

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama	Keterkaitan Penelitian
1	Fanliptop Gusnanda Tri Wiguna (2022)	Analisa Performa Baterai Pada Sistem UPS Daya 30 kVA Tegangan 110 Volt Arus 15 A	Menunjukkan bahwa pada sub-station 860 performanya baterai sangat baik, sedangkan pada sub-station 723 kurang baik karena terdapat 20pcs baterai dengan level tegangan dibawah <1volt/cell.	Kajian sebelumnya memberikan temuan empiris yang relevan
2	Oki Elfrida Handayani (2022)	Analisis Kinerja UPS Beban Gedung Terminal Dengan Beban Airfield Lighting S (Hidayat & Wildan, 2024)	Terdapat perbedaan hasil perhitungan kapasitas suplai UPS antara Gedung Terminal dengan Airfield Lighting System, dimana kapasitas suplai UPS 32.988VA sedangkan Airfield Lighting System sebesar 65.913 VA.	Hasil penelitian sebelumnya menjadi acuan dalam memahami karakteristik UPS
3	Rakhmad Syafutra Lubis, Abdul Haris,	Perancangan UPS Untuk Peningkatan Fleksibilitas Penggunaan dan Lebih	Prototipe suplai daya AC satu fasa (untuk aplikasi UPS) dengan inverter kendali PWM berbasis	Penelitian sebelumnya membahas analisis komponen

	Tarmizi (2022)	Ekonomis dengan Inverter Kendali PWM Berbasis Mikrokontroler ATmega 328	mikrokontroler ATmega 328 mampu beroperasi mencapai 100 watt dengan tegangan output sesuai standar.	utama dan pendukung sistem pada UPS
4	Lukman Yudand Hidayat, Muh Wildan (2024)	Perencanaan Perawatan Preventive Untuk Uninterruptible Power Supply (UPS) System	Pendekatan ini mengintegrasikan detail penjadwalan ke dalam diskusi yang lebih luas mengenai perawatan preventif, dengan menekankan perannya dalam menjaga keandalan dan efisiensi sistem UPS.	Penelitian ini memiliki keterkaitan dalam bidang perawatan UPS
5	Ahmad Safi'I, Rizky Mubarak, Rizki Noor Prasetyono, Nasrulloh (2023)	Analisis Pemeliharaan Rutin (Preventive Maintenance) 110VDC System di PLTM Gunung Wugul PT PLN Indonesia Power Mrica PGU	Didapatkan tegangan sel sistem baterai 110 VDC diperoleh tegangan drop, perlu adanya tindakan perbaikan atau penggantian sel baterai	Penelitian ini dapat menunjukkan spesifikasi kinerja UPS dalam suatu perusahaan

Berdasarkan kajian terhadap berbagai penelitian terdahulu, sebagian besar studi hanya membahas analisis keandalan sistem UPS

secara umum. Namun, masih terdapat keterbatasan penelitian yang secara spesifik mengkaji kegagalan operasi UPS pada sistem DCS di lingkungan minyak dan gas yang memiliki tingkat kompleksitas dan standar keandalan sistem jauh lebih tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki nilai tambah karena berfokus pada identifikasi dan analisis faktor penyebab kegagalan UPS dalam lingkungan operasi industri minyak dan gas, dengan tujuan memberikan rekomendasi untuk meningkatkan keandalan pasokan daya dan menjaga kontinuitas operasi sistem kritikal.

2.2. Landasan Teori

Pencatu daya atau pemasok daya adalah alat listrik yang memasok tenaga listrik ke suatu beban listrik. Fungsi utama catu daya adalah untuk mengubah arus listrik dari sumber menjadi tegangan, arus, dan frekuensi yang benar untuk memberi daya pada beban (*load*). Akibatnya, catu daya terkadang disebut sebagai konverter daya listrik. Beberapa catu daya adalah bagian peralatan mandiri yang terpisah, sementara yang lain dibuat ke dalam peralatan beban yang diberi daya. Contoh yang terakhir termasuk catu daya yang ditemukan di komputer *desktop* dan perangkat elektronik konsumen. Fungsi lain yang mungkin dilakukan oleh catu daya termasuk membatasi arus yang ditarik oleh beban ke tingkat yang aman, mematikan arus jika terjadi kesalahan listrik, pengkondisian daya untuk mencegah derau elektronik atau lonjakan tegangan pada masukan mencapai beban, koreksi faktor-daya, dan menyimpan energi sehingga dapat terus memberi daya pada beban jika terjadi gangguan sementara pada sumber daya (pasokan daya tak terputus). (Istardi, 2017)

Jenis catu daya :

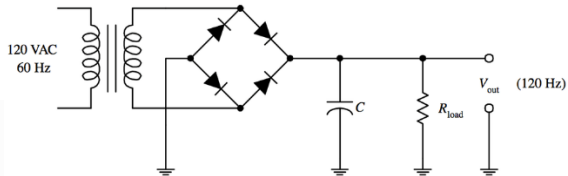
1. Catu daya DC

Catu daya DC adalah salah satu yang memasok tegangan DC konstan ke bebannya. Tergantung pada desainnya, catu daya DC dapat diberi daya dari sumber DC atau dari sumber AC seperti sumber listrik. (Mudjiono, 2018)

2. Pasokan AC ke DC

Catu daya DC menggunakan listrik utama AC sebagai sumber energi. Catu daya semacam itu akan menggunakan *transformator* untuk mengubah tegangan input menjadi tegangan AC yang lebih tinggi atau lebih

rendah. Penyearah digunakan untuk mengubah tegangan keluaran *transformator* menjadi tegangan DC yang bervariasi, yang kemudian dilewatkan melalui *filter* elektronik untuk mengubahnya menjadi tegangan DC yang tidak diatur. (Suriansyah, B. 2019)



Gambar 2. 1 Skema catu daya AC ke DC (Didi Istardi, 2017)

3. Catu daya kapasitif (tanpa *transformator*)

Sebuah catu daya kapasitif (catu daya tanpa transformator) menggunakan reaktansi kapasitor untuk mengurangi tegangan listrik menjadi tegangan AC yang lebih kecil. Biasanya, tegangan AC yang berkurang yang dihasilkan kemudian diperbaiki, disaring dan diatur untuk menghasilkan tegangan output DC yang konstan. Tegangan keluaran tidak diisolasi dari sumber listrik. Akibatnya, untuk menghindari orang dan peralatan terpapar tegangan tinggi yang berbahaya, segala sesuatu yang terhubung ke catu daya harus diisolasi dengan baik. (Istardi, 2017)

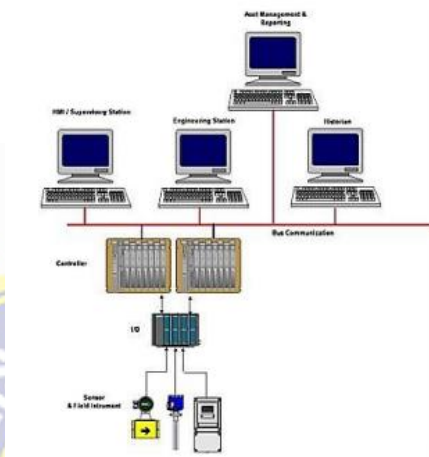
4. Catu Daya AC

Sebuah catu daya AC biasanya mengambil tegangan dari stopkontak di dinding (catu daya) dan menggunakan trafo untuk menaikkan atau menurunkan tegangan ke tegangan yang diinginkan. Beberapa pemfilteran mungkin dilakukan juga. Dalam beberapa kasus, tegangan sumber sama dengan tegangan keluaran; ini disebut transformator isolasi. Trafo catu daya AC lainnya tidak menyediakan isolasi listrik ini disebut *autotransformer*. (Istardi, 2017)

2.2.1. *Distribute Control System (DCS)*

Distribute Control System (DCS) adalah sistem kontrol terkomputerisasi untuk pabrik umumnya dengan banyak *loop control*, dimana kontroler otonom didistribusikan ke sistem, tetapi tidak ada kontrol pengawasan dari operator pusat. Konsep DCS ialah

meningkatkan keandalan dan efisiensi pemasangan dengan melokalisasi fungsi kontrol didekat pabrik dengan pemantauan dan pengawasan dari jarak jauh. (Hidayat, 2017)



Gambar 2. 2Distribute Control System (DCS) (Hidayat, 2017)

Distribute Control System (DCS) umumnya menggunakan desentralisasi subsistem untuk mengelola data proses distribusi. Industri yang sistem distribusi DCS mendapatkan fleksibilitas, masa pakai sebuah *instrument* yang lebih panjang, *instrument* sistem saling berinteraksi, dan kemudahan mengontrol proses produksi. Sebuah sistem kontrol distribusi pasti melibatkan kontrol lain di dalam proses produksi. Meskipun melibatkan beberapa unit kontroler terpisah, hal tersebut dapat dikendalikan oleh sistem DCS. Karena pada dasarnya, setiap kontroler mengacu pada filosofi proses yang telah ditentukan.

A. Fungsi DCS

Sistem kendali terdistribusi banyak diaplikasikan pada suatu proses industri yang mempunyai karakteristik berupa proses yang kontinu atau batch. Pada proses kontinu, besaran atau parameter kontrol bersifat data yang secara terus-menerus mengalami perubahan seiring dengan perubahan parameter kontrolnya. Industri semacam ini sangat bergantung pada keandalan proses produksinya untuk menjamin kualitas produk dan jasanya.

Dibutuhkan sistem kontrol yang mampu bekerja secara kontinu dengan tingkat keandalan yang tinggi. Oleh karena itu sistem kendali terdistribusi berfungsi sebagai sistem kendali yang bertujuan untuk mencapai dan mempertahankan suatu *variable* proses pada nilai tertentu secara terus-menerus. (Hidayat, 2017)

1. DCS berfungsi sebagai alat untuk melakukan kontrol suatu *loop* sistem di mana satu *loop* bisa terjadi beberapa proses kontrol.
2. DCS berfungsi sebagai pengganti alat-alat kontrol manual dan auto yang terpisah-pisah menjadi suatu kesatuan sehingga lebih mudah untuk pemeliharaan dan penggunaannya.
3. DCS berfungsi sebagai sarana pengumpul data dan pengolahan data agar didapat suatu proses yang benar-benar diinginkan.

B. Dampak Gangguan pada DCS

Distributed Control System (DCS) merupakan sistem kendali terdistribusi yang berfungsi untuk mengendalikan dan memonitor proses industri secara otomatis dan kontinu. Sistem ini terdiri atas *controller*, modul *input/output* (I/O), *server*, dan jaringan komunikasi yang saling terhubung. Karena seluruh proses bergantung pada sistem elektronik dan komputerisasi, maka kestabilan daya listrik menjadi faktor yang sangat penting bagi performa DCS. (Triwiguna, 2022)

Komponen-komponen utama DCS seperti *controller*, HMI (*Human Machine Interface*), *server*, dan modul I/O memerlukan tegangan DC yang stabil, umumnya sebesar 24 VDC, serta suplai AC yang bersih untuk sistem server dan jaringan. Untuk menjamin keandalan sistem, DCS biasanya dilengkapi dengan:

- a) *Power supply redundancy*
- b) UPS (*Uninterruptible Power Supply*)
- c) *Grounding* dan *surge protection*

Tujuannya adalah memastikan sistem tetap bekerja tanpa gangguan meskipun terjadi fluktuasi daya atau pemadaman sesaat. Dikarenakan kebutuhan proses yang mengharuskan unit DCS untuk memonitoring semua parameter produksi, maka keandalan dari suatu sistem DCS begitu dijaga. Apabila DCS kehilangan daya secara abnormal maka beberapa dampak mungkin dapat terjadi, antara lain :

1. Modul I/O tidak dapat membaca sinyal dengan benar, menyebabkan kesalahan kontrol (*error reading*) atau alamat palsu.
2. Dapat merusak komponen sensitif seperti CPU, *power supply*, dan kartu komunikasi.
3. Proses kontrol berhenti total, data proses hilang dan sistem memerlukan waktu untuk *restart (downtime)*.
4. Mengganggu komunikasi data antar modul, menyebabkan sistem *lag* atau *error*.
5. Mengganggu kestabilan *timing* sistem dan menurunkan akurasi kontrol, bahkan dapat mengganggu stabilitas produksi industri, kerugian produksi, serta potensi bahaya keselamatan apabila peralatan gagal berfungsi dengan benar

DCS sangat bergantung pada pasokan daya listrik yang stabil dan bersih. Gangguan pada suplai daya, baik dalam bentuk penurunan tegangan, lonjakan, maupun pemadaman, dapat menghambat fungsi kontrol, menyebabkan downtime, dan berpotensi menimbulkan kerusakan sistem. Oleh karena itu, keandalan pasokan listrik dan sistem proteksi daya merupakan bagian penting dalam perancangan dan pemeliharaan sistem DCS di industri.

2.2.2. **Uninterruptible Power Supply (UPS)**

UPS (*Uninterruptible Power Supply*) atau suplai daya bebas hambatan adalah perangkat yang biasanya menggunakan *baterai backup* sebagai catuan daya alternatif, untuk dapat memberikan suplai daya yang tidak terganggu untuk perangkat elektronik yang terpasang. Berdasarkan IEC 62040-1, UPS diklasifikasikan menurut topologi dan lingkungan penggunaannya. Jenis yang umum digunakan di sektor industri adalah Double Conversion Online UPS, karena sistem ini

mampu menjaga kestabilan tegangan dan frekuensi walaupun terjadi fluktuasi pada daya input. UPS merupakan sistem penyedia daya listrik yang sangat penting dan sekaligus dijadikan sebagai benteng dari kegagalan daya serta kerusakan sistem dan *hardware*. UPS akan menjadi sistem yang sangat penting dan sangat diperlukan pada banyak penyedia jasa telekomunikasi, jasa informasi, penyedia jasa internet dan banyak lagi. Dapat dibayangkan berapa kerugian yang timbul akibat adanya kegagalan daya listrik apabila tidak dilindungi dengan perangkat UPS. (Safi'i, 2023)



Gambar 2. 3Uninterruptible Power Supply (UPS) (Safi'i, 2023)

A. Fungsi utama dari UPS adalah :

1. Dapat memberikan pasokan cadangan energi listrik ketika terjadi kegagalan daya pada listrik utama.
2. Memberikan kesempatan waktu yang cukup untuk dapat mem-*backup* suplai daya yang hilang dan memberikan waktu juga untuk segera melakukan pengamanan sistem operasi (OS) dengan melakukan henti operasi sesuai prosedur ketika listrik utama padam.
3. Mengamankan sistem komputer dari gangguan-gangguan listrik yang dapat mengganggu sistem komputer baik berupa kerusakan *software*, data maupun kerusakan *hardware*.
4. UPS secara otomatis dapat melakukan stabilisasi tegangan ketika terjadi perubahan tegangan pada

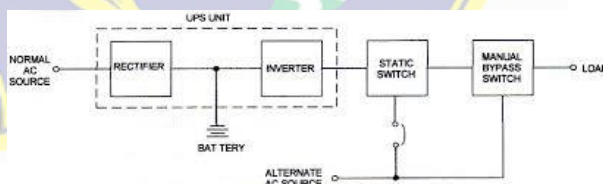
input sehingga tegangan *output* yang digunakan oleh sistem komputer berupa tegangan yang stabil.

5. UPS dapat melakukan diagnosis dan management terhadap dirinya sendiri sehingga memudahkan pengguna untuk mengantisipasi jika akan terjadi gangguan terhadap sistem.

B. Prinsip Kerja UPS

UPS bekerja berdasarkan pada sistem konversi dan penyimpanan energi listrik yang mampu memberikan suplai daya tanpa jeda ketika sumber utama terganggu. Dengan memanfaatkan *rectifier*, *inverter*, dan baterai, UPS menjaga agar peralatan penting tetap beroperasi dengan daya stabil, bersih, dan kontinu, terutama pada aplikasi kritis seperti DCS, *server*, atau sistem keamanan industri. Pada saat sumber utama mengalami gangguan, tegangan turun, atau padam, UPS akan secara otomatis mengalihkan suplai daya dari baterai melalui *inverter* untuk menjaga agar peralatan tetap beroperasi tanpa gangguan. Proses ini terjadi dalam waktu yang sangat singkat (biasanya <10 milidetik), sehingga peralatan yang terhubung tidak mengalami penurunan daya atau *restart*. Setelah suplai listrik utama kembali normal, sistem UPS secara otomatis kembali ke mode pengisian (*charging*) dan memulihkan kondisi baterai tanpa mengganggu suplai ke beban. (Nasrulloh, 2023)

UPS secara umum terdiri dari *Rectifier* sebagai penyearah tegangan sumber AC menjadi tegangan DC, Baterai sebagai cadangan daya alternative, dan *Inverter* sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC.



Gambar 2. 4 Diagram blok UPS (Nasrulloh, 2023)

Ketika normal operasi UPS mendapatkan sumber tegangan AC yang kemudian disearahkan menggunakan *rectifier* sehingga menjadi tegangan DC. Tegangan DC tersebut secara paralel digunakan untuk mengisi daya pada baterai dan sebagai sumber tegangan yang nantinya akan diubah menjadi tegangan AC oleh *inverter* sebelum menuju ke

beban. Apabila dalam operasi mengalami gangguan disisi sumber tegangan maka secara otomatis baterai akan mem-backup tegangan yang hilang. Karena kapasitas baterai UPS terbatas maka baterai tidak dapat menggantikan suplai listrik secara penuh. Umumnya baterai UPS hanya dapat dioperasikan antara 10-20 menit dan waktu itu cukup untuk mematikan perangkat atau menghidupkan *generator* listrik cadangan. Ketika baterai sudah beroperasi secara maksimal, logic diagram akan memerintahkan *static switch* untuk mengganti sumber tegangan dari baterai dengan jalur *by pass*.

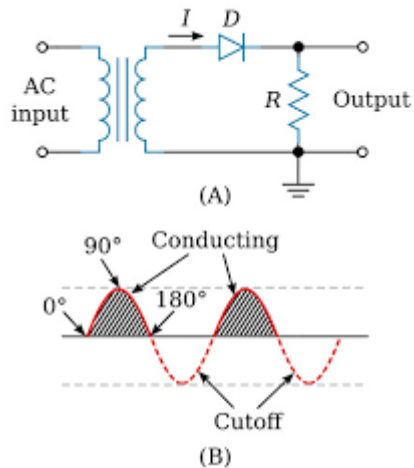
C. Komponen utama UPS

1. *Rectifier* (AC ke DC)

Rectifier adalah suatu rangkaian elektronika daya yang bisa mengubah tegangan bolak – balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). *Rectifier* sering disebut juga sebagai penyearah arus, dan merupakan salah satu komponen utama dalam sistem UPS. *Rectifier* bekerja berdasarkan sifat diode, yaitu komponen semikonduktor yang hanya mengalirkan arus listrik satu arah.

Jenis – jenis *rectifier* :

- a. *Half-wave Rectifier* (Penyearah Setengah Gelombang)
Penyearah setengah gelombang adalah rangkaian *rectifier* sederhana yang berfungsi untuk mengubah arus bolak – balik (AC) menjadi arus searah (DC) dengan cara menyearahkan hanya satu sisi gelombang AC yaitu sisi positif atau sisi negatifnya saja.



Gambar 2. 5 Half-wave rectifier (Istardi,2017)

Tegangan DC rata-rata (V_{dc}):

$$V_{DC} = \frac{v_m}{\pi} \quad (1)$$

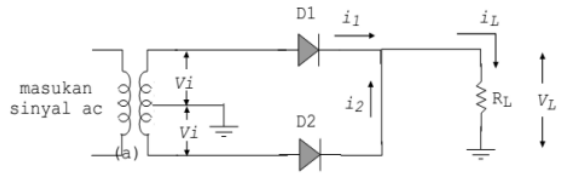
Nilai RMS (V_{rms}):

$$V_{RMS} = \frac{v_m}{2} \quad (2)$$

Efisiensi penyearahan (η):

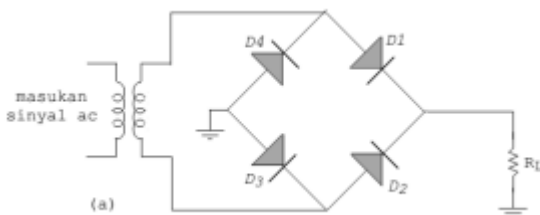
$$\eta = 40.6\%. \quad (3)$$

- b. *Full-wave Rectifier* (Penyearah Gelombang Penuh)
Rangkaian penyearah gelombang penuh ada dua macam yaitu dengan menggunakan trafo CT (*center-tap*) dan dengan sistem jembatan (*diode bridge*).



Gambar 2. 6 Penyearah gelombang penuh dengan trafo CT (Istardi, 2017)

Pada Gambar 6. Penyearah gelombang penuh dengan trafo CT, terlihat dengan jelas bahwa rangkaian penyearah gelombang penuh ini merupakan gabungan dua buah penyearah setengah gelombang yang hidupnya bergantian setiap setengah siklus, sehingga arus maupun tegangan rata-ratanya adalah dua kali dari penyearah setengah gelombang. Terminal sekunder dari trafo CT mengeluarkan dua buah tegangan keluaran yang sama tetapi fasanya berlawanan dengan titik CT sebagai titik tengahnya. Kedua keluaran ini masing-masing dihubungkan ke D1 dan D2, sehingga saat D1 mendapat sinyal siklus positif maka D1 mendapat sinyal siklus negatif, dan sebaliknya. Dengan demikian D1 dan D2 hidupnya bergantian. Penyearah gelombang penuh model jembatan memerlukan empat buah dioda. Dua dioda akan berkonduksi saat isyarat positif dan dua dioda akan berkonduksi saat isyarat negatif. Model penyearah jembatan ini tidak memerlukan transformator yang memiliki center-tap.



Gambar 2. 7 Penyearah gelombang penuh model jembatan (Istardi,2017)

Prinsip kerja penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda atau model jembatan yaitu dimulai pada saat keluaran transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi bias maju dan D2, D3 pada posisi bias balik sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan dilewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat keluaran transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi bias maju dan D1, D2 pada posisi bias balik sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4.

2. Inverter

Inverter adalah rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC baik satu maupun tiga fasa dengan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur. Peralatan ini banyak dipakai baik di rumah tangga maupun industri untuk konversi energi listrik dari DC ke AC. peralatan inverter sangat berguna bagi peralatan-peralatan yang membutuhkan catu daya listrik AC tetapi sumber daya yang ada listrik DC.



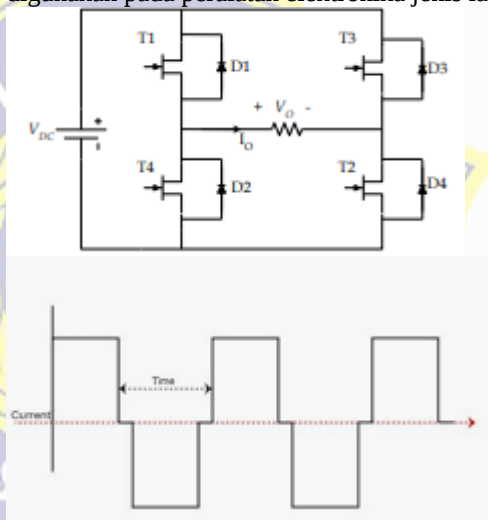
Gambar 2. 8 Inverter (Safi'i, 2023)

Sumber daya utama inverter berasal dari tegangan DC, yang umumnya diperoleh dari baterai, panel surya, atau hasil penyearahan (*rectifier*) dari jaringan listrik AC. Tegangan DC ini kemudian diolah oleh rangkaian *switching* yang terdiri dari komponen semikonduktor seperti MOSFET atau IGBT. Rangkaian tersebut bekerja secara cepat dan terkontrol, mengatur arah serta waktu pengaliran arus sehingga terbentuk gelombang AC di sisi keluaran. Untuk menghasilkan bentuk gelombang yang halus dan mendekati sinus murni, inverter menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Metode ini mengatur lebar pulsa tegangan pada saat *switching* untuk mengendalikan besar tegangan serta frekuensi keluaran sesuai kebutuhan beban. Setelah proses modulasi, sinyal keluaran dilewatkan melalui rangkaian *filter* LC guna meredam komponen harmonisa dan menghasilkan gelombang AC yang stabil.

Bentuk gelombang yang dapat di hasilkan oleh power inverter adalah jenis gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang di modifikasi (*modified sine wave*) dan gelombang modulasi pulsa lebar (*Pulse width modulated wave*). tergantung dari desain rangkaian power inverter tersebut. Namun pada saat ini, power *inverter* dengan bentuk gelombang yang paling banyak di gunakan, berbentuk gelombang sinus (*sine wave*) dan gelombang sinus yang di modifikasi (*modified sine wave*). (Lubis & Haris, 2023)

a. *Square Sine Wave*

Gelombang *Square Sine Wave* Adalah jenis power inverter dengan gelombang sinyal yang berbentuk kotak. Sinyal kotak ini, tidak cocok digunakan untuk beban *coil*, serta tidak cocok untuk beban trafo jenis tertentu. Inverter jenis ini juga disebut sebagai power inverter jenis *push-pull*, dimana pada penggunaan untuk peralatan elektronika, seperti kulkas, *power supply*, tv, radio, kipas angin tidak di perkenankan, karena dapat merusak peralatan elektronika tersebut. Dan pada jenis power inverter jenis ini hanya dapat digunakan pada peralatan elektronika jenis lampu.



Gambar 2. 9 Rangkaian inverter square sine wave
(Ahmad Safi'i, 2023)

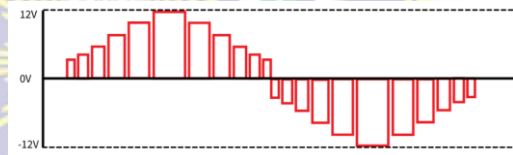
b. *Pure Sine Wave*

Pure Sine Wave Inverter adalah jenis power inverter jenis yang terbaik dari power inverter lainnya. Karena power inverter ini dapat bekerja maksimal pada seluruh peralatan elektronika dan gelombang yang dihasilkan pada power inverter ini murni, seperti yang dihasilkan oleh listrik PLN. Keunggulan jenis *power*

inverter pure sine wave ini, lebih efisiensi, dari daya yang dihasilkan. Serta lebih tinggi, karena daya yang di konsumsi lebih sedikit. Namun dari semua kelebihan, dari power inverter *pure sine wave*, yang di tawarkan dipasaran, harganya yang masih relatif lebih mahal, bila dibandingkan dengan jenis power inverter lainnya.

c. *Modified Sine Wave*

Modified Sine Wave adalah jenis *power inverter* dengan gelombang hasil dari modifikasi dari gelombang kotak (*square sine wave*). Berbeda dengan jenis inverter sebelumnya, inverter ini memang dapat di pakai untuk beban *coil*. Kekurangannya dari jenis *power inverter* ini kurang maksimal. Selain itu dari jenis gelombang yang di dihasilkan pada inverter modifikasi, cenderung menyebabkan pemborosan daya pada skala yang lebih tinggi. Serta tidak di perkenankan pada penggunaan peralatan elektronika seperti pada penggunaan *audio power amplifier*.



Gambar 2. 10 modified sine wave (Safi'i, 2023)

3. Baterai

Baterai merupakan sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang kemudian akan digunakan oleh suatu perangkat Elektronik. Dengan adanya Baterai, kita tak perlu lagi menyambungkan kabel listrik serta mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga kemudian dapat dengan mudah dibawa kemana-mana. Dalam kehidupan sehari-hari, kita dapat menemui dua jenis Baterai diantaranya adalah Baterai yang hanya dapat dipakai sekali saja (*Single Use*) serta Baterai yang dapat di isi ulang (*Rechargeable*). (Hidayat & Wildan, 2024)



Gambar 2. 11 Baterai (Ahmad Safi'i, 2023)

Baterai adalah perangkat penyimpan energi listrik yang bekerja dengan cara mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui proses reaksi elektrokimia. Baterai berfungsi sebagai sumber daya listrik DC (arus searah) bagi berbagai peralatan elektronik dan sistem cadangan daya seperti UPS, sistem DCS, telekomunikasi, kendaraan listrik, serta perangkat portabel lainnya. Secara teoritis, kapasitas efektif baterai dan waktu *backup* UPS dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

a. Kapasitas efektif baterai

$$\%C = \frac{C_{eff}}{C_{rated}} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana,

C_{eff} = kapasitas actual (Ah)

C_{rated} = kapasitas nominal baterai (Ah)

b. Waktu *backup* UPS

$$t_{backup} = \frac{C_{eff} \times V_{bat} \times \eta}{P_{load}} \quad (5)$$

dimana,

V_{bat} = tegangan baterai (V)

Pload = daya beban (W)

c. Persentase penurunan kapasitas baterai

Penurunan kapasitas baterai dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta C = \frac{C_{rated} - C_{actual}}{C_{rated}} \times 100\% \quad (6)$$

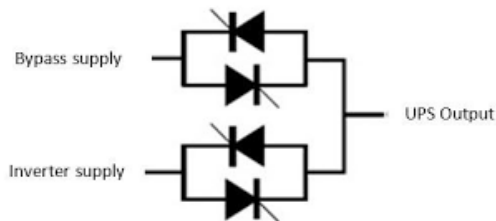
Dimana,

C rated = kapasitas nominal

C actual = kapasitas aktual terukur

4. *Static Switch*

Static Switch adalah perangkat elektronika daya yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk memindahkan suplai listrik antara dua sumber tanpa gangguan tegangan. Perangkat ini bekerja menggunakan komponen semikonduktor seperti SCR yang dapat menghantarkan arus listrik dalam waktu sangat singkat. Pada sistem UPS, *Static Switch* berperan penting dalam menjaga kontinuitas daya. Ketika sumber listrik utama mengalami gangguan, *Static Switch* segera memindahkan suplai ke *inverter* yang mendapat daya dari baterai, sehingga beban tetap menerima tegangan AC tanpa interupsi. Setelah sumber utama kembali normal, *Static Switch* akan secara otomatis mengembalikan suplai ke posisi semula dengan sinkronisasi yang halus. Dengan kecepatan *switching* yang sangat tinggi dan tanpa komponen mekanis, *Static Switch* memberikan keandalan tinggi dalam sistem distribusi daya modern, terutama pada aplikasi industri dan sistem kontrol seperti DCS yang menuntut kestabilan daya tanpa putus.



Gambar 2. 12 Static switch (Istardi, 2017)

Static Switch merupakan saklar elektronik berkecepatan tinggi yang bekerja dengan prinsip *Make Before Break (MBB)*, yaitu menghubungkan sumber cadangan terlebih dahulu sebelum memutuskan sumber utama. Prinsip ini bertujuan untuk menjaga kontinuitas suplai daya agar beban tetap mendapat tegangan tanpa jeda selama proses perpindahan sumber.

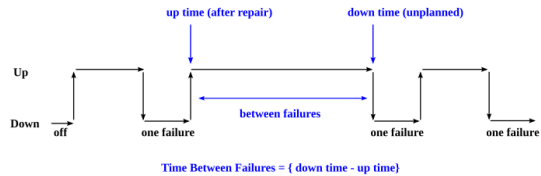
2.2.3. Keandalan Sistem Daya Cadangan

Keandalan (*reliability*) adalah kemampuan suatu sistem atau peralatan untuk beroperasi secara benar dan konsisten dalam jangka waktu tertentu tanpa mengalami kegagalan (*failure*). Secara sederhana, reliabilitas menggambarkan seberapa besar kemungkinan suatu sistem tetap berfungsi dengan baik selama periode operasinya. Sedangkan Ketersediaan (*Availability*) adalah ukuran kemampuan sistem untuk tetap tersedia atau siap digunakan kapan pun dibutuhkan, termasuk memperhitungkan waktu perbaikan setelah terjadi kegagalan. Ketersediaan tidak hanya bergantung pada keandalan (frekuensi kegagalan), tetapi juga pada kecepatan perbaikan (*maintainability*). Beberapa parameter umum untuk mengukur keandalan sebagai berikut :

A. MTBF (*Mean Time Between Failure*)

MTBF merupakan waktu berjalan terprediksi antara kerusakan sebuah sistem mekanis atau elektronik, selama sistem beroperasi dengan normal. Waktu ini dapat dihitung sebagai waktu rata-rata aritmetik (rata-rata) antara kegagalan sebuah sistem. Istilah ini digunakan pada sistem yang dapat diperbaiki. Secara

umum, MTBF merupakan "waktu beroperasi" antara dua kegagalan dari sebuah sistem yang dapat diperbaiki saat beroperasi



Gambar 2. 13 Alur MTBF (Hidayat & Wildan, 2024)

Untuk tiap pengamatan, "waktu mati" merupakan waktu sesaat sistem tersebut mati, yaitu setelah (lebih besar dari) momen sistem itu berjalan. Perbedaan ("waktu mati" dikurangi "waktu beroperasi") merupakan jumlah waktu sistem tersebut berjalan antara dua kejadian tersebut. Dengan merujuk pada gambar di atas, MTBF sebuah komponen merupakan jumlah panjang periode operasional dibagi dengan jumlah kegagalan diamati:

$$MTBF = \frac{\Sigma(\text{waktu mulai mati} - \text{waktu mulai beroperasi})}{\text{Jumlah kegagalan}} \quad (7)$$

Nilai MTBF digunakan sebagai sebuah parameter reliabilitas sistem atau untuk membandingkan sistem atau desain yang berbeda. Nilai ini hanya boleh dipahami bersyarat sebagai "waktu hidup rata-rata" (nilai rata-rata), dan bukan sebagai identitas kuantitas antara unit yang berfungsi dan yang gagal. Semakin besar nilai MTBF, semakin andal sistem tersebut.

B. MTTR (Mean Time To Repair)

MTTR merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu sistem atau peralatan setelah terjadi kerusakan hingga kembali berfungsi normal. MTTR termasuk dalam parameter utama pada analisis keandalan sistem (*Reliability Engineering*) bersama dengan MTBF dan menjadi salah satu faktor penentu *Availabilty* (ketersediaan sistem).

$$MTTR = \frac{\sum \text{Waktu perbaikan}}{\text{Jumlah kegagalan}} \quad (8)$$

Tujuan dari perhitungan MTTR adalah untuk mengetahui rata-rata waktu yang diperlukan dalam proses perbaikan suatu sistem setelah mengalami gangguan. Melalui nilai MTTR, dapat dievaluasi tingkat efisiensi proses pemeliharaan serta kecepatan sistem dalam kembali beroperasi normal. Semakin kecil nilai MTTR, semakin cepat sistem dapat kembali beroperasi. (Hidayat & Wildan, 2024)

2.2.4. Pemeliharaan dan Manajemen UPS

Secara umum, manfaat *maintenance* pada mesin tentunya untuk memperbaiki dan menambah usia pakai/keproduktivitasan sebuah unit. Pemeliharaan pencegahan merupakan tindakan yang bertujuan mencegah terjadinya kerusakan yang kecenderungan kerusakannya sudah dapat diidentifikasi awal atau dapat diperkirakan sebelumnya. Dua pendekatan yang umum digunakan adalah *predictive maintenance* dan *preventive maintenance*. Keduanya memiliki peran yang sangat signifikan dalam menjaga kondisi optimal sebuah UPS namun keduanya memiliki perbedaan dalam pendekatan dan pelaksanaannya.

A. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance adalah pendekatan dalam pemeliharaan alat atau mesin industri yang didasarkan pada pemantauan terus – menerus dan analisis data untuk memprediksi kegagalan atau kerusakan yang potensial. Tujuan dari *predictive maintenance* adalah untuk mengoptimalkan kinerja alat atau mesin, mencegah kegagalan yang tidak terduga, mengurangi waktu henti produksi dan menghemat biaya perawatan secara keseluruhan.

B. *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance merupakan pemeliharaan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan atau kerusakan dengan melakukan perawatan secara teratur. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga kondisi optimal

alat atau mesin. Perawatan dilakukan berdasarkan jadwal tetap tanpa mempertimbangkan kondisi actual saat itu. (Hidayat & Wildan, 2024). Salah satu pendekatan ini masih relevan untuk mengevaluasi potensi thermal derating sesuai prinsip proteksi suhu pada IEC 62040. Secara teori, *thermal derating* dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta T = \frac{P_{loss}}{h \cdot A} \quad (9)$$

Dimana,

ΔT = kenaikan suhu internal ($^{\circ}\text{C}$)

P_{loss} = rugi daya (W)

h = koefisien perpindahan panas

A = luas permukaan pelepasan panas

2.2.5. Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya (power quality) merupakan ukuran sejauh mana tegangan dan arus listrik yang disuplai ke sistem beban memiliki bentuk gelombang sinusoidal yang ideal. Dalam sistem kelistrikan industri modern, terutama yang menggunakan perangkat elektronik berbasis semikonduktor seperti inverter, rectifier, dan UPS, sering kali timbul distorsi gelombang akibat proses switching non-linier. Distorsi ini dikenal sebagai harmonisa, yaitu gelombang tambahan yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar (fundamental). Gelombang harmonisa menyebabkan bentuk gelombang tegangan dan arus menjadi tidak sinusoidal lagi (Handayani, 2022). Nilai THD yang tinggi menandakan adanya gangguan dari beban non-linier seperti inverter, UPS, atau peralatan elektronik industri. Standar IEEE 519 (2014) menetapkan bahwa untuk sistem tegangan rendah ($\leq 1 \text{ kV}$), THD tegangan maksimum adalah 8%, sedangkan untuk sistem tegangan menengah hingga tinggi dibatasi 5% (IEEE, 2014).

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (10)$$

dengan:

- V_h = nilai RMS harmonisa orde ke- h

- V_1 = nilai RMS komponen fundamental
- N = jumlah orde harmonisa yang diperhitungkan

Nilai THD yang tinggi menunjukkan bentuk gelombang yang semakin terdistorsi dari sinus murni (IEC, 61000-4-7, 2017).

2.2.6. Usia Komponen Elektronik

Faktor usia komponen elektronik merupakan salah satu penyebab utama penurunan keandalan sistem, di mana seiring bertambahnya waktu operasi, komponen mengalami degradasi material yang berdampak pada meningkatnya laju kegagalan. Berdasarkan nilai laju kegagalan tersebut, dilakukan perhitungan untuk memprediksi probabilitas UPS dapat beroperasi secara normal pada waktu operasi tertentu, sehingga batas waktu operasi yang aman sebelum terjadinya kegagalan dapat diidentifikasi melalui persamaan berikut :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Dimana,

$R(t)$ = peluang

λ = laju kegagalan

t = waktu operasi (± 20 tahun)

Laju kegagalan kondisi dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_I \times \pi_T \times \pi_E \times \pi_{ES} \quad (12)$$

dimana,

λ_{ref} = failure rate under reference conditions

π_U = voltage dependence factor

π_I = current dependence factor

π_T = temperature dependence factor

π_E = environmental application factor

π_S = switching rate dependence factor

π_{ES} = electrical stress dependence factor

1. Stress factor voltage dependence

$$\pi U = \left\{ C3 \left[\left(\frac{U_{op}}{U_{rat}} \right)^{C2} - \left(\frac{U_{ref}}{U_{rat}} \right)^{C2} \right] \right\} \quad (13)$$

dimana,

U_{op} = operating voltage (V)

U_{ref} = reference voltage (V)

U_{rat} = rating voltage (V)

$C2, C3$ = constant

2. Stress factor current dependence

$$\pi I = \left\{ C4 \left[\left(\frac{I_{op}}{I_{rat}} \right)^{C5} - \left(\frac{I_{ref}}{I_{rat}} \right)^{C5} \right] \right\} \quad (14)$$

dimana,

I_{op} = operating current (A)

I_{ref} = reference current (A)

I_{rat} = rating current (A)

$C4, C5$ = constant

3. Stress factor temperature dependence

$$\pi T = \left[\frac{Ea1}{k0} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{op}} \right) \right] \quad (15)$$

dimana,

$Ea1$ = activation energies in eV

$k0$ = 8.616×10^{-5} eV/K

$T0$ = 313K

T_{ref} = $(\theta_{ref} + 273)$ in K

T_{op} = $(\theta_{op} + 273)$ in K

2.2.7. Hubungan Beban dan Laju Kegagalan

Secara teoritis, peningkatan tingkat pembebanan menyebabkan kenaikan arus kerja pada komponen internal UPS, seperti inverter, penyearah, baterai, dan sistem pendingin. Kondisi ini sejalan dengan semakin besar beban semakin kecil margin keandalan sistem tersebut. Hubungan antara beban dan laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda(L) = \lambda_0 \cdot f(L) \quad (16)$$

dimana,

$\lambda(L)$ = laju kegagalan pada beban (L)

λ_0 = laju kegagalan beban nominal

$f(L)$ = fungsi peningkatan kegagalan, untuk pembebanan rendah sistem UPS diasumsikan beroperasi mendekati kode referensi

Sebagai analisa lebih lanjut, maka dilakukan kalkulasi simulasi teoritis yang menunjukan tingkat laju kegagalan apabila beban ditambah hingga maksimum 100%. Digunakan model eskponensial karena pengaruh beban terhadap stress termal UPS bersifat non-linier sebagai berikut :

$$\lambda(L) = \lambda_0 \cdot e^{\beta L} \quad (17)$$

dengan,

L = tingkat beban (20%-100%)

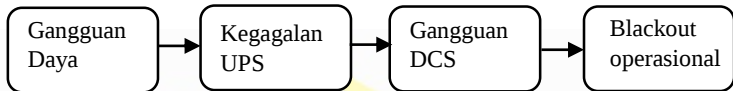
λ_0 = laju kegagalan dasar

β = konstanta sensitivitas (2, umum dipakai studi keandalan daya)

2.1. Kerangka Teori

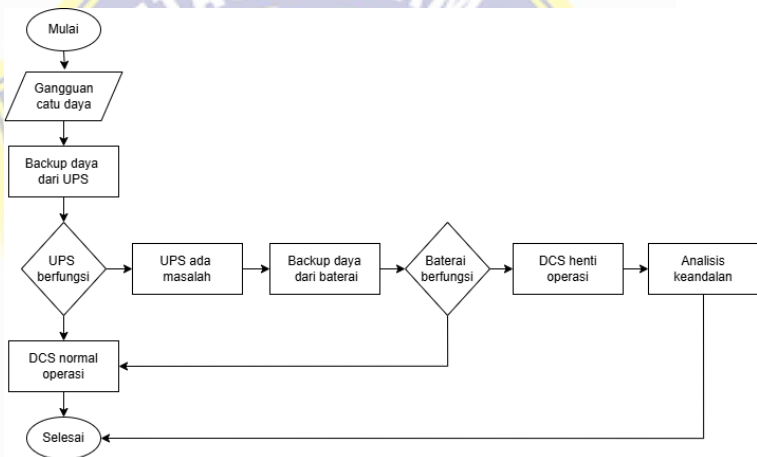
Penelitian ini menggambarkan keterkaitan antara sistem catu daya, UPS, dan sistem kontrol industri. Ketiga elemen tersebut saling berhubungan dalam menjamin kontinuitas dan keandalan pasokan daya pada proses operasi industri. Sistem catu daya utama berfungsi sebagai sumber energi utama bagi seluruh peralatan kontrol dan instrumentasi. Apabila terjadi gangguan daya seperti tegangan turun, lonjakan arus, atau pemadaman mendadak, maka UPS berperan sebagai sistem penyangga yang menjaga agar peralatan kontrol tetap beroperasi tanpa

terputus. Namun, jika terjadi kegagalan pada UPS, misalnya akibat kerusakan baterai, kerusakan inverter, atau sistem transfer *static switch*, maka gangguan tersebut dapat berlanjut menjadi gangguan pada sistem kontrol industri. Sehingga pada akhirnya menyebabkan dampak operasional berupa penurunan performa proses, henti operasi tidak terencana, atau potensi beresiko keselamatan.



Gambar 2.14 Diagram blok hubungan variable

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 14 Flowchart kegagalan UPS

Kerangka pemikiran penelitian ini menggambarkan alur hubungan antara gangguan catu daya, fungsi sistem UPS, serta dampaknya terhadap keberlangsungan operasi sistem kontrol industri. Proses dimulai ketika terjadi gangguan pada catu daya utama. Dalam kondisi ini, UPS berfungsi sebagai penyedia daya cadangan sementara agar sistem tetap beroperasi normal. Jika UPS berfungsi dengan baik, maka sistem kontrol (misalnya sistem DCS) dapat melanjutkan operasi

tanpa gangguan. Namun, apabila UPS mengalami masalah, maka suplai daya akan dialihkan ke baterai cadangan. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap kinerja baterai. Jika baterai berfungsi dengan baik, sistem masih dapat bertahan untuk jangka waktu tertentu hingga daya utama pulih. Sebaliknya, jika baterai gagal berfungsi, maka sistem kontrol akan mengalami gangguan operasional yang dapat berdampak pada proses produksi atau keamanan sistem. Melalui kerangka ini, dapat dipahami bahwa keandalan sistem UPS dan baterai merupakan faktor kunci dalam menjaga kontinuitas operasi sistem kendali ketika terjadi gangguan daya. Analisis terhadap setiap tahapan tersebut menjadi dasar untuk menilai sejauh mana sistem mampu mempertahankan kestabilan operasi dan meminimalkan risiko kegagalan.



Halaman ini Sengaja dikosongkan

