

**PERBANDINGAN METODE PERT DAN FUZZY LOGIC APPLICATION FOR  
SCHEDULLING (FLASH) PADA PENJADWALAN  
PROSES FABRIKASI BOILER  
(Studi Kasus: PT Indonesian Marine Corp. Ltd.)**

**A COMPARISON PERT AND FUZZY LOGIC APPLICATION FOR  
SCHEDULING (FLASH) METHODS IN BOILER  
FABRICATION PROCESS SCHEDULING  
(A Case Study In The PT Indonesian Marine Corp. Ltd.)**

**Naura Vizkia<sup>1)</sup>, Sugiono<sup>2)</sup>, Ceria Farela Mada Tantrika<sup>3)</sup>**  
Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
Email : [nauravizkia@gmail.com](mailto:nauravizkia@gmail.com)<sup>1)</sup>, [sugiono@ub.ac.id](mailto:sugiono@ub.ac.id)<sup>2)</sup>, [ceria\\_fmt@ub.ac.id](mailto:ceria_fmt@ub.ac.id)<sup>3)</sup>

**Abstrak**

*PT Indonesian Marine Corp. Ltd. (Indomarine) saat ini menggunakan Critical Path Method (CPM) dalam melakukan penjadwalan proses fabrikasi boiler. Pada pelaksanaannya, sering terjadi ketidaksesuaian waktu penyelesaian proses fabrikasi antara rencana dengan aktualnya. Untuk mendapatkan metode yang memberikan hasil penjadwalan yang paling optimal, penelitian ini membandingkan waktu penyelesaian proses fabrikasi pada boiler menggunakan metode saat ini (CPM), PERT dan Fuzzy Logic Application for Scheduling (FLASH) terhadap waktu aktualnya. Di akhir penelitian juga dibandingkan terminologi probabilitas dan kemungkinan dalam memperkirakan waktu penyelesaian proses fabrikasi. Berdasarkan hasil analisis dan perbandingan metode, PERT memberikan rata-rata waktu penyelesaian proyek paling optimal untuk kedua produk yaitu Boiler WR-11100 FM selama 147 hari dan Fire Tube Boiler F 30 L selama 37 hari dengan selisih terhadap waktu penyelesaian aktual terkecil masing-masing 11 dan 6 hari. Terdapat perbedaan antara probabilitas dan kemungkinan, dimana besarnya probabilitas bergantung pada standar deviasi serta perbedaan nilai yang dicari dengan rata-ratanya, sedangkan kemungkinan akan semakin besar jika nilai tersebut mendekati nilai most likely-nya.*

**Kata kunci :** Penjadwalan Proyek, PERT, FLASH, CPM, Probabilitas, Kemungkinan.

## **1. Pendahuluan**

Sebuah perusahaan yang memiliki variasi (karakteristik) produk tinggi dalam jumlah terbatas pada umumnya selalu menerapkan konsep manajemen proyek dalam setiap pengerjaan *project*. Salah satunya adalah perencanaan dan penjadwalan yang terperinci tentang aktivitas kegiatan, waktu dan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang optimal serta waktu yang optimis (waktu yang cepat dan diharapkan, baik untuk pihak perusahaan maupun pihak *owner*). Perencanaan dan penjadwalan yang baik adalah panduan untuk melaksanakan pekerjaan proyek secara efektif dan efisien (Kasidi,2008).

Permasalahan yang sering dialami dalam pengerjaan suatu proyek adalah terjadi ketidaksesuaian antara rencana awal dengan realisasi pelaksanaan proyek. Seberapa baikpun perencanaan awal, baik dalam hal anggaran biaya, *resource* maupun jadwal aktivitas, pada

tahap pelaksanaan tidak menutup kemungkinan terjadi perubahan (ketidaksesuaian) yang dapat mengakibatkan keterlambatan atau lebih cepat dari waktu yang telah dijadwalkan. Karena sifat proyek peka terhadap perubahan serta spesifik, maka perencanaannya tidak mudah dan cenderung selalu terjadi penyimpangan dalam pelaksanaannya (Kasidi,2008). Untuk menghindari hal tersebut maka diperlukan alat analitik untuk menentukan kegiatan penjadwalan dan pengolahan sumber daya sehingga dapat diperoleh total biaya dan waktu penyelesaian proyek yang optimal.

PT Indonesian Marine Corp. Ltd. (Indomarine) merupakan salah satu perusahaan manufaktur Indonesia yang bergerak dalam bidang jasa konstruksi infrastruktur yang terkait dengan berbagai kebutuhan industri manufaktur meliputi *boiler, palm oil mills*, serta *plant production repair and maintenance*. PT Indomarine merupakan salah satu perusahaan manufaktur mesin industri pertama yang

didirikan di Indonesia yaitu pada tahun 1954, berlokasi di Surabaya yang merupakan kantor pusat dan Malang sebagai *plant production*. Saat ini perusahaan menggunakan metode deterministik yaitu *Critical Path Method* (CPM) serta kurva S (*Hanum Curve*) untuk melakukan penjadwalan dan *monitoring* terhadap kemajuan proses fabrikasi. Pada pelaksanaannya, sering terjadi ketidaksesuaian waktu penyelesaian fabrikasi antara rencana dengan aktualnya, baik keterlambatan ataupun lebih cepat dari yang telah direncanakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan Waktu *Planning* dan Aktual Penyelesaian Proses Fabrikasi Proyek pada PT Indonesian Marine Corp. Ltd.

Nama Proyek	Pemesan	Tahun	Waktu Penyelesaian Proses Fabrikasi (hari)		Keterangan
			Planning	Aktual	
<i>Air Receiver Tank</i>	PT OTE Engineering Indonesia	2013	27	51	Terlambat
<i>Super Heater Yoshimne H-3500</i>	PT Gorontalo	2013	21	26	Terlambat
<i>Body &amp; Smoke Exhaust Equipment</i>	PT Emdeki Utama	2013	114	154	Terlambat

(Sumber : Dokumentasi Bagian PPC)

Berdasarkan hal tersebut dan Tabel 1 dapat dilihat bahwa metode penjadwalan yang digunakan belum menghasilkan waktu penyelesaian proses fabrikasi yang optimal. Kondisi tersebut dapat diakibatkan karena metode CPM mengasumsikan bahwa durasi aktivitas bersifat pasti (deterministik), sedangkan produk *boiler* memiliki karakteristik yang unik, proses pengerjaan yang kompleks serta tingkat ketidakpastian pada waktu proses fabrikasi yang cukup tinggi. Hal tersebut membuat CPM mungkin bukanlah metode yang tepat untuk produk PT Indomarine (terutama *boiler* dengan kompleksitas yang tinggi).

Dalam manajemen proyek ada beberapa metode penjadwalan lain yang biasa digunakan seperti *Gantt Chart*, *Precedence Diagram method* (PDM), *Program Evaluation Review Technique* (PERT), *Graphical Evaluation Review Technique* (GERT) dan sebagainya. Berbeda dengan CPM, PERT memberikan alternatif lain dengan mengasumsikan durasi aktivitas bersifat tidak pasti (Wibowo, 2001). Metode ini mengambil probabilitas untuk menganalisis hasil akhirnya, yaitu untuk mengetahui peluang terselesaikannya proyek

dalam jangka waktu yang ditentukan berdasarkan data sebelumnya. Akan tetapi di pelaksanaan nyatanya tidak semua aktivitas pernah dilakukan, sehingga membutuhkan pertimbangan subjektif untuk mengetahui durasi aktivitasnya (Sharafi et al,2008).

Untuk mengatasi kekurangan PERT tersebut, maka dapat digunakan sebuah metode integrasi antara PERT dan *fuzzy logic* yang disebut *Fuzzy Logic Application for Scheduling* (FLASH). Metode ini menggunakan terminologi posibilitas daripada probabilitas untuk mengekspresikan ketidakpastian dalam menganalisis waktu penyelesaian proyek dengan durasi aktivitas dinyatakan dalam *Triangular Fuzzy Number* (TFN). Maka dari itu, peneliti ingin membandingkan kedua metode tersebut dalam memperkirakan waktu penyelesaian dan besar kemungkinan penyelesaian proses fabrikasi produk menggunakan terminologi probabilitas pada PERT dan posibilitas pada FLASH. Menurut Wibowo (2001), probabilitas didasarkan pada sampling acak di mana terjadinya suatu sampel mempunyai peranan penting. Di lain pihak, posibilitas tidak mendasarkan analisisnya pada data statistik tetapi berdasarkan pengamatan-pengamatan yang mungkin tidak akurat, tidak tepat, subjektif, dan intuitif tetapi masih dalam pertimbangan logis.

Perbandingan kedua metode diatas akan dilakukan pada dua produk yang memiliki kompleksitas dan jumlah aktivitas yang berbeda. Produk tersebut antara lain *Boiler WR-1100 FM* dan *Fire Tube Boiler F 30 L* yang masing-masing memiliki 150 dan 34 aktivitas dalam proses pembuatannya, dimana kedua produk tersebut telah selesai dikerjakan pada kurun waktu 2012-2014. Diakhir penelitian ini akan dianalisis pula perbandingan hasil waktu penyelesaian proses fabrikasi antara metode yang telah dilakukan oleh PT Indomarine saat ini (CPM) dengan PERT, FLASH dan waktu penyelesaian aktual produk.

## 2. Metode Penelitian

Studi ini bersifat deskriptif, yaitu menjelaskan bagaimana penerapan teori *fuzzy logic* dalam menganalisis jadwal pelaksanaan proses fabrikasi *boiler WR-1100 FM* dan *Fire Tube Boiler F 30 L* yang di dalamnya mengandung unsur durasi yang tidak pasti. Penelitian ini akan dilaksanakan di pabrik (*plant production*) PT Indonesian Marine yang berlokasi di Jalan Raya Ardimulyo 2 Singosari-

Malang dan waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari November 2013 hingga Juli 2014.

## 2.1 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian merupakan suatu tahapan kegiatan yang dilakukan dalam penelitian yang tersusun secara berurutan dan sistematis. Langkah-langkah tersebut yaitu:

### 1. Observasi Pendahuluan

Observasi pendahuluan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui permasalahan yang sedang dihadapi oleh perusahaan.

### 2. Studi kepustakaan

Tinjauan pustaka yang dilakukan yaitu dengan mempelajari literatur-literatur serta informasi dari internet mengenai manajemen dan penjadwalan proyek, *program evaluation review technique* (PERT) dan *fuzzy logic application for scheduling* (FLASH).

### 3. Identifikasi Masalah

Tahap ini dilakukan dengan mengamati kondisi riil yang terjadi di lapangan untuk memahami permasalahan yang terjadi berdasarkan pengamatan yang dilakukan dengan mempelajari teori-teori ilmiah yang berkaitan dengan pengamatan yang dilakukan.

### 4. Perumusan Masalah

Setelah masalah diidentifikasi, selanjutnya perlu dirumuskan agar dapat lebih mudah menentukan metode yang tepat untuk menyelesaikannya.

### 5. Penetapan Tujuan Penelitian

Penentuan tujuan penelitian dilakukan agar penelitian dapat fokus terhadap masalah yang akan diselesaikan.

### 6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi data profil dan spesifikasi *boiler*, jenis aktivitas (proses) pada fabrikasi *boiler*, data urutan proses (aktivitas) serta logika ketergantungan pembuatan *boiler*, data durasi aktivitas pada fabrikasi *boiler* (waktu optimis, normal dan pesimis), waktu penyelesaian proses fabrikasi *boiler* menggunakan CPM serta berbagai data sekunder lainnya yang mendukung penelitian ini. Data-data tersebut diperoleh dengan berbagai metode, seperti yang telah dijelaskan dalam sub bab pengumpulan data sebelumnya.

### 7. Pengolahan Data

a. Penyusunan jaringan kerja *activity on arrow* (AOA) untuk kedua produk boiler. Penggambaran keterkaitan antar aktivitas

dalam diagram jaringan kerja berdasarkan data aktivitas, durasi, urutan serta logika ketergantungan yang telah dikumpulkan sebelumnya.

b. Perhitungan waktu penyelesaian proyek kedua produk *boiler* dengan metode PERT menggunakan *Microsoft Project* 2007.

c. Perhitungan waktu penyelesaian proyek kedua produk *boiler* menggunakan metode FLASH.

1) Melakukan perhitungan maju (*forward pass*) untuk menghitung waktu paling awal kejadian yang dapat terjadi ( $\tilde{T}_{E(i)}$ ).

2) Melakukan perhitungan mundur (*backward pass*) untuk menghitung waktu paling lambat kejadian harus dilakukan ( $\tilde{T}_{L(i)}$ ).

3) Melakukan perhitungan *total float* tiap-tiap kejadian.

4) Menentukan lintasan terkritik pada jaringan kerja *fuzzy* menggunakan *decision maker's risk index ranking value*.

d. Perhitungan probabilitas dan interval konfidensi waktu penyelesaian proyek kedua produk *boiler* untuk PERT.

e. Perhitungan posibilitas waktu penyelesaian proyek kedua produk *boiler* untuk FLASH.

### 8. Analisis dan pembahasan

Berdasarkan hasil dari tahap pengolahan data diatas, selanjutnya akan dibuat perbandingan waktu penyelesaian proses fabrikasi hasil dari metode PERT, FLASH, CPM dengan waktu aktual penyelesaiannya pada produk *Boiler* WR-1100 FM dan *Fire Tube Boiler* F 30 L. Selain itu, pada tahap ini akan dilakukan perbandingan terminologi probabilitas pada metode PERT dan posibilitas pada FLASH dalam waktu penyelesaian proses fabrikasi untung masing-masing produk.

### 9. Kesimpulan dan saran

Tahap ini berisi kesimpulan mengenai pengolahan data dan pembahasan yang digunakan untuk menjawab tujuan penelitian yang sudah ditetapkan sebelumnya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Diagram Jaringan Kerja

Langkah pertama dalam pembuatan jadwal waktu penyelesaian proyek adalah perencanaan jaringan kerja. Meredith (2003) menyebutkan bahwa pemilihan pendekatan AOA dan AON sebagian besar didasarkan pada kebutuhan individu penggunaanya (*personal preference*), dan dalam pembuatan diagram kerja pada penelitian ini menggunakan pendekatan *activity-on-arrow* (AOA). Menurut Siswoyo (1981), PERT memiliki sifat *event-oriented*, dimana hal tersebut mengartikan bahwa dalam memonitor berjalannya proyek, pokok perhatiannya lebih ke peristiwa (*event*). Selain itu, FLASH memiliki dasar perhitungan sama dengan PERT, sehingga hal tersebut yang menjadi alasan mengapa dipilihnya AOA untuk penelitian kali ini. Diagram kerja untuk produk *Boiler WR-1100 FM* dan *Fire Tube Boiler F 30 L* masing-masing dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Gambar 1.

#### 3.2 Waktu Aktual Penyelesaian Proyek dan Metode Terdahulu (CPM)

Proyek ini dimulai pada tanggal 11 Juli tahun 2013 dan berdasarkan hasil perhitungan CPM direncanakan selesai pada 7 Februari 2014, dimana hal tersebut berbeda dengan penyelesaian aktual proses fabrikasi yang selesai dalam kurun waktu 136 hari. Penjadwalan proses fabrikasi pada *Boiler WR-1100 FM* menggunakan *Critical Path Method* (CPM) dilakukan dengan bantuan *software Microsoft Project 2007*. Berdasarkan hasil pengolahan *Microsoft Project 2007* didapatkan lintasan kritis yang terbentuk adalah A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8 (1-3-15-23-32-38-46-51-60-70-77-82-87) dengan waktu (durasi) penyelesaian proses fabrikasi *Boiler WR-1100 FM* sebesar 152 hari.

Dengan cara yang sama dapat diketahui waktu penyelesaian proses fabrikasi *Fire Tube Boiler F 30 L* selama 32,5 hari dalam rentang waktu 15 Mei hingga 28 Juni 2012. Lintasan kritis yang terbentuk adalah B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF (1-3-6-11-14-16-19-21-22-23-24-25-27).

#### 3.3 Metode PERT

Metode PERT merupakan suatu metode yang dapat menghitung lama suatu penyelesaian proyek yang mengandung unsur ketidakpastian, yaitu terdapat pada durasi aktivitasnya. Durasi aktivitas diekspresikan dalam 3 angka penduga, yakni waktu optimis, waktu *most likely* dan waktu pesimis.

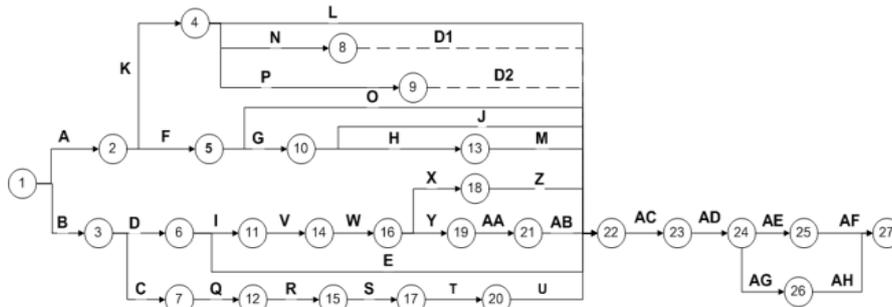
Seperti halnya CPM, perhitungan PERT akan dilakukan pada masing-masing produk, yaitu *Boiler WR-1100 FM* dan *Fire Tube Boiler F 30 L* menggunakan bantuan *software Microsoft Project 2007*. Berdasarkan *output* yang dihasilkan diketahui rata-rata waktu penyelesaian proyek sebesar 146,42 hari dengan lintasan kritis yang terbentuk sama seperti CPM yaitu A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8 (1-3-15-23-32-38-46-51-60-70-77-82-87). Dan untuk produk *Fire Tube Boiler F30 L* rata-rata waktu penyelesaian proyek sebesar 36,6 hari, dengan lintasan kritis B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF (1-3-6-11-14-16-19-21-22-23-24-25-27).

#### 3.4 Metode FLASH

Metode lain untuk menghitung waktu penyelesaian proyek yang mengandung unsur ketidakpastian adalah menggunakan metode *fuzzy logic application for scheduling* (FLASH). Pada metode ini durasi aktivitas dinyatakan dalam tiga parameter yaitu waktu optimis (batas bawah), *most likely* dan pesimis (batas atas). Ketiga bilangan tersebut akan disajikan dalam notasi bilangan *fuzzy*.

Dikarenakan terdapat tiga parameter waktu dan hanya dimungkinkan satu nilai yang memiliki derajat keanggotaan bernilai satu yaitu waktu *most likely*, maka pada penelitian ini akan menggunakan *triangular (triangular fuzzy number)* atau sering disebut dengan TFN.

Analog dengan metode PERT, pada FLASH juga dihitung waktu paling awal suatu kejadian dapat terjadi (TE), waktu paling lambat yang masih diizinkan dari suatu kejadian dapat terjadi (TL) dan *total float* atau *slack*.



Gambar 1. Diagram jaringan kerja Fire Tube Boiler F 30 L

### 3.4.1 Perhitungan Maju

Perhitungan maju (*forward pass*) dan mundur (*backward pass*) dapat dilakukan menggunakan dua pendekatan yaitu, pendekatan operasi aritmatika bilangan *fuzzy* dan pendekatan  $\alpha$ -cut. Untuk contoh perhitungan kedua pendekatan tersebut akan digunakan data durasi aktivitas dari produk boiler WR-1100 FM dimana  $E_1$  (waktu mulai proyek) didefinisikan sebesar 0, sehingga  $TE_2 = E_1 + D_{1-2}$ .

1. Pendekatan operasi aritmatika bilangan *fuzzy*

Perhitungan maju dengan pendekatan operasi aritmatika bilangan *fuzzy* menggunakan operasi penjumlahan *fuzzy number* seperti pada persamaan 1. Sebagai contoh, nilai  $E_2$  merupakan hasil penjumlahan bilangan *fuzzy*  $E_2$  dan  $D_{1-2}$  yaitu,

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a + d, b + e, c + f) \quad (\text{pers.1})$$

$$\tilde{T}E_{(j)} = \tilde{T}E_{(i)} + \tilde{t}_{(i,j)} \quad (\text{pers.2})$$

$$TE_2 = (0,0,0) + (20,29,30) = (20,29,30)$$

$$TE_3 = E_2 + D_{2-3} = (20,29,30) + (7,12,13) = (27,41,43)$$

Apabila terdapat dua aktivitas yang berakhir pada *node* yang sama (*predecessor* lebih dari satu/ konvergen), seperti aktivitas AA (3-13) dan D1 (12-13) maka perhitungan  $E_{13}$  menjadi,

$$\tilde{T}E_{(j)} = \max_i (\tilde{T}E_{(i)} + \tilde{t}_{(i,j)}) \quad (\text{pers.3})$$

$$\begin{aligned} TE_{13} &= \max (E_3 + D_{3-13}, E_{12} + D_{12-13}) \\ &= \max \{ (27,41,43) + (9,15,17), \\ &\quad \{(37,56,59) + (0,0,0)\} \} \\ &= \max \{ (36,56,60), (37,56,59) \} \end{aligned}$$

Dimana dalam menentukan bilangan *fuzzy* yang maksimum menggunakan *Decision Maker's Risk Index* dengan menentukan nilai  $\lambda$  untuk keseluruhan aktivitas.

$$\lambda = \left[ \sum_{A_{ij} \in SA} i \sum_j \frac{b_{ij} - a_{ij}}{(m_{ij} - a_{ij}) + (b_{ij} - m_{ij})} \right] / t \quad (\text{pers.4})$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \left[ \frac{m_{1-2} - a_{1-2}}{(m_{1-2} - a_{1-2}) + (b_{1-2} - m_{1-2})} + \dots \right] / 122 \\ &= \left[ \frac{29 - 20}{(29 - 20) + (30 - 29)} + \dots \right] / 122 = 0,5347 \\ &= \left[ \frac{7 - 5}{(7 - 5) + (8 - 7)} \right] / 122 = 0,5347 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai tersebut, maka nilai *ranking value* untuk (36,56,60) dan (37,56,59) dengan nilai  $X_1 = 36$  dan  $X_2 = 60$ ,

$$\begin{aligned} R(\tilde{L}_i) &= \lambda \left[ \frac{b_i - X_1}{(X_2 - X_1 + b_i - m_i)} \right] + (1 - \lambda) \\ &= \left[ 1 - \frac{X_2 - a_i}{(X_2 - X_1 + m_i - a_i)} \right] \quad (\text{pers.5}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(\tilde{L}_{3-13}) &= 0,5347 \left[ \frac{60 - 36}{(60 - 36 + 60 - 56)} \right] \\ &\quad + (1 - 0,5347) \\ &= \left[ 1 - \frac{60 - 36}{(60 - 36 + 56 - 36)} \right] = 0,6698 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(\tilde{L}_{12-13}) &= 0,5347 \left[ \frac{59 - 36}{(65 - 36 + 59 - 56)} \right] \\ &\quad + (1 - 0,5347) \\ &= \left[ 1 - \frac{60 - 37}{(65 - 36 + 56 - 37)} \right] = 0,6719 \end{aligned}$$

karena  $R(\tilde{L}_{12-13}) > R(\tilde{L}_{3-13})$  maka  $TE_{13} = (37,56,59)$ .

2. Pendekatan  $\alpha$ -cut

Fungsi keanggotaan  $E_1$  adalah bilangan *fuzzy* segitiga (TFN) yaitu (0,0,0). Menggunakan persamaan fungsi keanggotaan TFN, fungsi keanggotaan  $D_{1-2}$  (20,29,30) didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} \mu(x) &= \begin{cases} 0; & x \geq c \text{ atau } x \leq a \\ (x - a)/(b - a); & a < x < b \\ (c - x)/(c - b); & b < x < c \end{cases} \quad (\text{pers.6}) \\ \mu_{D_{1-2}} &= \begin{cases} 0; & x \leq 20 \\ (x - 20)/9; & 20 < x \leq 29 \\ (30 - x); & 29 < x \leq 30 \\ 0; & x > 30 \end{cases} \end{aligned}$$

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya,  $\alpha$ -cut ( $A_\alpha$ ) merupakan

himpunan *fuzzy* yang memiliki derajat keanggotaan lebih dari nilai  $\alpha$  yang telah ditentukan atau dengan kata lain  $A_\alpha = \{x \in A, \mu_A(x) \geq \alpha\}$ . Maka untuk fungsi keanggotaan  $D_1$ , terdapat suatu level yang menunjukkan nilai  $\alpha$  yang dihasilkan dari dua nilai  $x$  yang berbeda yaitu,

$$\alpha = (x_1 - 20)/9 = (30 - x_2) \text{ atau} \\ x_1 = 9\alpha + 20 \text{ dan } x_2 = 30 - \alpha$$

Menggunakan  $\alpha$ -cut, penjumlahan  $E_1$  dan  $D_{1-2}$  akan menghasilkan,

$$TE_2 (TE_2^*, TE_2^{**}) = (0 + 9\alpha + 20, 0 + 30 - \alpha) \\ = (9\alpha + 20, 30 - \alpha)$$

Apabila persamaan tersebut diinversikan akan menghasilkan:

$$\alpha = (TE_2^* - 20)/9 = (30 - TE_2^{**})$$

Menggunakan persamaan 6, fungsi keanggotaan  $E_2$  dapat didefinisikan sebagai,

$$\mu_{TE_2} = \begin{cases} 0; TE_2 \leq 20 \\ (TE_2 - 20)/9; 20 < TE_2 \leq 29 \\ (30 - TE_2); 29 < TE_2 \leq 30 \\ 0; TE_2 > 30 \end{cases}$$

Cara ini memberikan hasil yang sama seperti metode pertama. Hal tersebut dapat dilihat dari batas fungsi keanggotaan  $TE_2$  yaitu (20,29,30) yang sama dengan hasil perhitungan metode pertama. Jika terdapat dua aktivitas yang berakhir pada *node* yang sama, melalui batas fungsi keanggotaan dipilih bilangan *fuzzy* yang paling maksimum, seperti aktivitas AW (24-34) dan D2 (33-34) maka perhitungan  $TE_{34}$  menjadi,

$$TE_{34}^* = E_{24} + D_{24-34} = (15\alpha + 31 + 3\alpha + 4, 51 - 5\alpha + 8 - \alpha) = (18\alpha + 35, 59 - 6\alpha)$$

$$TE_{34}^{**} = E_{33} + D_{33-34} = (17\alpha + 36 + 0, 60 - 7\alpha + 0) = (17\alpha + 36, 60 - 7\alpha)$$

Jika kedua persamaan tersebut diinversikan seperti sebelumnya, maka fungsi keanggotaannya menjadi,

$$\mu_{TE_{34}^*} = \begin{cases} 0; TE_{34}^* \leq 35 \\ (TE_{34}^* - 35)/18; 35 < TE_{34}^* \leq 53 \\ (59 - TE_{34}^*)/6; 53 < TE_{34}^* \leq 65 \\ 0; TE_{34}^* > 65 \end{cases} \\ \mu_{TE_{34}^{**}} = \begin{cases} 0; TE_{34}^{**} \leq 36 \\ \frac{TE_{34}^{**} - 36}{17}; 36 < TE_{34}^{**} \leq 53 \\ \frac{60 - TE_{34}^{**}}{7}; 53 < TE_{34}^{**} \leq 60 \\ 0; TE_{34}^{**} > 60 \end{cases}$$

Batas himpunan *fuzzy* kedua fungsi tersebut masing-masing  $TE_{34}^*$  (35,53,65) dan  $TE_{34}^{**}$  (36,53,60) sehingga,

$$TE_{34} = \max (E_{34}^*, E_{34}^{**}) \\ = \max \{(35,53,65), (36,53,60)\}$$

Dengan cara yang sama, yaitu mencari nilai *ranking value* seperti perhitungan sebelumnya. Maka nilai masing-masing

$R(\tilde{L}_{24-34})$  dan  $R(\tilde{L}_{33-34})$  berturut-turut sebesar 0,6088 dan 0,6172. Karena  $R(\tilde{L}_{33-34}) > R(\tilde{L}_{24-34})$ , maka  $TE_{34} = (36,53,60)$ .

### 3.4.2 Perhitungan Mundur

Pada perhitungan mundur (*backward pass*), dilakukan dari *node* akhir ( $E_{87}$ ) menuju *node* paling awal ( $E_1$ ) guna mendapatkan nilai TL untuk tiap-tiap *node*. Pada tahap ini pengoperasian bilangan *fuzzy* menggunakan operator pengurangan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 7. Perhitungan mundur dalam perhitungannya akan menggunakan pendekatan operasi aritmatika bilangan *fuzzy* dengan operasi pengurangan. Misal, *latest event occurrence time* (TL) untuk *node* 84 ( $TL_{84}$ ) menggunakan persamaan 8 didefinisikan sebagai,

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a - f, b - e, c - d) \quad (\text{pers.7})$$

$$\tilde{TL}_{(i)} = \tilde{TE}_{(j)} - \tilde{t}_{(i,j)} \quad (\text{pers.8})$$

$$TL_{84} = TE_{87} - D_{84-87} \\ TL_{84} = (100.5, 152, 170) - (5, 7, 8) = (92.5, 145, 165)$$

Apabila terdapat hubungan dalam jaringan yang membentuk divergen (lebih dari satu suksesor), contohnya  $TL_{83}$  memiliki 4 buah suksesor, maka  $TL_{83}$  didefinisikan sebagai,

$$\tilde{TL}_{(i)} = \min_j (\tilde{TL}_{(j)} - \tilde{t}_{(i,j)}) \quad (\text{pers.9})$$

$$TL_{83} = \min (TL_{84} - D_{83-84}, TL_{85} - D_{83-85}, TL_{86} - D_{83-86}, TL_{87} - D_{83-87}) \\ = \min \{ (92.5, 145, 165) - (4, 5, 7), \\ \{ (100.5, 152, 170) - (7, 10, 12) \}, \\ \{ (100.5, 152, 170) - (6, 7, 8) \}, \\ \{ (100.5, 152, 170) - (10, 15, 16) \} \} \\ = \min \{ (85.5, 140, 161), (88.5, 142, 163), \\ (92.5, 145, 164), (84.5, 137, 160) \}$$

Selanjutnya dengan nilai  $\lambda = 0,5347$  dan nilai  $X_1$  serta  $X_2$  85 dan 164, maka nilai *ranking value* masing-masing suksesor adalah  $R(\tilde{L}_{83-84}) = 0,5997$ ,  $R(\tilde{L}_{83-85}) = 0,6188$ ,  $R(\tilde{L}_{83-86}) = 0,6448$ ,  $R(\tilde{L}_{83-87}) = 0,5789$ . Karena  $R(\tilde{L}_{83-87}) < R(\tilde{L}_{83-84}) < R(\tilde{L}_{83-85}) < R(\tilde{L}_{83-86})$ , maka  $TL_{83} = (84.5, 137, 160)$ .

### 3.4.3 Perhitungan Slack (Total Float)

Setelah diperoleh TE dan TL untuk semua *node*, waktu ambang masing-masing aktivitas ( $S_{ij}$ ) dapat didapatkan. Sebagai contoh, *slack* untuk aktivitas E (2-4) ditentukan dengan cara:

$$\tilde{S}_{(ij)} = \tilde{TL}_{(j)} - \tilde{TE}_{(i)} - \tilde{t}_{(i,j)} \quad (\text{pers.10})$$

$$S_E = TL_4 - TE_2 - t_{2,4} \\ = (0, 69, 111.5) - (20, 29, 30) - (2, 3, 4) \\ = (-34, 37, 89.5)$$

Menggunakan persamaan 6, maka fungsi keanggotaannya menjadi,

$$\mu_{S_E} = \begin{cases} 0; S_E \leq -34 \\ (S_E + 34)/71; -34 < S_E \leq 37 \\ (89,5 - S_E)/52,5; 37 < S_E \leq 89,5 \\ 0; S_E > 89,5 \end{cases}$$

Akan tetapi dalam nyatanya tidak ada waktu yang bersifat negatif, maka untuk batasan yang bertanda negatif dapat diabaikan sehingga fungsi keanggotaan dapat didefinisikan ulang menjadi:

$$\mu_{S_E} = \begin{cases} (S_E + 34)/71; 0 < S_E \leq 37 \\ (89,5 - S_E)/52,5; 37 < S_E \leq 89,5 \\ 0; S_E > 89,5 \end{cases}$$

Dengan cara yang sama seperti pendekatan operasi aritmatika pada bilangan fuzzy. Rekap hasil perhitungan TE, TL serta

*slack* untuk beberapa *node* dan aktivitas dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui waktu penyelesaian proses fabrikasi produk boiler WR-1100 FM adalah (100.5,152,170). Dapat diartikan waktu penyelesaian proyek berada dalam kisaran 100.5 hari dan 170 hari, dengan waktu yang paling mungkin adalah 152 hari. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa tidak dimungkinkan sebuah parameter waktu bernilai negatif, sehingga untuk nilai TL

**Tabel 2.** Nilai TE dan TL untuk Beberapa *Node* pada Proses Fabrikasi Produk Boiler WR-1100 FM

<i>Node</i> (Event)	TE (hari)	TL (hari)	TL Setelah Penyesuaian Non Negatifitas
E <sub>1</sub>	(0,0,0)	(-69.5,0,69.5)	(0,0,69.5)
E <sub>2</sub>	(20,29,30)	(-39.5,29,89.5)	(0,29,89.5)
E <sub>3</sub>	(27,41,43)	(-26.5,41,96.5)	(0,41,96.5)
E <sub>4</sub>	(22,32,34)	(-7.5,69,111.5)	(0,69,111.5)
E <sub>5</sub>	(32,47,50)	(6.5,69,107)	-
E <sub>82</sub>	(100.5,152,170)	(100.5,152,170)	-
E <sub>83</sub>	(70.5,100,126)	(84.5,137,160)	-
E <sub>84</sub>	(74.5,105,133)	(92.5,145,165)	-
E <sub>85</sub>	(77.5,110,138)	(100.5,152,170)	-
E <sub>86</sub>	(76.5,107,134)	(100.5,152,170)	-
E <sub>87</sub>	(100.5,152,170)	(100.5,152,170)	-

**Tabel 3.** Nilai *Slack* untuk Beberapa Aktivitas pada Proses Fabrikasi Produk Boiler WR-1100 FM

Aktivitas	Notasi	TL <sub>j</sub>	TE <sub>i</sub>	D <sub>ij</sub>	Slack (hari)	
					TL <sub>j</sub> -TE <sub>i</sub> -D <sub>ij</sub>	Penyesuaian Non Negatifitas
A	1-2	(0,29,89.5)	(0,0,0)	(20,29,30)	(-30,0,69.5)	(0,0,69.5)
B	2-3	(0,41,96.5)	(20,29,30)	(7,12,13)	(-43,0,69.5)	(0,0,69.5)
C	2-7	(92.5,147,166)	(20,29,30)	(3,5,6)	(56.5,113,143)	-
D	7-87	(100.5,152,170)	(23,34,36)	(4,5,8)	(56.5,113,143)	-
E	2-4	(0,69,111.5)	(20,29,30)	(2,3,4)	(-34,37,89.5)	(0,37,89.5)
F	4-87	(100.5,152,170)	(22,32,34)	(2,4,5)	(61.5,116,146)	-
G	4-16	(0.5,76,115.5)	(22,32,34)	(4,7,8)	(-41.5,37,89.5)	(0,37,89.5)
H	16-24	(9.5,83,120.5)	(26,39,42)	(5,7,9)	(-41.5,37,89.5)	(0,37,89.5)
I	24-87	(100.5,152,170)	(31,46,51)	(5,7,8)	(41.5,99,134)	-
J	3-87	(100.5,152,170)	(27,41,43)	(4,7,10)	(47.5,104,139)	-

**Tabel 4.** 10 Lintasan Dengan Nilai *Slack* Terkecil Produk *Boiler* WR-1100 FM

Lintasan	Rangkaian Lintasan	Rangkaian Node	Maksimum Slack	Ranking Value	Rank
P <sub>18</sub>	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8	1-2-3-15-23-32-38-46-51-60-70-77-82-87	(0,0,69.5)	0.1725	1
P <sub>16</sub>	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AR-AT	1-2-3-15-23-32-38-46-51-60-70-78-87	(0,5,68.5)	0.1902	2
P <sub>17</sub>	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-D4-AT	1-2-3-15-23-32-38-46-51-60-70-77-78-87	(0,5,68.5)	0.1902	3
P <sub>19</sub>	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AV	1-2-3-15-23-32-38-46-51-60-70-77-87	(0,5,71.5)	0.1953	4
P <sub>15</sub>	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AP	1-2-3-15-23-32-38-46-51-60-87	(0,15,76.5)	0.2405	5
P <sub>70</sub>	A-BI-BJ-CG-CH-CL-CW-DR	1-2-5-17-25-50-55-68-87	(0,22,75)	0.2625	6
P <sub>14</sub>	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AN	1-2-3-15-23-32-38-46-51-87	(0,20,80.5)	0.2645	7
P <sub>12</sub>	A-B-AE-AF-AG-AH	1-2-3-15-23-31-87	(0,22,79)	0.2690	8
P <sub>13</sub>	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AL	1-2-3-15-23-32-38-46-87	(0,25,83.5)	0.2864	9
P <sub>71</sub>	A-BI-BJ-CG-CH-CL-CV-D3-DR	1-2-5-17-25-50-55-67-68-87	(0,31,84)	0.3072	10

**Tabel 5.** 10 Lintasan Dengan Nilai *Slack* Terkecil Produk *Fire Tube Boiler* F 30 L

Lintasan	Rangkaian Lintasan	Rangkaian Node	Maksimum Slack	Ranking Value	Rank
P <sub>17</sub>	B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF	1-3-6-11-14-16-19-21-22-23-24-25-27	(0,0,41)	0.2284	1
P <sub>15</sub>	B-D-I-V-W-X-Z-AC-AD-AE-AF	1-3-6-11-14-16-18-22-23-24-25-27	(0,1,41)	0.2391	2
P <sub>16</sub>	B-D-I-V-W-X-Z-AC-AD-AG-AH	1-3-6-11-14-16-18-22-23-24-26-27	(0,1,42)	0.2423	3
P <sub>18</sub>	B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AG-AH	1-3-6-11-14-16-19-21-22-23-24-26-27	(0,1,42)	0.2423	4
P <sub>19</sub>	B-C-Q-R-S-T-U-AC-AD-AE-AF	1-3-7-12-15-17-20-22-23-24-25-27	(0,3,43.25)	0.2669	5
P <sub>20</sub>	B-C-Q-R-S-T-U-AC-AD-AG-AH	1-3-7-12-15-17-20-22-23-24-26-27	(0,3,43.25)	0.2669	6
P <sub>3</sub>	A-K-N-D1-AC-AD-AE-AF	1-2-4-8-22-23-24-25-27	(0,12,50)	0.3708	7
P <sub>4</sub>	A-K-N-D1-AC-AD-AG-AH	1-2-4-8-22-23-24-26-27	(0,12,50)	0.3708	8
P <sub>13</sub>	B-D-E-AC-AD-AE-AF	1-3-6-22-23-24-25-27	(0,13,50)	0.3796	9
P <sub>14</sub>	B-D-E-AC-AD-AG-AH	1-3-6-22-23-24-26-27	(0,13,50)	0.3796	10

dan *slack* yang bernilai negatif dilakukan penyesuaian dengan mengganti batas bawah (yang bernilai negatif) dengan nilai 0 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

### 3.4.4 Penentuan Lintasan Kritis

Seperti PERT, pada FLASH penentuan lintasan kritis dilakukan dengan cara melihat waktu *most likely* dari nilai *slack* aktivitas yang memiliki nilai sama dengan 0 maka aktivitas tersebut merupakan aktivitas kritis. Berdasarkan Tabel 3, maka jalur kritis yang terbentuk samadengan metode CPM dan PERT yaitu A-B-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8.

Selain lintasan kritis, pada tahap ini dilakukan pula perankingan pada semua lintasan yang menghubungkan *node* awal (1) hingga *node* akhir (87) untuk mengetahui lintasan-lintasan mana saja yang mendekati "kritis" melalui nilai *slack*nya.

*Slack* untuk tiap lintasan berasal dari maksimum *slack* aktivitas penyusunnya. Salah satu lintasan yang terbentuk adalah P<sub>1</sub>, yaitu A-B-J (1-2-3-87). Maka nilai *slack* lintasan P<sub>1</sub> dapat didefinisikan sebagai,

$$S_{P_n} = \max\{S_{ij}\}, ij \in P_n \quad (\text{pers.11})$$

$$= \max\{S_{1-2}, S_{2-3}, S_{3-87}\}$$

$$= \max\{(0,0,69.5), (0,0,69.5), (47.5,104,139)\}$$

Menggunakan *ranking value*, maka *slack* untuk P<sub>1</sub> yaitu berkisar antara 47.5 hingga 104 hari dengan waktu paling mungkin 139 hari (47.5,104,139). Sama halnya dengan P<sub>1</sub>, nilai *slack* lintasan lain juga dapat ditentukan menggunakan cara yang sama.

Berdasarkan Lampiran 1 terbentuk 74 lintasan yang simbolkan menggunakan P<sub>1</sub> hingga P<sub>74</sub>. Selanjutnya dari perhitungan *slack* minimum untuk tiap lintasan terdapat 10 lintasan yang memiliki nilai *slack* paling kecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Mengacu pada durasi dan logika ketergantungan pada diagram jaringan kerjapada Gambar 1, dengan cara yang sama sepertipada *Boiler* WR-1100 FM, didapatkan waktu penyelesaian proses fabrikasi produk *Fire Tube Boiler* F 30 L berada dalam kisaran 24 hari dan 65 hari, dengan waktu yang paling mungkin adalah 32,5 hari (24,32.5,65). Dengan lintasan kritis, B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF (1-3-6-11-14-16-19-21-22-23-24-25-27) serta dapat dilihat pada Tabel 5, yaitu 10 lintasan dengan nilai *slack* terkecil.

### 3.5 Analisis dan Perbandingan Metode

Menggunakan waktu penyelesaian proyek aktual untuk masing-masing produk, dapat dilakukan perhitungan probabilitas dan posibilitas waktu penyelesaian proyek. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, waktu aktual penyelesaian proyek produk *Boiler WR-1100 FM* dan *Fire Tube Boiler F 30 L* masing-masing sebesar 136 dan 43 hari.

#### 3.5.1 Probabilitas Waktu Penyelesaian Proyek

Perhitungan probabilitas (*cumulative probability*) proses fabrikasi *Boiler WR-1100 FM* dapat terselesaikan kurang dari sama dengan 136 hari ( $t \leq 136$ ) didapatkan dengan menghitung variansi dan standar deviasi lintasan kritis. Contohnya, untuk aktivitas A:

$$\sigma_A^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \quad (\text{pers.12})$$

$$\sigma_A^2 = \left(\frac{30-20}{6}\right)^2 = 2,778$$

Dengan cara yang sama, nilai variansi untuk aktivitas lainnya didapatkan seperti yang disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Nilai Variansi Aktivitas Kritis *Boiler WR-1100 FM*

Akti- vitas	Durasi (hari)			Variansi
	Optimis (a)	Most Likely (m)	Pesimis (b)	
A	20	29	30	2.778
B	7	12	13	1.000
AE	15	25	27	4.000
AF	28	37	39	3.361
AI	1.5	2	4	0.174
AJ	2	2	4	0.111
AK	5	10	11	1.000
AM	4	5	6	0.111
AO	4	5	7	0.250
AQ	4	5	6	0.111
AS	5	10	11	1.000
AU	5	10	12	1.361
D8	0	0	0	0.000
<b>Total</b>				<b>15.257</b>

Setelah didapatkan nilai variansi untuk semua aktivitas kritis, maka standar deviasi untuk lintasan kritis dan nilai Z dihitung seperti berikut.

$$\sigma_t^2 = \sum_{ij \in P_k} \sigma_{ij}^2 \quad (\text{pers.13})$$

$$\sigma_t^2 = 15,257$$

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_t^2} \quad (\text{pers.14})$$

$$\sigma_t = \sqrt{15,257} = 3,906$$

$$Z = \frac{t-\bar{t}}{\sigma_t} \quad (\text{pers.15})$$

$$Z = \frac{136-147}{3.906} = -2.82$$

Dengan melihat nilai Z pada tabel distribusi normal, maka probabilitas penyelesaian proyek *Boiler WR-1100 FM*  $\leq 136$  hari sebesar  $0.5-0.4976 = 0,0024 = 0.24\%$ .

Menggunakan *Microsoft Excel* dapat diketahui nilai *non-cumulative probability*, yaitu menggunakan *function* (NORMDIST (136;147;3.906;FALSE)). Sehingga didapatkan probabilitas proyek dapat terselesaikan tepat 136 hari sebesar 0.19%. Selanjutnya, interval konfidensi 95% dari perkiraan waktu penyelesaian proyek *Boiler WR-1100 FM*:

$$[\bar{t} - Z_{0.025} \sigma_t] \leq t \leq [\bar{t} + Z_{0.025} \sigma_t] \quad (\text{pers.16})$$

$$[147 - (1.96)(3.906)] \leq t \leq [147 + (1.96)(3.906)]$$

$$139.34 \leq t \leq 154.66$$

Menggunakan cara yang sama, *cumulative probability* dan *non-cumulative probability* waktu penyelesaian proyek untuk produk *Fire Tube Boiler F 30 L* untuk nilai 43 hari masing-masing sebesar 99.62% dan 0.5%.

Dengan interval konfidensi 95% seperti persamaan 16, perkiraan waktu penyelesaian proyek berada dalam interval:

$$[37 - (1.96)(2.245)] \leq t \leq [37 + (1.96)(2.245)]$$

$$32.60 \leq t \leq 41.40$$

Berdasarkan perhitungan secara statistik tersebut, dengan tingkat konfidensi sebesar 95% baik produk *Boiler WR-1100 FM* ataupun *Fire Tube Boiler F 30 L*, waktu penyelesaian aktual proyek tidak berada dalam interval tersebut. Dengan tingkat konfidensi 95%, terdapat kemungkinan 5% *mean* aktualnya tidak berada dalam interval dan itu mungkin saja terjadi. Hal tersebut dapat dikarenakan adanya faktor lain (lingkungan, tenaga kerja, dll) dan kesalahan (ketidaktepatan) dalam penentuan durasi aktivitas yang tidak sesuai dengan kondisi aktualnya yang tidak diperhitungkan dalam pengerjaan penelitian ini.

### 3.5.2 Posibilitas Waktu Penyelesaian Proyek

Menentukan posibilitas waktu penyelesaian proyek menggunakan fungsi keanggotaan TE atau TL untuk *node* paling akhir. Posibilitas waktu penyelesaian proyek untuk produk *Boiler WR-1100 FM* berdasarkan fungsi keanggotaan  $TE_{87}$  ( $TL_{87}$ ), dapat selesai selama 136 hari adalah:

$$\mu_{TL_{87}} = \begin{cases} 0; & TL_{87} \leq 100.5 \\ (TL_{87} - 100.5)/51.5; & 100.5 < TL_{87} \leq 152 \\ (170 - TL_{87})/18; & 152 < TL_{87} \leq 170 \\ 0; & TL_{87} > 170 \end{cases}$$

batasan untuk nilai  $TE_{87} = 136$  (waktu penyelesaian aktual) adalah,

$$(TE_{87}-100.5)/51.5; 100.5 < TE_{87} \leq 152 \quad (\text{pers.17})$$

Menggunakan persamaan tersebut nilai posibilitas proyek dapat selesai selama 136 hari adalah,

$$(136-100.5)/51.5 = 0.6893 = 68.93\%$$

Untuk produk *Fire Tube Boiler F 30 L* dengan cara yang sama berdasarkan fungsi keanggotaannya, didapatkan posibilitas proyek dapat terselesaikan 43 hari sebesar 67.69%.

### 3.5.3 Perbandingan CPM, PERT dan FLASH

Berdasarkan ketiga metode tersebut dihasilkan lintasan kritis yang sama, yaitu A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8 untuk *Boiler WR-1100 FM* dan B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF untuk *Fire Tube Boiler F 30 L*.

Hasil perhitungan FLASH pada *Boiler WR-1100 FM* terdapat rentang (interval) yang cukup besar antara batas bawah (optimis) dan atas (pesimis) terhadap nilai *most likely* terutama pada interval bawahnya. Sebesar 18 hari untuk interval atas dan mencapai 51.5 hari untuk interval bawah. Pada *Fire Tube Boiler F 30 L*, interval pada bilangan *fuzzy* lebih kecil jika dibandingkan dengan produk *Boiler WR-1100 FM*.

Hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh jumlah aktivitas terhadap interval dalam bilangan *fuzzy*. Semakin banyak aktivitas maka semakin besar pula interval pada bilangan *fuzzy*-nya. Dikarenakan aturan pengurangan pada operasi bilangan *fuzzy* pula mengakibatkan TL memiliki interval yang cenderung lebih besar dibanding TE. Dengan kata lain, FLASH akan lebih optimal apabila digunakan pada proyek yang memiliki jumlah aktivitas relatif sedikit.

**Tabel 7.** Perbandingan Metode pada Produk *Boiler WR-1100 FM*

No	Pembanding	CPM	PERT	FLASH
1	Waktu Penyelesaian Aktual Proyek (hari)	136		
2	Waktu Penyelesaian Proyek (hari)	152	147	(100.5,152,170)
3	Lintasan Kritis	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8	A-B-AE-AF-AI-AJ-AK-AM-AO-AQ-AS-AU-D8
4	Peluang Waktu Penyelesaian Proyek	-	0.24% (cumulative) 0.19% (non-cumulative)	-
5	Derajat keanggotaan Waktu Penyelesaian Proyek	-	-	68.93%
6	Selisih dengan Waktu Aktual (hari)	16	11	16*

**Tabel 8.** Perbandingan Metode pada Produk *Fire Tube Boiler F 30 L*

No	Pembanding	CPM	PERT	FLASH
1	Waktu Penyelesaian Aktual Proyek (hari)	43		
2	Waktu Penyelesaian Proyek (hari)	33	37	(24,33,65)
3	Lintasan Kritis	B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF	B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF	B-D-I-V-W-Y-AA-AB-AC-AD-AE-AF
4	Peluang Waktu Penyelesaian Proyek	-	99.62% (cumulative) 0.5% (non-cumulative)	-
5	Derajat keanggotaan Waktu Penyelesaian Proyek	-	-	67.69%
6	Selisih dengan Waktu Aktual (hari)	10	6	10*

\*selisih terhadap waktu paling mungkin (*most likely*)

Semakin besar interval bilangan *fuzzy* cukup jauh maka semakin besar pula tingkat ketidakpastiannya. Kirkpatrick (1981) mengatakan bahwa, semakin besar rentang antara waktu optimis dan pesimis maka semakin besar pula tingkat ketidakpastian dan standar deviasinya. Dimana semakin besar standar deviasi semakin besar pula kemungkinan “*actual time*” yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek akan berbeda dengan  $Te$  ( $D_{ij}$ )/ waktu yang direncanakan.

Berdasarkan produk-produk yang telah dibuat, sebagian besar produk PT Indomarine memiliki tingkat kompleksitas yang cukup tinggi. Semakin tinggi kapasitas dan kompleksitas *boiler* maka semakin banyak pula aktivitas (*part*) penyusunnya, maka metode FLASH tidak tepat digunakan untuk menjadwalkan proses fabrikasinya.

Kriteria dalam pemilihan metode yang paling tepat adalah berdasarkan nilai selisih antara hasil penjadwalan dengan waktu aktualnya. Berdasarkan kekurangan dan kelebihan masing-masing metode serta Tabel 7 dan 8 dapat dilihat bahwa PERT memberikan selisih terhadap waktu penyelesaian aktual paling kecil. Sehingga dapat disimpulkan PERT memberikan hasil lebih optimal dibanding dengan CPM ataupun FLASH untuk penjadwalan produk *boiler*.

Berdasarkan metode terpilih yaitu PERT, selisih antara hasil perhitungan (*planning*) dan waktu penyelesaian aktualnya masih cukup besar. Untuk *Boiler* WR-1100 FM selisih sebesar 11 hari, dan *Fire Tube Boiler* F 30 L sebesar 6 hari. Hal tersebut bukan diakibatkan pemilihan metode yang dirasa kurang tepat, akan tetapi lebih kepada penentuan durasi aktivitas yang belum dapat mewakili kondisi sebenarnya. Dalam kata lain, durasi aktivitas untuk kedua produk tersebut belum dapat mendekati kondisi (pelaksanaan) aktualnya.

### 3.5.4 Perbandingan Terminologi Probabilitas dan Posibilitas

Probabilitas dan posibilitas memiliki kesamaan utama yaitu keduanya menjelaskan mengenai ketidakpastian (*uncertainty*) dan memiliki nilai antara 0 dan 1 (Kwang, 2005). Akan tetapi interpretasi nilainya sangat berbeda antara kedua istilah tersebut. Posibilitas merupakan suatu ukuran terhadap pendapat/keputusan subjektif, sedangkan probabilitas mengindikasikan proporsi terhadap keseringan suatu hasil (kejadian) bernilai benar dalam jangka panjang.

Metode FLASH mengasumsikan bahwa semua pekerjaan dilaksanakan dalam operasi dan kondisi yang sangat normal sehingga posibilitas untuk dapat lebih cepat atau lebih lambat akan semakin rendah tergantung pada perbedaannya terhadap kondisi normal tersebut.



Gambar 2. Grafik fungsi keanggotaan TE<sub>87</sub>

Dengan kata lain, suatu nilai akan memiliki derajat keanggotaan mendekati 1 apabila nilai tersebut mendekati nilai *most likely*-nya. Ini berarti pada *Boiler* WR-1100 FM durasi waktu yang memiliki probabilitas 100% terdapat pada 152 hari, nilai yang lebih kecil atau lebih besar dari nilai ini akan memiliki nilai posibilitas yang semakin kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dan waktu penyelesaian proyek memiliki probabilitas kumulatif 100% untuk perkiraan penyelesaian proyek “tak hingga” hari.

## 4. Kesimpulan

1. Berdasarkan metode PERT didapatkan rata-rata waktu penyelesaian proyek untuk produk *Boiler* WR-1100 FM dan *Fire Tube Boiler* F 30 L masing-masing 147 dan 37 hari. Dimana hasil tersebut memperlihatkan perbedaan dengan waktu penyelesaian aktual sebesar 11 hari untuk *Boiler* WR-1100 FM dan 6 hari untuk *Fire Tube Boiler* F 30 L.
2. Berdasarkan metode FLASH didapatkan selang perkiraan waktu penyelesaian proyek untuk produk *Boiler* WR-1100 FM yaitu paling cepat dapat selesai 101 hari dan paling lama 170 hari dengan waktu paling mungkin adalah 152 hari. Untuk produk *Fire Tube Boiler* F 30 L waktu penyelesaian proyek paling cepat selama 24 hari dan paling lama 65 hari dengan waktu paling mungkin selama 33 hari.
3. Produk *Boiler* WR-1100 FM memiliki waktu penyelesaian aktual proyek selama 136 hari. Berdasarkan metode terdahulu (CPM) didapatkan waktu penyelesaian proyek 152 hari (selisih 16 hari) dan PERT

rata-rata sebesar 147 hari (selisih 11 hari dari rata-rata) dengan *cumulative probability* dan *non-cumulative probability* untuk nilai 136 hari masing-masing 0.24% dan 0.19%. Dan berdasarkan FLASH didapatkan waktu penyelesaian proyek selama (100.5,152,170) hari (selisih 16 hari dari nilai *most likely*) dengan posibilitas untuk nilai 136 hari sebesar 68.93%. Produk *Fire Tube Boiler F 30 L* memiliki waktu penyelesaian aktual proyek selama 43 hari. Berdasarkan CPM didapatkan waktu penyelesaian proyek 33 hari (selisih 10 hari), PERT rata-rata selama 37 hari dengan *cumulative probability* dan *non-cumulative probability* untuk nilai 43 hari masing-masing 99.62% dan 0.5%. Dan berdasarkan FLASH selama (24,32.5,65) hari (selisih 10 hari dari nilai *most likely*) dengan posibilitas untuk nilai 43 hari sebesar 67.69%.

4. PERT memberikan hasil perhitungan berupa satu parameter waktu sehingga memudahkan dalam menduga waktu terselesaikannya proyek, sedangkan FLASH memberikan hasil berupa interval waktu (*fuzzy number*) sehingga akan lebih sulit untuk menduga waktu penyelesaian proyek. Selain itu, hasil perhitungan FLASH akan lebih optimal untuk proyek yang memiliki jumlah aktivitas relatif sedikit. Dalam penentuan waktu optimis, *most likely* dan pesimis FLASH dapat berdasarkan penilaian subjektif, berbeda pada PERT hasilnya lebih bersifat objektif dikarenakan ketiga parameter waktu tersebut berasal dari persentil atas, tengah dan bawah data historis. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing metode serta selisih terkecil dengan waktu penyelesaian aktual, maka PERT direkomendasikan sebagai alat penjadwalan proses fabrikasi *boiler* pada PT. Indonesian Marine Corp. Ltd.
5. Posibilitas merupakan suatu ukuran terhadap pendapat subjektif, dimana nilai posibilitas mendekati 1 apabila nilai tersebut mendekati nilai tengah (*most likely*) dengan semesta pembicaraan yang terbatas. Sedangkan probabilitas mengindikasikan proporsi

terhadap keseringan suatu kejadian bernilai benar dalam jangka panjang. Kedua ukuran ketidakpastian tersebut memiliki cara interpretasi yang berbeda, sehingga nilai keduanya tidak dapat dibandingkan karena memiliki prinsip perhitungan dan karakteristik yang berbeda dalam mengartikan sebuah ketidakpastian (*uncertainty*).

#### Daftar Pustaka

- Kasidi, Darwin. (2008), *Penerapan Metode Critical Chain Project Management pada Proyek Sudirman Tower*. Skripsi tidak dipublikasikan. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Kwang, H. Lee. (2005), *First Course on Fuzzy Theory and Applications*. India: Springer Private Limited.
- Meredith, J.R. & Mantel, S.J. (2003), *Project Management*. New York: John Wiley.
- Sharafi, M., Jolai, F., Iranmanesh, H. & Hatefi, S.M. (2008), A Model for Project Scheduling with Fuzzy Precedence Links. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. II (4): 1356-1361.
- Siswoyo. (1981), *Pokok-pokok Project Management PERT & CPM*. Jakarta: Erlangga.
- Wibowo, Wibowo. (2001), Alternatif Metoda Penjadwalan Proyek Konstruksi Menggunakan Teori Set Samar. *Dimensi Teknik Sipil*. III (1): 1-8.

Lampiran 1. Diagram jaringan kerja Boiler WR-1100 FM

