

Analisis Pemeliharaan Berkala Dengan Kinerja Generator Set 670 kVA dan 530 kVA di PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar

Jonner Manihuruk, S.T., M.T.¹⁾, Novendis Togar Samosir²⁾
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen
email : jonner.manihuruk@uhn.ac.id

ABSTRACT

PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar is one of the largest shopping centers in North Sumatra, especially in Pematang Siantar City which has been operating since 1974. PT. Ramayana has a generator set (genset) which must always be ready to be a backup power supply in the event of a power failure from the State Electricity Company (PLN). Due to the importance of backup power supply facilities, it is necessary to evaluate the performance of generator sets (generators) by conducting periodic maintenance analysis on a daily, weekly, monthly and even annual basis to increase the reliability and availability of generator sets (generators) for operational readiness at PT. Ramayana Sentosa. To get the reliability and availability values, it is done by calculating: Specified Operating Time (SOT), Actual Operating Time (AOT), Mean Time Between Failures (MTBF), Reliability and Availability. After doing the calculations, the average level of reliability and availability from generator sets (gensets 1 and 2. The average level of reliability on generator set (genset) 1 in May 2020 - April 2021 is 97.95%, and for the average level – the average reliability of generator set (genset) 2 in May 2020 – April 2021 is 99.27%. While the average level of availability of generator set (genset) 1 in May 2020 – April 2021 is 98.30%, for an average – the average level of availability for generator set (genset) 2 in May 2020 - April 2021 is 98, 37%. Judging from the provisions made by the generator set (genset) manufacturing company. From each generator set (genset) used by PT Ramaya Sentosa is classified as rarely damaged ($R > 95\%$).

Keyword : maintenance, periodically, generator

PENDAHULUAN

Latar Belakang

PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar merupakan salah satu pusat perbelanjaan yang terbesar di Provinsi Sumatera Utara khususnya cabang yang ada di Kota Pematang Siantar yang sudah beroperasi mulai dari tahun 1974. Salah satu fasilitas yang sangat penting adalah seperti penyediaan catu daya listrik PT. Ramayana Kota Pematang Siantar. Hal ini menuntut harus adanya sumber daya listrik yang handal. Sumber daya listrik ini digunakan sebagai catu daya untuk lampu penerangan, catu daya untuk moto-motor listrik seperti motor escalator, motor pompa air, penyejuk ruangan (AC) dan fasilitas elektronik yang digunakan di Ramaya tersebut. Untuk memberikan catu daya listrik Ramayan Kota Pematang Siantar dilengkapi dengan catu daya utama (main power supply) yang berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan kapasitas 630 KVA. Untuk mengantisipasi

kegagalan catu daya pada Ramaya Kota Pematang Siantar memakai genset sebagai catu daya cadangan (*secondary power supply*). Ramaya Kota Pematang Siantar memiliki 2 buah genset dengan masing-masing kapasitas 670 KVA dan 530 KVA.

Dengan adanya catu daya cadangan tersebut diharapkan semua fasilitas yang ada di PT. Ramayana dapat terpenuhi, sehingga kegiatan yang ada di PT. Ramayana yang memerlukan catu daya listrik dapat terpenuhi. Oleh sebab itu, perawatan dan pengoperasian genset tersebut harus benar-benar memenuhi persyaratan menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000), Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2019 tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri yang dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi dan dari Buku Pembelian Genset (Pabrik) untuk memberikan panduan untuk mempersiapkan

peralatan listrik yang handal dan siap pakai untuk perawatan dan pengoperasian genset sehingga catu daya bisa dipenuhi secara standar. Untuk mendapatkan nilai ketersediaan dan tingkat kehandalan, dilakukan dengan menghitung : Waktu operasi yang ditentukan / Specified Operating Time (SOT), waktu operasi yang ditentukan / Actual Operating Time (AOT), rata – rata waktu antara kegagalan / Mean Time Between Failures (MTBF), kehandalan / Reability dan ketersediaan / Availibility. Setelah melakukan perhitungan akan didapatkan rata-rata tingkat ketersediaan dan tingkat kehandalan generator set (genset).

LANDASAN TEORI

Sistem Kelistrikan PT. Ramayana Pematang Siantar

Pada dasarnya catu daya yang digunakan untuk mensupplai daya untuk menanggung beban pada Ramayana harus mempunyai kualitas yang baik dan kontinuitas yang terjamin (tidak pernah putus), ini disebut dengan beban kritis, yang artinya pensupplai daya untuk Ramayana sudah memang benar-benar kualitasnya terjamin. Sedangkan untuk beban yang tidak kritis, kontinuitasnya masih dapat ditoleransi (karena tidak berpengaruh terhadap proses operasional).

a) Daya Listrik Terpasang

Beban yang terpasang di PT. Ramayana Sentosa untuk saat ini bersekitar 400 – 450 Kw dan sewaktu – waktu akan ada lagi penambahan – penambahan beban nantinya. Energi listrik yang terpasang di Ramayana yang disupplai dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan Kapasitas 630 KVA. Dapat dilihat pada tabel 1. daya yang terpasang di Ramayana.

Tabel 1. Suplai Terpasang di PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar

Klasifikasi	Unit	Kapasitas (KVA)
PT.PLN (Persero)	PLN	630
GENSET (DIESEL)	G1	530
	G2	670

Selain arus yang disuplai dari PLN, PT. Ramayana Sentosa juga memiliki cadangan sebagai catu daya ketika arus yang disuplai dari PLN mengalami kegagalan atau gangguan,

yaitu PT. Ramayana Sentosa tersebut memiliki 2 unit Generator set (genset) Diesel dengan kapasitas masing-masing dari Generator set (genset) tersebut yaitu 670 KVA dan 530 KVA dan kedua generator set (genset) ini digunakan untuk semua fasilitas gedung Ramayana seperti lahan parkir, untuk perkantoran, untuk penerangan dan excavator, ac dan berbagai fasilitas yang mendukung kegiatan di Ramayana tersebut. Generator set (genset) tersebut ditempatkan di gedung pusat kelistrikan atau Main Power Station, dapat dilihat pada gambar 1.



Sumber : PT. Ramayana Sentosa

Gambar 1. Generator Set PT. Ramayana Sentosa

b) Data Peralatan Generator Set (Genset)

Generator Set (genset) yang dimiliki PT. Ramayana Sentosa beroperasi siap siaga 24 jam untuk sebagai catu daya cadangan untuk keseluruhan fasilitas yang menggunakan arus listrik. Data dari setiap Generator Set (genset) tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. Data peralatan Generator Set PT. Ramayana Sentosa

Peralatan	Merk/ Type	Kapasitas (KVA)	Thn Operasi	Pengukuran (KVA)	Cos φ	Kondisi
Genset 1	AVK/ DSG52L2 -4	530	2003	420	1	Baik
Genset 2	AVK/ DSG62M1 -4	670	2003	510	1	Baik

c) Daya Output Generator Set (Genset)

1. Generator set (Genset) 1 Kapasitas 530 Kva. Yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan daya (Watt) dari suatu generator set (genset) yaitu dengan menggunakan satuan Kw dengan penjelasan 1 Kw sama dengan 1000 watt. Biasanya di generator set (genset) hanya terlihat berapa

kapasitas genset tersebut dengan satuan Kva, maka digunakan nilai baku dengan 1 Kva sama dengan 0.8 Kw (800 watt). Jadi untuk daya output genset kapasitas 530 Kva adalah sebagai berikut :

$$P_{out} = \text{Kapasitas Genset} \times \text{Cos } \phi$$

$$P_{out} = 530 \times 0,8 = 424 \text{ Kw} = 424.000 \text{ watt.}$$

Maka daya output genset yang berkapasitas 530 Kva adalah 424 Kw atau setara dengan 424.000 Watt.

2. Generator Set (Genset) 2 Kapasitas 670 Kva Yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan daya (Watt) dari suatu generator set (genset) yaitu dengan menggunakan satuan Kw dengan penjelasan 1 Kw sama dengan 1000 watt. Biasanya di generator set (genset) hanya terlihat berapa kapasitas genset tersebut dengan satuan Kva, maka digunakan nilai baku dengan 1 Kva sama dengan 0.8 Kw (800 watt). Jadi untuk daya output genset kapasitas 670 Kva adalah sebagai berikut :

$$P_{out} = \text{Kapasitas Genset} \times \text{Cos } \phi$$

$$P_{out} = 670 \times 0,8 = 536 \text{ Kw} = 536.000 \text{ watt.}$$

Maka daya output genset yang berkapasitas 670 Kva adalah 536 Kw atau setara dengan 536.000 Watt.

d) Rata – Rata Pemakaian Daya Listrik di PT. Ramayana

Untuk mengetahui daya rata-rata pemakaian listrik yang digunakan oleh PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar, pemakaian daya listrik dibagi 2 untuk pengambilan daya yang digunakan per harinya selama beroperasi yaitu untuk pengambilan daya Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) di ambil dari pukul 09.00 s/d 18.00 Wib, dan untuk pengambilan daya listrik Waktu Beban Puncak (WBP) diambil dari pukul 18.00 s/d 21.00 Wib. Daya rata-rata tersebut dapat dilihat pada tabel 2.3.

Diluar dari pengambilan data dengan waktu yang ditentukan pada tabel di atas untuk penggunaan daya di PT. Ramayana Sentosa paling besar yaitu memiliki rata – rata di 4.210 Kwh untuk Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan untuk Waktu Puncak (WBP) di rata – rata 3.200 Kwh dan dengan jumlah rata-rata pemakaian daya listrik paling besar mencapai 7.410 Kwh untuk per harinya.

Tabel 3. Data Rata – Rata Pemakaian Daya Listrik di PT. Ramayana di Bulan Mei 2020 s/d April 2021.

Bulan	LWBP/ (Kwh)	WBP (Kwh)	LWBP/ Hari (Kwh)	LWBP /Jam (Kwh)	WBP/ Hari (Kwh)	WBP/ Jam (Kwh)	Jumlah (Kwh)
Mei (2020)	54.260	14.950	1.808	124,39	498,33	166,11	59.733
Jun (2020)	40.990	7.370	1.366	113,86	245,66	81,88	48.360
Jul (2020)	33.650	8.270	1.121	93,47	275,66	91,88	41.920
Ags (2020)	46.280	16.980	1.542	124,40	547,74	182	63.260
Sep (2020)	44.960	16.650	1.498	124,88	555	185	61.610
Okt (2020)	45.950	16.250	1.531	164,69	539,35	180,55	62.670
Nov (2020)	51.650	15.490	1.721	143	516,33	172,11	67.140
Des (2020)	57.430	18.630	1.869	207,67	600,96	200,32	67.140
Jan (2021)	56.830	17.230	1.833	203,69	555,80	185,26	74.060
Feb (2021)	45.110	13.530	1.611	179	483,31	161	58.640
Mar (2021)	42.240	13.110	1.408	117,33	437	145,66	55.350
Apr (2021)	51.260	15.130	1.798	142,38	504,33	168,11	66.390

Generator Set dan Bagian-bagian Generator Set (Genset)

1) Pengertian Generator Set (Genset)

Kebutuhan listrik umumnya yaitu penggunaan arus listrik jenis arus AC dipergunakan untuk penerangan (lampu), industri, gedung, dan masih banyak lagi keperluan yang bergantung kepada listrik. Untuk memenuhi keperluan ini semua diciptakanlah suatu alat yang dapat membangkitkan arus listrik yang salah satunya disebut Generator Set (genset) yaitu antara kombinasi dengan dua alat induk yang disebut mesin dan generator listrik.

Genset yang digunakan di PT. Ramayana Sentosa menggunakan mesin yang berbahan bakar solar (diesel) yang berkapasitas 670 KVA dan 530 KVA.

2) Bagian – Bagian Generator Set (Genset)

1. Stator

Stator adalah bagian statis dari generator yang merubah perubahan garis-garis gaya magnet yang melaluinya menjadi sumber tegangan. Di dalam stator terdapat belitan penghantar yang terbuat dari kawat tembaga yang disusun sedemikian rupa sesuai jumlah lilitan yang sudah di tentukan, jarak yang di atur antara lilitan dan beda sudut anatar fasa, sehingga menghasilkan tegangan 3 fasa yang mempunyai sudut 120 derajat terhadap fasa lainnya.

2. Rotor

Rotor adalah merupakan elemen yang berputar atau bergerak, pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan-lilitan

kawatnya dialiri oleh arus listrik arus searah. Kutub magnet rotor terdiri dua jenis yaitu, rotor kutub menonjol (*salient*), adalah tipe yang dipakai untuk generator-generator kecepatan rendah dan menengah, sedangkan rotor kutub tidak menonjol atau rotor silinder digunakan untuk generator-generator yang berkecepatan tinggi.

Kumpulan medan pada rotor disuplai dengan dengan medan arus searah untuk menghasilkan fluks dimana arus searah tersebut dialirkan ke rotor melalui sebuah cincin. Jika motor berputar maka fluks magnet yang akan timbul akibat arus searah tersebut akan memotong konduktor dari stator yang mengakibatkan timbulnya gaya gerak listrik (GGL).

3. Exciter

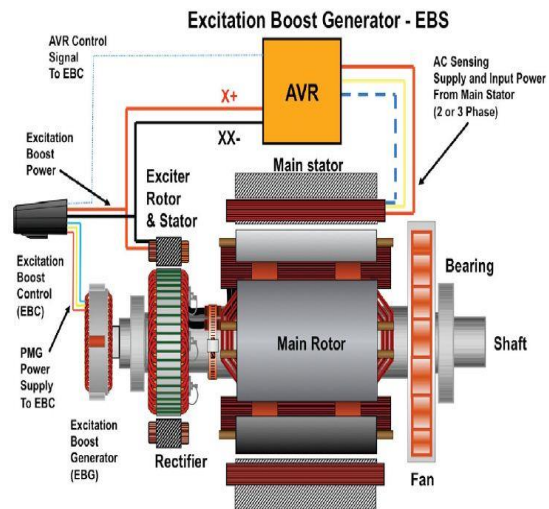
Exciter adalah bagian generator yang berfungsi untuk pembangkit tegangan sebagai sumber arus rotor untuk pembentukan kutub. Exciter ini terdiri dari exciter rotor dan exciter stator, exciter stator ini mendapat sumber arus dari AVR (Automatic Voltage Regulator), sedangkan exciter rotor mengeluarkan tegangan arus kutub rotor.

4. Automatic Voltage Regulator (AVR)

AVR adalah bagian generator yang berfungsi untuk mengatur, mengontrol, dan memonitor tegangan yang keluar dari stator berdasarkan prinsip umpan balik (*feedback*) dimana output dimonitor untuk mengontrol input supaya terjadi keseimbangan antara tegangan keluar dengan tegangan referensi, sehingga tegangan yang keluar dari generator selalu konstan dengan berbagai level beban.

5. Prime Mover

Mesin diesel termasuk mesin dengan pembakaran dalam atau disebut dengan motor bakar ditinjau cara memperoleh energi termalnya (energi panas). Untuk membangkitkan energi listrik, sebuah mesin diesel dihubungkan dengan generator dalam satu poros atau poros dari mesin dikopel dengan poros generator dimana mesin diesel bertindak sebagai prime mover atau penggerak mula untuk memutar generator. Bagian-bagian dari generator AC dapat dilihat dari gambar 2.



THE EBG PROVIDES A SEPARATE POWER SUPPLY TO BOOST EXCITATION WHEN NEEDED.

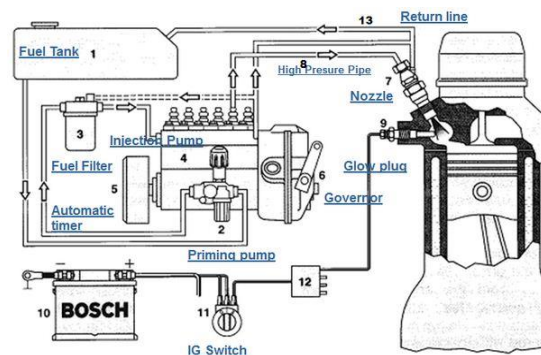
Sumber : www.dunia listrik.com/pictures

Gambar. 2. Bagian - bagian Generator AC

Sistem Generator Set Mesin Diesel

1) Sistem Bahan Bakar Genset

Sistem bahan bakar adalah system sirkulasi bahan bakar dalam mesin diesel. Urutan-urutan system bahan bakar ditunjukkan pada gambar 3.



Sumber : www.rumahdiesel.com/photos

Gambar 3. Urutan Sistem Bahan Bakar Genset Diesel

- Bahan bakar didalam tangki mengalir melalui *feed pump*.
- Feed pump* ini berfungsi jika terjadi kemasukan udara didalam mesin. Dengan memompa maka terdapat aliran solar kedalam seluruh sistem. Didalam mesin diesel tidak diperkenankan ada rongga udara didalam pipa bahan bakar atau selang untuk aliran bahan bakar tersebut.

- c) Setelah minyak tersebut dialirkan menuju *fuel filter*, *fuel filter* ini berfungsi menyaring bahan bakar dari kotoran-kotoran yang ikut masuk ke dalam tangki minyak
- d) Dari *fuel filter* mengalir ke *interjection pump*, didalam injeksi bahan bakar dengan tekanan dari putaran, tekanan yang dihasilkan sangat tinggi maka pipa injeksi yang akan dialiri bahan bakar harus benar-benar kuat dan kokoh supaya tidak ada terjadi kebocoran pada saat pipa mengalir.
- e) Kemudian dari pipa injeksi akan masuk ke nosel, dimana nosel berguna untuk mengakibatkan menjadi butiran-butiran partikel yang kecil sebagian bahan bakar yang dipompa digunakan untuk pengabutan, didalam udara yang panas akibat pemadatan itu bahan bakar yang sudah dalam keadaan bintik-bintik halus (kabut) tersebut segera terbakar.

2) Sistem Pelumasan

Untuk mengurangi getaran antara bagian-bagian yang bergerak dan untuk membuang panas, maka semua bearing dan dinding dalam dari tabung silinder diberi minyak pelumas. Minyak tersebut dihisap dari bak minyak oleh pompa minyak dan akan disalurkan dengan tekanan ke saluran-saluran pembagi setelah terlebih dahulu melewati sistem pendingin dan saringan minyak pelumas. Dari sistem saluran pembagi ini, minyak pelumas tersebut akan disalurkan sampai pada tempat atau sampai ke setiap celah yang ada dalam mesin tersebut.

3) Sistem Pendingin

Yang dimaksud dengan sistem pendinginan adalah metode pendinginan mesin. Pendinginan mesin disini akan membahas pendinginan dengan menggunakan radiator. Pompa-pompa air akan memompa air ke bagian-bagian mesin yang memerlukan pendinginan dan ke alat pendingin udara (*intercooler*). Dari situ air pendingin akan melewati radiator dan kembali kepada pompa-pompa, dan didalam radiator akan terjadi pemindahan panas dari air pendingin ke udara yang melewati celah radiator oleh dorongan kipas angin. Pada saat genset baru dijalankan dan suhu dari bahan pendingin masih terlalu rendah, maka oleh thermostat air tersebut dipaksa melalui jalan potong atau *bypass* dan kembali ke pompa.

Dengan demikian maka air akan lebih cepat mencapai suhu yang diperlukan untuk operasi. Begitu juga selanjutnya jika suhu tersebut telah mencapai maka air pendingin akan mengalir melalui sirkulasi secara otomatis dan seperti itu untuk proses selanjutnya secara berulang-ulang.

4) Sistem Udara

Pemasukan oksigen pada mesin diesel di ruang abak secara biasa (*Natural Aspirated*) yaitu komposisi oksigen yang masuk pada ruang bakar hanya diambil karena kevakuman pada piston waktu bergerak ke bawah. Melalui filter udara kemudian masuk ke ruang bakar melalui katup masuk.

5) Sistem Listrik

Baterai merupakan suatu proses pengubahan energi kimia menjadi energi listrik yang berupa set listrik. Pada dasarnya sel listrik terdiri dari dua buah logam/ konduktor yang berbeda dicelupkan ke dalam larutan maka akan bereaksi secara kimia dan menghasilkan gaya gerak listrik antara kedua konduktor tersebut. Proses pengisian battery dilakukan dengan cara mengalirkan arus melalui sel-sel dengan arah yang berlawanan dengan aliran arus dalam proses pengosongan sehingga sel dikembalikan dalam keadaan semula. Battery yang digunakan pada sistem otomatis generator set berfungsi sebagai sumber arus DC pada saat starting diesel.

Sistem Pengaman

Sistem pengaman harus dapat bekerja cepat dan tepat dalam mengisolir gangguan agar tidak terjadi kerusakan fatal. Proteksi pada mesin generator ada dua macam yaitu :

1) Pengaman Alarm

Bertujuan memberitahukan kepada operator bahwa ada sesuatu yang tidak normal dalam operasi mesin generator dan agar operator atau teknisi akan segera cepat bertindak.

2) Pengaman Trip

Bertujuan untuk menghindarkan mesin generator dari kemungkinan kerusakan karena ada sistem yang berfungsi tidak normal maka mesin stop secara jenis pengaman trip antara lain :

- a. Putaran Lebih (*over speed*)
- b. Temperatur air pendingin tinggi (air radiator)
- c. Tekanan minyak pelumas rendah

- d. *Emergency stop*
- e. *Reverse power*

Pentanahan (*Grounding*)

- ❖ Pentanahan sistem, pentanahan untuk suatu titik pada penghantar arus sistem, pada umumnya titik tersebut adalah titik netral dari suatu mesin, transformator, atau untuk rangkaian listrik tertentu.
- ❖ Pentanahan peralatan sistem, pentanahan untuk suatu bagian yang tidak membawa arus dari sistem, seperti : semua yang berbahan jenis logam seperti saluran kabel penghantar, kerangka mesin batang pemegang sakelar, penutup kotak sakelar.

Relay Pengaman Pada Genset

❖ **Relay Arus Lebih**

Thermal Over Load relay (TORL) digunakan untuk melindungi motor dan perlengkapan kendali motor dari kerusakan akibat beban lebih atau terjadinya hubungan singkat antar hantaran yang menuju jaringan atau arus fasa.

❖ **Relay Tegangan Lebih**

Bekerja apabila terjadi tegangan lebih yang dihasilkan generator melebihi batas maksimalnya yang sudah di tentukan.

❖ **Relay Diferensial**

Bekerja atas dasar perbandingan tegangan atau perbandingan arus, yaitu besarnya arus sebelum lilitan stator dengan arus yang mengalir pada hantaran yang akan menuju jaringan listrik.

❖ **Relay Daya Balik**

Berfungsi untuk mendeteksi aliran daya aktif yang masuk kea arah generator set (genset).

Pengoperasian Generator Set (Genset)

Untuk pengoperasian pada genset yang digunakan di Ramayana tersebut dirancang untuk mensuplai beban yang tinggi, pada sistem pengoperasiannya bisa dilakukan dengan menekan tombol yang ada di genset start dan stop, pengoperasian ini dilakukan biasanya selama 15 menit hanya untuk pemanasan mesin. Selama 25-30 detik genset sudah dapat mengalirkan listrik ke panel distribusi setelah dilakukan menekan tombol start.

Manajemen Pemeliharaan

1) *Pengertian pemeliharaan*

Suatu kegiatan yang meliputi perawatan, pemeriksaan, perbaikan fasilitas/peralatan agar tetap mempertahankan performa dari peralatan tersebut saat beroperasi. Penyesuaian dapat diterima sesuai standarisasi yang telah di tetapkan.

2) *Ketentuan Pemeliharaan*

a. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000)

Perawatan generator set (genset) yang diterapkan pada PUIL 2000 yang ada di bagian 2 persyaratan dasar 2.6 tentang pemeliharaan dan dibagian 5 tentang perlengkapan listrik termaksud didalamnya perlengkapan listrik untuk generator set (genset). Dalam ruang lingkup pemeliharaan terdapat pada PUIL 2000 pemeliharaan meliputi program pemeriksaan, perawatan, perbaikan, dan pengujian ulang berdasarkan pemeliharaan yang sudah ditentukan.

Tujuan pemeliharaan tersebut agar pemeliharaan, perawatan maupun perbaikan peralatan-peralatan listrik dapat dilakukan dengan mudah dan aman sehingga peralatan-peralatan tersebut dapat bekerja dengan baik sesuai yang kita harapkan. Selanjutnya pada bagian 9.4.3 dilakukan pengujian dan pemeriksaan peralatan-peralatan listrik peralatan-peralatan yang sudah selesai dipasang sebelumnya dilakukan pemeriksaan sebelum dioperasikan, dan dikeluarkan surat keputusan kayak operasi dari pihak yang berwenang. Adapun pemeriksaan dan pengujian peralatan listrik dilakukan antara lain mengenai hal :

- a. Berbagai macam tanda pengenalan dan papan peringatan.
- b. Perlengkapan listrik yang dipasang.
- c. Cara memasang perlengkapan listrik.
- d. Polaritas, sesuai dengan bagian 2.5.2.
- e. Penumbumian, sesuai dengan bagian 3.18.
- f. Resistansi isolasi, sesuai dengan bagian, 3.20.
- g. Kesenambungan sirkit.
- h. Sistem proteksi system instalasi listrik.

Semua perlengkapan peralatan yang dipasang pada instalasi listrik harus memenuhi standar yang berlaku.

b. Perusahaan (Pabrik)

Agar genset selalu dalam keadaan baik, pemeliharaan rutin genset mutlak harus dilakukan secara rutin. Perawatan atau pemeliharaan genset harus dilakukan dengan baik sesuai petunjuk pada buku manual genset. Gunakan bahan bakar, pelumas dan suku cadang yang sesuai spesifikasi genset dan direkomendasikan oleh pabrikan agar genset dapat beroperasi dalam jangka waktu lebih lama dan meminimalkan gangguan selama masa pengoperasian.

Pemeliharaan genset dilakukan secara rutin dengan rincian pemeliharaan yang akan dijelaskan dibawah ini :

1) Pengecekan kapasitas air radiator

Pengecekan kapasitas air radiator dilakukan untuk memastikan air radiator berada pada level cukup, jika air radiator berada pada level kurang harus ditambah sampai pada level cukup.

2) Pengecekan kapasitas oli mesin

Seperti halnya air radiator, oli mesin juga harus dipastikan berada pada level yang cukup, tambahkan jika oli mesin berada pada level kurang.

3) Pengecekan konektor dan kabel accumulator/battery

Konektor dan kabel accumulator/battery dibersihkan dari kemungkinan korosi yang timbul dan dikencangkan jika kendur.

4) Pengecekan persediaan bahan bakar

Bahan bakar solar pada tangki induk dan tangki harian dipastikan cukup untuk beroperasi selama 6 (enam) jam. Jika bahan bakar pada tangki harian berada pada level kurang dari setengah tangki maka harus dilakukan pengisian dari tangki induk. Tapi jika bahan bakar pada tangki induk telah kurang dari setengah tangki maka harus dilakukan proses pengadaan bahan bakar solar kembali.

5) Pembersihan unit genset

Unit genset harus dibersihkan dari kotoran seperti debu, cairan atau kotoran lainnya agar kondisi unit genset selalu bersih. Gunakan kain bersih dan blower untuk membersihkan unit genset, jangan membersihkan unit genset dengan bahan pembersih yang bersifat korosif dan mudah terbakar.

6) Pembersihan ruang genset

Selain unit genset, ruangan genset juga harus selalu dijaga kebersihannya untuk

menghindari serangga atau hewan pengerat bersarang di ruang genset, ruang genset yang bersih akan membuat sirkulasi udara bersih lebih baik.

7) Running test genset selama 15 menit

Genset yang berada pada posisi siaga (stand-by) harus secara rutin dipanaskan untuk menjaga ketersediaan saat genset dibutuhkan.

c. Tujuan Utama Pemeliharaan

1. Untuk memperpanjang umur penggunaan asset.
2. Untuk menjamin ketersediaan dan kehandalan peralatan yang dipasang untuk produksi dan dapat diperoleh laba yang maksimum.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang dipergunakan dalam keadaan darurat setiap waktu.

3) Jenis- Jenis Pemeliharaan

Dalam istilah perawatan disana tercakup dua pekerjaan yaitu istilah “perawatan” dan “perbaikan”. Perawatan dimaksud dengan aktifitas untuk mencegah kerusakan, sedangkan istilah perbaikan dimaksud sebagai tindakan untuk memperbaiki kerusakan.

Secara umum ditinjau dari saat pelaksanaan pekerjaan perawatan, dapat dibagi menjadi dua cara :

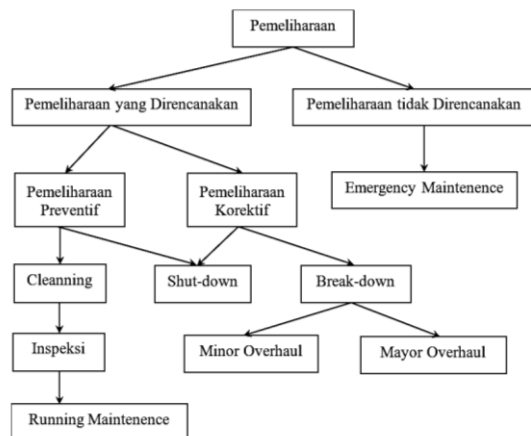
1. Pemeliharaan yang direncanakan (*Planned Maintenance*)

Yaitu pemeliharaan yang sudah direncanakan atau yang sudah dilakukan secara rutin, seperti penggantian pelumasan, dan penggantian air radiator.

2. Pemeliharaan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*)

Pemeliharaan untuk menanggulangi kerusakan peralatan atau fasilitas yang terjadi secara tiba-tiba tanpa terduga sebelumnya. Pemeliharaan ini dilakukan bila terjadi pada keadaan darurat untuk mencegah agar tidak terjadi kerusakan yang lebih serius.

Secara skema pembagian pemeliharaan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Skema Pembagian Pemeliharaan
Sumber : Perawatan dan Perbaikan Mesin, AAN Ardrian, M.Pd.

4) Bentuk – Bentuk Pemeliharaan

1. Pemeliharaan Preventif (Preventive Maintenance)

Pemeliharaan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan, atau cara pemeliharaan yang direncanakan untuk mencegah (preventif). Ruang lingkup pekerjaan preventif termasuk, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan peralatan atau mesin-mesin selama beroperasi sehingga akan terhindar dari kerusakan.

2. Pemeliharaan Korektif

Pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi fasilitas/peralatan sehingga mencapai standar yang dapat diterima. Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan sedemikian rupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik dan handal.

3. Pemeliharaan Berjalan

Dimana proses pekerjaan atau perbaikan dilakukan pada saat peralatan-peralatan tersebut sedang beroperasi. Proses pengerjaan ini dilakukan terhadap peralatan-peralatan utama yang digunakan pada saat beroperasi untuk melayani produksi.

4. Pemeliharaan Prediktif

Pemeliharaan prediktif ini dilakukan pada saat adanya perubahan atau kelainan pada generator set tersebut maupun itu pada fisik maupun sistem peralatan. Biasanya pemeliharaan prediktif ini dilakukan atau dapat di deteksi melalui panca indera dan dengan feedback seperti alat-alat yang canggih.

5. Pemeliharaan Setelah Terjadi Kerusakan (Breakdown Maintenance)

Kegiatan pemeliharaan dilakukan setelah terjadi kerusakan pada mesin tersebut atau pada peralatan, dan untuk memperbaikinya harus tersedia suku cadang, atau stok material dan tenaga kerja yang ahli dibagian tersebut.

6. Pemeliharaan Darurat (Emergency Maintenance)

Proses pemeliharaan yang dilakukan yang harus cepat dilakukan karena jika tidak cepat dilakukan perbaikan akan mengganggu proses produksi atau akan terjadi kerusakan yang fatal. Selain jenis-jenis perawatan yang sudah disebutkan ada juga beberapa contoh pekerjaan yang merupakan jenis perbaikan dan pemeliharaan, seperti.

❖ Pemeliharaan dengan cara penggantian (*Replacement Instead of Maintenance*)

Pemeliharaan dilakukan dengan cara mengganti peralatan-peralatan tanpa dilakukan perawatan karena harga pemeliharaan relatif lebih mahal dari pada penggantian peralatan, atau seiringnya berkembangnya jaman peralatan-peralatan yang umurnya lama jika terjadi kerusakan sulit untuk dilakukan perbaikan, lebih baik diganti dengan peralatan baru.

❖ Penggantian yang di rencanakan (*Planned Replacement*)

Dengan dilakukannya pemeliharaan ini dalam waktu yang ditentukan akan dilakukan penggantian peralatan yang baru, yang proses perawatannya tidak memerlukan waktu yang lama, kecuali untuk melakukan penggantian oli dan penyetelan peralatan-peralatan lainnya. Ketika peralatan telah menurun kondisinya langsung dilakukan proses penggantian peralatan tersebut, maka dari itu perusahaan harus terus menyediakan stok peralatan yang akan diganti.

5) Strategi Pemeliharaan

Pemilihan program pemeliharaan akan mempengaruhi kelangsungan produktivitas produksi. Karena itu penting dipertimbangkan untuk mengenai perawatan dan pemeliharaan yang baik, karena yang terutama adalah berkaitan dengan kebutuhan suatu produksi, agar peralatan tersebut benar-benar handal dan tersedia pada saat digunakan. Dalam mendukung pemeliharaan yang strategis

dibutuhkan tenaga ahli/teknisi yang benar-benar handal di bagian pemeliharaan mesin diesel (generator), dan ketersediaan stok peralatan.

Pemeliharaan Berkala Khusus Generator Set (Genset)

Ada beberapa bagian yang harus dilakukan pemeriksaan berkala, jika diperlukan maka dilakukan tindakan lanjutan berupa perawatan, perbaikan atau penggantian part. Adapun pemeliharaan berkala yang dimaksud antara lain :

- 1) Pemeliharaan Sistem Bahan Bakar
- 2) Pemeliharaan Berkala Sistem Pelumasan (Oli)
- 3) Pemeliharaan Berkala Sistem Pendingin
- 4) Pemeliharaan Berkala Sistem Pembuangan
- 5) Pemeliharaan Berkala Sistem Baterai
- 6) Pemanasan Berkala Genset

Perkiraan Kinerja Generator Set (Genset)

Untuk menginginkan kehandalan dan ketersediaan generator set (genset) maka dilakukan proses pemeliharaan yang baik menurut standar, maka setiap teknisi harus melakukan evaluasi pemeliharaan secara berkala. Sehingga kinerja peralatan-peralatan dapat memenuhi standar. Adapun perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui kinerja generator set (genset).

1. *Spesified Operating Time (SOT)*

Spesified Operating Time (SOT) ditulis dalam persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$SOT = A \times B \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

A = Total Waktu Genset Beroperasi

B = Jumlah Hari Dalam Waktu 1 Tahun

2. *Actual Operating Time (AOT)*

Actual Operating Time (AOT) ditulis dalam persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$AOT = m = SOT - (S+T) \dots\dots(2)$$

Dimana,

S = Total Waktu Pemeliharaan Berjadwal Dalam 1 Tahun

T = Total Waktu Pemeliharaan Tidak Berjadwal Dalam 1 Tahun

3. *Mean Time Between Failures (MTBF)*

Untuk melakukan perhitungan rata - rata waktu antara kegagalan / *Mean Time Between Failures (MTBF)* ditulis dalam persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{AOT}{\text{Jumlah Kegagalan Dalam 1 Tahun}} \dots\dots\dots(3)$$

4. *Kehandalan (Reliability)*

Persamaan untuk menentukan kehandalan ditulis dalam persamaan berikut:

$$R = 100.e^{-t/m} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

e = 2.718 (Bilangan natural logaritma)

t = Lama waktu pengamatan

m = *Actual Operating Time (AOT)*

5. *Ketersediaan (Availability)*

Persamaan untuk mencari nilai kehandalan ditulis dalam persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$A = \frac{\text{Waktu Operasi Aktual (AOT)}}{\text{Waktu Operasi Yang ditetapkan (SOT)}} \times 100\% \dots\dots(5)$$

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar yang terletak di Jl. Dr. Sutomo Kota Pematang Siantar, Provinsi Sumatera Utara. Yang kegiatan penelitian dilakukan dari mulai tanggal 12 Oktober sampai dengan 25 April 2021.

Data – Data Yang Diperlukan

Adapun data-data yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Kapasitas beban di PT. Ramayana
2. Data-data dari Generator set (genset)
3. Data pemeliharaan berkala peralatan-peralatan generator set (genset)

Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini untuk mencapai data yang diperlukan meliputi tahap demi tahap, yaitu seperti :

- 1) Studi Literatur
- 2) Studi literature dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan membaca buku-buku selama kuliah, teori-teori yang berkaitan dengan pembahasan yang berasal dari buku-buku referensi baik itu milik para penulis, dari perpustakaan, dan juga jurnal, layanan internet, melakukan observasi langsung ke lokasi penelitian.
- 3) Bimbingan
- 4) Melakukan diskusi seperti bertanya kepada para dosen khususnya Dosen-dosen Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan khususnya Prodi Teknik Elektro, dan kepada orang-orang yang ahli dibidang

penelitian yang dilakukan. Berdiskusi atau wawancara langsung kepada teknisi yang ada di PT. Ramayana tersebut, yang bertujuan untuk mendukung proses penelitian ini.

Perhitungan dan Pengolahan Data

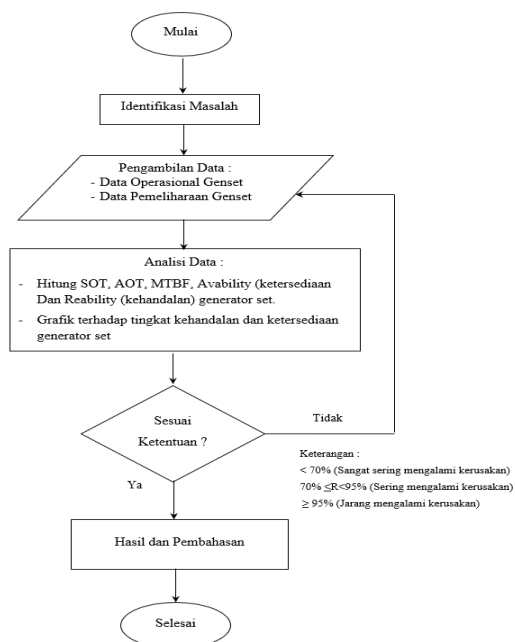
- 5) Setelah selesai melakukan pengamatan pada saat penelitian, selanjutnya untuk mengetahui tingkat ketersediaan dan kehandalan generator set (genset) diperlukan data-data peralatan generator set (genset) untuk melakukan perhitungan tingkat ketersediaan dan kehandalan dan data kerusakan yang didapat dari buku operasional genset yang biasa itu di amati oleh teknisi.
- 6) Pengambilan Kesimpulan dan Saran
- 7) Kesimpulan dapat diambil setelah selesai melakukan perhitungan dan pengumpulan pengambilan data kemudian dapat diberikan saran untuk bagaimana penggunaan dan pemeliharaan peralatan-peralatan listrik yang efisien.

Data Yang Diamati

Adapun data-data khususnya yang diamati pada saat penelitian adalah sebagai berikut :

- 1) Pemeliharaan generator set (genset) secara berkala.
- 2) Ketersediaan dan kehandalan generator set (genset) secara berkala.

Prosedur Penelitian



Gambar 5. Diagram Proses Penelitian

Bentuk Penelitian yang digunakan pada pengamatan tersebut digunakan proses penelitian kuantitatif yang sistematis yang artinya proses yang digunakan dalam proses penelitian menggunakan langkah-langkah tertentu dalam pengambilan data. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 5.

HASIL DAN ANALISIS

Perhitungan Kinerja Generator Set (Genset)

a. *Spesified Operating Time (SOT)*

Waktu operasional yang ditentukan PT. Ramayana mulai dari (periode mei 2020 – april 2021) relative pengoperasian per harinya selama 12 jam. Perhitungan *specified operating time (SOT)* pada generator set (genset) 1 dan 2 dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Waktu Operasional Generator Set yang ditentukan selama Satu Tahun

Tahun	2020 - 2021		
Bulan	Genset	Hitungan SOT/Bulan	SOT (Jam)
Mei (2020)	Genset 1 dan 2	SOT Mei 31 x 12	372
Juni (2020)	Genset 1 dan 2	SOT Juni 30 x 12	360
Juli (2020)	Genset 1 dan 2	SOT Juli 31 x 12	372
Agustus (2020)	Genset 1 dan 2	SOT Agustus 31 x 12	372
September (2020)	Genset 1 dan 2	SOT September 30 x 12	360
Oktober (2020)	Genset 1 dan 2	SOT Oktober 31 x 12	372
November (2020)	Genset 1 dan 2	SOT November 30 x 12	360
Desember (2020)	Genset 1 dan 2	SOT Desember 31 x 12	372
Januari (2021)	Genset 1 dan 2	SOT Januari 31 x 12	372
Februari (2021)	Genset 1 dan 2	SOT Februari 28 x 12	336
Maret (2021)	Genset 1 dan 2	SOT Maret 31 x 12	372
April (2021)	Genset 1 dan 2	SOT April 30 x 12	360
TOTAL			4380

b. Waktu Periode Pemeliharaan (S)

Generator set (genset) yang berada pada PT. Ramayana tidak dioperasikan untuk melakukan proses pemeliharaan rutin/jadwal yang biasanya dilakukan para teknisi listrik khususnya agar tidak terjadi kerusakan atau berkurangnya kehandalan generator set (genset) tersebut saat beroperasi nantinya. Rata-rata dilakukannya proses perawatan ini secara rutin sekitar 2 kali dilakukannya dalam waktu seminggu dengan waktu 30 menit sekali melakukan pemeliharaan 4 jam/ bulan (48 jam/Tahun).

c. Total Waktu Kerusakan (T) dan Jumlah Kerusakan

Total waktu kerusakan adalah yang dimaksud dimana peralatan-peralatan listrik tersebut tidak digunakan atau tidak dioperasikan karena mengalami kerusakan pada peralatan tersebut, data kerusakan generator set (genset) tersebut dapat dilihat pada tabel 5. Data total waktu kerusakan dan jumlah peralatan listrik yang tidak beroperasi di PT. Ramayana diambil dari mulai bulan Mei 2020 – April 2021.

Tabel 5. Data Waktu Operasi dan Kerusakan Generator Set (Genset) 1 dan 2 di bulan Mei 2020 – April 2021

TAHUN	BULAN												T _{rusak} (Jam)	
	2020-2021	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar		Apr
GENSET	G1		1		3			2	1	3		1	2	13
	Rusak		4		4			3	2	2		2	3	21
GENSET	G2	1		1	2					2				8
	Rusak	2		2	3					4				11

d. Actual Operating Time (AOT)

Perhitungan waktu operasi yang sebenarnya (AOT) Genset 1 dan Genset 2 (Mei 2020 – April 2021) diperlihatkan Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan SOT Genset 1 dan 2 Bulan Mei 2020 s/d April 2021.

TAHUN	BULAN											
	2020-2021	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar
G1 (Jam)	368	355	368	365	356	368	354	367	365	332	367	354
G2 (Jam)	364	356	367	366	356	368	356	368	368	330	368	356

e. Mean Time Between Failures (MTBF)

Untuk melakukan perhitungan rata - rata waktu antara kegagalan (MTBF) dapat dilakukan sebagai berikut :

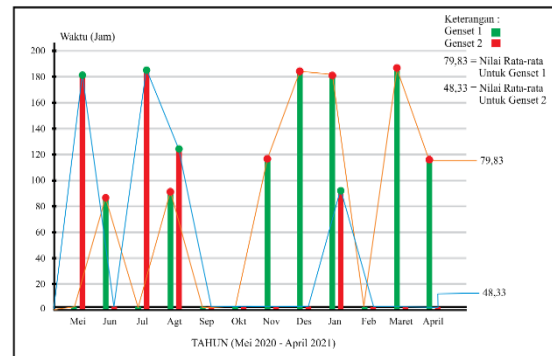
$$MTBF = \frac{\text{Operasi Operasi Yang Aktual (AOT)}}{\text{Jumlah Kegagalan}}$$

hasil perhitungannya diperlihatkan tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan MTBF Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021.

TAHUN	BULAN												Rata-Rata
	2020-2021	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	
G1 (Jam)	0	88	0	91	0	0	113	183	182	0	183	118	79,83
G2 (Jam)	182	0	183	122	0	0	0	0	92	0	0	0	48,33

Grafik MTBF Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021 diperlihatkan gambar 4.1.



Gambar 6. Grafik MTBF Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021

f. Kehandalan (Reliability)

Untuk menentukan tingkat kehandalan masing-masing generator set (genset) di PT. Ramayana dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$R = 100 \cdot e^{-t/m}, \text{ dimana } e = 2,718$$

Hasil perhitungan selengkapnya diperlihatkan tabel 8.

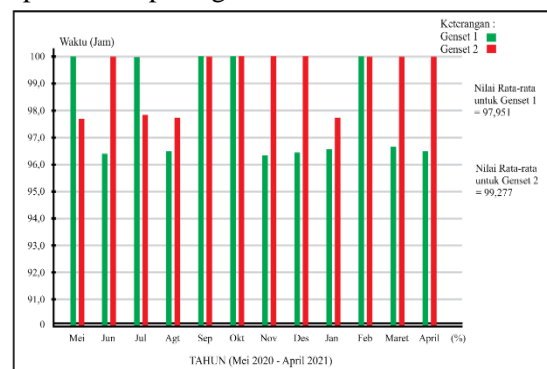
Tabel 8. Hasil Tingkat Kehandalan Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021

TAHUN	BULAN												Rata-Rata
	2020-2021	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	
G1 (%)	100	96,46	100	96,56	100	100	96,39	96,53	96,56	100	96,53	96,39	97,951
G2 (%)	97,82	100	97,84	97,83	100	100	100	100	97,84	100	100	100	99,277

Keterangan :

- < 70% (Sangat sering mengalami gangguan)
- 70% ≤ R < 95% (Sering mengalami gangguan)
- ≥ 95% (Jarang mengalami gangguan)

Grafik Tingkat Kehandalan (Reliability) Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021 dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Tingkat Kehandalan (Reliability) Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021

g. Tingkat Ketersediaan (*Availability*)

Untuk mengetahui tingkat ketersediaan generator set (genset) di PT. Ramayana dilakukan perhitungan seperti :

$$A = \frac{\text{Waktu Operasi Yang Aktual (AOT)}}{\text{Waktu Operasi Yang ditetapkan (SOT)}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan tingkat ketersediaan generator diperlihatkan tabel 8

Tabel 8. Rata – rata Tingkat Ketersediaan Generator Set (Genset) 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021.

TAHUN	BULAN												Rata-Rata
	2020-2021	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	
G1 (%)	98,9	98,6	98,9	98,1	98,8	98,9	95,1	98,6	98,1	98,8	98,6	98,3	98,308
G2 (%)	97,8	98,8	98,6	98,3	98,8	98,9	95,6	98,9	98,9	98,2	98,9	98,8	98,375

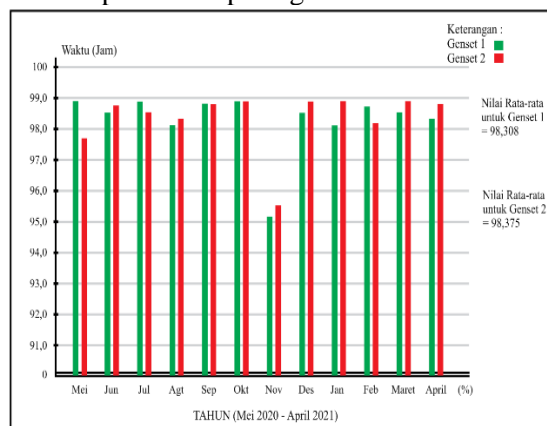
Keterangan :

< 70% (Sangat sering mengalami kerusakan)

70% ≤ R < 95% (Sering mengalami kerusakan)

≥ 95% (Jarang mengalami kerusakan)

Grafik Tingkat Ketersediaan (*Availability*) Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021 dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Tingkat Ketersediaan (*Availability*) Genset 1 dan 2 Pada Bulan Mei 2020 s/d April 2021

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan terhadap hasil kinerja di PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar.

1. Hasil analisis menunjukkan tingkat rata-rata kehandalan dari generator set (genset) 1 dan 2 dari bulan Mei 2020 – April 2021 seperti yang terlihat pada tabel 4.5. Tingkat rata-rata kehandalan generator set (genset) 1 dari bulan Mei 2020 – April 2021 sebesar 97,95 %, dan untuk tingkat rata-rata kehandalan

genset 2 dari bulan Mei 2020 – April 2021 sebesar 99,27 %. Terdapat penurunan tingkat kehandalan pada genset 1 di bulan Mei dan agustus 2020 terdapat penurunan kehandalan pada genset 1 disebabkan karena terjadinya kerusakan pada komponen yang membutuhkan waktu pemeliharaan yang lebih serius dari bulan yang lainnya. Sesuai ketentuan dari Perusahaan (Pabrik) dan hasil analisis perhitungan. Dari masing – masing generator set (genset) masuk dalam keadaan golongan jarang mengalami kerusakan ($R \geq 95\%$).

2. Hasil analisis menunjukkan tingkat ketersediaan dari masing-masing generator set (genset) 1 dan 2 dari bulan Mei 2020 – April 2021 seperti terlihat pada tabel 4.6. Tingkat rata – rata ketersediaan untuk generator set (genset) 1 pada bulan Mei 2020 – April 2021 sebesar 98,30%, dan tingkat rata – rata ketersediaan untuk generator set (genset) 2 pada bulan Mei 2020 – April 2021 sebesar 98,37%. Sesuai ketentuan dari Perusahaan (Pabrik). Dari masing – masing generator set (genset) masuk dalam keadaan golongan jarang mengalami kerusakan ($R \geq 95\%$).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aan Ardian. 2017. *Perawatan Dan Perbaikan Mesin*. Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- [2] *Analisis Hubungan Kinerja Generator Set Dengan Pemeliharaan Berkala Di Bandara Udara Internasional Adisujitpo Yogyakarta*, Jurnal Aviasi Langit Biru, 2013
- [3] PUSDIKLAT, *Pemeliharaan PLTD PT. PLN (Persero)*, Februari 2011.
- [4] PT. JUBILEE POWERGEN ENVITEC, *Generator Set*, Jakarta 2017
- [5] *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*.
- [6] *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2019 Tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri Yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi*

- [7] V.L. Maleev, M.E., DR. AM. Bambang Priambodo, *IR. Operasi Dan Pemeliharaan Mesin Diesel*, Erlangga, Jakarta, 1954.
- [8] Tri Watiningsih, S.T, M.T, Kholistianingsih, S.T, M,Eng, Ir. Pingit Broto Almadi, M.T., *Pembangkit Tenaga Listrik*.
- [9] Wiranto Arismunandar dan Koichi Tsuda. *Motor Diesel Putaran Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta. 1997.