pembobotan biaya dari jumlah frekuensi untuk setiap penyebabnya sehingga dapat diketahui tingkat prioritas permasalahan sebagai *input* yang akan diuji. Berikut merupakan *Pareto Chart* untuk keseluruhan RCD.



Gambar 3. Pareto Chart

Dilihat pada Gambar 3, dari antara ketiga penyebab permasalahan tersebut *bottleneck* merupakan penyebab yang paling berpengaruh atau merugikan diantara permasalahan yang lainnya. Sehingga permasalahan yang terpilih pada objek perbaikan terpilih adalah *bottleneck*. Setelah didapatkan permasalahan utama, maka perlu dibuat pencarian permasalahan utama dengan menggunakan *Ishikawa Diagram* pada masalah *bottleneck* tersebut sehingga dapat diidentifikasi faktor-faktor penyebab *bottleneck*. Berikut merupakan *Ishikawa Diagram* yang difokuskan pada permasalahan *bottleneck*.



Gambar 4. Ishikawa Diagram Bottleneck

Pada hasil identifikasi masalah tersebut, kemudian diketahui bahwa penyebab utama terjadinya pelanggaran SOP pada proses bongkar adalah terjadinya *bottleneck* yang disebabkan oleh beberapa faktor yang terdapat pada *conveyor*.

Pada penyelesaian permasalahan sistem pembongkaran, dipilih bentuk percobaan pada model sistem dengan metode simulasi. Model simulasi dapat digunakan untuk mempresentasikan letak permasalahan atau penyebab dari *bottleneck* yang terjadi dalam sistem dan perancangan sistem usulan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dari hasil pengamatan tersebut, pada identifikasi rumusan masalah pada sistem pembongkaran batubara di *Stockpile 3* yaitu: “Usulan apa yang dapat diberikan untuk mengurangi terjadinya kerugian akibat kehilangan kesempatan proses bongkar pada PT X?”.

## 2. METODE

### 2.1 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data merupakan suatu langkah awal pengolahan data untuk mengetahui apakah jumlah data yang telah dikumpulkan telah mencukupi dengan batas jumlah data yang diperlukan, sehingga dapat diolah pada proses berikutnya. Jika nilai *error* pada data yang telah dikumpulkan saat ini (*current relative error*) sesuai atau tidak melebihi batas dari nilai *error* maksimum ( $\gamma'$ ), maka data tersebut dapat dikatakan cukup secara objektif. Perhitungan jumlah data teoritis yang diperlukan data dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut. Berikut ini persamaan dalam penentuan maksimal *error* ( $\gamma'$ ) dan *current relative error*.

$$\gamma' = \frac{\gamma}{(1+\gamma)} \quad (1)$$

dengan,  
 $\gamma'$  = maksimal *error*  
 $\gamma$  = nilai gamma

$$\text{Current relative error} = \frac{t_{i-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}}}{|\bar{X}(n)|} \quad (2)$$

dengan,  
 $t$  = nilai  $t$       $i$  = jumlah replikasi awal      $S^2(n)$  = variansi data      $|\bar{X}(n)|$  = rata-rata data

Jumlah pengambilan data dapat dikatakan cukup jika jumlah *current relative error*  $\leq \gamma'$ , atau jumlah data yang telah dikumpulkan melebihi jumlah data yang diperlukan (teoritis). Jika *current relative error* tidak mencukupi dari  $\gamma'$ , maka diperlukan pengambilan data lebih lanjut.

### 2.2 Perancangan Model Simulasi

Pada perancangan model simulasi yang akurat, dapat diawali dengan perancangan model konseptual pada sistem. Model konseptual digunakan sebagai konsep awal untuk membantu perancangan model simulasi yang sesuai dengan sistem aktual. Model konseptual dapat berupa *flowchart*, SIPOC, dan sebagainya. Selain diperlukannya model konseptual, diperlukan juga data mengenai variabel yang terdapat pada sistem (waktu proses, jarak antar stasiun, ukuran, kapasitas antrian, dsb.).

### 2.3 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi

Validasi model simulasi dengan aktual dapat ditentukan dengan uji beda. Metode pengujian beda hasil simulasi ditentukan berdasarkan distribusi data yang telah ditentukan pada uji distribusi sebelumnya. Jika data mengikuti distribusi parametrik (berdistribusi normal), maka uji beda dapat dilakukan dengan menggunakan perbandingan parameter rata-rata. Jika data berdistribusi non-parametrik (berdistribusi selain normal), maka pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan perbandingan parameter median (nilai tengah). Uji beda pada data berdistribusi parametrik dapat dilakukan dengan menggunakan Uji T pada persamaan berikut.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad (3)$$

Sedangkan pengujian pada data berdistribusi *non-parametrik* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Kruskal Wallis* atau *Mann Whitney* (Uji U). Persamaan pada uji beda pada data berdistribusi *non-parametrik* metode *Kruskal Wallis* dapat dihitung dengan Pers-4, sedangkan perbandingan 2 sistem dengan metode *Mann Whitney* dapat dihitung dengan Pers-5.

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (r_i - r)^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^i (r_{ij} - r)} \quad (4)$$

dengan,  
 $K$  = Uji Kruskal Wallis  
 $r$  = Peringkat yang diberikan pada data

$$U_1 = n_1 + n_2 \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \text{ dan } U_2 = n_1 + n_2 \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2 \quad (5)$$

dengan,  
 $U$  = Uji *Mann Whitney*  
 $n_i$  = Jumlah data pada sistem  $i$   
 $R_i$  = Penjumlahan ranking pada data sistem  $i$

#### 2.4 Usulan Perbaikan Model Simulasi

Setelah dirancang usulan perbaikan pada model simulasi, kemudian perlu dilakukan uji signifikansi untuk mengetahui apakah *output* model usulan yang diberikan berpengaruh secara signifikan terhadap *output* awal atau tidak. Jika *output* model usulan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap model awal, maka dapat dikatakan bahwa model usulan berhasil dalam memperbaiki sistem. Jika *output* model usulan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap model awal, maka model usulan tersebut tidak berdampak besar dalam perbaikan sistem. Uji signifikansi dapat dihitung dengan menentukan nilai *confidence interval* berdasarkan nilai *confidence level* untuk perbandingan beberapa sistem. Nilai *confidence level* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Confidence level} = 1 - (\alpha / c) \quad (6)$$

Dengan nilai  $c$  adalah jumlah sistem yang dibandingkan dikurang 1 ( $k - 1$ ).

Langkah berikutnya adalah dengan mencari batas kepercayaan (*confidence interval*) dengan menggunakan *paired T*. *Paired T-confidence interval* dapat digunakan untuk mengetahui apakah hasil *output* model simulasi lebih baik secara signifikan dibandingkan hasil *output* aktual. *Paired T-confidence interval* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$CI = \underline{Z}(n) \pm t_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\text{Var} [\underline{Z}(n)]} \quad (7)$$

dengan,  
 $\underline{Z}(n)$  = rata-rata selisih data pada sistem yang dibandingkan  
 $t$  = nilai  $t$   
 $\alpha$  = *confidence level* untuk perbandingan sistem

#### 2.5 Pemilihan Alternatif Perbaikan

Apabila terdapat lebih dari 1 alternatif model yang diusulkan, maka diperlukan pemilihan alternatif terbaik yang akan diaplikasikan pada model aktual. Pemilihan alternatif dari beberapa sistem yang berbeda dapat ditentukan dengan menggunakan metode *ranking and selection*. Langkah awal dalam pemilihan dari beberapa alternatif sistem adalah penentuan besar ukuran sampel yang diperlukan pada setiap sistem. Jumlah ukuran sampel yang diperlukan pada setiap usulan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$N_i = \{n_0 + 1, [h_1^2 S_1^2 (n_0)]\} \quad (8)$$

dengan,  
 $n_0$  = banyak replikasi awal  
 $h_1$  = nilai konstanta berdasarkan jumlah sistem alternatif ( $k$ ),  $P^*$ , dan  $n_0$   
 $p^2$  = batas bawah probabilitas pemilihan sistem tersebut merupakan pilihan yang tepat (*correct selection*)  
 $S^2$  = variansi data sistem  
 $d_*$  = batas nilai perbedaan terkecil

Langkah berikutnya adalah dengan melakukan pembobotan pada setiap alternatif sistem berdasarkan nilai ukuran sampel yang telah dihitung sebelumnya. Pembobotan akan digunakan sebagai indeks perbandingan pada setiap sistem. Bobot pada setiap sistem dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$W_{i1} = \frac{n_0}{n_1} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{N_1}{n_0} \left( 1 - \frac{(N_1 - n_0)(d_*)^2}{h_1^2 s_1^2(n_0)} \right)} \right] \quad (9)$$

Setelah dihitung nilai bobot pada setiap sistem, kemudian pemilihan setiap sistem dapat dibandingkan dengan nilai *weighted sample means*. Pemilihan alternatif usulan sistem dapat ditentukan dengan memilih nilai *weighted sample means* yang terkecil. *Weighted sample means* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tilde{X}_i(N_i) = W_{i1} \underline{X}_i^{(1)}(n_0) + W_{i2} \underline{X}_i^{(2)}(N_i - n_0) \quad (10)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Rekap

Sebelumnya telah dilakukan perekapan data waktu bongkar 6 bulan, yang dilanjutkan dengan menghitung jumlah rata-rata dan standar deviasi pada setiap RCD. Sebagian data waktu bongkar pada Tabel 3, dapat dicari rata-rata dan standar deviasi pada waktu proses bongkar tiap RCD tersebut yang nantinya digunakan pada pengolahan data berikutnya. Hasil rekap perhitungan rata-rata dan standar deviasi pada setiap RCD dapat dilihat pada Tabel 4 pada Tabel Appendix. Panjang dari entitas inilah yang nantinya dapat dijadikan dasar perhitungan *processing time* untuk *conveyor* CV304, dengan kecepatan sebesar 4 m/s maka jika panjang entitas tersebut dibagi dengan kecepatan *conveyor* maka dapat ditemukan lama waktu *processing* untuk peletakkan batu bara tersebut ke titik area terdekat dalam satuan detik. Karena terdapat 7 area peletakkan maka perlu dilakukan perhitungan *processing time* dari batu bara masuk kedalam *conveyor* hingga keluar pada tiap area yang ditambah dengan *processing time* pada perhitungan sebelumnya yang dibagi berdasarkan tiap kategori, pencarian waktu ini didapatkan dengan waktu *processing* di sepanjang CV304 dibagi 7. Setelah itu didapatkan waktu perpindahan tiap area selama 38.333 detik yang nilainya akan selalu bertambah seiring dengan perpindahan area yang semakin jauh. Perhitungan ini nantinya akan digunakan untuk pengujian *processing time* dari *conveyor* CV304 menggunakan *ExpertFit* sehingga dapat ditemukan karakteristik distribusi data yang dapat merepresentasikan keadaan dari *conveyor* CV304. Contoh tabel perhitungan untuk *conveyor* CV304 dapat dilihat pada Tabel 5 pada Tabel Appendix.

Dari Tabel 5 dapat ditentukan besar *processing time* total untuk pembongkaran setiap gerbong dengan mempertimbangkan tipe dari batu bara. Perhitungan ini dilakukan untuk seluruh proses pembongkaran sehingga hasil *output* dari CV304 dapat merepresentasikan karakteristik output yang dikeluarkan dari *conveyor* ini. Proses masuknya *input* dari CV304 tentunya tetap dipengaruhi oleh output barang dari setiap RCD dengan waktu kedatangan yang random mengikuti distribusi yang telah ditemukan sebelumnya menggunakan *ExpertFit* sehingga perhitungan *processing time* akan berbeda pada setiap replikasi.

#### 3.2 Perhitungan Uji Kecukupan Data

Setiap data yang telah dikumpulkan perlu dilakukan uji kecukupan data untuk mengetahui bahwa apakah jumlah data yang telah dikumpulkan sudah cukup, sehingga data data tersebut dapat dikatakan sebagai representatif dari sistem. Jika data historis yang telah dikumpulkan tersebut tidak memenuhi jumlah data yang diperlukan, maka perlu dilakukan penambahan jumlah data hingga lebih besar atau sama dengan jumlah data yang diperlukan. Sebelum melakukan perhitungan untuk uji kecukupan data, maka dihitung terlebih dahulu rata-rata, standar deviasi, serta variansi dari data yang didapat. Untuk perhitungan diambil contoh dari data RCD 2. Berikut ini merupakan perhitungan untuk rata-rata, standar deviasi, serta variansi dari data waktu proses di RCD 2.

$$\text{Rata-rata waktu proses} = \frac{\sum x}{n} \quad (11)$$

$$\text{Rata-rata waktu proses} = \frac{99585}{566} = 175,945$$

$$\text{Standar deviasi waktu proses} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (12)$$

$$\text{Standar deviasi waktu proses} = \sqrt{\frac{\sum (160-175,9452)^2 + \dots + (132-175,9452)^2}{565}} = 88,888$$

$$\text{Variansi waktu antar kedatangan} = s^2 \quad (13)$$

$$\text{Variansi waktu antar kedatangan} = 88,888^2 = 7901,005$$

Setelah mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, serta variansi dari waktu proses di RCD 2, maka dilakukan perhitungan untuk maksimal *error* atau  $\gamma'$  dari waktu proses di RCD 2. Nantinya nilai maksimal *error* akan dihitung untuk RCD 3 dan RCD 4. Berikut ini merupakan nilai maksimal *error* dari data waktu proses di RCD 2. Berikutnya, setelah nilai maksimal *error* sudah diketahui, maka dilakukan perhitungan *current relative error* dari data waktu proses di RCD 2. Nilai maksimal *error* yang didapat sebesar 9,09%. Berikut ini merupakan perhitungan untuk *current relative error* untuk data waktu proses di RCD 2.

$$\text{Current relative error} = \frac{t_{i-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{s^2(n)/i}}{|\bar{X}(n)|} \quad (14)$$

$$\text{Current relative error} = \frac{t_{565; 0,975} \sqrt{7901,0005/566}}{175,9452}$$

$$\text{Current relative error} = 4,1709\%$$

Berdasarkan perhitungan yang didapat, maka didapatkan nilai *current relative error* sebesar 4,1709%. Nilai tersebut lebih kecil dari nilai maksimal *error* yaitu 9,09%, maka tidak perlu dilakukan perhitungan lebih lanjut dan data untuk waktu proses RCD 2 sudah mencukupi. Berikut ini merupakan tabel rekap untuk kecukupan data di RCD 2, RCD 3, dan RCD 4 yang dapat dilihat pada Tabel 6 pada Tabel Appendix. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa nilai *current relative error* dari RCD 2, RCD 3, dan RCD 4 dibawah nilai maksimal *error*. Maka jumlah data untuk RCD 2, RCD 3, dan RCD 4 sudah mencukupi.

### 3.3 Uji Distribusi Data

Setelah dilakukannya pengujian kecukupan data, kemudian dapat dilakukan pengujian distribusi untuk menghasilkan data baru yang merepresentasikan data historis tersebut dalam proses bentuk model simulasi. Dalam melakukan uji distribusi digunakan aplikasi *ExpertFit*, yang digunakan agar mempermudah para user dalam menentukan distribusi yang mengikuti sekumpulan data tersebut. Data waktu penambahan yang telah direkap sebelumnya dari hasil kumulatif setiap RCD dijadikan sebagai *input* untuk pengujian dalam *ExpertFit*. Berikut merupakan contoh pengujian distribusi menggunakan *ExpertFit* dengan menggunakan data Inter-arrival *time* RCD 2. Pada pengujian distribusi pada data waktu bongkar RCD 3 dan 4 dapat dilakukan dengan langkah yang sama dengan RCD 2. Dari hasil pengujian distribusi untuk RCD 2, didapatkan bahwa RCD 2 mengikuti beberapa distribusi tetapi memiliki tingkat evaluation “Bad” sehingga disarankan untuk menggunakan distribusi empiris sebagai distribusi yang menggambarkan. Dengan menggunakan bantuan *ExpertFit* dapat ditemukan lebih lanjut untuk tabel empiris yang terbentuk dengan didalamnya terdapat persentase dan besar nilai EDF (*empirical distribution function*) yang dapat dijadikan sebagai *input* untuk menggambarkan karakteristik sistem pada model simulasi sistem RCD 2. Di bawah merupakan sebagian dari tabel empiris yang dihasilkan menggunakan aplikasi *ExpertFit* dan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.

Dilihat dari Tabel 7 pada Tabel Appendix terdapat kolom *percentage* yang menandakan kelas pada distribusi empiris dan kolom *X-Value* yang merupakan besar nilai CDF dari tiap kelas. Kedua data ini diaplikasikan pada entitas model yang akan disimulasikan yang diharapkan dapat menggambarkan keadaan sistem tersebut berdasarkan data historis 6 bulan. Proses yang sama juga dilakukan untuk tiap entitas yang ada di dalam model simulasi, yang tentunya setiap entitas memiliki distribusinya masing-masing.

### 3.4 Validasi dan Verifikasi Model Simulasi

Berdasarkan hasil perhitungan uji beda yang dihitung menggunakan minitab, maka dapat disimpulkan bahwa nilai  $h_0$  gagal ditolak karena nilai  $p - value > alpha$ , sehingga tidak terdapat perbedaan antara data aktual dengan data pada simulasi. Oleh karena data aktual dengan data pada simulasi tidak terdapat perbedaan, maka data dikatakan sudah valid. Verifikasi dilakukan untuk mengetahui bahwa semua *item* yang ada di model simulasi sudah mewakili kejadian nyata. Rekap informasi untuk setiap jenis *item* pada simulasi dapat dilihat pada Tabel 9 pada Tabel Appendix. Dapat dilihat bahwa pada Tabel 9, bahwa setiap objek yang terdapat di sistem nyata sudah terdapat pada model simulasi. Karena semua *item* sudah terdapat pada model simulasi, maka model terverifikasi. Setelah ditentukan verifikasi dan validasi dari sistem yang ada, langkah berikutnya adalah mengubah variabel-variabel (seperti ukuran *conveyor*, dsb) yang dapat diubah dalam sistem sehingga sistem pembongkaran batu bara dapat memiliki output yang diinginkan atau lebih baik dari sebelumnya. Variabel yang diubah pada sistem tersebut harus sesuai dengan batasan-batasan perusahaan.

### 3.5 Design of Experiment Sistem

Pada penelitian ini, hanya terdapat sebuah faktor yang dapat diuji, yaitu kecepatan *conveyor*. Ukuran panjang *conveyor* tidak dapat diubah dikarenakan *layout* perusahaan yang tidak dapat diubah, sedangkan ukuran lebar *conveyor* dalam simulasi tidak akan berpengaruh, dikarenakan asumsi material yang direpresentasikan adalah batubara dalam satuan per gerbong. Kecepatan *conveyor* pada PT X memiliki jangkauan maksimal sebesar 8 m/s. Jika kecepatan *conveyor* batu bara melebihi 8 m/s, maka batu bara yang diangkut akan berjatuh. Kemudian dilakukan pengujian lama waktu *bottleneck* berdasarkan kecepatan *conveyor* yang berbeda. Hasil pengujian simulasi dalam jangka waktu 6 bulan dapat dilihat pada Tabel 10 pada Tabel Appendix. Dapat dilihat pada Tabel 10 bahwa semakin cepat kecepatan *conveyor* dapat mengurangi lama rata-rata waktu *bottleneck*. Pada hasil percobaan tersebut, rata-rata lama waktu *bottleneck* mengalami pengurangan berkisar 0,3 menit untuk setiap penambahan kecepatan *conveyor* sebesar 2 m/s. Berdasarkan hasil tersebut, perancangan model simulasi usulan dapat dilakukan dengan mempercepat kecepatan *conveyor*.

### 3.6 Usulan Perbaikan Sistem

Setelah selesai dilakukannya pengamatan pada PT X, maka dapat dilihat bahwa *bottleneck* yang terjadi pada CV 506. Hal ini menyebabkan terjadinya keterlambatan proses bongkar. Sehingga proses bongkar tidak sesuai jadwal dan menyebabkan pelanggaran SOP. Akibat dari adanya pelanggaran SOP ini, maka PT X harus mengalami kerugian finansial karena kehilangan kesempatan untuk proses bongkar. *Bottleneck* disebabkan karena waktu bongkar dari RCD 2 dan waktu bongkar dari RCD 3 tidak sama. Dalam SOP, RCD 2 dapat menyelesaikan pembongkaran satu kereta dalam waktu 150 menit. Sedangkan, dalam SOP untuk pembongkaran RCD 3, satu kereta dapat dibongkar dalam waktu 120 menit. Akibat ketidaksamaan waktu proses pembongkaran ini, sehingga akhirnya *conveyor* dari RCD 3 dan RCD 2 bertumpuk di CV 506.

Usulan perbaikan yang dibuat terdiri dari dua usulan. Usulan pertama adalah menambahkan kecepatan *conveyor* dari 4 m/s menjadi 8 m/s. Usulan perbaikan yang kedua adalah menambahkan kecepatan dari 4 m/s menjadi 6 m/s. Usulan perbaikan hanya dilakukan penambahan kecepatan. Hal ini dikarenakan keterbatasan waktu dan hal yang paling memungkinkan diubah adalah kecepatan *conveyor*. Setelah melakukan penggantian kecepatan *conveyor* untuk CV 506, maka dilakukan pengambilan data sebanyak 40 replikasi data. Pengujian dilakukan dengan metode *paired T-confidence interval*. Pengujian ini dilakukan dengan melihat nilai *confidence interval* yang dihasilkan. Nilai *alpha* sebesar 0.05, berikut ini merupakan data *stay time* batubara awal, data *stay time* batubara setelah perbaikan pertama, dan data *stay time* batubara setelah usulan perbaikan kedua. Berikut merupakan contoh data replikasi usulan perbaikan yang dapat dilihat pada Tabel 11 pada Tabel Appendix.

Setelah dilakukan rekap data replikasi untuk sistem awal, sistem setelah perbaikan pertama, dan sistem setelah perbaikan kedua maka dilakukan perhitungan kecukupan data awal, data usulan perbaikan pertama, dan data usulan perbaikan kedua. Dengan menggunakan cara perhitungan kecukupan data seperti pada bab tiga, maka dilakukan juga perhitungan kecukupan data menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2. Tabel rekap dari hasil perhitungan kecukupan data untuk data awal dan usulan perbaikan dapat dilihat pada Tabel 12 Tabel Appendix. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa nilai *current relative error* dari data awal, data usulan perbaikan pertama, data usulan perbaikan kedua sudah dibawah nilai maksimal *error*. Maka jumlah data untuk data awal, data usulan perbaikan pertama, data usulan perbaikan kedua sudah mencukupi. Setelah dilakukan uji kecukupan data untuk sistem awal, sistem setelah perbaikan pertama, dan sistem setelah perbaikan kedua maka dilakukan perhitungan data awal dikurangi data usulan perbaikan pertama dan juga dikurangi dengan data usulan perbaikan kedua. Berikut ini merupakan hasil perhitungan data untuk sistem awal dikurangi data usulan perbaikan pertama serta hasil perhitungan untuk data awal dikurangi data usulan perbaikan kedua yang dapat dilihat pada Tabel 13 pada Tabel Appendix. Berikut merupakan perhitungan rata-rata dan variansi.

$$Z(1) = \frac{1,548 + 1,268 + \dots + 1,354}{40}$$

$$Z(1) = 1,441$$

$$\text{Var}(Z(n)) = \frac{\text{var}(Z)}{n} \quad (15)$$

$$\text{Var}(Z(1)) = \frac{0,168}{40}$$

$$\text{Var}(Z(1)) = 0,004$$

Melalui persamaan tersebut, dapat dihitung rata-rata dan variansi dari 40 replikasi yang telah dilakukan. Perhitungan rata-rata nantinya diperlukan untuk mengetahui nilai *confidence interval*. Berikut merupakan perhitungan rata-rata dan variansi untuk 40 buah data. Setelah menentukan nilai rata-rata dan variansinya, maka dihitung nilai alfa untuk digunakan dalam menentukan nilai *confidence interval*. Nilai alfa dihitung kembali karena akan membandingkan lebih dari dua sistem. Terdapat tiga sistem yang dibandingkan, yaitu sistem awal, sistem usulan perbaikan pertama, dan sistem usulan perbaikan kedua. Standar yang digunakan untuk perbandingan adalah sistem awal. Berikut ini merupakan perhitungan untuk nilai alfa.

$$c = 3 - 1$$

$$c = 2$$

$$\text{Confidence level} = 1 - (0,05 / 2)$$

$$\text{Confidence level} = 1 - 0,025$$

$$\text{Confidence level} = 0,975$$

Tahap berikutnya adalah menentukan nilai *confidence interval* menggunakan persamaan *paired T-confidence interval*. Nilai *confidence interval* ini akan digunakan untuk mengetahui perbedaan yang dihasilkan signifikan atau tidak. Dengan menggunakan persamaan (7) berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari *confidence interval* untuk data awal dan usulan perbaikan pertama.

$$CI = \underline{Z}(n) \pm t_{40-1; 1-0,975} \sqrt{\text{Var} [\underline{Z}(1)]}$$

$$CI = 1,441 \pm 0,701 \sqrt{0,004}$$

$$CI = 1,396; 1,487$$

Cara yang sama dilakukan untuk data awal dengan data perbaikan yang kedua. Setelah dilakukan perhitungan untuk data awal dengan data perbaikan yang kedua, maka berikut ini merupakan tabel rekap untuk hasil nilai *confidence interval*. Berdasarkan perhitungan tersebut telah diperoleh hasil CI pada usulan pertama sebesar 1,39 dan CI usulan kedua sebesar 1,35. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka dapat dilihat bahwa nilai *confidence interval* tidak melewati angka nol, maka data awal dengan data usulan perbaikan pertama maupun kedua dapat dikatakan berbeda signifikan. Berikutnya setelah didapatkan bahwa data berbeda signifikan, maka dilakukan *ranking* untuk memilih usulan yang akan dipilih. Metode yang dipakai adalah *ranking and selection: selecting the best of k system*. Langkah awal yang dilakukan adalah menghitung nilai rata-rata pada data usulan pertama dan data hasil usulan kedua. Setelah menghitung nilai rata-rata, maka dihitung juga nilai  $d^*$  yang akan dipakai. Nilai  $d^*$  yang akan dipakai adalah satu. Selanjutnya menentukan nilai  $p^*$  sebesar 90%. Setelah itu, maka dapat dilihat nilai  $h$  untuk masing-masing data usulan pertama dan data usulan kedua. Tabel rekapitulasi untuk data usulan pertama dan data usulan kedua dapat dilihat pada Tabel 15 pada Tabel Appendix.

Selanjutnya, setelah didapatkan perhitungan seperti Tabel 15 maka dilakukan perhitungan untuk nilai  $N_1$ . Nilai  $N_1$  dihitung untuk mengetahui data yang didapat kurang atau tidak. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (8) berikut ini merupakan perhitungan dari nilai  $N_1$ .

$$N_1 = \{40 + 1, \lceil \frac{2,283^2 - 0,05}{1^2} \rceil \}$$

$$N_1 = 41 \text{ data}$$

Berikutnya, dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk nilai  $N_1$  dari usulan yang kedua. Setelah dilakukan perhitungan, maka didapat nilai  $N_1$  untuk usulan yang kedua adalah sebesar 41 data. Berdasarkan hasil perhitungan, maka kurang satu data untuk dilakukan perhitungan untuk mengetahui *ranking* dan memilih metode yang terpilih. Berdasarkan perhitungan, telah diketahui hasil data tambahan untuk usulan pertama dan usulan kedua, data tambahan pada kedua usulan tersebut secara berturut-turut adalah 0,53 dan 0,57. Setelah didapatkan data tambahan maka dilakukan perhitungan untuk menentukan bobot dari tiap usulan. Pembobotan ini nantinya akan digunakan untuk diuji menggunakan *ranking and selection*. Berikut ini merupakan perhitungan pembobotan.

$$W_{11} = \frac{40}{11} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{41}{40} \left( 1 - \frac{(41 - 40)(1)^2}{2,283^2 \cdot 0,05} \right)} \right]$$

$$W_{11} = 0,976$$

$$W_{12} = 1 - 0,976$$

$$W_{21} = 0,024$$

Berikutnya, dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk nilai  $W_{21}$  dari usulan yang kedua. Setelah dilakukan perhitungan, maka didapat nilai  $W_{21}$ . Lalu dihitung untuk nilai pembobotannya dengan mengalikan rata-ratanya. Berikut merupakan perhitungan untuk pembobotan sistem pertama.

$$\tilde{X}_i(N_i) = 0,97561 \times 0,54458 + 0,02439 \times 0,52959$$

$$\tilde{X}_i(N_i) = 0,544$$

Setelah dilakukan perhitungan dan pembobotan nilai untuk sistem satu, maka dilakukan juga pembobotan untuk sistem usulan yang kedua. Rekap untuk hasil pembobotan setiap sistem dapat dilihat pada Tabel 16 pada Tabel Appendix.

#### 4. KESIMPULAN

Pada bagian ini akan berisikan kesimpulan terkait dengan penelitian yang dilakukan pada PT X. Kesimpulan ini juga menjawab tujuan kerja praktik pada bab sebelumnya. Setelah dilakukannya penelitian didapatkan kesimpulan yaitu: "Usulan perbaikan yang dapat dilakukan oleh PT X adalah menambah kecepatan *conveyor* menjadi 8 m/s, sehingga waktu *bottleneck* dapat berkurang sebesar 27,42%". Melalui penelitian ini disarankan toko roti X menggunakan ketentuan bahwa roti hanya dapat dijual selama 1 hari/1 siklus saja dan menggunakan keputusan jumlah produksi harian menggunakan hasil dari *multi-product newsvendor problem*.

#### PUSTAKA

- Law, A. M. & Kelton, W. D. 2015. *Simulation Modeling and Analysis 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Montgomery, D. C. & Runger, G. C. 2011. *Applied Statistics and Probability for Engineers 5th Edition*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Berapa Kurs Dollar Rupiah di BRI Hari Ini*, (Online), (<https://ringtimesbali.pikiran-rakyat.com/bisnis/pr-28769552/berapa-kursdollar-rupiah-di-bri-hari-ini-25-september-2020>), diakses pada 27 Oktober 2020).
- Basic Conveyor Calculation - Mass Flow Rate*, (Online), (<https://www.engineerdo.com/2019/12/13/mass-flow-rate/>), diakses pada 29 Oktober 2020).
- Pengertian Dividen Yield dan Rumus Dividen Yield*, (Online), (<https://ilmumanajemenindustri.com/pengertian-dividend-yield-rumus-dividend-yield/#:~:text=Pengertian%20Dividend%20Yield%20dan%20Rumus%20Dividend%20Yield%20%E2%80%93,yang%20dibagikan%20kepada%20pemegang%20saham%20dengan%20harga%20saham>), diakses pada 27 Oktober 2020).
- 10 Saham dengan Dividen Tinggi 2020*, (Online), (<https://www.margaret.id/saham-dividen-tinggi-2020/>), diakses pada 27 Oktober 2020).
- Massa Jenis: Pengertian, Rumus, Dan Satuan + Contoh Soalnya (LENGKAP)*, (Online), (<https://saintif.com/massa-jenis/>), diakses pada 03 November 2020).

TABEL APPENDIX

Tabel 1. Beberapa Data waktu Bongkar Awal (menit)

Pembongkaran ke-	Waktu Proses Bongkar Batubara		
	RCD 1	RCD 2	RCD 3
1	160	290	135
2	160	142	105
3	255	205	110
4	150	105	105
5	210	235	120
6	285	140	360
7	245	100	122
8	140	105	115
9	140	120	105

Tabel 2. Data Frekuensi dan Keuntungan yang Hilang pada Setiap Faktor Penyebab

Penyebab	RCD 2		RCD 3		RCD 4	
	F	Keuntungan yang hilang (\$)	F	Keuntungan yang hilang (\$)	F	Keuntungan yang hilang (\$)
<i>Bottleneck</i>	242	14828405	449	20776263	441	17994202,4
Kerusakan Mesin	12	6267915,4	16	9344599,2	25	11149662
Cuaca Buruk	43	6707306	39	8362104,1	54	8508583,44

Tabel 3. Rekap *Inter-arrival Time* Setiap RCD (menit)

<i>Inter-arrival Time</i>	RCD 2		RCD 3		RCD 4	
	Kumulatif	Penambahan	Kumulatif	Penambahan	Kumulatif	Penambahan
1	887,5	2,40741	202,166	2,1667	1332,67	2,6667
2	890	2,40741	204,333	2,1667	1335,33	2,6667
3	892,5	2,40741	206,5	2,1667	1338	2,6667
4	895	2,40741	208,667	2,1667	1340,67	2,6667
5	897,5	2,40741	210,833	2,1667	1343,33	2,6667
6	900	2,40741	213	2,1667	1346	2,6667
7	902,5	2,40741	215,166	2,1667	1348,67	2,6667
8	905	2,40741	217,333	2,1667	1351,33	2,6667
9	907,5	2,40741	219,5	2,1667	1354	2,6667
10	910	2,40741	221,667	2,1667	1356,66	2,6667

Tabel 4. Rekap Pengolahan Data Waktu Bongkar Setiap RCD (menit)

Keterangan	RCD 2	RCD 3	RCD 4
Jumlah Data	566	1171	1086
Rata-rata	175.9452	132.5747	104.8914
Keterangan	RCD 2	RCD 3	RCD 4
St. Deviasi	88.88757	62.63189	73.54484
Variansi	7901.001	3922.754	5408.843

Tabel 5. Perhitungan *Processing Time* CV 304

Date	No. Ka	Tomnase	Area	Massa Jenis	Volume	P	Processing Time	Total Time
07/02/19	009/TMB/07/2019	50,00	V3	0,833	60,024 40976	41,68362	0,173682	0,65280671
07/03/19	016/TMB/07/2019	50,00	V5	1,346	37,148 83606	18,95349	0,078973	0,87751452
07/05/19	089/TMB/07/2019	50,01	V1	1,506	33,207 39265	16,94255	0,070594	0,23030228

Tabel 6. Rekap Hasil Kecukupan Data

Keterangan	RCD 2	RCD 3	RCD 4
Jumlah Data	566	1.171	1.086
Rata-rata	175,945	132,577	104,891
$\gamma$	0,1	0,1	0,1
$\alpha$	0,05	0,05	0,05
St. Deviasi	88,888	62,632	73,545
Variansi	7.901,001	3.922,754	5.408,843
$\gamma'$	0,091	0,091	0,091
Current relative Error	0,042	0,027	0,042

Tabel 7. Data Empiris *Procressing Time*

Percentage	X-Value	Percentage	X-Value	Percentage	X-Value
0,235	0,33333	0,239	1,83333	0,239	2,03333
0,239	1,08333	0,239	185	0,478	2,08333
0,235	1,10169	0,239	2	3,109	2,16667

Tabel 8. Data Ukuran Konveyor

Description	Conv. No.	Belt Width (m)	Belt Speed (m/s)	Length(m)
Unloading	CV-301	1,4	3,20	154
Primary Sized	CV-302	1,2	4,00	79
Secondary Sized	CV-303	1,2	4,00	76
Stockpiling	CV-304	1,2	4,00	230
Belt Feeding A	BF-5A	1,6	4,00	28
Belt Feeding B	BF-5B	1,6	4,00	60
Unloading A	CV-501A	1,6	4,00	445
Unloading B	CV-501B	1,6	4,00	562
Quadrol Crusher A	CV-502A	1,6	4,00	65
Quadrol Crusher B	CV-502B	1,6	4,00	138
Transport	CV-504	1,6	4,00	96
BeltPlough	CV-505	1,6	4,00	75
Transport	CV-506	1,6	4,00	370

**Tabel 9.** Rekap Data Verifikasi

Sistem Nyata	Simulasi	Peran
RCD	<i>Source</i>	Mengetahui waktu antar kedatangan kereta api
	<i>Processor</i>	Menumpahkan batubara dari gerbong ke conveyor
<i>Stockpile</i>	<i>Queue</i>	Tempat penyimpanan batubara
CV-301	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari RCD 1 ke CV-302
CV-302	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari CV-301 ke CV-303
CV-303	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari CV-302 ke CV-304
CV-304	<i>Conveyor</i>	Meletakkan batubara pada area <i>Stockpile</i> 3
CV-501B	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari RCD 4 ke CV-502B
CV-502A	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari CV-501A ke CV-504
CV-502B	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari CV-501B ke CV-505
CV-504	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari CV-502A ke CV-505
CV-505	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari CV-504 dan CV-502B ke CV-505
CV-506	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari CV-505 ke CV-304
CV-501B	<i>Conveyor</i>	Menghantar batubara dari RCD 4 ke CV-502B

**Tabel 10.** Hasil Percobaan Simulasi Sistem Usulan dalam 6 Bulan

Level	Speed Conveyor (m/s)	Bottleneck Average Stay Time (m)
1	4	1,54
2	6	1,03
3	8	0,77

**Tabel 11.** Data Hasil Replikasi

Replikasi	Awal	Usulan 1	Usulan 2	Replikasi	Awal	Usulan 1	Usulan 2
1	2,0966	0,545371	0,402292	21	2,0072	0,309271	0,339062
2	1,7330	0,46555	0,87915	22	1,9636	0,68045	0,49498
3	2,0879 7	0,27012	0,10895	23	2,0966	0,60907	0,98442
4	2,0880 0	0,46409	0,45501	24	1,43*98	0,92127	0,87898
5	2,1626 2	0,63027	0,39235	25	1,5794	0,50494	0,46658
6	2,7021 5	0,33427	0,90252	26	1,5970 6	0,39634	0,78031
7	1,85*27	0,40368	0,92839	27	1,7970 4	0,65734	0,56739
8	1,1953	0,97275	0,33018	28	1,6588 6	0,53269	0,91873
9	1,5147 7	0,23170	0,87512	29	2,2901 8	0,35433	0,32243
10	1,9235 3	0,49071	0,83789	30	1,9501 5	0,75750	0,17732
11	2,2340 0	0,18861	0,54708	31	1,9042 7	0,53992	0,60195
12	1,29563	0,52410	0,30599	32	2,00861	0,31716	0,09322
13	2,28084	0,87260	0,38966	33	1,65612	0,21321	0,65571

**Tabel 11.** Data Hasil Replikasi (Lanjutan)

Replikasi	Awal	Usulan 1	Usulan 2	Replikasi	Awal	Usulan 1	Usulan 2
14	2,41439	0,42470	0,96805	34	2,59605	0,92528	0,88257
15	2,16960	0,38797	0,74585	35	2,06309	0,79354	0,68242
16	1,84217	0,37144	0,75245	36	1,57030	0,61206	0,80189
17	2,50153	0,53332	0,65485	37	2,42834	0,72796	0,26993
18	2,38787	0,54178	0,04052	38	2,32939	0,93286	0,53562
19	2,29910	0,94022	0,85998	39	1,92850	0,18932	0,65251
20	1,97586	0,58570	0,48763	40	1,82452	0,62959	0,47074

**Tabel 12.** Hasil Uji Kecukupan Data Simulasi

Keterangan	Awal	Usulan 1	Usulan 2
Jumlah Data	40	40	40
Rata-rata	1,985925	0,544576	0,586017
$\gamma$	0,1	0,1	0,1
$\alpha$	0,05	0,05	0,05
St. Deviasi	0,3498	0,2227	0,2661
Variansi	0,1224	0,0496	0,0708
$\gamma'$	9,09%	9,09%	9,09%
Current relative Error	0,000878	0,002039	0,002265

**Tabel 13.** Hasil Perhitungan Data Awal dengan Usulan Sistem

Replikasi	Z1	Z2	Replikasi	Z1	Z2
1	15,483	169,137	21	169,245	166,266
2	126,752	0,85392	22	128,292	146,839
3	181,778	197,895	23	148,759	111,223
4	162,393	1,633	24	0,51871	0,56101
5	153,238	177,031	25	107,453	111,288
6	236,789	179,964	26	12,007	0,81674
7	144,759	0,92288	27	113,972	122,967
8	0,22262	0,86518	28	112,619	0,74015
9	128,303	0,63961	29	193,582	196,772
10	143,278	108,561	30	119,267	177,285
11	204,542	168,695	31	136,431	130,228
12	0,77153	0,98964	32	169,145	191,539
13	140,824	189,118	33	144,291	10,004
14	198,969	144,634	34	167,078	171,349
15	178,163	142,375	35	126,955	138,066
16	147,073	108,972	36	0,95823	0,76841
17	196,821	184,668	37	170,038	215,841
18	184,609	234,735	38	139,653	179,377
19	135,889	143,912	39	173,918	127,599
20	139,016	148,822	40	119,493	135,378

**Tabel 14.** Hasil Perhitungan Rata-rata dan Variansi

Perhitungan	Z1	Z2
Rata-rata	1,44135	1,39991
Variansi	0,16692	0,20119
Var[ $\bar{Z}(n)$ ]	0,00417	0,00503

**Tabel 15.** Rekap Hasil Ranking

Keterangan	Usulan 1	Usulan 2
Avg (No)	0,54458	0,58602
Variansi (No)	0,049595	0,070818
d*	1	1
h1	2,283	2,283

**Tabel 16.** Rekap Hasil Pembobotan

Keterangan	Usulan 1	Usulan 2
W1	0,97561	0,97561
W2	0,02439	0,02439
Xi(Ni)	0,544211	0,585644