

RELIABILITY MODELLING DESALINATION PLANT #1**PT PLN NUSANTARA POWER UNIT PEMBANGKITAN GRESIK**Setiawan^{a*}, Eko Sutarto^a^aJurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu, Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No. 1 Mentul Cepu Kab. Blora.*Email: setiawantk.st@gmail.com**Tentang naskah:**

- diterima, 00 Juli. 2025
- direview, 00 Juli 2025
- diterbitkan, 00 Juli 2025

Kata kunci:

*Desalination Plant,
Keandalan, Manajemen
Risiko, Weibull,
Pembangkit Listrik*

Intisari

Desalination Plant adalah bagian penting dalam proses produksi listrik yang ada di PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Gresik. Desalination Plant ini digunakan untuk mengubah air laut menjadi air tawar. Air tawar ini akan digunakan sebagai air pengisi dan air pendingin baik di PLTU maupun di PLTGU. Oleh karena itu keandalan Desalination Plant harus tetap terjaga, agar listrik tetap bisa tersalurkan ke masyarakat Indonesia terutama pulau Jawa. Dengan adanya keandalan Desalination Plant, dapat direncanakan program kerja yang sesuai dengan kondisi peralatan Desalination Plant. Untuk menghitung keandalan Desalination Plant, digunakan Pemodelan Weibull dan Monte Carlo. Keandalan Desalination Plant 1 mendekati (22%) setelah 2.000 jam operasi. Karena di lapangan sistem Desalination Plant 1 dibangun berdampingan dengan Desalination Plant 2 dan 3 yang secara sistem bersifat paralel, sehingga real keandalan sebetulnya lebih tinggi. Keandalan peralatan Desalination Plant #1 PLTGU yang paling rendah pada jam operasi 2.000 jam adalah Chemical Injection sebesar 71%. Hasil analisis ini memenuhi ketentuan yang tercantum pada SK Manajemen Risiko PT PLN Nusantara Power.

Abstract

Desalination Plant is an important part of the electricity production process at PLN Nusantara Power Unit Generating Gresik. This Desalination Plant is used to convert seawater into fresh water. This fresh water will be used as filler water and cooling water both in the PLTU and in the PLTGU. Therefore, the reliability of the Desalination Plant must be maintained, so that electricity can continue to be distributed to the people of Indonesia, especially in Java. With the reliability of the Desalination Plant, a work program can be planned that is in accordance with the condition of the Desalination Plant equipment. To calculate the reliability of the Desalination Plant, Weibull and Monte Carlo Modeling are used. The reliability of Desalination Plant 1 is close to (22%) after 2,000 hours of operation. Because in the field the Desalination Plant 1 system is built side by side with Desalination Plants 2 and 3 which are parallel in system, so the actual reliability is actually higher. The lowest reliability of Desalination Plant #1 PLTGU equipment at 2,000 hours of operation is Chemical Injection at 71%. The results of this analysis meet the provisions stated in the PT PLN Nusantara Power Risk Management Decree

Keyword:

*Desalination Plant,
Reliability, Enterprise Risk
Management, Weibull,
Power Plant*

1. Pendahuluan

PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Gresik dengan jumlah pembangkit sebanyak 21 unit, 4 tipe pembangkit terdiri atas; PLTMG, PLTG 1, PLTG 2, PLTU 1, PLTU 2, PLTU 3, PLTU 4 dan PLTGU yang terdiri atas 3 blok (konfigurasi 1 blok PLTGU yaitu 3 gas turbine dan 1 steam turbine). dilihat dari umur pembangkit semua unit di PT PLN Nusantara Power UP Gresik mempunyai umur yang memasuki masa life time, dimana unit yang paling muda adalah PLTGU dengan commissioning dilakukan tahun 1993-1994. Terdapat sejumlah peralatan yang terbagi dalam; peralatan utama (main equipment) dan peralatan bantu (auxiliary equipment) yang masing-masing memiliki disusun seri dan

paralel sehingga nilai reliability setiap peralatan berbeda. Dari tingkat risiko, peralatan-peralatan tersebut memiliki nilai risiko yang berbeda-beda dilihat dari dampak yang diakibatkan apabila terjadi kerusakan (failure). Dengan risiko yang diakibatkan pada setiap peralatan tersebut maka dilakukan mitigasi risiko untuk menentukan mana saja peralatan yang memiliki tingkat risiko paling besar hingga risiko terkecil terjadinya unit trip. Air umpan boiler diambil dari air laut yang diubah menjadi air tawar melalui Desalination Plant. Kebutuhan boiler PLTU saat ini disuplai dari dua unit Desalination Plant yaitu DP#5 dan DP#6 yang bekerja secara paralel dan/atau interchangeable, sedangkan kebutuhan HRSG PLTGU disuplai dari tiga unit Desalination Plant yaitu DP#1 DP#2 dan DP#3.

Namun jika *Desalination Plant* 5/6 gagal menyuplai air, maka terdapat *interconnecting pipe* yang memungkinkan *Desalination Plant* PLTGU untuk mengirim air ke PLTU dan sebaliknya. Namun kondisi keandalan *Desalination Plant* antara PLTU dan PLTGU memiliki tingkatan yang berbeda, sehingga berpengaruh pada keandalan unit PLTU dan PLTGU secara keseluruhan.

Pada saat *Desalination plant* tidak andal (tidak mampu mensuplai air sesuai kebutuhan) mengakibatkan pembangkit tidak dapat beroperasi secara *continue* dan secara ekstrem berdampak pada pemadaman jaringan kelistrikan sistem JAMALI (Jawa Madura dan Bali). Untuk itu diperlukan pemodelan keandalan *Desalination Plant*, yang dibatasi hanya pada sistem *Desalination Plant* # 1.

Pemodelan *reliability* ini menggunakan metode *Weibull* untuk data kerusakan ≥ 8 kejadian yang mengakibatkan *down time* dan *Monte Carlo* jika < 8 kejadian.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kajian Pustaka

Pelaksanaan Penerapan Manajemen Risiko Terintegrasi di PT Pembangkitan Jawa-Bali menjelaskan bahwa analisis risiko adalah proses untuk memahami dan menentukan tingkat suatu risiko berdasarkan dampak dan kemungkinan terjadinya suatu risiko dengan merujuk pada pendekatan secara kualitatif, semi-kuantitatif maupun kuantitatif dan harus didukung data yang relevan (Keputusan Direksi PT Pembangkitan Jawa-Bali nomor 006.K/019/DIR/2022)

Keandalan sistem adalah isu penting pada proses desain dalam meningkatkan keandalan dalam sistem yang dirancang, meliputi; biaya akuisisi yang tinggi, kompleksitas, tuntutan hukum terkait keselamatan, keandalan, dan kualitas, tekanan publik, dan persaingan global. (Dhillon BS, 2006).

Keandalan adalah $R(t) = 1 - Q(t)$, dimana Q adalah laju atau Risiko Kegagalan. Risiko harus di *maintainance* dengan baik sehingga dampak dari kegagalan tersebut tidak meluas, sehingga analisis risiko adalah inti penerapan manajemen risiko. Analisis risiko mengolah semua data dari fase identifikasi risiko yang komprehensif memberikan arahan langkah yang diambil dalam mengelola risiko, kesimpulan, dan rekomendasi lebih solutif menyelesaikan akar permasalahan (ISO 31000:2009).

Penelitian yang dilakukan oleh Marwan et al (2020), dilakukan untuk mengukur sistem keandalan pada jaringan distribusi, *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index*

(SAIDI) adalah indeks yang digunakan untuk mengukur keandalan *system* distribusi tenaga listrik. Nilai SAIDI dan SAIFI akan dibandingkan dengan nilai standar yang digunakan oleh PT PLN (SPLN).

Sihombing et al (2023) telah menganalisis *load of loss probability* (LOLP) keandalan pembangkit listrik tenaga mini hidro *orya-genyem* untuk menganalisis keandalan sistem PLTM berdasarkan indeks LOLP. Penelitian dimulai dengan pengumpulan data sekunder, lalu perhitungan LOLP untuk mendapatkan informasi keandalan. Nilai LOLP PLTM *Orya-Genyem* adalah 0,4204% setara dengan 1,5346 hari/tahun, melebihi standar PLN yaitu 1 hari/tahun. Temuan penelitian mengungkapkan permintaan daya harian meningkat 0,0454 MW setiap peningkatan waktu 1%. Hal ini menunjukkan ketidakandalan pembangkit.

Penelitian Widiastuti et al (2017) ini digunakan untuk melihat apakah sistem ini masih andal untuk menyuplai beban yang diproyeksikan naik sebesar 8,2% per tahun. Ketidakpastian peramalan beban (LFU) merupakan salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan sistem, karena besarnya beban memiliki kecenderungan yang tidak pasti. Makalah ini menggunakan dua skenario: tanpa dan dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban. Indeks keandalan LOLE dan LOLP untuk melakukan evaluasi sistem Jawa-Bali. Berdasarkan hasil penelitian, indeks keandalan LOLE dan LOLP lebih tinggi saat mempertimbangkan LFU.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Surat Keputusan Penerapan Manajemen Risiko

Berdasarkan Surat Keputusan (SK) Direksi PT Pembangkitan Jawa-Bali nomor 006.K/019/DIR/2022 tentang Peraturan Pelaksanaan Penerapan Manajemen Risiko Terintegrasi di PT Pembangkitan Jawa-Bali digunakan sebagai pedoman untuk menilai risiko dengan menggunakan skala dampak maupun kemungkinan. Setelah didapatkan nilai kemungkinan dan dampak, tahap selanjutnya adalah pengkonversian nilai *downtime* dan juga nilai *reliability* ataupun probabilitas dari kegagalan peralatan yang ada di pembangkit. (Tabel 1) memperlihatkan kriteria kemungkinan adopsi dari SK tersebut dengan penguatan pada probabilitas kegagalannya melalui metode kuantifikasi dengan pemodelan *reliability*.

Tabel 1. Kriteria Kemungkinan Risiko Dengan Metode Kuantifikasi

Skala	Tingkat Kemungkinan	Rating	Probabilitas (%)	Nilai Reliability
-------	---------------------	--------	------------------	-------------------

E	Sangat Besar	0,9	> 90	0,1
D	Besar	0,7	70-90	0,1-0,3
C	Sedang	0,5	>30-70	0,3-0,7
B	Kecil	0,1	<10	0,9-1
A	Sangat Kecil	0,1	<10	0,9-1

Data hasil *downtime* digunakan sebagai dasar untuk kriteria kemungkinan dampak. Tabel 2 menunjukkan kriteria dampak dengan metode kuantifikasi (Tabel 2).

Tabel 2. Kriteria Kemungkinan Dampak dengan Metode Kuantifikasi

Kategori/Parameter Risiko	Tidak Signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Malapetaka
Produk & Layanan Supply Tenaga Listrik	Down time ≤3 jam,	Down time: 3÷12 jam	Down time: 12 jam ÷1hari	Down time: 1hari÷1minggu	Down time > 1 minggu

Hasil dari kemungkinan dan dampak dari sebuah peralatan tersebut di *plot*-kan kedalam matrik Risiko (Gambar 1).

Tingkat Kemungkinan	E Sangat Besar D Besar C Sedang B Kecil A Sangat Kecil	Tingkat Dampak				
		1 Tidak Signifikan	2 Minor	3 Medium	4 Signifikan	5 Malapetaka
		Moderat	Moderat	Tinggi	Esktrem	Esktrem
		Rendah	Moderat	Tinggi	Esktrem	Esktrem
		Rendah	Moderat	Tinggi	Tinggi	Esktrem
		Rendah	Rendah	Moderat	Tinggi	Esktrem
		Rendah	Rendah	Moderat	Tinggi	Esktrem

Gambar 1. Matriks Risiko

Matriks Risiko adalah matrik yang dipakai dalam penilaian risiko untuk menentukan tingkatan risiko, sedangkan *Risk appetite* perusahaan adalah berupa risiko-risiko yang dapat diterima/diambil dalam mencapai sasaran yang disahkan oleh Direksi. Secara umum *risk appetite* perusahaan merupakan risiko (*Targeted Residual Risk*) dengan tingkat moderat hingga rendah.

2.2.2 Desalination Plant

Desalination Plant adalah suatu alat yang berfungsi untuk pengolahan air laut menjadi air tawar dengan menggunakan sistem evaporasi dan kondensasi. Air laut dipanaskan, kemudian uapnya didinginkan, sehingga akan didapatkan air tawar. Proses destilasi akan menghasilkan air tawar yang mempunyai konduktivitas sekitar

<10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Spesifikasi *desalination plant* unit 1, 2, dan 3;

Cont. output of water : 1.000 ton/day

Distillate quality:

-Total dissolved solid : < 10 ppm

-Total iron : < 0,2 ppm as Fe

Gain output ratio : 6 kg dist./kg steam

Supply sea water temp. : 30°C

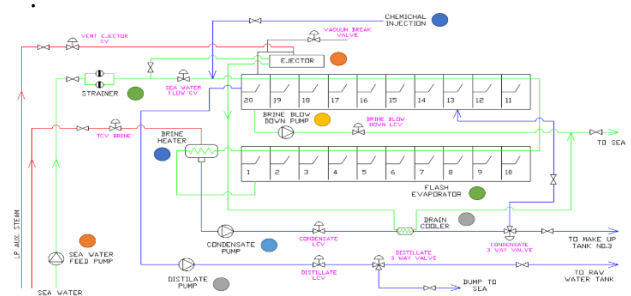
Total dissolved : 45,000 ppm

Top brine temp. : 113°C

Supply steam pressure : 5.5 kg/cm² abs.

Supply steam temp. : 154,7°C

Sistem pengolahan air pada *Desalination Plant* PLTGU dan PLTU sama, yaitu *Multi Stage Flash Desalination Plant*. *flow diagram desalination plant* PLTGU (Gambar 2)



Gambar 2. Flow Diagram Desalination Plant PLTGU

Air laut dari *water intake* dipompa menuju *evaporator* menggunakan *sea water feed pump*, air laut dilewatkan *strainer* untuk menyaring kotoran - masuk *evaporator* lalu diinjeksi dengan *anti foam* dan *anti scaling* melalui *tube-tube condenser evaporator* yang terletak pada sisi atas *stage*. Setelah melewati *tube-tube condenser last stage* (*stage 20*) hingga *first stage*, air laut dipanaskan dalam *brine heater* menggunakan uap yang diambilkan dari *LP Auxiliary Steam Header*. Kondensasi Uap pemanas *brine heater* dipompa oleh *condensate pump* menuju *make up water tank* 3 selama konduktivitasnya <10 μS . Bila konduktivitasnya >10 μS , air kondensat akan dikembalikan ke *evaporator stage 13*.

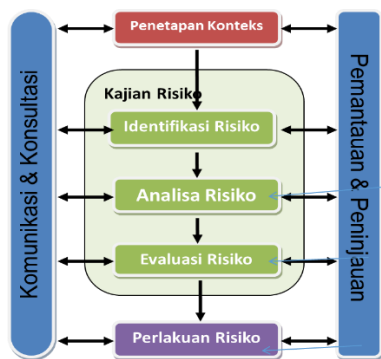


Gambar 3. Desalination Plant Unit 1, 2, dan 3 PLTGU

Setelah keluar dari *brine heater*, air laut masuk ke dalam *stage-stage evaporator* mulai dari *stage* 1 hingga 20. Air laut akan menguap dalam ruangan *evaporator*. Uap airnya akan menyentuh *tube-tube condenser* sehingga uap akan terkondensasi menjadi air *distillate*. Air *distillate* ditampung pada masing-masing *chamber* tiap *stage*. Penampung *distillate* ini dari masing-masing *stage* saling berhubungan. Dari penampung *distillate stage* 20, air *distillate* akan dipompa menuju *raw water tank* dengan syarat konduktivitasnya <10 μS . Apabila >10 μS , air *distillate* akan dibuang ke laut (Gambar 3).

2.1.1 ISO 31000

Sesuai pedoman ISO 31000, *frame work* manajemen risiko adalah (Gambar 4).



Gambar 2. *Frame Work* Manajemen Risiko

Dari Gambar 4, analisis risiko dapat dikatakan sebagai inti penerapan manajemen risiko. Analisis risiko berperan mengolah semua data dari fase identifikasi risiko yang kemudian memberikan arahan langkah apa yang harus diambil dalam mengelola risiko tersebut. Analisis risiko yang bersifat umum hanya memberikan rekomendasi yang sifatnya normatif. Sebaliknya ketika analisis risiko dilakukan secara komprehensif, kesimpulan dan rekomendasinya akan lebih solutif menyelesaikan akar permasalahan. Terdapat 3 metode analisis risiko, yaitu sebagai berikut:

1. *Kualitatif*, yaitu analisis yang hanya menggunakan perkataan untuk menentukan keseringan dan dampak (misalnya tinggi, medium, rendah)
2. *Kuantitatif*, yaitu analisis risiko menggunakan pendekatan data angka, banyak digunakan di industri perbankan dan institusi keuangan yang lain.
3. *Semi kuantitatif*, memberikan nilai pada ranking skala untuk merating dampak dan tingkat keseringan, yang memberikan level risiko. (ISO 31000:2009)

2.2.2 Konsep Reliability (Weibull)

Untuk mengkuantifikasi risiko yang terkait kegagalan peralatan dapat didekati dengan metode *reliability*. *Reliability* adalah tingkat kemungkinan sebuah peralatan dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan pada batas waktu dan kondisi tertentu (Dhillon, 2006).

Secara matematis, *reliability* dapat didekati persamaan (1) dan (2):

$$\lambda(t)dt = -\frac{1}{R(t)} \cdot dR(t) \quad (1)$$

$$\int_0^t \lambda(t)dt = -\int_1^{R(t)} \frac{1}{R(t)} \cdot dR(t)$$

$$\ln R(t) = -\int_0^t \lambda(t)dt$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (2)$$

dengan:

$R(t)$ = *reliability, probability of reliable fungsi waktu*

t = *mission time*

λ = *failure rate*

Paramater penting lain dalam menghitung *reliability* adalah *mean time to failure* (MTTF). MTTF adalah waktu antara peralatan *up* (setelah *downtime* terakhir) hingga periode berikutnya. Secara matematis dapat dituliskan menjadi Persamaan (3) atau (4):

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt, \quad (3)$$

atau

$$MTTF = \int_0^\infty t f(t)dt \quad (4)$$

2.2.3 Konfigurasi Sistem

Untuk sebuah sistem-gabungan beberapa komponen, *reliability* merupakan nilai resultan, tergantung jenis konfigurasinya. Di pembangkit dikenal 3 jenis konfigurasi sistem non-fisik, yaitu; sistem serial, paralel, dan *stand by* (*redundant*). Perhitungan ketiga jenis konfigurasi sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sistem Serial

Pada sistem serial, sistem dikatakan andal jika semua peralatan tidak ada yang rusak. Kegagalan 1 peralatan mengakibatkan sistem tidak berfungsi (Gambar 5).



Gambar 3. Konfigurasi Sistem Serial.

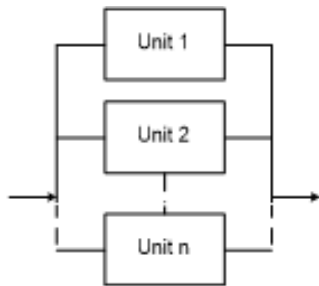
Reliability gabungan pada sistem serial merupakan perkalian *reliability* pada tiap peralatan sebagai persamaan (5):

$$R(s) = P(x_1)P(x_2) \dots P(x_n)$$

$$R(s) = \prod_{i=1}^n P(x_i) \equiv \prod_{i=1}^n R_i$$

$$R_s(t) = e^{-\sum_{j=1}^k \lambda_j t} \quad (5)$$

2. Sistem Paralel



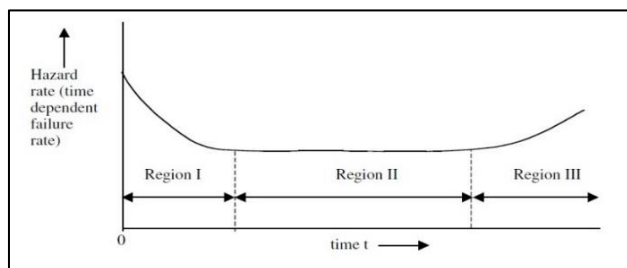
Gambar 6. Konfigurasi Sistem Paralel

Pada sistem paralel, kegagalan pada 1 equipment tidak secara otomatis menyebabkan sistem gagal karena fungsinya bisa tergantikan oleh peralatan yang lain (Gambar 6).

Reliability pada sistem paralel dapat dituliskan sebagai persamaan (6).

$$R_p = 1 - P(\bar{x}_1)P(\bar{x}_2) \dots P(\bar{x}_n) \\ = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i \quad (6)$$

Beberapa peralatan memiliki karakteristik kegagalan yang berbeda-beda, namun secara umum sesuai dengan *trend* yang disebut *bathtub curve* (Gambar 4).



Gambar 5. Trend Kegagalan Peralatan sesuai Bathtub Curve.

Penjelasan masing-masing *region*:

- *Region I*: “the burn-in region, infant mortality region, break-in region”. Yaitu pada awal peralatan di *install* dimana angka kegagalan masih cukup tinggi.
- *Region II*: the “useful life period”. Yaitu setelah peralatan berada pada unjuk kinerja terbaiknya.
- *Region III*: the “wear-out period”, dimana tingkat kegagalan peralatan akan terus

meningkat hingga akhirnya tidak dapat berfungsi sama sekali.

Distribusi kegagalan pada *region* I maupun III sesuai dengan distribusi *Exponential*, namun pada fase II lebih sesuai dengan distribusi *Weibull*, kendati pada beberapa *case* masih mungkin sesuai dengan distribusi *exponential*.

2.2.5 Simulasi Monte Carlo

Monte Carlo Simulation adalah salah satu teknik asesmen risiko kuantitatif, terutama dalam tahapan analisis risiko dan/atau evaluasi risiko yang memiliki fenomena variabel acak (*random variable*).

Jika datanya kurang dari 8, perlu dilakukan simulasi untuk mendapatkan hasil pemodelan yang lebih *representatif*. Kuantifikasi risiko menggunakan simulasi *Monte Carlo* untuk pemodelan keandalan digunakan distribusi *exponential*. Distribusi *Exponential* dipilih karena merupakan distribusi yang sederhana dengan menggunakan satu parameter saja yaitu λ atau *invers*-nya, θ atau MTBF. Berdasarkan *Research*, θ dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan (7):

$$\hat{\theta} = \frac{2T}{\chi^2_{(2f+2)}} \quad (7)$$

Dengan:

T : Waktu observasi peralatan

f : Jumlah *failure* dalam waktu observasi

Sehingga subsistem *reliability* menggunakan persamaan (8):

$$R(t) = \exp \left[-\frac{\chi^2_{(2f+2)}}{2T} t \right] \quad (8)$$

2.2.6 Metode Kuantifikasi Dampak

Untuk menghitung dampak, digunakan persamaan *mean arithmetic* (9) dan *mean harmonic* (10). *Mean arithmetic* digunakan untuk menghitung data yang seragam.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (9)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i f_i}{n} \quad (10)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = *mean* dari suatu sampel

x_1 = nilai dari data ke i

n = jumlah data dari sampel

f = frekuensi pada kelas ke i

m = *midpoint* dari interval kelas ke i

Jika datanya tidak homogen dan terdapat data *outlier*, digunakan *mean harmonic* sesuai persamaan (11):

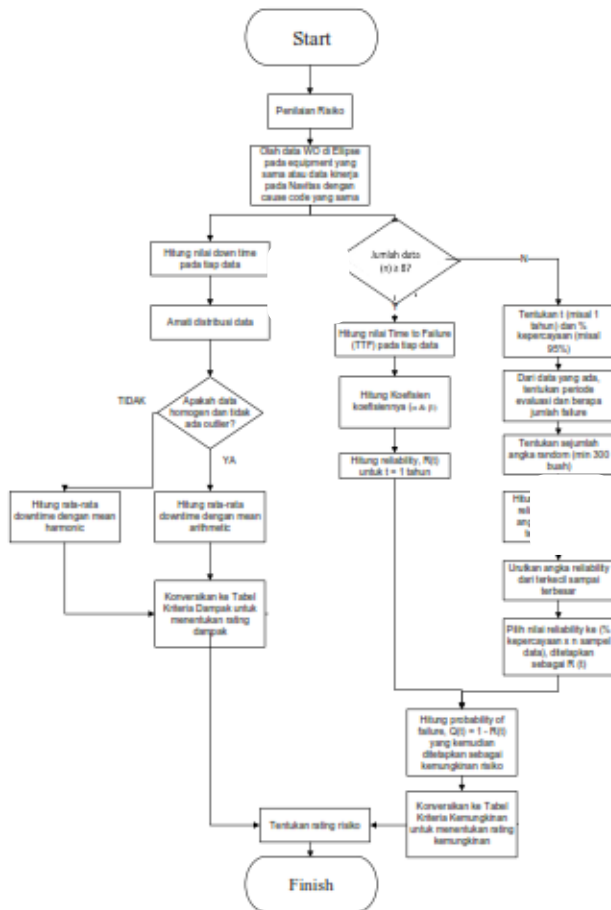
$$x^h = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} \quad (11)$$

Dengan:

x^h = mean harmonic
 n = jumlah sampel data
 x_i = nilai data ke i

3. Metodologi Penelitian

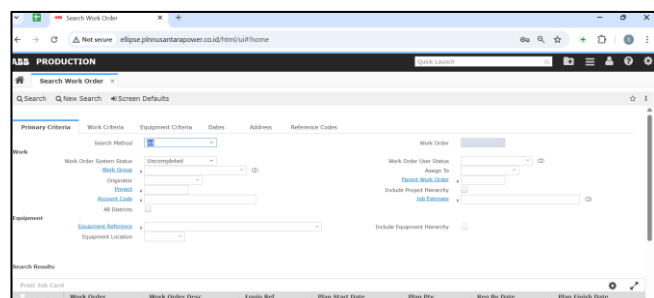
3.1 Alur Penelitian (Gambar 8)



Gambar 8. Flow Diagram Reliability Modelling

3.2 Bahan

Data historis peralatan adalah data *work order* (WO) dari modul CMMS (*Computerize Maintenance Management System*) (Gambar 9).



Gambar 9. Prinsstscreen CMMS

Data dari CMMS dan lainnya dikumpulkan menjadi per-cluster. (Tabel 3).

Tabel 3. Data Tarikan dari CMMS

Work Order	Work Order Desc	Equip Ref	Raise Dte	Closed Date	TTF
00085654	DP#1ANN STEAM TEMP HIGH	GC00GEY00EB001	2006-06-29	2007-11-23	56,904.00
00143805	Penggantian Backup battery SLPC	GC00GEY00EB001	2010-11-30	2010-12-05	26,472.00
00177062	Desal Plant 1 Alarm PC Trouble	GC00GEY00EB001	2013-01-15	2013-01-18	18,528.00
00188977	Penggantian Pwr supply SC DP#1	GC00GEY00EB001	2013-07-24	2013-07-24	4,488.00
00194019	DP#1 abnormal	GC00GEY00EB001	2013-10-01	2013-10-04	1,656.00
00218796	CPU DP#1 Abn dan tdk bs dioperasikan	GC00GEY00EB001	2014-09-02	2016-12-29	7,992.00
00303946	Desal plant #1 PLTGU gagal start	GC00GEY00EB001	2017-09-26	2018-09-28	6,504.00
00369691	Alarm Desalination Plant trouble di	GC00GEY00EB001	2020-04-15	2020-04-20	13,560.00
00371175	CPU Desalt #1 Abnormal/tdk bisa operasi	GC00GEY00EB001	2020-05-26	2020-06-19	864.00
00381724	Modul HMI Desalt Plant#1 rusak	GC00GEY00EB001	2020-10-23	2020-10-23	3,024.00
00422627	DAS Desal Error	GC00GEY00EB001	2022-07-20	2022-07-28	15,240.00
00460039	DAS Desal Error	GC00GEY00EB001	2024-01-09	2024-01-02	12,720.00
			3/22/2025		10,680.00

3.3 Alat

Pengumpulan data menggunakan perangkat lunak, yaitu

1. Software Minitab

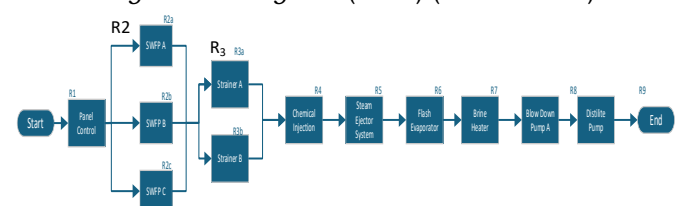
Penggunaan *software minitab* ini digunakan untuk menentukan koefisien alfa dan beta. karena *Desalination Plant* telah beroperasi sejak tahun 1992, diasumsikan saat ini berada pada *region II (useful life period)* dimana *failure rate constant*, maka distribusi yang digunakan adalah *Weibull orde 1*.

2. Perangkat Lunak Microsoft Excell

Microsoft Excel adalah program pengolah data dan lembar kerja elektronik untuk mengelola, menyimpan, menganalisis, dan menyajikan data dalam bentuk yang terorganisir dan mudah dipahami untuk pengolahan perhitungan *reliability*.

3.4 Pemodelan Reliability Desalination Plant

Untuk membuat pemodelan, disusun *Reliability Block Diagram (RBD)* (Gambar 10).



Gambar 10. Reliability Block Diagram Desalination Plant #1

Dimana R_n menotasikan keandalan *probability of reliable*.

Sea Water Feed Pump (SWFP) dan *Strainer* perlu disusun blok diagram pengganti dan harus diselesaikan terlebih dahulu. Sistem SWFP dan *Strainer* merupakan sistem *stand by*, dimana berlaku persamaan (12), (13), dan (14):

$$R_{sb}(t) = \sum_{j=0}^K \left[\left[\int_0^t \lambda(t) dt \right]^j e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \right] / j! \quad (12)$$

$$R_{sb}(t) = \sum_{j=0}^K (\lambda t)^j e^{-\lambda t} / j! \quad (13)$$

$$MTTF_{sb} = \int_0^{\infty} \left[\sum_{j=0}^K (\lambda t)^j e^{-\lambda t} / j! \right] dt = \frac{K+1}{\lambda} \quad (14)$$

dengan:

R : keandalan/*probability of reliable*
K : jumlah peralatan yang *stand by*
 λ : *failure rate*

Setelah R2 dan R3 diketahui, maka blok diagram menjadi sistem seri, yang berlaku persamaan (15), (16), (17), dan (18).

$$R(s) = P(x_1)P(x_2) \dots P(x_n) \quad (15)$$

$$R(s) = \prod_{i=1}^n P(x_i) \equiv \prod_{i=1}^n R_i \quad (16)$$

$$R_s(t) = e^{-\sum_{j=1}^k \lambda_j t} \quad (17)$$

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} e^{-\sum_{j=1}^k \lambda_j t} dt = \frac{1}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} \quad (18)$$

R : keandalan/*probability of reliable*
K : jumlah peralatan yang *stand by*
 λ : *failure rate*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Pemodelan Keandalan

Langkah untuk menghitung pemodelan adalah sebagai berikut (Tabel 4):

1. Pengumpulan Data Historis Pemeliharaan dari Ellipse

Data historis yang dimaksud adalah data WO pada setiap *equipment* di *Desalination Plant* 1. Data WO di *Ellipse* (sebelum diaplikasikan modul *down time* dan *task assignment*), Rentang waktu antara terbit (*raised date*) dan penutupan (*closing date*) seluruhnya WO diasumsikan untuk aktivitas pemeliharaan *Time To Failure* (TTF) (Tabel 4). Sehingga TTF dihitung dengan:

$$TTF = (Raised_Date_n - Closed_Date_{n-1}) \times 24 \text{ jam}$$

Tabel 4. Data Tarikan dari CMMS

Work Order	Work Order Desc	Equip Ref	Raise Dte	Closed Date	TTF
				1/1/2000	
00051959	Distillate level CV DP#1 abnormal	GC00GEG10AP001	2002-07-01	2002-07-08	21888
00052744	Dist threeway viv DP I bocor saat online	GC00GEG10AP001	2002-08-14	2002-08-16	888
00054125	Distillate CV Desal #1 tdk bisa membuka	GC00GEG10AP001	2002-11-19	2002-11-25	2280
00058841	Distilate LCV DP #1 macet	GC00GEG10AP001	2003-08-01	2003-08-14	5976
00063400	CV DISTILLATE DP # 1 ABNORMAL	GC00GEG10AP001	2004-03-27	2004-04-22	5424
00084409	Control Valve Distilate DP#1 Macet	GC00GEG10AP001	2006-05-16	2006-05-17	18096
00153404	Distilate (LCV) Desalt 1 nutupterlambat	GC00GEG10AP001	2011-07-19	2011-07-26	45336
00195033	three way valve disti DP # 1 abnormal	GC00GEG10AP001	2013-10-18	2013-10-18	19560
00378457	kandungan Cl Distilate water Desalt 1	GC00GEG10AP001	2020-09-03	2020-10-09	60288
00395165	distilate desal 1 Cl high,conduct normal	GC00GEG10AP001	2021-06-04	2021-07-07	5712
00460035	Line distilate DP#1 bocor	GC00GEG10AP001	2024-01-09	2024-01-11	21984
00461017	line distilate DP#1 bocor	GC00GEG10AP001	2024-01-22	2024-01-08	264
00487998	Conduct & Flow distilate DP#1 hunting	GC00GEG10AP001	2025-02-20	2025-02-25	9816
			3/22/2025		600

2. Uji Distribusi Data dan Penentuan Koefisien α dan β Menggunakan Software Minitab

Karena *Desalination Plant* telah beroperasi sejak tahun 1981, diasumsikan saat ini telah berada pada *region II (useful life period)* dimana *failure rate constant*, maka distribusi yang digunakan ada *Weibull* orde 1. Apabila dari pengujian *Minitab* menunjukkan lebih dekat ke distribusi yang lain, hal tersebut diasumsikan karena data *Ellipse* yang kurang memadai.

Langkah mendapatkan nilai α dan β dari *software minitab*:

1. Dari data tarikan *ellipse*, diambil TTF untuk kerusakan masing-masing peralatan kemudian diinput kedalam *software minitab* untuk mencari nilai α dan β . Kemudian klik menu *Start* → *Quality Tools* → *Individual Distribution Identification*.

2. Pilih data yang akan di *running* → OK.

3. Dari hasil pilihan diatas akan muncul beberapa distribusi

Ulangi langkah simulasi *Minitab* diatas hingga semua peralatan ketemu α dan β . Dari simulasi *Minitab* diperoleh data (tabel 5):

Tabel 5. Koefisien Weibull untuk Desalination Plant

No	Equipment	Kode	α	β
1	Panel Control	R1	13942.235	1.03402
2	SWFP A	R2a	14830.771	1.51211
3	SWFP B	R2b	9777.8796	0.72985
4	SWFP C	R2c	14771.364	0.92321
5	Strainer A	R3a	12238.702	0.67533
6	Strainer B	R3b	20020.157	0.68758
7	Chemical Injection	R4	7270.4217	0.82057
8	Steam Ejector System	R5	14867.282	0.87557
9	Flash Evaporator	R6	13721.85	0.86273
10	Brine Heater	R7	11406.424	0.7649
11	Blowdown Pump	R8	29068.441	1.24094
12	Distilite Pump	R9	15622.957	0.86704

3. Perhitungan Failure Rate (λ) Fungsi Waktu

Data α dan β kemudian dihitung dengan persamaan (19):

$$\lambda(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}} \quad (19)$$

Diperoleh data sebagai berikut (Tabel 6):

Tabel 6 Perhitungan $\lambda(t)$ untuk Desalination Plant

No	Equipment	Kode	α	β	$\lambda(t)$ pada t (jam)					
					2000	4000	6000	8760	10000	
1	Panel Control	R1	13942.235	1.03402	6.9424E-05	7.108E-05	7.2067E-05	7.3001E-05	7.3331E-05	
2	SWFP A	R2a	14830.771	1.51211	3.6544E-05	5.2117E-05	6.4144E-05	7.7861E-05	8.3323E-05	
3	SWFP B	R2b	9777.8796	0.72985	0.0001146	9.5029E-05	8.517E-05	7.6893E-05	7.4191E-05	
4	SWFP C	R2c	14771.364	0.92321	7.2872E-05	6.9095E-05	6.6977E-05	6.5059E-05	6.4401E-05	
5	Strainer A	R3a	12238.702	0.67533	9.9357E-05	7.9335E-05	6.9549E-05	6.1508E-05	5.892E-05	
6	Strainer B	R3b	20020.157	0.68758	7.0536E-05	5.6802E-05	5.0044E-05	4.4463E-05	4.2662E-05	
7	Chemical Injection	R4	7270.4217	0.82057	0.00014228	0.00012564	0.00011682	0.00010915	0.00010659	
8	Steam Ejector	R5	14867.282	0.87557	7.559E-05	6.9343E-05	6.5932E-05	6.2899E-05	6.1871E-05	
9	Flash Evaporator	R6	13721.85	0.86273	8.1898E-05	7.4465E-05	7.0433E-05	6.6868E-05	6.5664E-05	
10	Brine Heater	R7	11406.424	0.7649	0.00010098	8.5792E-05	7.7992E-05	7.1352E-05	6.9166E-05	
11	Blowdown Pump	R8	29068.441	1.24094	2.2401E-05	2.6472E-05	2.9189E-05	3.1976E-05	3.3012E-05	
12	Distilite Pump	R9	15622.957	0.86704	7.2941E-05	6.6519E-05	6.3028E-05	5.9935E-05	5.889E-05	

Dari data (Tabel 6) dapat ditentukan MTTF dengan persamaan (20).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \text{ while } R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda dt} dt$$

$$= \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

(20)

Diperoleh hasil (Tabel 7).

Tabel 7. Perhitungan MTTF untuk Desalination Plant

No	Equipment	Kode	α	β	MTTF (bulan) pada t (jam)				
					2000	4000	6000	8760	10000
1	Panel Control	R1	13942.235	1.03402	20.01	19.54	19.27	19.03	18.94
2	SWFP A	R2a	14830.771	1.51211	38.01	26.65	21.65	17.84	16.67
3	SWFP B	R2b	9777.8796	0.72985	12.12	14.62	16.31	18.06	18.72
4	SWFP C	R2c	14771.364	0.92321	19.06	20.10	20.74	21.35	21.57
5	Strainer A	R3a	12238.702	0.67533	13.98	17.51	19.97	22.58	23.57
6	Strainer B	R3b	20020.157	0.68758	19.69	24.45	27.75	31.24	32.56
7	Chemical Injection Steam Ejector	R4	7270.4217	0.82057	9.76	11.05	11.89	12.72	13.03
8	System	R5	14867.282	0.87557	18.37	20.03	21.07	22.08	22.45
9	Flash Evaporator	R6	13721.85	0.86273	16.96	18.65	19.72	20.77	21.15
10	Bribe Heater	R7	11406.424	0.7649	13.75	16.19	17.81	19.47	20.08
11	Blowdown Pump	R8	29068.441	1.24094	62.00	52.47	47.58	43.44	42.07
12	Distillate Pump	R9	15622.957	0.86704	19.04	20.88	22.04	23.17	23.58

4. Perhitungan Reliability System Stand By

Perhitungannya menggunakan dua metode:

1. Perhitungan Sea Water Feed Pump (R2)

Dengan ketentuan:

- Diambil λ terkecil, sesuai dengan fungsi waktunya
 - $K = 1$ (karena jumlah pompa 3: 1 normal operasi, 2 stand by)
- Dari persamaan (21):

$$R_{sb}(t) = \sum_{j=0}^K (\lambda t)^j e^{-\lambda t} / j!$$

(21)

hasil perhitungan (Tabel 8).

Tabel 8. Perhitungan Reliability SWFP Desalination Plant

j	R pada t (jam)				
	2000	4000	6000	8000	10000
0	0.92951912	0.81182836	0.68054438	0.53639247	0.43464302
1	0.06793366	0.16923889	0.26191583	0.33411306	0.3621577
2	0.00248267	0.01764031	0.05040076	0.1040577	0.15088037
R3	0.99993839	0.98106725	0.94246022	0.87050553	0.79680072

2. Perhitungan Strainer (R3)

Dengan ketentuan sebagai berikut:

- Diambil λ terkecil, yaitu 0,0000414 (diambil dari λ , 10000)
 - $K = 1$ (karena jumlah pompa 2: 1 normal operasi, 1 stand by)
- Dari persamaan 22:

$$R_{sb}(t) = \sum_{j=0}^K (\lambda t)^j e^{-\lambda t} / j!$$

(22)

Diperoleh hasil (Tabel 9)

Tabel 9. Perhitungan Reliability Strainer untuk Desalination Plant

j	R pada t (jam)				
	2000	4000	6000	8000	10000
0	0.86842633	0.22000209	0.56839045	0.38937115	0.46845734
1	0.12251109	0.66447625	0.3329735	0.49664271	0.42754702
R7	0.99093742	0.88447834	0.90136395	0.88601386	0.89600436

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Keandalan dan Kemungkinan Kegagalan

Reliability Desalination Plant 6 Overall dihitung dengan menghitung reliability secara seri dimana $R_{2a} - R_{2b} - R_{2c}$ diganti R_2 sedangkan $R_{3a} - R_{3b}$ diganti R_3 . Reliability masing-masing equipment (selain R2 dan R3) dihitung menggunakan persamaan Weibull berikut:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right]$$

(23)

Sedangkan reliability hubungan seri dihitung dengan persamaan (24):

$$R(s) = P(x_1)P(x_2) \dots P(x_n)$$

$$R(s) = \prod_{i=1}^n P(x_i) \equiv \prod_{i=1}^n R_i$$

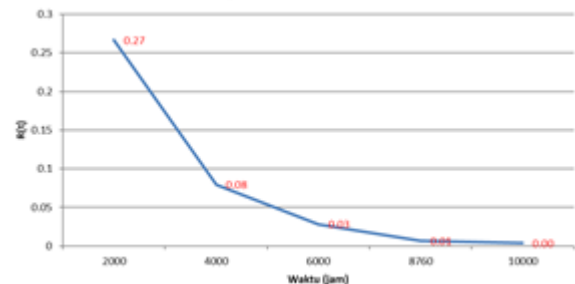
(24)

Diperoleh hasil perhitungan (Tabel 10).

Tabel 10. Perhitungan Reliability Desalination Plant

No	Equipment	Kode	α	β	R (t) pada t (jam)				
					2000	4000	6000	8760	10000
1	Panel Control	R1	13942.235	1.03402	0.87434599	0.75959771	0.65824493	0.53877819	0.49204676
2	SWFP A	R2a	14830.771	1.51211	0.9528145	0.8712167	0.77528855	0.63694786	0.57635119
3	SWFP B	R2b	9777.8796	0.72985	0.7304942	0.59403627	0.4965008	0.39736341	0.36184862
4	SWFP C	R2c	14771.364	0.92321	0.85396281	0.74128574	0.6470786	0.53938955	0.49779235
5	Strainer A	R3a	12238.702	0.67533	0.74509131	0.62506246	0.53906735	0.45029628	0.4179187
6	Strainer B	R3b	20020.157	0.68758	0.81450678	0.71860267	0.64616847	0.56752005	0.53769458
7	Chemical Injection Steam Ejector	R4	7270.4217	0.82057	0.70696526	0.54202758	0.42562519	0.31184342	0.2728119
8	System	R5	14867.282	0.87557	0.84142021	0.72848192	0.63647559	0.53296492	0.49329812
9	Flash Evaporator	R6	13721.85	0.86273	0.82707704	0.70804247	0.61272431	0.50714228	0.46714551
10	Bribe Heater	R7	11406.424	0.7649	0.76795474	0.63849325	0.54238536	0.44168373	0.40484724
11	Blowdown Pump	R8	29068.441	1.24094	0.96451408	0.91820923	0.86837611	0.79794049	0.76642045
12	Distillate Pump	R9	15622.957	0.86704	0.84513942	0.73573835	0.64651302	0.54577549	0.50702099
R HRSG - Overall (Mean aritmatik)					0.26683604	0.07948597	0.02826298	0.00673726	0.00347436

Apabila diplot ke dalam grafik akan diperoleh grafik (Gambar 11).



Gambar 11. Grafik Perhitungan Reliability Desalination Plant

Untuk perhitungan kemungkinan kegagalan peralatan Desalination Plant #1 dihitung menggunakan persamaan (25):

$$Q(t) = 1 - R(t)$$

(25)

Tabel 11. Hasil Laju Kerusakan Desalination Plant

No	Equipment	Kode	α	β	Q (t) pada t (jam)				
					2000	4000	6000	8760	10000
1	Panel Control	R1	13942.23	1.03402	0.125654	0.240402	0.341755	0.461222	0.507953
2	SWFP A/B/C	R2	14830.77	1.51211	0.041605	0.081893	0.129494	0.203199	0.257953
3	Strainer A/B	R3	12238.7	0.67533	0.009063	0.115522	0.098636	0.113986	0.103996
4	Chemical Injection	R4	7270.422	0.82057	0.293035	0.457972	0.574375	0.688157	0.727188
5	Steam Ejector System	R5	14867.28	0.87557	0.15858	0.271518	0.363524	0.467035	0.506702
6	Flash Evaporator	R6	13721.85	0.86273	0.172923	0.291958	0.387276	0.492858	0.532854
7	Bribe Heater	R7	11406.42	0.7649	0.232045	0.361507	0.457615	0.558316	0.595153
8	Blowdown Pump	R8	29068.44	1.24094	0.035459	0.081791	0.131624	0.20206	0.23358
9	Distillate Pump	R9	15622.96	0.86704	0.154861	0.264262	0.353487	0.454225	0.492979

4.2.2 Perhitungan Dampak

Laporan Manajemen Risiko dan Kepatuhan 2024 tidak ada loss event dikarenakan desalination plant tidak beroperasi. Maka tingkat

dampaknya **“Tidak Signifikan”**. sehingga didapatkan level risiko paling rendah nilai keandalannya adalah **“Rendah”** dengan acuan sebagai berikut ini;

- Nilai Probability kegagalan yang paling rendah: *Chemical Injection* sebesar 29%
- Nilai dampak akibat tidak beroperasinya peralatan tersebut terhadap unit pembangkit tidak ada.

5. Simpulan

Dari analisis didapat simpulan;

1. *Desalination Plant* adalah peralatan yang vital bagi PLTGU karena merupakan pemasok utama *boiler feed water*.
2. Sistem *redundance* terbukti memberikan keandalan yang tinggi, sebagaimana dalam studi kasus ini ditunjukkan oleh sistem *Sea Water Feed Pump*. *ainer Stand by*
3. Metode pemodelan *Reliability* yang digunakan adalah distribusi *Weibull* karena data yang ada sudah ada pada *region II* dan lebih dari 8 data kerusakan setiap peralatan
4. Keandalan *Desalination Plant 1* mendekati (22%) setelah 2.000 jam operasi. Kendati demikian, kenyataan di lapangan sistem *Desalination Plant 1* dibangun berdampingan dengan *Desalination Plant 2* dan 3 yang secara sistem bersifat paralel, sehingga *real* keandalan sebetulnya lebih tinggi.
5. Keandalan peralatan *Desalination Plant #1* PLTGU yang paling rendah pada jam operasi 2.000 jam adalah *Chemical Injection* sebesar 71%.

Daftar Pustaka

- Andrew Gorski. 1985. *Chi-Squared Probabilities Are Poisson Probabilities in Disguise*. *IEEE Transactions on Reliability*
- Dhillon B.S. 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*, Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- ISO 31000:2009 (*International Standard of Risk Management*),
- Keputusan Direksi PT Pembangkitan Jawa-Bali Nomor 006.K/019/DIR/2022 tentang Peraturan Pelaksanaan Penerapan Manajemen Risiko Terintegrasi di P. Pembangkitan Jawa-Bali.
- Lembaga Sertifikasi Profesi Manajemen Risiko, 2018. *Certified Risk Management Professional Handbook*. Jakarta: LSPMR
- Marwan, Alimin, Andi Eka Triana Putri. 2020. Penggunaan metode *Reliability Network Equivalent Approach* untuk mengevaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV. *Jurnal Teknologi Elektroika* 17 (2) :81-88
- Anne Iamria Sihombing, Joni, Yane Ansanay, Enos Karapa, Herbert Innah, Prihananto, Johni Jonatan Numberi, dan Tiper K. M. Uniplaita. 2023. Analisis Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Mini *Hidro Orya-Genyem* Berdasarkan *Load of Loss Probability*. *Universitas Cendrawasih* 5 (2) : 339-348
- Avrin Nur Widiastuti, Sarijaya, Kukuh Arunng Pinanditho, dan Eko Tri Prasetyo. 2017. Evaluasi Keandalan Perencanaan Pembangkit Wilayah Jawa-Bali

dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian Peramalan Beban. *JNTETI* 6 (2): 230-234