

Analisis Kerusakan Dini Transformator Distribusi Ulp Padangan Penyulang Watu Jago Menggunakan Metode *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM)

Suprawikno^{1*}, Irgianto Candra Adiaksa²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu

^{1*}Suprawikno@yahoo.co.id

²candra_adiaksa@yahoo.com

Diterima : 29-12-2024

- Direview : 30-12-2024

- Diterbitkan : 31-12-2024

Intisari

Transformator distribusi listrik memiliki peran penting mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah sesuai untuk konsumen. Transformator ini beroperasi terus-menerus selama 24 jam dalam pendistribusian listrik. Terutama saat mendistribusikan tegangan ekstra tinggi, pengawasan diperlukan untuk menjaga keamanan dan kinerja. Metode *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM) digunakan untuk menganalisis efektivitas dan potensi kerusakan pada transformator. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada Januari, *Mean Time Between Failures* (MTBF) 372 jam dengan 2 kegagalan, sementara di Juni hanya 1 kegagalan. *Mean Time To Repair* (MTTR) pada Januari 1,03 jam dengan 2 perbaikan, sedangkan di Juni hanya 1 perbaikan dengan 0,8 jam. *Failure Rate* Januari 0,269%, Juni 0,139%. Keandalan transformator selama 6 bulan terakhir 99,94% dan akan berkurang. Ketersediaan dalam 6 bulan terakhir 99,94%, namun akan menurun. *Maintainability* cenderung lebih rendah dan akan semakin menurun. Analisis merekomendasikan ganti transformator dalam 1,77 tahun mendatang karena *Maintainability* semakin menurun. Meski umumnya digunakan 5-10 tahun, tingkat *Maintainability* mempengaruhi penggunaan efektif dalam distribusi listrik.

Kata Kunci : kerusakan dini, transformator, metode RAM

Abstract

Electricity distribution transformers have an important role in converting high voltage into low voltage suitable for consumers. These transformers operate continuously for 24 hours in the distribution of electricity. Especially when distributing extra high voltage, supervision is required to maintain safety and performance. The Reliability, Availability, Maintainability (RAM) method is used to analyze the effectiveness and potential damage to the transformer. The analysis results show that in January, the Mean Time Between Failures (MTBF) was 372 hours with 2 failures, while in June only 1 failure. Mean Time To Repair (MTTR) in January 1.03 hours with 2 repairs, while in June only 1 repair with 0.8 hours. Failure Rate January 0.269%, June 0.139%. Transformer reliability over the last 6 months is 99.94% and will decrease. Availability in the last 6 months is 99.94%, but will decrease. Maintainability tends to be lower and will decrease further. The analysis recommends replacing the transformer in the next 1.77 years as the ease of repair is decreasing. Although generally used for 5-10 years, the level of ease of repair affects the effective use in electricity distribution.

Keywords: Potential damages ,Transformer, RAM Method

1. Pendahuluan

Transformator distribusi listrik adalah komponen kritis dalam sistem penyediaan listrik yang memainkan peran utama dalam menjaga ketersediaan pasokan listrik yang andal untuk konsumen. Tugas utamanya adalah mengubah tegangan tinggi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik menjadi tegangan rendah yang sesuai untuk digunakan oleh bangunan komersial, industri, dan rumah tangga. Transformator distribusi ini berfungsi dengan menurunkan tegangan dari level transmisi yang biasanya mencapai 110kV atau 220kV menjadi level distribusi seperti 11kV atau 33kV. Proses ini sangat penting untuk menjaga keselamatan dan efisiensi dalam penggunaan listrik oleh berbagai jenis pengguna (Harlow, 2007).

Selama operasinya yang berlangsung sepanjang 24 jam, transformator distribusi harus menjaga tingkat keandalan

yang sangat tinggi. Untuk menghindari gangguan pasokan listrik yang dapat mengganggu berbagai aktivitas dan mengoptimalkan kinerjanya, metode RAM (*Reliability, Availability, Maintainability*) menjadi esensial. Melalui pendekatan ini, data historis seperti waktu operasi, catatan perbaikan, dan penggunaan peralatan dievaluasi secara rinci. Metode RAM membantu dalam menentukan tingkat keandalan transformator distribusi, tingkat ketersediaan, dan tingkat perawatan yang diperlukan untuk menjaga transformator distribusi beroperasi dalam kondisi puncak (Suhadi, 2016; Remigius Obinna Okeke, 2024).

Penelitian yang membahas tentang analisis kerusakan telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Firdaus (RA Firdaus, 2021) mendapatkan hasil nilai *Reliability* dari sistem *production separator pearl oil* yang dikaji sebesar 0.99930655 = 99.93%. (Anselvi Mega Lestari, 2020) Nilai *Availability* dari sistem *production separator pearl oil* yang

dikaji sebesar $0.99998486 = 99.99\%$. Nilai *Maintainability* dari sistem *production separator* yang dikaji sebesar 1 - 100%. Serta kesimpulan dari hasil penelitian adalah analisis dengan metoda RAM (*Reliability, Availability and Maintainability*) pada sistem *production separator pearl oil*, hanya dilakukan pada komponen (sub-sistem) yang terdapat pada sistem *production separator*, dalam hal ini berdasarkan kepada fluida yg masuk dan fluida (gas) yang keluar dari *production separator*.

Metode RAM analisis pada interval waktu dari bulan Januari 2017 sampai dengan Desember 2019. Didapatkan hasil *Reliability* sistem sebesar 67% pada $t = 360$ jam *Reliability* sistem sebesar 80% pada $t = 264$ jam. Nilai *inherent Availability* didapatkan nilai *Availability* sistem sebesar 99.51%. Nilai *operational Availability* didapatkan nilai *Availability* sistem sebesar 99.73% dalam rentang waktu 1 tahun jam operasional mesin *splitting*. Nilai *Maintainability* pada seluruh subsistem kritis sudah mencapai 100% pada waktu 13 jam (Anselvi Mega Lestari, 2020).

Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dan Reliability Availability Maintainability (RAM)” dimana dari penelitian ini menghasilkan perhitungan menggunakan metode RAM Analysis dengan menggunakan pemodelan Reliability block diagram dengan pendekatan *analytical approach*, pada waktu t = 200 jam, diperoleh nilai Reliability system sebesar 36,29% dan waktu operasi optimal yakni selama 40 jam. Nilai Maintainability untuk unit kritis memiliki peluang untuk diperbaiki minimal 1 jam hingga 7 jam untuk dapat berfungsi kembali ke performa terbaiknya. Dan untuk nilai *inherent Availability* yang merupakan *leading indicator* adalah sebesar 99,81%. dan nilai *operational Availability* yang merupakan *lagging indicator* adalah sebesar 94,08 (Hajar & Pratama, 2019).

Metode Ram (*Reliability Availability Maintainability*) Di Pt. Xyz” dengan hasil *reliability system* yaitu 81,37% dengan waktu pengoperasian mesin $R(t) = 336$ jam. Dari nilai tersebut dapat dijelaskan bahwa *reliability* mesin *Smelter & Gasifier* telah melebihi standar IVARA dengan nilai *reliability system* sebesar 80%. Hasil *maintainability system* yaitu sebesar 81,11% dengan minimal waktu perbaikan $M(t) = 10$ jam. Dari nilai tersebut dapat dijelaskan bahwa nilai *maintainability* tersebut telah melebihi standar IVARA dengan nilai *maintainability system* sebesar 80%. Hasil *inherent availability* yaitu 99,28% dan hasil *operational availability* sebesar 90,23%. Dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa nilai *availability* belum melebihi standar nilai *performance indicator* dikarenakan kinerja mesin kurang maksimal. Berdasarkan hasil perhitungan *performance* mesin dengan menggunakan metode *Reliability Availability Maintainability* (RAM) pada mesin *smelter & gasifier*, dapat dibuatkan penjadwalan *preventive maintenance* saat waktu operasi mesin telah mencapai 336 jam dengan waktu perbaikan selama 10 jam (Hildan F. Pratama, 2022)

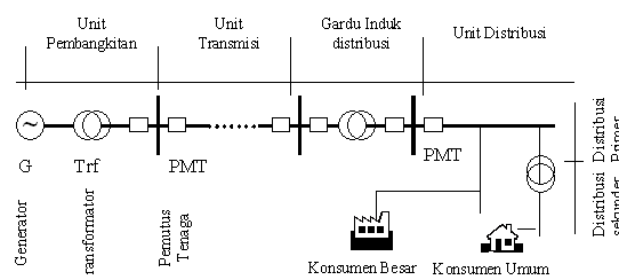
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, keandalan transformator daya merupakan hal yang sangat penting bagi jaringan distribusi. Kegagalan transformator daya dapat mengganggu pasokan ke konsumen, yang akan menyebabkan ketidaknyamanan bagi konsumen dan kerugian pendapatan bagi perusahaan listrik (Vasiliki Vita, 2023). Maka penelitian dilakukan dengan mengimplementasikan metode RAM di PT PLN UP3 Bojonegoro yang merupakan

langkah penting untuk memastikan transformator distribusi tetap berfungsi optimal. Dengan demikian, perusahaan dapat mencegah gangguan pasokan listrik yang dapat merugikan pelanggan dan memengaruhi aktivitas industri dan komersial. Penerapan metode ini membantu menjaga keandalan sistem distribusi listrik, mengurangi kerusakan dini, dan memastikan pasokan listrik yang stabil dan aman bagi masyarakat di wilayah layanan mereka. Dengan kata lain, RAM adalah alat penting untuk memastikan bahwa transformator distribusi listrik tetap berjalan sepanjang waktu, mendukung pertumbuhan dan perkembangan yang berkelanjutan.

2. Kerangka Teori

2.1. Distribusi Listrik

Sistem distribusi adalah bagian vital dari infrastruktur listrik, mengalirkan listrik dari sumber besar ke konsumen. Fokusnya adalah menjaga kontinuitas pelayanan, yang terkait dengan struktur dan penanganan gangguan pada jaringan tegangan menengah. Gangguan sering terjadi di jaringan distribusi, sehingga penanganan cepat menjadi kunci (Suhadi, 2016; Dede Fauzul Iman, 2024). Gambar 1 merupakan diagram line system distribusi listrik.



Gambar 1 Diagram Line Sistem Distribusi Listrik

2.2. Transformator Distribusi

Transformator distribusi listrik berperan penting dalam sistem penyediaan listrik. Mereka mengubah tegangan tinggi dari pembangkit listrik menjadi tegangan rendah yang sesuai untuk penggunaan oleh rumah tangga, industri, dan komersial. Transformator ini tidak hanya mengurangi tegangan, tetapi juga dilengkapi dengan perangkat pendukung seperti pengatur tegangan dan sistem proteksi. Biasanya terpasang di gardu induk atau tiang listrik untuk mempermudah pemeliharaan. Transformator distribusi adalah elemen kunci dalam menjaga efisiensi dan keandalan pasokan listrik serta memastikan aliran listrik yang aman dan efisien ke berbagai jenis konsumen (Harlow, 2007; Pansini, 2020).

2.3. Overall Equipment Effectiveness

Efektivitas Peralatan Keseluruhan (OEE) adalah metrik kinerja industri yang mengukur sejauh mana peralatan manufaktur bekerja optimal untuk mencapai kinerja yang diinginkan dan mengidentifikasi peluang perbaikan. Dengan OEE, perusahaan bisa menganalisis kinerja pabrik, mengidentifikasi penyebab gangguan, dan meningkatkan produktivitas fasilitas produksi. Tingkat OEE tersaji pada Tabel 1.

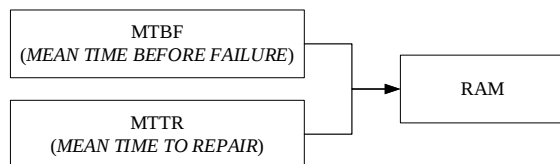
Tabel 1. Tingkat OEE

Nilai	Tingkat OEE
<65%	Harus dilakukan perbaikan / mengganti
65-75%	Cukup baik namun hanya bertahan ± 3 bulan
75-85%	Cukup baik namun harus dilakukan perawatan berkala
>85%	Kondisi baik lakukan perawatan jika diperlukan nantinya
90-95%	Sangat baik lakukan pemantauan berkala
>95%	Sangat baik biarkan bekerja selayaknya

2.4. Metode RAM

Konsep analisis RAMS bukanlah hal baru dan telah berkembang secara khusus dalam bidang asuransi produk. Ada berbagai aspek yang diperhitungkan dalam desain, berdasarkan pengalaman teoretis dan praktis dalam beragam industri seperti kimia, konstruksi, listrik, elektronik, teknik mesin, dan proses insinyur. Fokus utama adalah memastikan bahwa kriteria desain terpenuhi, tetapi terlalu sering terabaikan aspek perencanaan yang harus dipertimbangkan.

Metode Reliability Availability Maintainability (RAM) pertama kali diperkenalkan pada 1940-an dalam industri militer AS. Awalnya digunakan dalam pengembangan teknologi tinggi seperti pesawat terbang dan kapal selam, RAM sekarang digunakan secara luas dalam industri lain termasuk otomotif, perminyakan, pembangkit listrik, dan kimia. Metode RAM memberikan kerangka kerja yang kuat untuk menilai dan meningkatkan integritas desain sistem teknis, yang penting untuk mencegah kegagalan dan memastikan efisiensi (Rudolph, 2009). Model RAM tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2 Model RAM

2.5. Mean Time Between Failure (MTBF)

Mean Time Between Failure (MTBF) merupakan rata-rata interval waktu kerusakan yang terjadi saat mesin atau komponen selesai diperbaiki hingga mesin atau komponen tersebut mengalami kerusakan kembali (Fatma, 2020). Nilai MTBF dihitung menggunakan formula (1).

$$MTBF = \frac{\text{Total Operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \quad (1)$$

Total operation time Total adalah waktu operasi yang diinginkan (*Up Time*). Frekuensi Breakdown adalah Jumlah Kegagalan.

2.6. Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time to Repair (MTTR) merupakan rata-rata waktu untuk melakukan perbaikan yang dibutuhkan oleh suatu komponen (Fatma, 2020). Nilai MTTR dihitung menggunakan formula (2).

$$MTTR = \frac{\text{-Breakdown Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \quad (2)$$

Breakdown time adalah Down Time. Frekuensi Breakdown adalah Jumlah Kegagalan.

2.7. Failure Rate (FR)

Failure Rate adalah rasio kegagalan mesin atau komponen (Rudolph, 2009). Persamaan 3 untuk menghitung Failure Rate

$$\text{Failure Rate} = \frac{1}{MTBF} \quad (3)$$

2.8. Reliability

Reliability, atau keandalan, secara umum mengacu pada kemampuan sistem atau produk untuk menjaga kinerjanya pada tingkat yang diharapkan dalam berbagai kondisi dan lingkungan tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan signifikan. Keandalan sering diukur sebagai persentase waktu atau probabilitas bahwa sistem atau produk akan berfungsi tanpa masalah dalam periode tertentu. Semakin tinggi persentase ini, semakin dapat diandalkan sistem atau produk tersebut. Konsep keandalan dapat diterapkan dalam berbagai konteks seperti teknik, transportasi, dan industri. Sebagai contoh, dalam industri otomotif, keandalan berarti mobil dapat berfungsi tanpa gangguan signifikan dalam jangka waktu yang lama. Di bidang teknik listrik, keandalan mengacu pada kemampuan sistem distribusi listrik untuk beroperasi secara stabil dan efisien dalam periode tertentu (Dhillon, 2005). Hitung Reliability (R) menggunakan rumus (4):

$$R = \frac{\text{Up Time}}{\text{Uptime+Down Time}} \quad (4)$$

Up Time adalah Waktu sistem bekerja yang diinginkan.

Down Time adalah Waktu sistem tidak bekerja.

2.9. Availability

Ketersediaan dalam jaringan distribusi tenaga listrik merujuk pada kemampuan sistem ini untuk memberikan pasokan listrik yang stabil dan andal kepada pelanggan dalam waktu yang lama. Ini diukur sebagai persentase waktu daya tersedia dalam setahun. Ketersediaan mencerminkan probabilitas sistem untuk memenuhi kebutuhan penggunaan dan perbaikan dalam waktu yang diinginkan [3]. Hitung Availability (A) menggunakan rumus (5):

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (5)$$

2.10. Maintainability

Maintainability atau perawatan dalam jaringan distribusi tenaga listrik adalah kemampuan transformator distribusi untuk diperbaiki dengan efisien. Ini penting karena transformator memerlukan perawatan rutin untuk menjaga ketersediaan dan efisiensi. Dengan pemeliharaan yang baik, perbaikan dapat dilakukan dengan cepat, meminimalkan waktu henti dan biaya. Ini meningkatkan ketersediaan dan keandalan transformator distribusi listrik serta mengurangi biaya perbaikan. Dari perspektif pemeliharaan, ini adalah

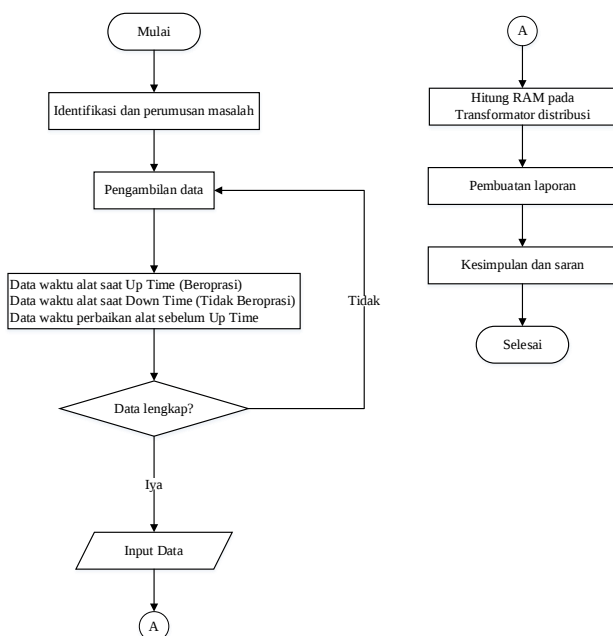
probabilitas perangkat akan kembali beroperasi dalam kondisi efektif dalam waktu tertentu setelah kegagalan. Hitung *Maintainability* (M) menggunakan rumus (6):

$$M = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)} \quad (6)$$

e adalah bilangan euler dengan nilai 2,718, *t* adalah *Down Time* merupakan Waktu sistem tidak bekerja atau waktu perbaikan.

3. Metodologi

Tahapan penelitian dilakukan dengan studi literatur dan pengambilan data kemudian melakukan pengolahan data berupa perhitungan manual menggunakan Microsoft Excel, serta analisis dari hasil penelitian diagram alir penelitian ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil

Data gangguan yang mempengaruhi transformator 20 KV ditunjukkan pada Tabel 22.

Tabel 2. Data Gangguan

Gangguan 2023	Total Hari	Jam	Up Time (Jam Operasi Diinginkan)	...	...	...	Jumlah Kegagalan
Jan	31	24	744	...	...	...	2
Feb	28	24	672	...	...	...	0
Mar	31	24	744	...	...	...	0
Apr	30	24	720	...	...	...	0
May	31	24	744	...	...	...	0
Jun	30	24	720	...	...	...	1

Hasil perhitungan nilai MTBF berdasarkan data yang didapat bulan Januari nilai MTBF selama 372 jam, bulan Februari sampai Mei tidak terjadi kegagalan, dan bulan Juni

terjadi kegagalan selama 720 jam. Tabel 3 menyajikan hasil perhitungan MTBF.

Tabel 3. Nilai MTBF

Bulan	Mean Time Before Failure
Jan	372 Jam
Feb	Tidak terjadi kegagalan
Mar	Tidak terjadi kegagalan
Apr	Tidak terjadi kegagalan
Mei	Tidak terjadi kegagalan
Jun	720 Jam

Perhitungan nilai MTTR tersaji pada Tabel 4. Waktu perbaikan agar transformator bekerja kembali dibulan Januari adalah 1,07 Jam sekali setiap perbaikan, karena perbaikan dilakukan 2x dalam kurun waktu kegagalan yang terjadi atau *down time* 2,07 jam maka MTTR adalah 1,03 Jam. Bulan Februari sampai Mei tidak terdapat kegagalan. Bulan Juni adalah 0,8 Jam sekali setiap perbaikan, karena perbaikan dilakukan 1x dalam kurun waktu kegagalan yang terjadi atau *down time* 0,8 jam maka MTTR adalah 0,8 Jam.

Tabel 4. Nilai MTTR

Bulan	Mean Time To Repair
Jan	1,03 Jam
Feb	Tidak terjadi Kegagalan
Mar	Tidak terjadi Kegagalan
Apr	Tidak terjadi Kegagalan
Mei	Tidak terjadi Kegagalan
Jun	0,8 Jam

Rasio kegagalan yang terjadi dibulan Januari adalah 0,269% kegagalan dalam kurun waktu 744 jam dimana kegagalan terjadi 2x. Bulan Februari sampai Mei tidak terjadi kegagalan. Rasio kegagalan yang terjadi dibulan Juni adalah 0,139% kegagalan dalam kurun waktu 720 jam dimana kegagalan terjadi 1x. Table 5 merupakan nilai RF.

Tabel 5. Nilai RF

Bulan	Failure Rate
Jan	0,269%
Feb	0%
Mar	0%
Apr	0%
Mei	0%
Jun	0,139%

Perhitungan *reliability* dari bulan Januari sampai Juni memiliki kondisi handal. Rata-rata nilai *reliability* selama 6 bulan terakhir transformator distribusi sudah kehilangan waktu keandalanya selama 4.344 Jam. Tabel 6 hasil perhitungan nilai keandalan.

Tabel 6. Nilai Keandalan

Bulan	Reliability	Kondisi
Jan	99,72%	Andal
Feb	100,00%	Andal
Mar	100,00%	Andal
Apr	100,00%	Andal
May	100,00%	Andal
Jun	99,89%	Andal
Average	99,94%	Andal
Waktu Bekerja	4.344 Jam	

Berdasarkan nilai rata-rata *reliability* maka waktu maksimal keandalan transformator hingga transformator mencapai keandalan 0% adalah 7.420.000 Jam atau 825,92 tahun. Nilai OEE yang didapat berdasarkan perhitungan tersaji pada Tabel 7.

Table 7 Klasifikasi Waktu Kondisi Reliability Transformator

Klasifikasi	Hasil	Keterangan
Waktu Maksimal	7.240.000,00 Jam	Jika Tidak Terjadi Kegagalan/Gangguan Lagi
	825,92 Tahun	
Waktu Kondisi	362.000 Jam lagi= Kondisi 95%	Sangat baik biarkan bekerja selayaknya
	41,30 Tahun Lagi = Kondisi 95%	
Waktu Kondisi	724.000 Jam lagi= Kondisi 90%	Sangat baik lakukan pemantauan berkala
	82,59 Tahun Lagi = Kondisi 90%	
Waktu Kondisi	1.086.000 Jam lagi= Kondisi 85%	Kondisi baik lakukan perawatan jika diperlukan nantinya
	123,89 Tahun Lagi = Kondisi 85%	
Waktu Kondisi	1.810.000 Jam lagi= Kondisi 75%	Cukup baik namun harus dilakukan perawatan berkala
	206,48 Tahun Lagi = Kondisi 75%	
Waktu Kondisi	2.534.000 Jam lagi= Kondisi 65%	Cukup baik namun hanya bertahan ± 3 bulan
	289,07 Tahun Lagi = Kondisi 65%	
Waktu Kondisi	2.896.000 Jam lagi= Kondisi 60%	Harus dilakukan perbaikan segera / mengganti dengan yang baru
	330,37 Tahun Lagi = Kondisi 60%	

Nilai ketersediaan mulai bulan Januari sampai Juni dalam kondisi tersedia. Detail nilai ketersediaan tersaji pada Tabel 8.

Table 8. Nilai Ketersediaan

Bulan	Availability	Kondisi
Jan	99,72%	Tersedia
Feb	100%	Tersedia

Mar	100%	Tersedia
Apr	100%	Tersedia
May	100%	Tersedia
Jun	99,89%	Tersedia
Average	99,94%	Tersedia
Waktu Bekerja	4.344 Jam	

Setelah *average availability* diketahui, berikutnya menghitung waktu maksimal transformator hingga transformator mencapai keandalan 0 % dimana selama 6 bulan telah bekerja selama 4344 Jam dengan Average *Availability*-nya 99,94% maka tingkat keandalannya hanya berkurang 0,06% dengan demikian dapat dihitung waktu maksimal keandalan transformator hingga mencapai keandalan 0% adalah 7.420.000 Jam atau 825,92 tahun. Nilai OEE *Availability* tersaji pada Tabel 99.

Tabel 9. Klasifikasi Waktu Kondisi Availability Transformator

Klasifikasi	Hasil	Keterangan
Waktu Maksimal	7.240.000,00 Jam	Jika Tidak Terjadi Kegagalan/Gangguan Lagi
	825,92 Tahun	
Waktu Kondisi	362.000 Jam lagi= Kondisi 95%	Sangat baik biarkan bekerja selayaknya
	41,30 Tahun Lagi = Kondisi 95%	
Waktu Kondisi	724.000 Jam lagi= Kondisi 90%	Sangat baik lakukan pemantauan berkala
	82,59 Tahun Lagi = Kondisi 90%	
Waktu Kondisi	1.086.000 Jam lagi= Kondisi 85%	Kondisi baik lakukan perawatan jika diperlukan nantinya
	123,89 Tahun Lagi = Kondisi 85%	
Waktu Kondisi	1.810.000 Jam lagi= Kondisi 75%	Cukup baik namun harus dilakukan perawatan berkala
	206,48 Tahun Lagi = Kondisi 75%	
Waktu Kondisi	2.534.000 Jam lagi= Kondisi 65%	Cukup baik namun hanya bertahan ± 3 bulan
	289,07 Tahun Lagi = Kondisi 65%	
Waktu Kondisi	2.896.000 Jam lagi= Kondisi 60%	Harus dilakukan perbaikan segera / mengganti dengan yang baru

Nilai *Maintainability* (perawatan) mulai bulan Januari sampai Mei dalam kondisi baik. Bulan Juni kondisi butuh perbaikan. Hasil perhitungan perawatan tersaji pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai Perawatan

Bulan	e	Maintainability	Kondisi
Jan	2,718	86%	Baik
Feb	2,718	100%	Baik
Mar	2,718	100%	Baik
Apr	2,718	100%	Baik

May	2,718	100%	Baik
Jun	2,718	63%	Butuh Perbaikan
Average		91,61%	Baik
Waktu Bekerja	4.344 Jam		

Waktu maksimal transformator hingga transformator mencapai *Maintainability* 0 % dimana selama 6 bulan telah bekerja selama 4344 Jam dengan *Average Maintainability*-nya 91,61% maka tingkat *Maintainability* berkurang 8,39% dengan demikian dapat dihitung waktu maksimal keandalan transformator hingga mencapai *Maintainability* 0% adalah 51.775,92 Jam atau 5,91 tahun. Tabel 11 merupakan hasil klasifikasi OEE berdasarkan *maintainability*.

Tabel 11. Klasifikasi Waktu Kondisi *Maintainability* Transformator

Klasifikasi	Hasil	Keterangan
Waktu Total	51.775,92 Jam 5,91 Tahun	Jika Tidak Terjadi Kegagalan/Gangguan Lagi
Waktu Kondisi	2.589 Jam lalu= Kondisi 95% 0,30 Tahun Lalu = Kondisi 95%	Sangat baik biarkan bekerja selayaknya
Waktu Kondisi	5.178 Jam lagi= Kondisi 90% 0,89 Tahun Lagi = Kondisi 90%	Sangat baik lakukan pemantauan berkala
Waktu Kondisi	7.766 Jam lagi= Kondisi 85% 1,77 Tahun Lagi = Kondisi 85%	Kondisi baik lakukan perawatan jika diperlukan
Waktu Kondisi	12.944 Jam lagi= Kondisi 75% 3,25 Tahun Lagi = Kondisi 75%	Cukup baik namun harus dilakukan perawatan berkala
Waktu Kondisi	18.122 Jam lagi= Kondisi 65% 5,32 Tahun Lagi = Kondisi 65%	Cukup baik namun hanya bertahan ±3 bulan
Waktu Kondisi	20.710 Jam lagi= Kondisi 60% 7,68 Tahun Lagi = Kondisi 60%	Harus dilakukan perbaikan segera / mengganti dengan yang baru

4.2. Pembahasan

Hasil dari penelitian Analisis Kerusakan Dini Transformator Distribusi Ulp Padangan Penyulang Watu Jago Menggunakan Metode Reliability, Availability, Maintainability (RAM) berdasarkan nilai Mean Time Before Failure (MTBF) bulan Januari terhitung waktu rata-rata sebelum kegagalan 372 Jam sebelum terjadi kegagalan karena kegagalan terjadi 2 kali dalam kurun waktu 1 bulan dan dibulan juni hanya terjadi 1 kali kegagalan sementara dibulan februari hingga mei tidak terjadi kegagalan.

MTTR Bulan Januari terhitung waktu rata-rata perbaikan sebelum kembali bekerja terhitung 1,03 jam atau 62 menit sebelum transformator bekerja kembali karena perbaikan dilakukan 2 kali dalam kurun waktu 1 bulan dan dibulan juni

hanya terjadi 1kali perbaikan dengan waktu 0,8 Jam atau 48 menit, sementara dibulan februari hingga mei tidak ada perbaikan karena tidak terjadi kegagalan.

FR Bulan januari terhitung rasio kegagalan atau tingkat kegagalan dengan jangka waktu 1 bulan adalah 0,269% kegagalan dan dibulan Juni 0,139% rasio kegagalan sementara pada bulan Februari hingga mei 0% rasio kegagalan karena tidak terjadi kegagalan pada bulan tersebut.

Setelah dilakukan perhitungan *Reliability* (Keandalan) transformator selama 6 bulan terakhir rata-rata nya adalah 99,94% dan keandalan tersebut akan terus berkurang seiring berjalannya waktu dimana pada 41,3 tahun kedepan keandalannya akan menjadi 95% dan seterusnya hingga keandalan mencapai batasnya <65% dalam waktu 289,07 tahun kedepan dan harus di ganti dengan yang baru atau pergantian juga bisa dilakukan saat keandalan turun menjadi 85% agar tidak terjadi gangguan pada saat pendistribusian jika pergantian baru dilakukan saat keandalan turun menjadi <85%.

Setelah dilakukan perhitungan ketersediaan transformator adalah 99,94% dalam kurun waktu 6 bulan terakhir dimana ketersediaan tersebut akan terus menurun hingga transformator tidak tersedia atau transformator tidak dapat menyalurkan listrik, dimana keandalan dan ketersediaan sangat berkesinambungan dimana system atau transformator yang andal akan memiliki ketersediaan yang tinggi dan transformator yang tersedia secara konsisten akan memberikan tingkat keandalan yang tinggi pula, oleh karena itu hasil perhitungan *Reliability* dan *Availability* tidak memiliki perbedaan yang tidak jauh atau bahkan memiliki nilai yang sama.

Setelah dilakukan perhitungan *Maintainability* selama 6 bulan di peroleh nilai rata rata 91,61% dan perawatan akan semakin sulit jika tingkat *Maintainability* semakin menurun karena *Maintainability* berkaitan dengan keandalan dan ketersediaan dimana keterkaitan *maintainability* terletak pada kemampuan untuk cepat mengatasi masalah atau gangguan sementara keterkaitan *maintainability* dan *availability* adalah pada kemampuan mengurangi waktu henti fungsi transformator selama pemeliharaan yang berarti semakin jarang dirawat maka akan semakin sulit di rawat tanpa menghentikan atau mematikan transformator dalam waktu lama.

5. Simpulan

Hasil perhitungan diketahui tingkat *Reliability* pada bulan Januari 99,72%, Februari 100%, Maret 100%, April 100%, Mei 100%, dan Juni 99,89% dengan *Average Reliability* adalah 99,94 % dengan waktu kerja 4.344 Jam. Untuk *Reliability* mencapai angka standar minimal sesuai OEE 85% adalah 183,89 tahun lagi. Tingkat *Availability* pada bulan Januari 99,72%, Februari 100%, Maret 100%, April 100%, Mei 100%, dan Juni 99,89% dengan *Average Availability* adalah 99,94 % dengan waktu kerja 4.344 Jam. Untuk *Availability* mencapai angka standar minimal sesuai OEE 85% adalah 183,89 tahun lagi. Tingkat *Maintainability* pada bulan Januari 86%, Februari 100%, Maret 100%, April 100%, Mei 100%, dan Juni 63% dengan *Average Maintainability* adalah 91,61 % dengan waktu kerja 4.344 Jam. Untuk *Maintainability* mencapai angka standar minimal sesuai OEE 85% adalah 1,77 tahun lagi. Dari ketiga parameter yaitu Keandalan (*Reliability*) dengan rata-rata 99,94%,

Ketersediaan (*Availability*) dengan rata-rata 99,94%, Perawatan (*Maintainability*) dengan rata-rata 91,61% diketahui *Reliability* dan *Availability* memiliki tingkat koefisien yang tinggi atau tingkat kerusakan yang sangat rendah, namun pada *Maintainability* memiliki tingkat yang lebih rendah.

Daftar Pustaka

- Anselvi Mega Lestari, F. T. D. A. J. A., 2020. Analisis Nilai Performansi Mesin Splitting Dengan Metode Reliability, Availability, Maintainability, Dan Safety Analysis (rams) Di Pt.garut Makmur Perkasa. *eProceedings of Engineering*, 7(2).
- Dede Fauzul Iman, P. K. H. M. F. D. A., 2024. Analisis Operasional Sistem Distribusi Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah di Gardu Induk Serang. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 7(2).
- Dhillon, 2005. *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. London: CRC Press.
- Fatma, N. F. H. P. d. R. A. K., 2020. Analisis Preventive Maintenance Dengan Metode Menghitung Mean Time Between Failure (MTBF) Dan Mean Time To Repair (MTTR). *Jurnal Heuristic*, 17(2), pp. 87-94.
- Hajar, I. & Pratama, M. H., 2019. Analisa Nilai Saidi Saifi Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya Pt. Pln (Persero) Area Ciputat. *Energi & Kelistrikan*, 2(2).
- Harlow, 2007. *Electric Power Transformer Engineering: Electric Power Engineering Handbook 2 Ed*. Teoksessa: L. L. Grggsby, toim. *Electric Power Transformer Engineering: Electric Power Engineering Handbook 2 Ed*. London: CRC Press.
- Hildan F. Pratama, E. P. W., 2022. Analisis Perawatan Berdasarkan Performance Mesin Pada Mesin Smelter & Gasifier Dengan Menggunakan Metode Ram (Reliability Availability Maintainability) Di PT. Xyz. *Humantech : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 1(11).
- Kurniawan, R. E. M. N. A. R. N. T. Y. & K. K., 2022. Humantech jurnal ilmiah multi disiplin indonesia.. *Jurnal Ilmiah Multi Disiplin Indonesia*, pp. 163-73..
- Pansini, A. J., 2020. *Electrical Distribution Engineering*, Third Edition. New York: River Publishers.
- RA Firdaus, U. U. M. A., 2021. Analisis Sistem Production Separator dengan Metode RAM (Reliability, Availability and Maintainability. *Dewantara Journal*, 02(02), pp. 57-56.
- Remigius Obinna Okeke, A. I. I. O. M. I. E. L. A. G. I. E. O. M. O., 2024. The Reliability Assessment Of Power Transformers. *Engineering Science & Technology Journal*.
- Rudolph, F., 2009. *Handbook oof Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Desiign.. 1 toim*. Loondon: Springer-Verlag.
- Suhadi, W., 2016. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Vasiliki Vita, G. F. V. C. C. P. V. M., 2023. Predictive Maintenance for Distribution System Operators in Increasing Transformers' Reliability. *Electronics*, 12(6).