

## EVALUASI KETERSEDIAAN SISTEM BERBASIS KEANDALAN KOMPONEN REAKTOR RISET RSG-GAS DENGAN PENDEKATAN DEA (*DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*)

**Johnny Situmorang dan Deswandri**

Kelompok Ergonomi dan Budaya Keselamatan, BPTKN-PTRKN  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) – BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, BANTEN.  
Telp.: 62-21-7560912, Fax.: 62-21-7560913, Kode Pos : 15310  
e-mail: [situmora@batan.go.id](mailto:situmora@batan.go.id)

### **ABSTRAK**

**EVALUASI KETERSEDIAAN SISTEM BERBASIS KEANDALAN KOMPONEN REAKTOR RISET RSG-GAS DENGAN PENDEKATAN DEA (*DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*)**. Telah dilakukan evaluasi ketersediaan sistem dengan mempertimbangkan keandalan yang membangun sistem yang bersesuaian. Evaluasi dilakukan terhadap reaktor riset RSG GAS untuk sistem pendingin primer, sistem ventilasi tekanan rendah, dan sistem venting dengan pendekatan *Data Envelopment Analysis* (DEA) menggunakan data lapangan dari pengalaman operasi dan pemeliharaan untuk teras 35 hingga 77. Fungsi analitis keandalan yang digunakan adalah waktu rerata antara kegagalan dan inversinya sebagai laju kegagalan. Laju kegagalan rerata yang diperoleh adalah  $4.2E-06$  dan bersesuaian dengannya ketersediaan sistem adalah 0,948901. Menggunakan pendekatan ini, sebagai *reference set* untuk meningkatkan ketersediaan, adalah JE016602 (Meter RPS tidak respon), KLA404004 (KL 40 AA 006 *Fault* tidak dapat direset), KLA603705 (KLA 60 AN 001 tidak normal, *v-belt* kendur)

**Kata kunci:** Keandalan, Ketersediaan, Reaktor Riset, *Data Envelopment Analysis* (DEA)

### **ABSTRACT**

**SYSTEM AVAILABILITY EVALUATION BASED ON EQUIPMENT RELIABILITY OF RESEARCH REACTOR RSG-GAS BY DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) APPROACH**. System availability evaluation has performed be considering the reliability of equipment which equipped the appropriate systems. Evaluation carried out to the primary cooling system and ventilation system (low pressure system and venting system) of research reactor RSG GAS. Tools evaluation which is used is date envelopment analysis with operation and maintenance experience data from the core 35 up to core 77. The analytical reliability function that is used for evaluation is mean time between failure of all components within the system and its inversion for calculating the failure rate of the system. The average of failure rate system which obtained is  $4.2E-06$  and it imply to get the availability of 0.948901. The reference set for maintaining the availability of system are JE016602 (Meter RPS no responses), KLA404004 (KL 40 AA 006 *Fault* resetting is failed), KLA603705(KLA 60 AN 001 abnormal, loose *v-belt*).

**Keywords:** Reliability, Availability, Research Reactor, *Data Envelopment Analysis* (DEA)

### **PENDAHULUAN**

Pengukuran tingkat keandalan sistem senantiasa menjadi suatu pekerjaan yang sangat menarik mengingat bahwa data keandalan komponen yang membangun sistem tidak senantiasa tersedia secara memadai untuk digunakan sebagai data dalam evaluasi keselamatan suatu instalasi yang sedang dipertimbangkan. Basis data yang tersedia, yang dapat digunakan sebagai data generik juga lebih banyak tidak persis sesuai dengan modus kegagalan yang sedang dipertimbangkan, selain itu bahwa pengaruh faktor lingkungan dan sistem juga tidak sama.

Perkiraan keandalan dan ketersediaan sistem yang diperlukan sangat tergantung pada data keandalan komponen yang membangun sistem bersesuaian. Dengan keterbatasan data keandalan tersebut, maka perkiraan tentang keandalan dan implikasinya evaluasi ketersediaan sistem yang diperlukan juga akan terlaksana tidak bersesuaian dengan keadaan aktual dari sistem yang dipertimbangkan. Dengan pertimbangan itu, perkiraan ketersediaan sistem berbasis intensitas kegagalan sistem sesuai dengan keadaan aktual sistem dilakukan dengan pendekatan analisis cakup data atau *Data Envelopment Analysis* (DEA) berbasis data kegagalan keseluruhan komponen yang membangun sistem, atau komponen tidak dipertimbangkan berdiri sendiri.

Fungsi analitis keandalan yang digunakan adalah waktu rerata antara kegagalan (MTBF) untuk seluruh komponen yang membangun sistem selama masa operasi periode teras. Sebagai implikasinya laju kegagalan sistem dapat dihitung baik langsung sebagai inversi setiap MTBF maupun dari inverse nilai kumulatif MTBF. Dengan pendekatan DEA berbasis efisiensi teknik CCR evaluasi ketersediaan sistem akan dihasilkan. Pada tulisan ini evaluasi ketersediaan sistem dilakukan khususnya pada sistem pendingin primer (JE 01), sistem ventilasi tekanan rendah (KLA 40) dan sistem venting (KLA 60) RSG GAS berdasarkan data pengalaman kegiatan operasi dan pemeliharaan yang dilakukan mulai teras tiga puluh lima hingga teras tujuh puluh tujuh. Sebagai hasil akan diperoleh *reference set* yang dapat digunakan sebagai tolok ukur untuk peningkatan ketersediaan sistem.

**METODOLOGI**

DEA adalah suatu teknik pemrograman matematik berbasis pemrograman linier yang banyak digunakan untuk pengukuran kinerja. DEA dikenalkan oleh Farrel (1957), kemudian oleh Charnes, dkk (1978) dan dengan baik oleh Norman dan Stoker (1991), serta secara komprehensif disajikan oleh Copper dkk (2000). Pengukuran dilakukan berdasarkan pertimbangan unit pembuatan keputusan (DMU = *Decision Making Unit*) untuk menyatakan bahwa suatu parameter relatif lebih signifikan dari lainnya untuk mempengaruhi suatu hasil yang diinginkan sesuai dengan output per input yang dimiliki.

Pengukuran dilakukan terhadap setiap DMU yang akan dievaluasi dan memerlukan optimasi, sebagai DMU<sub>o</sub> dengan rentang  $\theta$  adalah 1, 2, ..., n [4] Penyelesaian dilakukan atas program fraksional (output/input) FP<sub>o</sub> dengan “bobot input ( $v_i$ ) untuk  $i=1, \dots, m$  dan bobot output ( $u_r$ ) untuk  $r=1, \dots, s$  sebagai variable.

$$(FP_o) \quad \max_{v,u} \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} \dots\dots\dots(1)$$

dengan

$$\frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \dots\dots\dots(2)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \dots\dots\dots(4)$$

Program fraksional (FPo) disubstitusi dengan Program Linier (LPo), sesuai dengan:

$$(LPo) \quad \max_{\mu, v} \theta = \mu_1 y_{1o} + \mu_2 y_{2o} + \dots + \mu_s y_{so} \dots\dots\dots(5)$$

dengan:

$$v_1 x_{1o} + \dots + v_s x_{so} = 1 \dots\dots\dots(6)$$

$$\mu_1 y_{1j} + \dots + \mu_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \quad (j = 1, \dots, n) \dots\dots\dots(7)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s \geq 0 \dots\dots\dots(9)$$

Bersesuaian dengan pengertian optimalisasi, maka jika  $\theta=1$  berarti efisiensi pelaksanaan program keandalan optimal dan sebaliknya adalah tidak optimal yaitu untuk suatu  $(u^*, v^*)$  yang memberikan:

$$E'_o = \left\{ j: \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj} = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

dan merupakan nilai efisiensi teknis atau efisiensi CCR untuk  $DMU_0$  yang menentukan (reference set). Untuk memperoleh nilai efisiensi untuk seluruh DMU dilakukan dengan mengulangi proses di atas untuk setiap  $DMU_j$

▪ **Intensitas Kegagalan Sistem<sup>[1,2]</sup>**

"Probabilitas bahwa komponen gagal per satuan waktu pada waktu t, menyatakan bahwa komponen tersebut sebaik seperti saat baru pada waktu nol dan normal pada waktu t". Intensitas kegagalan sistem pada dasarnya adalah disebabkan karena kegagalan suatu komponen di dalam sistem. Besarnya intensitas kegagalan sistem pada waktu t,  $\lambda_s(t)$  adalah:

$$\lambda_s(t) = \frac{\omega(t)}{1 - Q(t)} \dots\dots\dots(11)$$

dengan:

$\omega(t)$  = Frekuensi Kegagalan pada waktu t.

$Q(t)$  = Ketidak-tersediaan pada waktu t

Catatan = Nilai  $\lambda_s(t)$  yang besar berarti komponen hampir gagal

▪ **Jumlah kegagalan diharapkan**

Jumlah kegagalan diharapkan system pada usia kerja t mengikuti:

$$W(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt \dots\dots\dots(12)$$

dengan:

$W(t_1, t_2)$  = Jumlah kegagalan diharapkan sepanjang interval waktu  $(t_1, t_2)$  dengan pertimbangan bahwa komponen sebaik ketika masih baru pada waktu nol

$\omega(t)$  = Frekuensi Kegagalan pada waktu  $t$  (Intensitas Kegagalan Tak-kondisional), atau Frikueni Kegagalan Sistem

**Catatan:**  $W(0, t)$  komponen tak dapat perbaikan adalah sama dengan  $F(t)$  (Ketidak-andalan) dan pendekatan satuan seperti  $t$  menjadi lebih besar.  $W(0, t)$  komponen dapat perbaikan dengan  $t$  tak terbatas

Frekuensi kegagalan tidak sama dengan laju kegagalan dan adalah probabilitas kegagalan per satuan waktu pada usia waktu  $t$ , tidak tergantung dari kegagalan yang terjadi pada waktu  $t$ . Pada sisi lain laju kegagalan adalah laju kegagalan kondisional tidak pernah terjadi sebelum waktu  $t$ .

Assumsi model laju kegagalan sistem diberikan oleh:

$$\lambda(t) = \frac{\omega(t)}{1 - Q(t)} = \frac{1}{MTBF} \dots\dots\dots (13)$$

dengan:

$\lambda(t)$  = Laju Kegagalan pada waktu  $t$

$\omega(t)$  = Frikueni kegagalan pada waktu  $t$  (Intensitas Kegagalan Tak-Kondisional).

Kegagalan Antara Waktu Rerata Sistem (MTBF Mean Time Between Failures)

$$MTBF = \frac{1}{W(0,t)} = MTTF + MTTR \dots\dots\dots (14)$$

dengan:

MTBF = Kegagalan Antara Waktu Rerata

Nilai waktu diharapkan antara dua kegagalan berurutan.

$W(0, t)$  = Jumlah Kegagalan Diharapkan pada interval  $(0, t)$  dengan pertimbangan bahwa komponen sebaik saat baru pada waktu nol.

Menggunakan metode kuantifikasi Esary-Proschan Frikueni Kegagalan sistem diperoleh dengan menerapkan:

$$\omega_{sys} = \sum_{i=1}^n \omega_{cutset_i} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (1 - Q_{cutset_j}) \dots\dots\dots (15)$$

dengan:

$\omega_{sys}$  = Frikueni Kegagalan sistem;  $\omega_{CutSet_i}$  = Frikueni Kegagalan *cut set*  $i$

$Q_{CutSet_j}$  = Ketidak-tersediaan *cut set*  $j$ ;  $n$  = Jumlah cut sets

Dengan metode kuantifikasi Rare, Frikueni Kegagalan sistem diperoleh dengan menerapkan:

$$\omega_{sys} = \sum_{i=1}^n \omega_{cutset_i} \dots\dots\dots(16)$$

dengan:

- $\omega_{sys}$  = Frikkuensi Kegagalan Sistem
- $\omega_{CutSet_i}$  = Frikkuensi Kegagalan cut set i
- n = Jumlah cut sets

▪ **Data Keandalan Sistem**

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan data operasi dan pemeliharaan RSG-GAS mulai dari teras 35 hingga 77, yaitu untuk periode. Sistem yang dipilih untuk bahan studi ini adalah sistem pendingin primer (JE 01), sistem ventilasi tekanan rendah (KLA 40) dan sistem ventilasi “Venting System” (KLA 60). Contoh bentuk laporan tentang tugas pemeliharaan (perawatan) disusun seperti Tabel 1.<sup>[3]</sup>

**Tabel 1. Pemeliharaan sistem/komponen RSG GAS Teras 38**

NO	Tanggal terjadi gangguan	SISTEM	KOMPONEN	URAIAN GANGGUAN	STATUS PERBAIKAN
1	03-08-00	PA	-	Pompa sekunder PA 02 tidak dapat dioperasikan, karena terminalnya rusak (short)	Selesai
2	04-08-00	PA 03	AP 001	PA 03 AP 001 tiba-tiba mati, kemungkinan berasal dari CP 001=0,13 bar. Waktu start operasi PA 03 AP 001 CP 001= 0,15 bar. Kemungkinan filter mekanik kotor.	Selesai
dst	dst	dst	dst	dst	dst

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pertama yang dapat langsung diperoleh dari dokumen LAPORAN OPERASI REAKTOR RSG-GAS TERAS 35 sampai dengan TERAS 77 adalah:

Lama Padam, LP = 66.151,07 Jam

Lama Operasi, LO = 44,807,85 Jam,

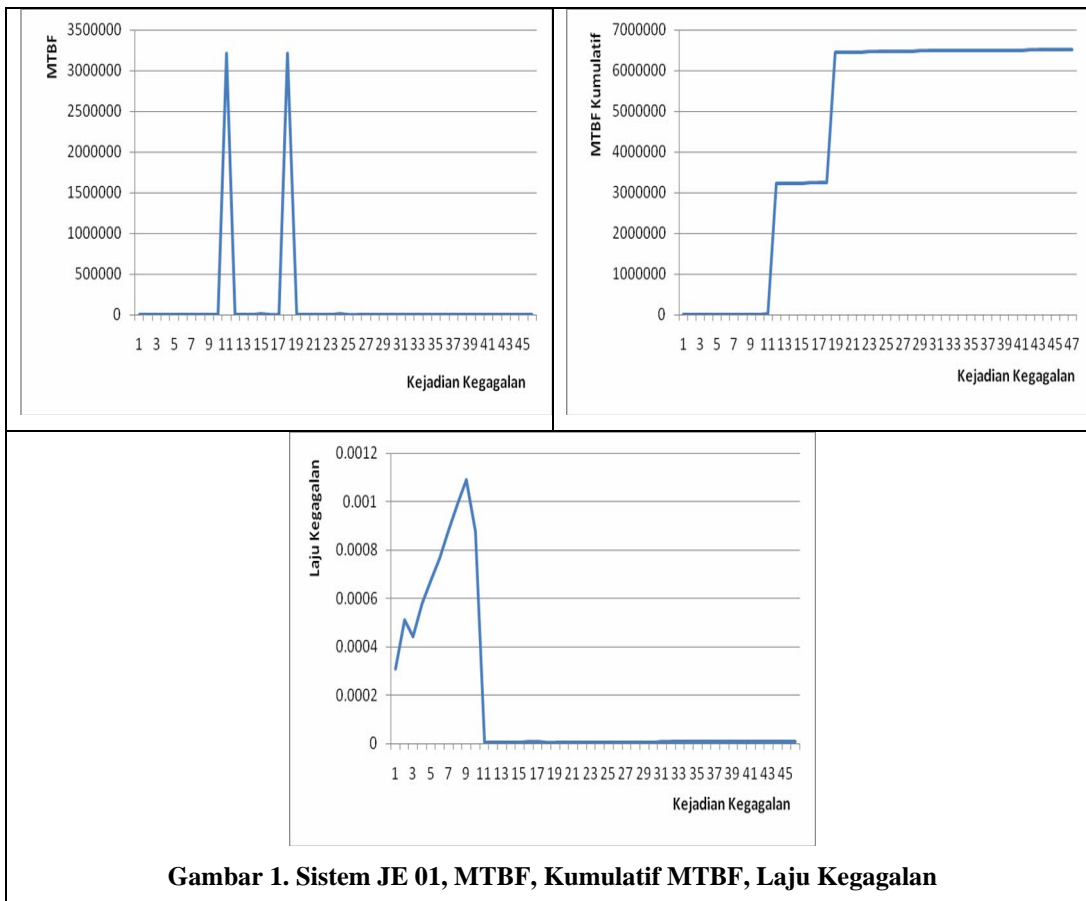
dengan asumsi bahwa setiap kegagalan komponen akan menyebabkan kegagalan sistem. Berdasarkan catatan waktu untuk setiap kegagalan komponen maka selisih waktu antara dua kegagalan dinyatakan dengan waktu rerata antara kegagalan (MTBF), dan laju kegagalan dapat dihitung sesuai dengan Persamaan 13. Untuk ketiga sistem yang ditinjau diperoleh bahwa MTBF

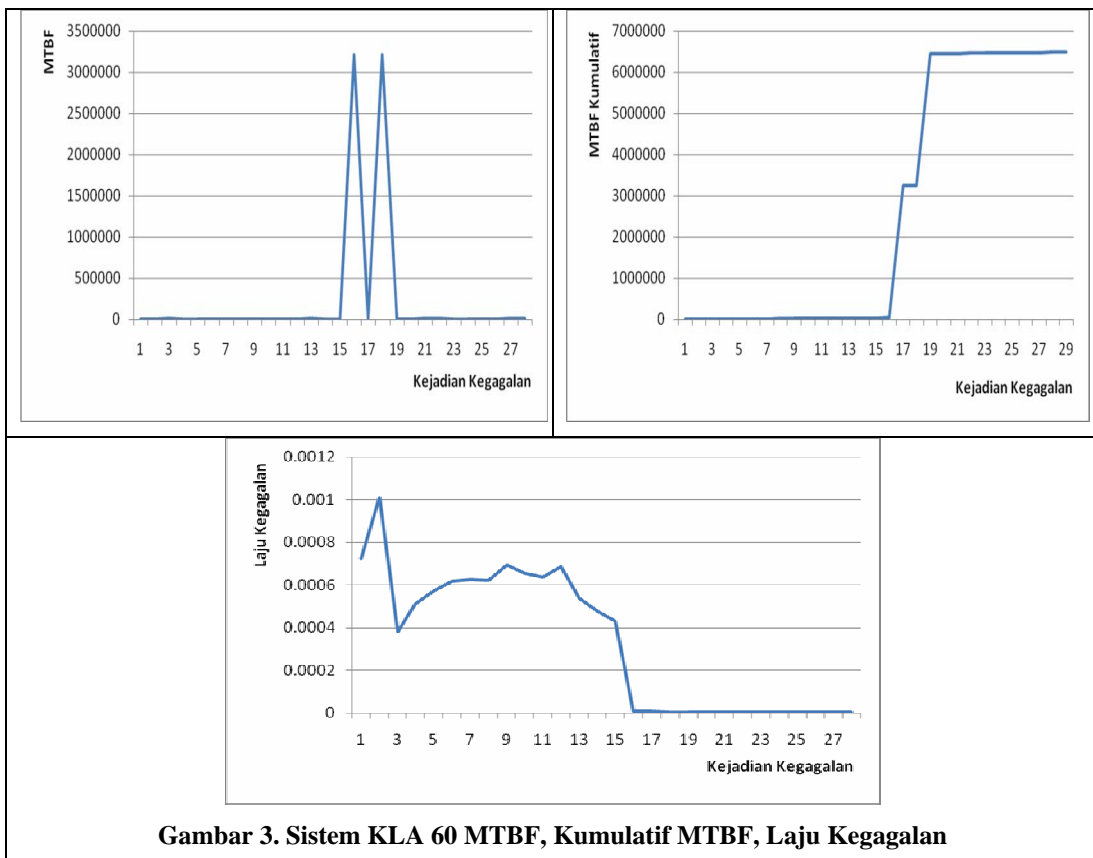
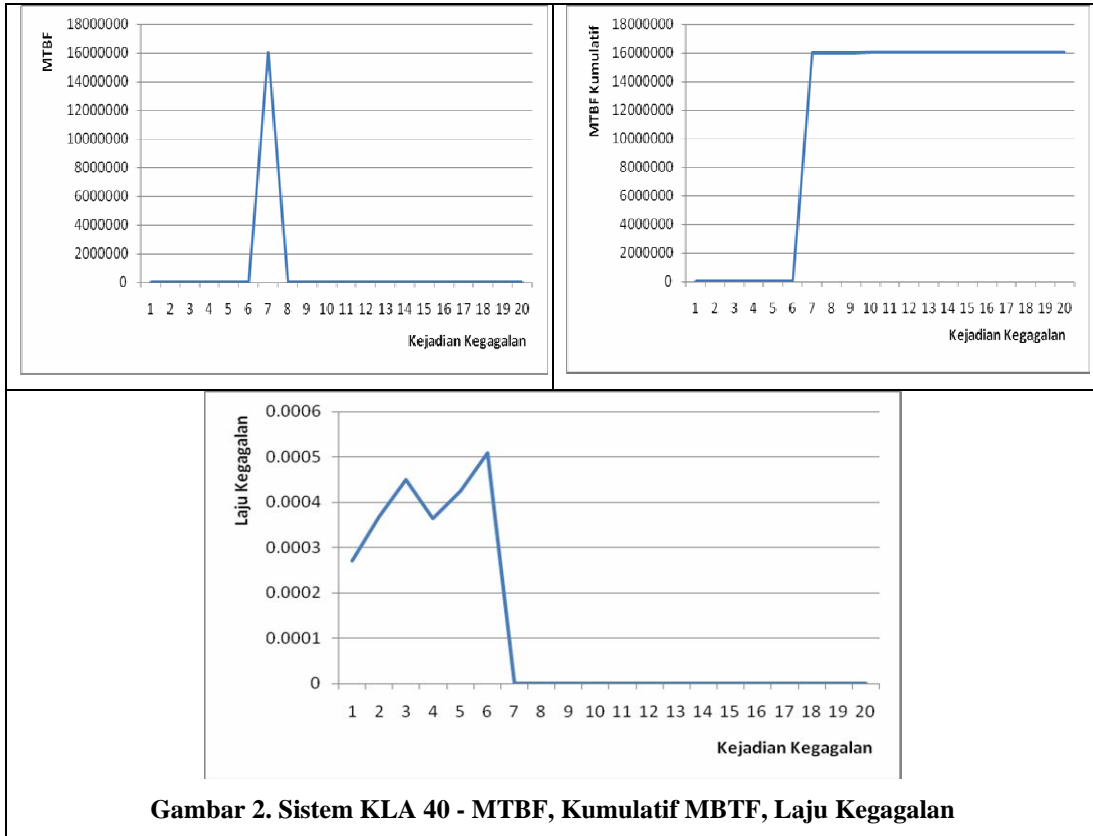
dan laju kegagalan seperti disajikan pada Gambar 3, 4, dan 5, dengan hasil rerata yang diperoleh adalah tertulis pada Tabel 2:

**Tabel 2: Ringkasan hasil perkiraan MTBF dan Laju Kegagalan**

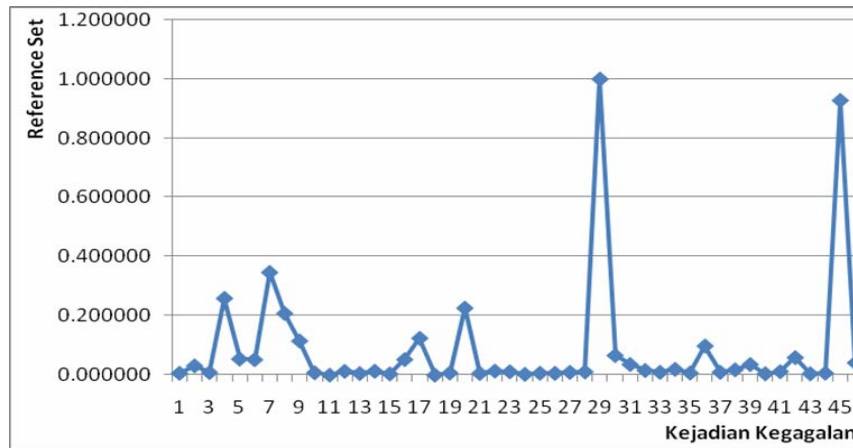
NO	SISTEM	MTBF	LAJU KEGAGALAN
1	JE 01	141416,6087	7,07131E-06
2	KLA 40	804343,2	1,24325E-06
3	KLA 60	231978,8571	4,31074E-06

Perilaku kegagalan pada ketiga sistem tidak sama, MTBF kegagalan yang terpanjang pada ketiga sistem adalah: untuk sistem JE01 pada kegagalan JE014101 dan JE015001, untuk sistem KLA 40 pada kegagalan KL405901, sedangkan untuk sistem KLA 60 adalah pada kegagalan KLA605001 dan KLA605501. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi terjadinya gangguan atau kegagalan tidak dengan waktu yang relatif konstan. Sebagai konsekuensinya laju kegagalan sistem juga tidak seragam dan cenderung pada periode teras 35 hingga ke 55 bervariasi dan pada priode selanjutnya konstan, Gambar 1, 2, dan 3 dengan absis adalah kejadian kegagalan dan ordinat besaran fungsi analitis keandalan.

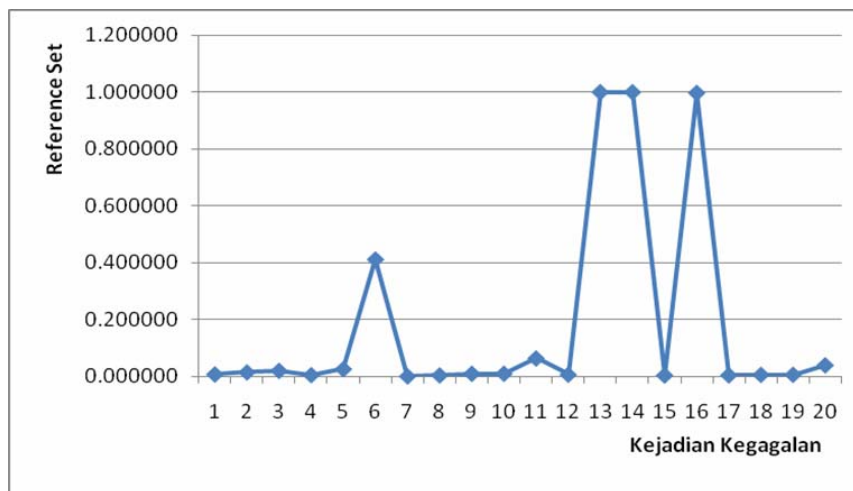




Sesuai dengan hasil perhitungan dengan metode DEA untuk satu input yaitu nilai MTBF yang secara langsung akan menghasilkan ketidak tersedia sistem atau sistem tidak beroperasi sedemikian sehingga dapat dipertimbangkan satu output lamanya jam operasi (LO). Sebagai hasil diperoleh bahwa untuk ketiga sistem *reference set* bersesuaian adalah JE016602 (Meter RPS tidak respon), KLA404004 (KL 40 AA 006 Fault tidak dapat direset), KLA603705 (KLA 60 AN 001 tidak normal, v-belt kendor), lihat Gambar 4, 5 dan 6 dengan absis adalah kejadian kegagalan dan ordinat besaran DMU.

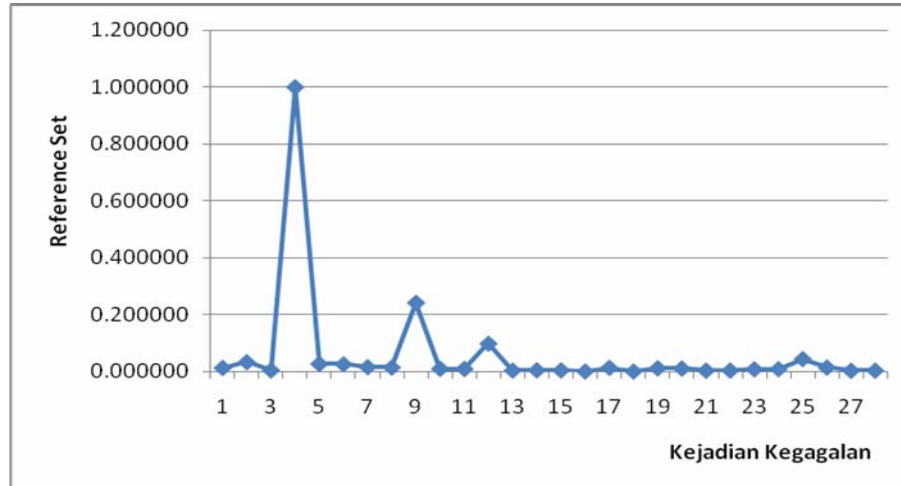


Gambar 4. Sistem JE 01, dengan *reference set* JE016602 (Meter RPS tidak respon)



Gambar 5. Sistem KLA 40, dengan *reference set* KLA404004 (KL 40 AA 006 Fault tidak dapat direset)





**Gambar 6. Sistem KLA 60, dengan *reference set* KLA603705 (KLA 60 AN 001 tidak normal, *v-belt* kendor)**

## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa laju kegagalan rerata yang diperoleh adalah  $4,2E-06$  dan bersesuaian dengannya ketersediaan sistem adalah  $0,948901$ . Menggunakan pendekatan, DEA sebagai *reference set* untuk meningkatkan ketersediaan, adalah JE016602 (Meter RPS tidak respon), KLA404004 (KL 40 AA 006 Fault tidak dapat direset), KLA603705 (KLA 60 AN 001 tidak normal, *v-belt* kendor).

Pada ketiga sistem yang dipertimbangkan, yaitu sistem pendingin primer, sistem ventilasi tekanan rendah, dan sistem ventilasi sistem venting diperoleh bahwa perilaku kegagalan komponen pada teras 35 hingga 55 sangat bervariasi dan sesudahnya relatif konstan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. VESELY, W.E., Approaches for Age-Dependent Probabilistic Safety Assessments With Emphasis on Prioritization and Sensitivity Studies, NUREG/CR-5587, SAIC-92/1137, Science Applications International Corporation, Dublin, USA, 1992.
- [2]. VOLKANOVSKI, A., The Methode for Assessment of Aging Based on the Result of PSA, International Conference Nuclear Energy for New Europe 2010, September 6-9, Portoroz, Slovenia, 2010. Simola, K, Reliability Methodes in Nuclear Power Plant Ageing Management, VTT Publications 379, Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1999
- [3]. PRSG, BATAN, Laporan operasi Reaktor RSG-GAS, Teras 35 s.d 77
- [4]. COOPER, WILLIAM, W., ET. AL., Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses, With DEA-Solver Software and References, Springer, USA, 2006

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN: (Edi Marzuki, FT-UIKA Bogor)**

- Apakah perbedaan modus kegagalan dipertimbangkan, termasuk adanya beberapa jenis komponen pada setiap sistem yang dipertimbangkan?

***JAWABAN: (Johnny Situmorang, PTRKN-BATAN)***

- *Pada studi ini, yang ingin dikenali adalah kegagalan sistem tanpa mempertimbangkan kegagalan oleh komponen tertentu yang mana sehingga sistem gagal melakukan fungsinya. Dengan alasan ini pada studi ini modus kegagalan tidak dipertimbangkan sebagai bahan analisis.*