

STUDI *RELIABILITY*, *AVAILABILITY* DAN *MAINTAINABILITY* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS PAYO SILINCAH UNIT 1 JAMBI

Rhivki Habibiensyah, Eddy Warman
Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: cucut66@yahoo.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) memiliki beberapa komponen utama antara lain Kompresor, Turbin Gas, Kombuster dan Generator yang dalam operasinya menggunakan peralatan yang telah terintegrasi antara satu dengan yang lain. Namun, selama unit PLTG itu beroperasi sering terjadi beberapa permasalahan proses produksi. Dari paper ini didapat nilai keandalan terburuk terdapat pada komponen *Pressure Gauge* sebesar $8.63E-30$, *availability* terburuk terdapat pada komponen *Inlet Air Filter* sebesar 0.99927 dan *maintainability* terburuk terdapat pada komponen *exciter* selama 23 jam.

Kata Kunci: *Reliability*, *Maintainability*

1. Pendahuluan

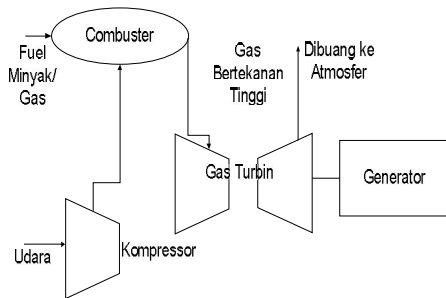
Dalam proses menghasilkan energi listrik, Pembangkit Listrik Tenaga Gas memiliki beberapa komponen utama antara lain Kompresor, Turbin Gas, kombuster dan Generator. Semua komponen tersebut terintegrasi menjadi satu kesatuan sistem unit yang bekerja untuk dapat menghasilkan listrik. Dalam proses produksinya, unit PLTG sangat dipengaruhi oleh evaluasi kinerja dari setiap komponen komponen yang terlibat di dalam unit PLTG tersebut. Permasalahan yang sering terjadi dalam unit PLTG ini yaitu kegagalan start pada saat unit PLTG akan dioperasikan. Kegagalan start tersebut terjadi dikarenakan adanya kegagalan ataupun kerusakan pada komponen-komponen yang ada didalam unit PLTG. Dimana dampak dari kegagalan tersebut dapat menyebabkan unit PLTG mengalami trip dan tidak dapat melakukan produksi listrik. Dari sinilah timbul gagasan untuk melakukan evaluasi kinerja unit PLTG ini dari segi keandalannya. Dimana keandalan PLTG ini berkaitan dengan frekuensi waktu kegagalan komponen-komponen pada saat melakukan start dan pada saat proses produksi listrik. Sementara itu keandalan juga sangat berkaitan dengan

faktor *maintainability* dan *availability* yang berguna untuk mengetahui *lifetime* komponen dan perkiraan waktu dari suatu komponen untuk dilakukan *maintenance* ataupun penggantian komponen.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Prinsip kerja dari sebuah PLTG Mula-mula udara dari atmosfer ditekan didalam kompresor hingga temperature dan tekanannya naik dan proses ini biasa disebut dengan proses kompresi dimana sebagian udara yang dihasilkan ini digunakan sebagai udara pembakaran dan sebagiannya digunakan untuk mendinginkan bagian-bagian turbin gas. Didalam ruang bakar sebagian udara pembakaran tersebut akan bercampur dengan bahan bakar yang diinjeksikan kedalamnya dan dipicu dengan *spark plug* akan menghasilkan proses pembakaran hingga menghasilkan gas panas (energi panas) dengan temperature dan tekanan yang tinggi, dari energi panas yang dihasilkan inilah kemudian akan dimanfaatkan untuk memutar turbin dimana didalam sudu-sudu gerak dan sudu-sudu diam turbin, gas panas tersebut temperature dan tekanan

mengalami penurunan dan proses ini biasa disebut dengan proses ekspansi. Selanjutnya energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk memutar generator hingga menghasilkan energi listrik [1].

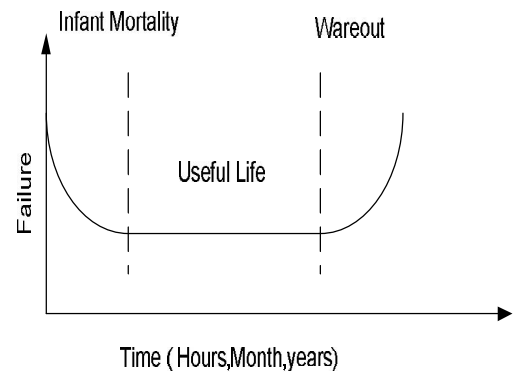


Gambar 1. Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Gas [2]

Gambar 1 diatas menjelaskan bahwa Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) mempunyai beberapa peralatan utama sebagai berikut:

- Turbin gas adalah turbin dengan gas sebagai fluida kerjanya gas diperoleh dari pembakaran bahan bakar cair yang mudah terbakar. Kompresor adalah alat yang digunakan untuk mengkompresikan udara dengan jumlah yang besar untuk keperluan pembakaran, pendinginan dan lain-lain [3].
- Kompresor yang digunakan adalah jenis aksial dengan 17 tingkat yang seporos dengan turbin. Untuk melakukan proses kompresi, kompresor memerlukan tenaga yang sangat besar. Tenaga untuk memutar kompresor $\frac{3}{4}$ dari gaya yang dihasilkan oleh turbin. Karena pembebanan pada PLTG bervariasi maka jumlah udara yang masuk melalui filter diatur oleh *Inlet Guide Vanes* (IGV).
- Combustion Chamber* adalah ruangan tempat proses terjadinya pembakaran. Ada turbin gas yang mempunyai satu atau dua *Combustion Chamber* yang letaknya terpisah dari *casing* turbin, akan tetapi yang lebih banyak dijumpai adalah memiliki *Combustion Chamber* dengan beberapa buah *Combustion basket*, mengelilingi sisi masuk (*Inlet*) turbin.
- Generator adalah alat untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik.

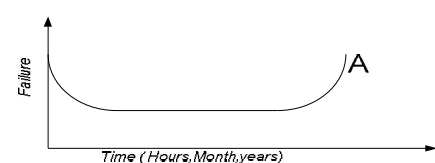
Generator menghasilkan energi listrik dengan digerakkan atau diputar oleh suatu penggerak mula (*Prime Mover*) [4].



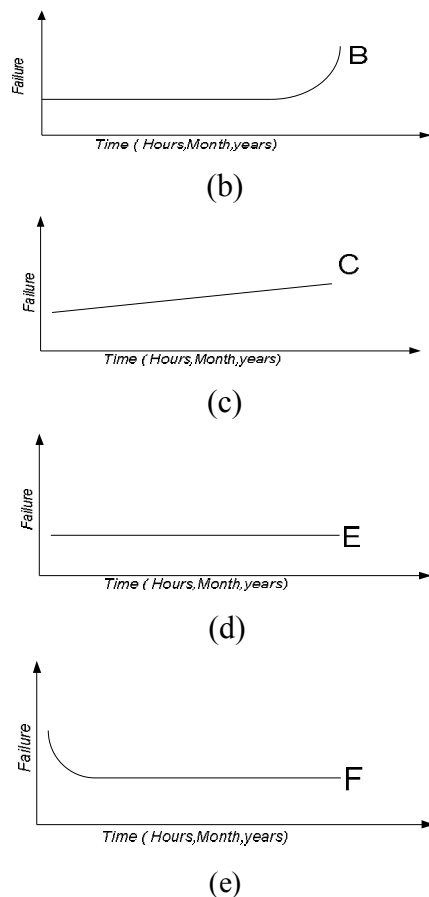
Gambar 2. Kurva Bathub

Secara umum konsep *reliability* dapat digambarkan dalam *bathtub curve* pada gambar 2. Untuk menjelaskan siklus hidup komponen, nama kurva tersebut disesuaikan dengan bentuk kurva sebagai berikut:

- Infant Mortality Stage*: pada tahap awal pengembangan produk, terdapat beberapa part, material, proses yang tidak terantau oleh bagian *quality control*. Item yang tidak standard ini kemudian rusak lebih cepat dari pada total waktu hidup produk. Saat masalah ini muncul dan perlahan diperbaiki, tingkat kerusakan populasi akan menurun dan menstabilkan populasi. *On Average Stage*: saat stabilisasi populasi selesai, laju kerusakan produk menjadi konstan. Namun, kita tidak dapat memprediksikan secara pasti kapan kerusakan terjadi karena terjadinya kerusakan tersebut secara random.
- Aging and Wearout Stage*: saat masa pemakaian produk meningkat, beberapa mekanisme kegagalan potensial dapat terjadi namun tidak secara random. Faktanya, kerusakan tersebut berdasarkan waktu atau siklus dan mengarah pada penuaan dan keausan. Dengan demikian, laju kerusakan akan mulai naik dan umur pakai produk mendekati akhir.



(a)



Gambar 3. Kurva (a-e) adalah Variasi Kurva Bathub

Kurva-kurva pada gambar 3 diatas terbagi ke dalam kelompok-kelompok sesuai dengan persentase kerusakan[5] sebagai berikut:

1. Hanya sekitar 3-4% yang sebenarnya mencerminkan konsep kurva bathtub tradisional (kurva A).
2. Sekitar 4-20% komponen mengalami karakteristik proses penuaan atau aus (*aging*) selama masa pakai (kurva A, B, C).
3. Sebaliknya, 77-92% komponen tidak menunjukkan mekanisme keausan atau penuaan selama masa pakai (D, E, F).

3. Metode Kuantitatif

Metode kuantitatif merupakan metode analisa yang dilakukan secara perhitungan matematis. Metode ini dapat dilakukan melalui perolehan data perawatan (*maintenance record*) terhadap waktu kegagalan (*time to failure*) dan waktu perbaikan (*time to repair*) dari suatu komponen atau sistem. Keandalan dari suatu komponen atau sistem adalah probabilitas untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat

melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t) atau lebih.

Pada tahap ini, data-data yang diperoleh akan diolah secara kuantitatif. Data yang digunakan adalah data *maintenance* yang berupa data kegagalan dan perbaikan komponen-komponen unit PLTG. Pengolahan data secara kuantitatif tersebut Menggunakan Software Weibull ++6. Untuk menghitung keandalan suatu komponen langkah pertama harus mengetahui model probabilitas kegagalan komponen tersebut yang dinyatakan dengan distribusi statistik[6].

Distribusi *weibull* telah digunakan secara luas dalam teknik keandalan. Keuntungan dari distribusi ini adalah bisa digunakan untuk variasi data yang luas.

Karakteristik distribusi *weibull* adalah:

- a. Fungsi keandalan distribusi *weibull* ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

- b. Laju kegagalan distribusi *weibull* ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2)$$

- c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (3)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi eksponensial maka:

- a. Fungsi keandalan distribusi eksponensial ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (4)$$

- b. Laju kegagalan distribusi eksponensial ditunjukkan pada Persamaan (5).

$$\lambda(t) = \lambda \quad (5)$$

- c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi eksponensial ditunjukkan pada Persamaan (6).

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

dimana:

R(t) : Fungsi keandalan terhadap waktu
 $\lambda(t)$: Laju kegagalan terhadap waktu

$$MTTR = \gamma + \frac{1}{\mu} \tag{14}$$

Maintainability didefinisikan sebagai kemampuan suatu komponen dalam kondisi pemakaian tertentu, untuk dirawat atau dikembalikan ke keadaan semula dimana komponen itu dapat menjalankan fungsi yang diperlukan, jika perawatan dilakukan dalam kondisi tertentu dan dengan menggunakan prosedur dan sumber daya yang sudah ditentukan. Bentuk persamaannya adalah:

- a. Persamaan *maintainability* untuk distribusi weibull ditunjukkan pada Persamaan (7).

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{7}$$

- b. Persamaan *maintainability* untuk distribusi lognormal ditunjukkan pada Persamaan (8).

$$M(t) = \int_0^\beta \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \tag{8}$$

- c. Persamaan *maintainability* untuk distribusi normal ditunjukkan pada Persamaan (9).

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \tag{9}$$

- d. Persamaan *maintainability* untuk distribusi eksponensial ditunjukkan pada Persamaan (10).

$$M(t) = 1 - e^{-\mu(t\gamma)} \tag{10}$$

Sedangkan untuk Persamaan waktu rata-rata perbaikan untuk beberapa distribusi ditunjukkan pada Persamaan (11-14) berikut:

- a. Distribusi *Weibull*.

$$MTTR = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \tag{11}$$

- b. Distribusi Lognormal.

$$MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \tag{12}$$

- c. Distribusi Normal.

$$MTTR = \mu \tag{13}$$

- d. Distribusi Eksponensial.

Availability didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sebuah komponen akan tersedia saat dibutuhkan (dengan berbagai kombinasi aspek-aspek keandalannya, kemampuan perawatan dan dukungan perawatan), atau proporsi dari total waktu bahwa sebuah komponen tersedia untuk digunakan. *Availability* dari sebuah sistem dapat diekspresikan kedalam Persamaan (15) berikut:

$$A_i = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \tag{15}$$

Secara practical, *availability* A(t) yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan Persamaan (16).

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right) - \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right] \tag{16}$$

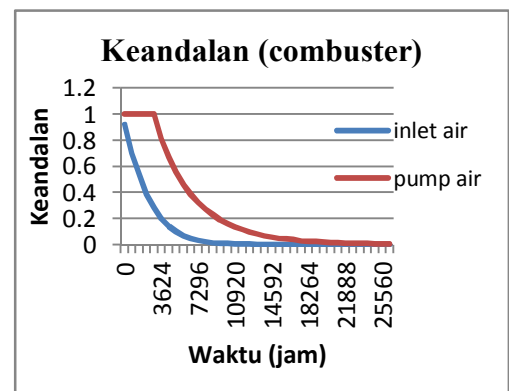
dimana:

MTTF : *Mean Time To Failure*

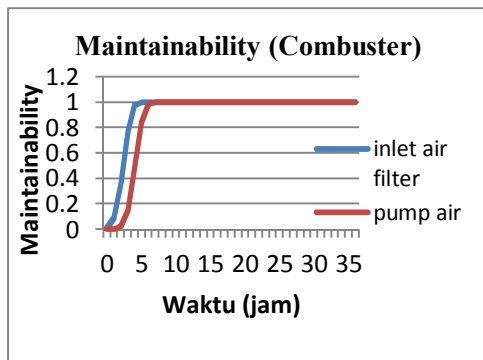
MTTR : *Mean Time To Repair*

4. Hasil Perhitungan

Berikut adalah grafik salah satu hasil analisa pada komponen PLTG yang diperoleh dari Persamaan (1-16).



Gambar 4. Grafik Keandalan Kombuster

Gambar 5. Grafik *Maintainability* Kombuster

Grafik 4 dan 5 diatas menjelaskan keandalan dan *maintainability* setiap komponen-komponen pendukung unit PLTG yang memiliki nilai keandalan dan *maintainability* yang berbeda. Ini bisa dilihat dari grafik-grafik tersebut bahwa nilai keandalan setiap komponen semakin lama akan semakin menurun hingga waktu operasional tertentu mencapai nilai 0 %. Untuk nilai *maintainability* setiap komponennya semakin lama akan semakin naik, hal itu dikarenakan semakin lama waktu perawatan komponen maka tingkat kualitas kerja komponen-komponen unit PLTG akan semakin baik. Hasil dari perhitungan untuk semua komponen dapat disimpulkan pada Table 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Keseluruhan Komponen

No	Komponen	R (t)	A(i)	M(t)
1	Turning	0.02839	0.99937	12 jam
2	Exciter	0.04884	0.99959	23 jam
3	Auxiliary	0.05357	0.99977	12 jam
4	Main Pump	0.14417	0.99971	13 jam
5	Control Card Prosesor	0.00436	0.99968	8 jam
6	Transducer	0.00985	0.99952	5 jam
7	Card ds 200	0.08255	0.99992	1 jam
8	Card I/O TCCA	0.02565	0.99991	1 jam
9	Card Speed Tronik	0.04332	0.99988	1 jam
10	Card TCPS	0.04405	0.99988	1 jam

11	Fuse	0.00679	0.99965	2 jam
12	Solenoid Valve	0.00195	0.99965	5 jam
13	Pressure Switch	2.50E-05	0.99976	3 jam
14	Pressure Gauge	8.63E-30	0.99999	5 jam
15	Termocouple TTWS	0.083451	0.99946	7 jam
16	Termocouple TTXD	0.04683	0.99982	15 jam
17	Termocouple TCDA TCIF	0.20847	0.99990	22 jam
18	Inlet Air Filter	9.79E-07	0.99927	6 jam
19	Pump Air Filter	0.004449	0.999983	9 jam

Hasil pada Table 1 diatas dapat dibandingkan dengan menggunakan teori bathub sehingga disimpulkan bahwa sekitar 47% komponen memiliki status *Infant Mortality stage* dan 53 % *Aging and Wareout stage* yang disimpulkan pada Table 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Perbandingan dengan Teori Bathub

No	Komponen	Teori Bathub
1	Turning	<i>Aging and Wareout Stage</i>
2	Exciter	<i>Aging and Wareout Stage</i>
3	Auxiliary	<i>Infant Mortality Stage</i>
4	Main Pump	<i>Infant Mortality Stage</i>
5	Control Card Prosesor	<i>Infant Mortality Stage</i>
6	Transducer	<i>Aging and Wareout Stage</i>
7	Card ds 200	<i>Aging and Wareout Stage</i>
8	Card I/O TCCA	<i>Infant Mortality Stage</i>
9	Card speed tronik	<i>Aging and Wareout Stage</i>
10	Card TCPS	<i>Aging and Wareout Stage</i>
11	Fuse	<i>Aging and Wareout Stage</i>

12	<i>Solenoid Valve</i>	<i>Infant Mortality Stage</i>
13	<i>Pressure Switch</i>	<i>Infant Mortality Stage</i>
14	<i>Pressure Gauge</i>	<i>Infant Mortality Stage</i>
15	<i>Termocouple TTWS</i>	<i>Aging and Wareout Stage</i>
16	<i>Termocouple TTXD</i>	<i>Aging and Wareout Stage</i>
17	<i>Termocouple TCDA TCIF</i>	<i>Aging and Wareout Stage</i>
18	<i>Inlet Air Filter</i>	<i>Infant Mortality Stage</i>
19	<i>Pump Air Filter</i>	<i>Infant Mortality Stage</i>

5. Kesimpulan

Adapun hasil pembahasan dari penelitian ini adalah:

1. *Exhaust Damper* memiliki nilai keandalan terendah yaitu pada komponen *Pressure Gauge*.
2. Hanya pada kompresor yang memiliki nilai konstan pada semua komponennya (*infant mortality stage*).
3. Nilai ketersediaan terendah terdapat pada komponen kombuster (*Inlet Air Filter*) karena seringnya terjadi kerusakan.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ayahanda (Musadat) Ibunda (Ernimayeti) selaku orang tua penulis, Ir. Eddy Warman selaku dosen pembimbing, juga Ir. Syamsul Amien, M, Si, Ir. Surya tarmizi Kasim, M, Si dan Ir. Raja Harahap, MT selaku dosen penguji penulis yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan paper ini, serta teman-teman penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

7. Referensi

- [1]. PT. PLN (PERSERO), "*Pengatur Operasi Sistem*", Semarang, 2008.
- [2]. Djiteng Marsudi, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*", Graha Ilmu, 2006
- [3]. Djiteng Marsudi, "*Pembangkitan Energi Listrik*", Erlangga, 2011

- [4]. Dr. Suyitno M., M.Pd. "*Pembangkit Energi Listrik*", Rineka Cipta
- [5]. Ebeling, Charles E. "*An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*", The McGraw-Hill Companies, Singapore, 1997.
- [6]. Anugrah Okta Wisandiko, "*Analisa keandalan, Keamanan dan Manajemen Resiko Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Blok 2.2 di PLTGU PT. PJB UP Gresik*". Teknik Fisika Fakultas Teknik ITS, Surabaya, 2011.