

**PENENTUAN WAKTU PENYELESAIAN PROSES PRODUKSI SEPATU
MENGGUNAKAN METODE *GRAPHICAL EVALUATION AND
REVIEW TECHNIQUE***

Lisye Fitria¹⁾

Resty Noer Samsudin²⁾

Handi Koswara⁽³⁾

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional^{1,2,3)}

Jl. P.H.H. Mustofa No 23 Bandung

Telepon (022) 7272215 ekst 137

E-mail : lisye@itenas.ac.id, restysamsudin26@gmail.com

Abstrak

Waktu proses produksi sering tidak sesuai dengan jadwal produksi yang telah ditentukan. Perusahaan menghitung waktu penyelesaian produk berdasarkan waktu standar tanpa memperhitungkan adanya probabilitas cacat dan waktu perbaikan (rework). Metode GERT dapat menghasilkan nilai rata-rata dan varians waktu proses produksi dengan mempertimbangkan waktu perbaikan karena produk cacat. Penerapan metoda GERT dilakukan di PT. Primarindo Asia Infrastrucrure Tbk. Hasil perhitungan waktu pembuatan sepatu menunjukkan tingkat ketelitian lebih baik dibandingkan dengan waktu penyelesaian yang hanya menggunakan waktu standar. Hasil pengolahan data menunjukkan waktu penyelesaian proses produksi selama 3111.494 detik/pasang dan varians selama 274831.934 detik²/unit².

Kata Kunci : waktu penyelesaian, proses produksi, graphical evaluation and review technique

Pendahuluan

PT. Primarindo Asia Infrastrucrure Tbk adalah produsen sepatu yang memproduksi sepatu dengan merek dagang TOMKINS dengan berbagai macam model, mulai dari sepatu *casual*, sepatu sekolah dan sepatu olahraga. Salah satu model baru hasil modifikasi dari model sebelumnya adalah model PARTY. Model ini merupakan sepatu *casual* wanita yang berbahan dasar kulit sintetis.

Permasalahan di lapangan adalah keterlambatan pengiriman produk ke toko. Hal tersebut terjadi karena keterlambatan pada saat proses produksi. Produksi terlambat karena kesalahan dalam penentuan waktu penyelesaian produksi. Perusahaan tidak memperhitungkan adanya probabilitas cacat dan waktu perbaikan (*rework*) sehingga terjadi kesalahan dalam penjadwalan proses produksi. Untuk itu perusahaan perlu meninjau kembali waktu penyelesaian produk dengan memperhitungkan probabilitas cacat dan waktu perbaikan (*rework*) sehingga perusahaan dapat melakukan pencegahan yang dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman produk ke toko.

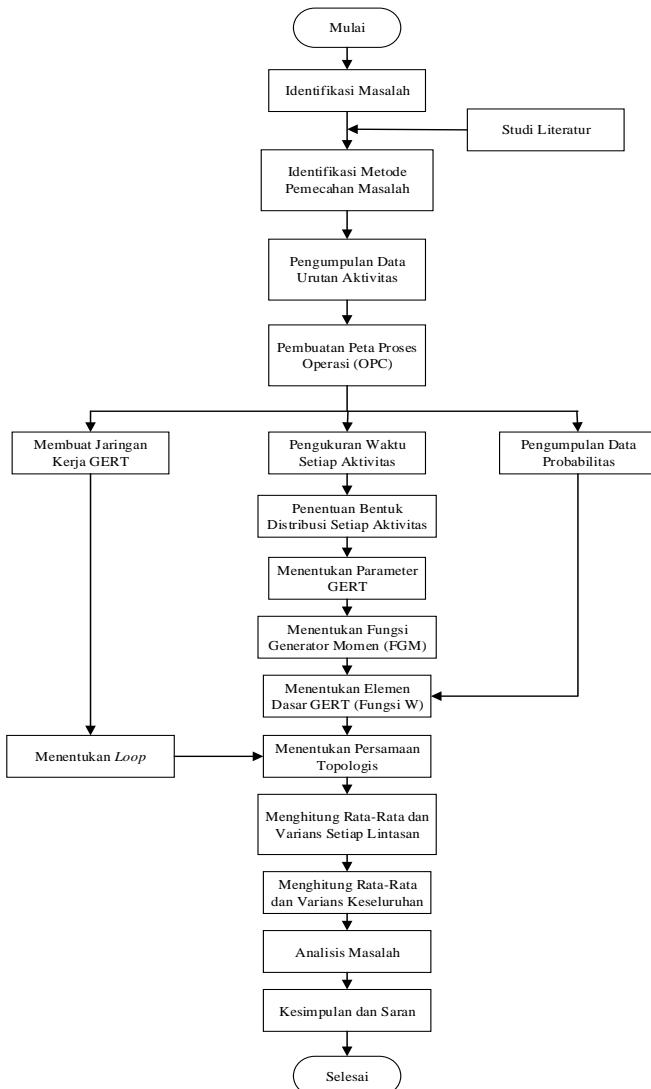
Metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah di atas adalah metode *Graphical Evaluation and Review Technique* (GERT). Metode ini memperhitungkan probabilitas cacat dan waktu perbaikan produk dan hasil akhirnya berupa waktu rata-rata dan varians sehingga diharapkan perusahaan akan mengetahui waktu penyelesaian yang tepat dan dapat melakukan pencegahan sehingga perusahaan tidak akan kehilangan momen tertentu yang telah ditargetkan.

Metodologi Penelitian

GERT adalah suatu prosedur yang mengkombinasikan beberapa disiplin dari teori *flowgraph*, *moment generating function*, dan PERT untuk mendapatkan penyelesaian persoalan stokastik. Jaringan stokastik mempunyai node-node logika, hubungan aktivitas yang probabilistik dan parameter-parameter stokastik tambahan pada *transmittances* [1]. Suatu jaringan stokastik dapat diartikan sebagai sebuah jaringan yang dapat diwujudkan hanya oleh sebagian atau satu dari

sekian banyak kumpulan busur atau aktivitas yang ada. Setiap aktivitas yang dipilih didasarkan pada suatu distribusi probabilitas [2].

Tahapan penelitian yang akan dilakukan ditampilkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Data urutan aktivitas dan probabilitas didapat dengan wawancara dan pengamatan langsung di perusahaan. Data urutan aktivitas yang diperoleh selanjutnya dibuat ke dalam bentuk OPC dan jaringan kerja untuk metode GERT sedangkan data probabilitas digunakan sebagai elemen dasar GERT.

- **Penentuan Bentuk Distribusi Setiap Aktivitas**

Dengan melakukan plot data pada setiap aktivitas tersebut, dapat diketahui bahwa data suatu aktivitas mendekati bentuk distribusi tertentu. Metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan uji statistika nonparametrik, yaitu uji *Kolmogorov-Smirnov*. Hasil plot data menghasilkan bentuk distribusi normal, konstan, dan eksponensial.

- **Menentukan Parameter GERT**

Parameter GERT dapat ditentukan setelah mengetahui bentuk distribusi dari setiap aktivitas yang terdapat pada jaringan kerja GERT. Parameter GERT digunakan untuk mendapatkan persamaan Fungsi Generator Momen (FGM)

- **Menentukan Fungsi Generator Momen (FGM)**

Menurut [3] jika $f(x)$ adalah fungsi distribusi probabilitas, maka fungsi generator momen untuk setiap aktivitas dalam bentuk persamaan berikut:

Jika x adalah variabel random kontinyu, maka:

$$M(t) = E(e^{tx}) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{tx} \cdot f(x) dx \quad (1)$$

Jika x adalah variabel random diskrit, maka:

$$M(t) = E(e^{tx}) = \sum_{i=1}^n e^{tx_i} \cdot P(x_i) \quad (2)$$

dimana:

$M(t)$	= Fungsi Generator Momen
$E(e^{tx})$	= Nilai harapan dari e^{tx}
x	= Variabel random

$F(x)$ atau $P(x_i)$ adalah Fungsi distribusi probabilitas untuk kontinyu atau diskrit

1. Distribusi Normal

$$M(t) = E(e^{tx}) = e^{\mu t + \frac{1}{2}\sigma^2 t^2} \quad (3)$$

Momen pertama:

$$E(x) = \bar{x} \quad (4)$$

Maka fungsi generator momen distribusi normal:

$$M(t) = e^{\bar{x}t + \frac{1}{2}\sigma^2 t^2} \quad (5)$$

2. Distribusi Eksponensial

$$M(t) = E(e^{tx}) = (1 - \frac{1}{a})^{-1} \quad (6)$$

Momen pertama:

$$E(x) = \bar{x} = \frac{1}{a} \quad (7)$$

Maka fungsi generator momen distribusi eksponensial:

$$M(t) = (1 - \bar{x}t)^{-1} \quad (8)$$

3. Distribusi Konstan

$$M(t) = E(e^{tx}) = e^{xt} \quad (9)$$

Momen pertama:

$$E(x) = \bar{x} = x \quad (10)$$

Maka fungsi generator momen distribusi konstan:

$$M(t) = e^{\bar{x}t} \quad (11)$$

- **Menentukan Fungsi Generator Momen (FGM)**

Elemen dasar jaringan GERT pada setiap aktivitas produksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W_{ij}(t) = P_{ij} \cdot M_{ij}(t) \quad (12)$$

dimana:

- $W_{ij}(t)$ = Elemen dasar jaringan GERT
- P_{ij} = Probabilitas kejadian
- $M_{ij}(t)$ = Fungsi Generator Momen

- **Menentukan Loop, Persamaan Topologis, Rata-rata (μ) dan Varians (σ^2)**

Menurut Pratiwi [4], lintasan (*path*) adalah serangkaian cabang-cabang yang menghubungkan dua node dan tidak melalui node itu lagi. Putaran (*loop*) adalah serangkaian cabang-cabang yang dimulai dari suatu node dan akhirnya kembali ke node tersebut tanpa melalui node lain. Putaran orde pertama adalah suatu lintasan berurutan yang dimulai dari suatu node dan kembali ke node tersebut. Putaran orde ke-*n* merupakan himpunan dari *n* loop orde pertama yang tidak bersentuhan.

Terdapat beberapa metode persamaan topologis yang dapat digunakan, yaitu:

1. Grafalir Tertutup

Persamaannya adalah:

$$H = 1 - L_1 + L_2 - L_3 + \dots + (-1)^i L_i + \dots = 0 \quad (13)$$

dimana : L_i = jumlah seluruh putaran orde ke-*i*

2. Grafalir Terbuka

Persamaan untuk jaringan tertutup yang juga dikenal dengan peraturan Mason adalah sebagai berikut:

$$H = 1 - \sum T(L1) + \sum T(L2) + \sum T(L3) + \dots + (-1)^m \sum T(Lm) + \dots = 0 \quad (14)$$

dengan $\sum T(Li)$ mewakili jumlah proses perpindahan yang ekivalen untuk semua *loop* peringkat *i* yang mungkin terbentuk.

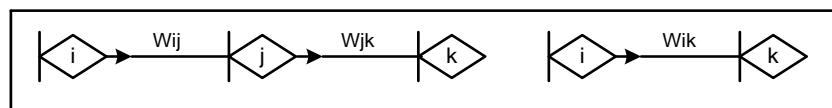
- **Penggunaan Persamaan Topologis Dalam GERT**

Variabel random X_{ij} adalah durasi dari cabang yang berpangkal pada *i* dan berakhir di *j* (*i,j*). Dari definisi yang ada, aktivitas (*i,j*) dapat direalisasikan hanya jika node *i* dapat direalisasikan. P_{ij} adalah syarat probabilitas dimana aktivitas (*i,j*) akan dijalankan jika node *i* dapat direalisasikan. Definisikan fungsi W dari variabel random X_{ij} sebagai:

$$W_{ij}(t) = P_{ij} \cdot M_{ij}(t) \quad (15)$$

1. Jaringan kerja G' terdiri atas 2 cabang yang memiliki hubungan seri

Jaringan kerja berikut ini terdiri atas 2 cabang seri. Kedua cabang ini digantikan oleh satu cabang yang ekivalen.



Gambar 2. Cabang-cabang Seri dan Cabang Ekivalennya

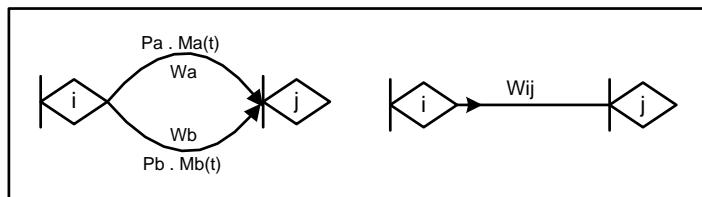
Dengan: $W_{ij}(t) = P_{ij} \cdot M_{ij}(t)$ dan $W_{jk}(t) = P_{jk} \cdot M_{jk}(t)$ maka $W_{ik}(t) = P_{ik} \cdot M_{ik}(t)$

Selanjutnya, apabila $P_{ik}(t) = P_{ij} \cdot P_{jk}$ dan $M_{ik} = [M_{ij}(t)] \cdot [M_{jk}(t)]$, sehingga:

$$M_{ik} = [P_{ij}M_{ij}(t)] \cdot [P_{jk}M_{jk}(t)] = W_{ij}(t) \cdot W_{jk}(t) \quad (16)$$

2. Jaringan kerja G' terdiri atas 2 cabang yang memiliki hubungan paralel.

Jaringan kerja berikut ini terdiri atas 2 cabang paralel. Kedua cabang ini dapat digantikan oleh satu cabang yang ekivalen.



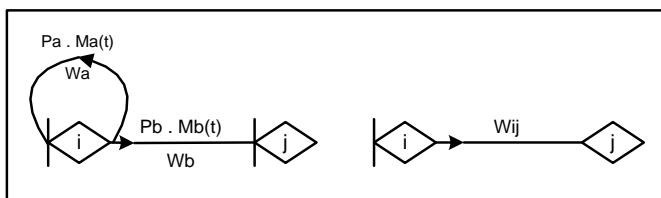
Gambar 3. Cabang-cabang Paralel dan Cabang Ekivalennya

Dengan $W_{ij}(t) = P_{ij} \cdot M_{ij}(t)$ dan $P_{ij}(t) = P_a \cdot P_b$, sehingga

$$W_{ij}(t) = \frac{[P_a + P_b][P_a M_a(t) + P_b M_b(t)]}{[P_a + P_b]} = W_a(t) + W_b(t) \quad (17)$$

3. Jaringan Kerja G' terdiri atas satu cabang dan satu *self-loop*.

Jaringan kerja berikut ini terdiri atas satu cabang dan satu self-loop paralel. Kedua cabang ini dapat digantikan oleh satu cabang yang ekivalen.



Gambar 4. Jaringan Kerja dengan *Self-Loop* dan Cabang Ekivalennya

Dengan menggunakan persamaan (2.15) dan (2.16), maka persamaan untuk jaringan kerja gabungan ini menjadi: $W_{ij}(t) = W_b + W_a W_b + W_a^2 W_b = W_b (1 + \sum W_a^m)$

Persamaan akhir dapat dituliskan sebagai berikut:

$$W_{ij}(t) = \frac{W_b(t)}{[1 - W_a(t)]} \quad (18)$$

- Perhitungan Rata-rata dan Varians

Karena $W_e(t) = P_e \cdot M_e(t)$, maka akan diperoleh persamaan $P_e = W_e(t)$, dimana:

$$M_e(t) = \frac{W_e(t)}{P_e(t)} = \frac{W_e(t)}{W_e(0)} \quad (19)$$

Mencari turunan pertama dari $M_e(t)$ untuk $t = 0$, maka diperoleh harga mean (rata-rata) sebagai berikut:

$$\mu_1 = \left. \frac{dM_e(t)}{dt} \right|_{t=0} \quad (20)$$

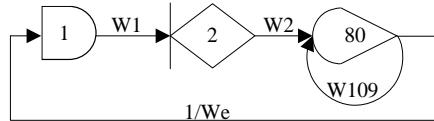
Varians dapat diperoleh dengan cara menghitung μ_2 dari turunan kedua $M_e(t)$, kemudian dikurangi dengan kuadrat dari μ_1 .

$$\mu_2 = \left. \frac{d^2 M_e(t)}{dt^2} \right|_{t=0} \quad (21)$$

$$\sigma^2 = \mu_2 - (\mu_1)^2 \quad (22)$$

Penentuan loop dan persamaan topologis akan menghasilkan nilai rata-rata dan varians. Perhitungan rata-rata dan varians untuk produk sepatu TOMKINS model PARTY dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Mathcad 15.0*. Contoh penggerjaan adalah sebagai berikut:

- Lintasan 1,2,80



Gambar 5. Jaringan Kerja GERT untuk Lintasan 1,2,80

Penentuan sistem lintasan (*loop*) dapat diperoleh dari *loop-loop* pada lintasan 1,2,80 yaitu:

- Nilai Hubung Putar Orde 1 (NHPO 1)

$$\begin{aligned} 1,2,80,1 &: L_{11} = \frac{W_1 \cdot W_2}{W_e} \\ &L_{12} = \frac{W_{109}}{W_e} \\ &L_1 = L_{11} + L_{12} \end{aligned}$$

- Nilai Hubung Putar Orde 2 (NHPO 2)

Tidak ada

Persamaan topologi untuk lintasan 1,2,80 adalah sebagai berikut:

$$H = 1 - L_1 = 0$$

$$H = 1 - \left(\frac{W_1 \cdot W_2}{W_e(t)} + W_{109} \right) = 0$$

$$W_e(t) = \frac{W_1 W_2}{1 - W_{109}}$$

$$t := 0$$

$$W_e(t) := \frac{e^{8.72t + 1.1645t^2}}{1 - 0.23e^{19.01t + 0.15(4.5)^2 t^2}}$$

$$W_e(t) = 1.229$$

$$P_e := W_e(t) \quad P_e = 1.299$$

$$M_e(t, P_e) := \frac{W_e(t)}{P_e}$$

$$\mu_1 := \frac{d}{dt} M_e(t, P_e)$$

$$\mu_1 = 14.398$$

$$\mu_2 := \frac{d^2}{dt^2} M_e(t, P_e)$$

$$\mu_2 = 355.877$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{d^2}{dt^2} M_e(t, P_e) \right) - \left(\frac{d}{dt} M_e(t, P_e) \right)^2$$

$$\sigma^2 = 148.566$$

- **Menentukan Rata-rata dan Varians Keseluruhan**

Setelah mendapat nilai rata-rata dan varians masing-masing lintasan, selanjutnya jaringan keja tersebut dapat disederhanakan dan ditentukan lintasan yang memiliki rata-rata dan varians

terpanjang. Rata-rata terpanjang selama 1555.747 detik/unit dengan varians selama 274829.176 detik²/unit².

Hasil dan Perancangan

Waktu siklus yang didapat berdasarkan OPC selama 1290.84 detik/unit atau 2581.68 detik/pasang. Dengan target produksi sebanyak 1002 pasang maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan target produk tersebut yaitu selama 90 hari. Target waktu belum memperhitungkan probabilitas cacat dan waktu perbaikan (*rework*) sehingga memungkinkan terjadinya ketidaktepatan dalam penentuan waktu penyelesaian.

Hasil analisis rata-rata dan varians waktu penyelesaian proses produksi menunjukkan perbedaan waktu siklus berdasarkan OPC dan metode GERT sehingga berpengaruh pada waktu penyelesaian proses produksi.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan

	Berdasarkan OPC	Berdasarkan Metode GERT
Waktu Siklus per pasang	2581.68 detik	3111.494 detik
Jumlah Produksi per hari	11.156 pasang	9.26 pasang
Waktu Penyelesaian 1002 Pasang	90 hari	109 hari
Batas waktu maksimal penyelesaian 1002 pasang = 145 hari		

Dari tabel rekapitulasi dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara waktu penyelesaian dengan berdasarkan OPC dan metode GERT. Hal ini terjadi karena penggeraan dengan metode GERT telah memperhitungkan probabilitas cacat untuk setiap aktivitas dan adanya penambahan waktu dari proses *rework*. Dengan probabilitas cacat yang cukup tinggi dan waktu perbaikan yang lebih lama dari waktu proses awal, maka rata-rata waktu yang dihasilkan menjadi lebih besar apabila dibandingkan dengan waktu OPC. Perusahaan juga dapat mengetahui waktu maksimal keterlambatan pengiriman produk yaitu selama 145 hari sehingga perusahaan dapat melakukan pencegahan. Pencegahan yang dapat dilakukan perusahaan yaitu dengan melakukan penjadwalan *backward* sehingga perusahaan dapat menentukan waktu mulainya produksi dan tidak akan terjadi keterlambatan.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Terdapat 3 jenis distribusi yang didapat setelah dilakukannya uji Kolmogorov-Smirnov untuk masing-masing aktivitas yaitu distribusi normal, distribusi eksponensial dan distribusi konstan.
2. Metode GERT dilakukan untuk mengetahui rata-rata varians waktu penyelesaian proses produksi dengan memperhitungkan probabilitas cacat dan waktu perbaikan (*rework*). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *software Mathcad* 15 menghasilkan rata-rata waktu penyelesaian sebesar 3111.494 detik/pasang sedangkan varians sebesar 274831.934 detik²/unit².
3. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 1002 pasang sepatu berdasarkan OPC adalah 90 hari. Sedangkan berdasarkan metode GERT yang telah memperhitungkan probabilitas cacat dan waktu perbaikan membutuhkan waktu sebesar 109 hari dengan batas maksimal terjadinya keterlambatan selama 145 hari.
4. Setelah diketahui bahwa terdapat perbedaan antara OPC dengan metode GERT maka perusahaan dapat melakukan pencegahan dengan melakukan penjadwalan *backward* sehingga tidak akan kehilangan momen yang telah ditargetkan.

Saran yang diberikan sebagai masukan untuk perusahaan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Memperkecil atau menghilangkan adanya produk *rework* dan *reject* sehingga waktu proses produksi dapat dipersingkat karena tidak terdapat waktu tambahan dari proses perbaikan.
2. Menetapkan kebijakan perusahaan dalam menentukan batas maksimal jumlah produk *rework* sehingga waktu tambahan dari proses *rework* yang memperngaruhi waktu proses produksi keseluruhan tidak terlalu besar.

Daftar Pustaka

- [1] Purnama, Ignatius dan Ferry, 1999, “Analisis Jaringan Kerja Stokastik pada Proses Produksi Metode GERT”, *Jurnal Teknologi Industri*. Vol III No. 3.
- [2] Phillips, Don.T., dan Grazia-Diaz, Alberto, 1981, *Fundamental of Network Analys*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, Texas.
- [3] Walpole, Ronald E. dan Myers, Raymond H, 1995, “*Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*” Edisi ke-4. ITB, Bandung.
- [4] Pratiwi, Marizka Andini, 2011, “Penentuan Waktu Penyelesaian Proses Produksi General Purpose Agent Dengan Menggunakan Metode Graphical Evaluation And Review Technique (Studi Kasus di PT. INTI)”, *Tugas Sarjana*, Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung.