

## **Analisis Gangguan *Undervoltage* dalam Instalasi Jaringan Power Listrik Kapal**

**Bayu Choirawan<sup>1</sup>, Fajar Pujiyanto<sup>2\*</sup>, M. Aji Luhur Pambudi<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Bumi Akpelni Semarang, Jl. Pawiyatan Luhur II / 17.  
Kecamatan Gajah Mungkur, Kota Semarang. 50235

\* Corresponding Author. E-mail : [fajar.pujiyanto@akpelni.ac.id](mailto:fajar.pujiyanto@akpelni.ac.id) . Telp: 081326556710

### **Abstrak**

Jaringan power listrik kapal untuk kegiatan operasional pelayaran memiliki karakteristik 3 *phase* 450 VAC 60 Hz, sumber listrik diproduksi generator dengan kapasitas 562 KVA. Gangguan pada jaringan power adalah *undervoltage* dan *overvoltage*, kondisi ini menyebabkan terjadinya *voltage collapse* atau *blackout*. *Voltage collapse* tidak boleh terjadi pada sistem power, karena itu banyak penelitian terdahulu membahas dan berusaha untuk mengatasi permasalahan *undervoltage* ini. Tujuan dari penelitian adalah membahas faktor utama dan upaya mengatasi masalah *undervoltage* pada busbar power listrik. Faktor dominan penyebab *undervoltage* adalah beban pemakaian terlalu tinggi (*overload*), baik oleh lonjakan sesaat atau beban tinggi berterusan. Pengujian pelepasan beban menggunakan metode *undervoltage load shedding* (UVLS) adalah metode untuk mengelola sistem power saat kondisi tegangan rendah, metode ini diimplementasikan untuk mencegah ketidakstabilan tegangan dan melindungi dari potensi kerusakan jaringan listrik. Pengujian metode UVLS dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap, yaitu pemberian beban nilai kecil hingga besar untuk memastikan sistem UVLS melakukan pelepasan beban dengan benar. Pengujian beban bertahap dilakukan untuk memastikan sistem UVLS merespon dengan baik dan bekerja sesuai harapan, fungsi kerja ini untuk menghindari terjadinya *voltage collapse/blackout* pada instalasi power listrik.

**Kata Kunci:** Instalasi power listrik, *load shedding*, *undervoltage*.

### **Abstract**

*The ship's electrical power for shipping operations has the characteristics of 3 phase 450 VAC 60 Hz. The electricity is produced by a generator. Disturbances in the power system were undervoltage and overvoltage, these conditions cause voltage collapse or blackout. Voltage collapse should not occur in power systems, because of that much previous research has discussed this problem. The research aimed to discuss the main factors and solve the problem of undervoltage in electric power busbars. The dominant factor causing undervoltage was the presence of high load (overload), either by occasional loads or continuous high loads. Load tests were carried out using the undervoltage load shedding (UVLS) method, which managed power systems during low voltage conditions and is implemented to prevent voltage instability and protect against potential damage to the power grid. Testing the UVLS method was carried out by applying the load in stages, namely giving a small to large value load to ensure that the UVLS system performs load shedding properly. Phased load testing was carried out to ensure that the UVLS*

*system responds well and works as expected This work function was to avoid voltage collapse in the ship's electrical power.*

**Keywords:** *Load shedding, main electrical installation, undervoltage.*

## PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik di atas kapal diproduksi oleh pembangkitan listrik dari unit generator, setidaknya terdapat tiga generator dengan kapasitas masing-masing generator adalah 562 KVA. Instalasi power di atas kapal digunakan listrik 3 *phase* 450 VAC 60 Hz untuk keperluan kegiatan pelayaran dan pengoperasian permesinan pendukung. Menjaga stabilitas tegangan menjadi persoalan penting dalam sistem power listrik. Perubahan nilai tegangan dalam instalasi listrik terbagi menjadi dua kondisi yaitu *undervoltage* dan *overvoltage*. Gangguan tegangan ini tidak diharapkan di dalam jaringan power listrik, karena berdampak terhadap *supply* daya yang dibutuhkan oleh peralatan listrik.

Kestabilan tegangan listrik adalah hal utama, kondisi ini dimulai dari titik awal pembangkitan listrik yaitu dimulai dari *generator set* hingga titik ujung sistem distribusi. Tegangan listrik stabil adalah penting dalam sistem power dan jaringan distribusi untuk memenuhi kebutuhan pembebanan yang besar. Gangguan jaringan power listrik dengan kondisi *undervoltage* dan *overvoltage* akan menyebabkan listrik kapal padam atau *blackout* (Hall, 1999).

*Undervoltage* adalah kondisi di mana tegangan mengalami penurunan di bawah ambang normal yang ditentukan, di mana tegangan listrik terus bergerak menurun cepat dan tidak terkendali. Kondisi *undervoltage* disebabkan karena daya reaktif abnormal dan lonjakan beban sangat cepat. Penyebab lain yaitu gangguan secara mekanik yaitu adanya kabel transmisi yang putus, kerusakan sisi transfo pembangkit, dan kerusakan mesin diesel penggerak generator. Acuan dasar *undervoltage* atau *dropvoltage* berdasarkan NEC bahwa penurunan tegangan maksimum 5% diseluruh feeder dan sirkuit cabang, serta 3% diseluruh sirkuit cabangan (Birkby, 1999).

Berikut ini adalah beberapa penyebab umum penurunan tegangan pada generator listrik (Hall, 1999):

1. Beban berlebih yaitu kondisi generator listrik diberi beban yang melebihi kapasitasnya, tegangan *output* dapat turun. Beban berlebih terjadi jika terlalu banyak peralatan atau mesin terhubung ke generator sehingga menghabiskan daya yang melebihi kapasitas generator tersebut.
2. Jarak antara generator dan beban mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan. Hal ini disebabkan oleh besarnya resistansi kabel yang menghubungkan generator ke beban.
3. Penurunan tahanan internal generator dikarenakan usia generator listrik, komponen internalnya mengalami penurunan kualitas atau kerusakan.
4. Beban yang terhubung ke generator tidak seimbang secara merata, menyebabkan perbedaan daya antara fase-fase pada sistem tiga fasa, maka tegangan output generator menurun.

5. Penyimpangan frekuensi dimana generator tidak dapat mempertahankan frekuensi yang stabil, maka tegangan outputn ikut terpengaruh. Perubahan frekuensi terjadi karena faktor kegagalan pada mekanisme pengaturan kecepatan mesin generator / governor.

Penting untuk mengidentifikasi penyebab penurunan tegangan pada generator listrik sehingga dapat mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk memperbaiki masalah dan menjaga kinerja generator yang optimal. Kondisi penurunan frekuensi atau penurunan putaran mesin generator mengakibatkan tegangan yang diproduksi alternator ikut turun. Saat generator mengalami penurunan putaran berdampak langsung terhadap penurunan frekuensi dan tegangan. Sistem pengamanan jaringan distribusi kapal untuk menghindari terjadinya *blackout* oleh kondisi *undervoltage* yaitu pengendalian listrik menggunakan *Preference Trip Relay* (Darmana & Pujiyanto, 2021).

PTR sebagai sistem pelepasan beban secara otomatis dan bertahap, kontrol ini berfungsi secara aktif dan merespon dengan cepat untuk pelepasan beban generator. Pada penelitian ini dibahas tentang analisis pengendalian dan pengontrolan tegangan / *undervoltage* oleh kondisi beban berlebih menggunakan metode *Undervoltage Load Shedding* (UVLS). Metode UVLS untuk mengelola sistem power saat kondisi tegangan rendah, metode ini diimplementasikan untuk mencegah ketidakstabilan tegangan dan melindungi dari potensi kerusakan jaringan listrik. Parameter input pada metode ini adalah berhubungan dengan nilai beban ringan ataupun berat, sehingga diperoleh kemampuan respon UVLS dalam mengembalikan kondisi tegangan listrik yang stabil.

## KAJIAN LITERATUR

Penelitian terdahulu yang mempelajari tentang gangguan *undervoltage* dalam power listrik antara lain yaitu Chavan et all (2022) menyajikan sistem proteksi untuk peralatan tiga fasa dari *over-undervoltage*, karena gangguan listrik ini menyebabkan panas, kegagalan isolasi dan mengurangkan masa pakai (Chavan et al., 2022). Rama Mohan et all (2020) menyajikan sistem baru untuk melindungi beban dari tegangan *over-undervoltage* pada pasokan listrik AC. Perancangan digunakan untuk memantau *voltage*, menyediakan *breakpoint* berdasarkan mekanisme trip *over-undervoltage* dan melindungi beban. Sistem bekerja dari mekanisme trip yang memantau tegangan suplai, dan trip sesuai batasan yang diberikan (Rama Mohan et al., 2020). Arsyad et all (2019) perancangan sistem kendali *over-undervoltage relay* dengan menggunakan mikrokontroler STM32F103C8T6 (Arsyad et al., 2019). Wanjari et all (2019) perancangan *trip relay* sesuai dengan variasi tegangan suplai untuk melindungi peralatan listrik jika terjadi *under-overvoltage*. Dinyatakan ganggua ini menyebabkan alat elektronik mudah rusak (Wanjari et al., 2019). Paul et all (2018) menyajikan desain dan simulasi perangkat perlindungan *under-overvoltage* berbasis mikrokontroler, transistor dan komponen diskrit lainnya. Mikrokontroler PIC16F877A sebagai jantung dari perangkat yang melakukan kontrol utama (Paul Kpochi et al., 2018).

Beberapa komponen yang perlu diperhatikan di dalam instalasi power listrik adalah sebagai berikut:

## 1. Sistem Power Listrik

Sistem power listrik sebagai sistem koneksi dalam kesatuan fungsi kerja dan bergantung terhadap sistem pengontrolan yang kompleks dan fungsional untuk menjaga sistem power dalam kondisi baik dan stabil selama pemakaian. Masalah utama yang terjadi pada instalasi listrik modern adalah kondisi drop tegangan. Kondisi *steady state* yang kacau berhubungan dengan ketidakstabilan pada sudut gaya gelombang listrik, kehilangan kekuatan sinkronisasi antar generator perlahan. Kondisi ini dipengaruhi oleh adanya lonjakan load tinggi dan melewati batas daya reaktif (Adnanes, 2003).

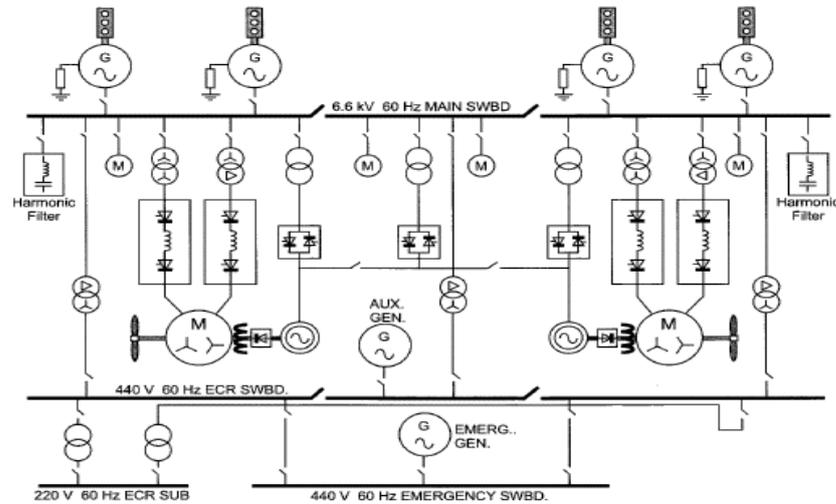
Sistem power beserta distribusi listrik adalah sistem saling berhubungan, sehingga diperlukan sambungan dengan benar dan tepat. Distribusi daya dari pembangkit listrik ke beban diperlukan listrik tanpa gangguan dan hambatan. Sistem koneksi jaringan memiliki keuntungan dalam menghasilkan ketersediaan sumber listrik yang tepat. Jenis power listrik dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu:

### a. Pembangkit listrik

Pembangkitan terdiri atas alternator set dan mesin diesel untuk menghasilkan power listrik. Sebagai pendukung kerja pembangkit listrik terdapat turbin sebagai penggerak alternator generator. Pembangkit listrik umumnya yang terdapat di Indonesia yaitu PLTA (Tenaga Air), PLTU (Tenaga Uap), PLTG (Tenaga Gas), PLTP (Tenaga Panas Bumi), dan PLTD (Mesin Diesel). Khusus pembangkit listrik dikapal digunakan generator *engine* dengan penggerak mesin diesel atau menggunakan *shaft generator* dari mesin induk kapal pada saat berlayar *full away*. Listrik dari generator dinaikkan tegangannya oleh transfo *step-up* dipusat pembangkit (Pujiyanto et al., 2021), selanjutnya power listrik disalurkan melalui distribusi hingga ke titik beban pemakaian.

### b. Saluran transmisi / distribusi.

Transmisi power adalah jaringan penghubung power listrik dari pembangkit (*power plant*) hingga panel distribusi dan panel pemakaian alat listrik. Contoh diagram power listrik kapal ditunjukkan pada Gambar 1.

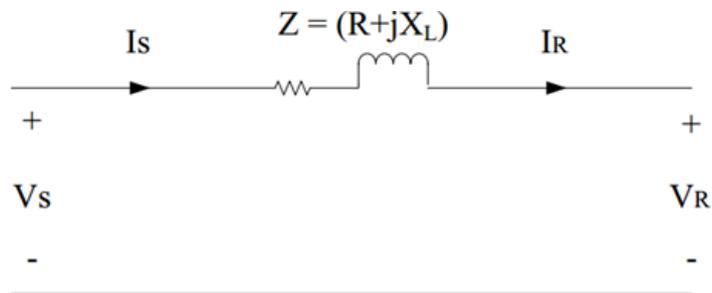


Gambar 1. Contoh digram listrik kapal(Hall, 1999).

Jaringan distribusi power listrik dipengaruhi jarak kabel instalasi, semakin jauh jarak instalasi akan menyebabkan rugi daya, rugi material dan jaringan. Hal paling signifikan dari kerugian ini dipengaruhi oleh besarnya bahan material konduktor kabel instalasi, semakin besar kabel menyebabkan kerugian semakin besar ( $R$  besar). Kriteria panjang kabel transmisi secara umum antara lain yaitu:

1) Transmisi pendek

Saluran transmisi yang panjangnya kurang dari 80 km. Jenis transmisi ini nilai kapasitansi ke *ground* sangat kecil, sehingga nilai kebocoran arus pun kecil. Rangkain persamaan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian persamaan transmisi jarak pendek(Saadat, 1999).

Keterangan:

$V_S$  = Tegangan *source*

$I_S$  = Arus *source*.

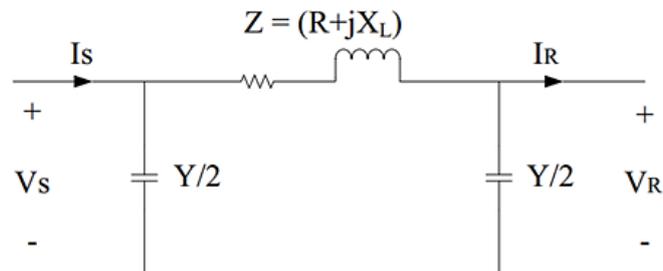
$V_R$  = Tegangan untuk *load*

$I_R$  = Arus pada *load*

$Z = (R + jX_L)$  = Impedansi

2) Transmisi menengah

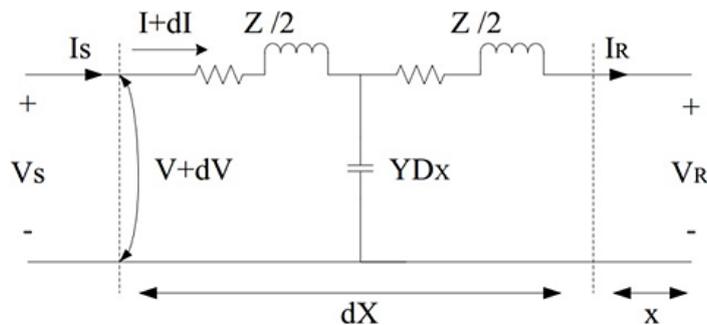
Transmisi menengah memiliki panjang antara 80-240 km dengan nilai kapasitansi relatif besar, hal ini menyebabkan distribusi terpusat pada cabangannya. Transmisi jarak menengah ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian transmisi jarak menengah(Saadat, 1999).

### 3) Transmisi jarak panjang

Transmisi dengan jarak melebihi 240km. Rangkaian T-Nominal dan Pi-Nominal tidak dapat menghitung dengan tepat, disebabkan tidak meratanya persebaran jaringan. Hasil akan tepat jika rangkaian ekuivalen transmisi panjang untuk titik nilai pengukuran di ujung saluran. Transmisi jarak jauh ditunjukkan di Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian transmisi jarak jauh(Saadat, 1999).

Keterangan:

$Y = R + jX$  = shunt

$Z = G + jB$  = Impedansi

$X$  = Panjang konduktor

$Dx$  = Elemen panjang

## 2. Stabilitas Tegangan

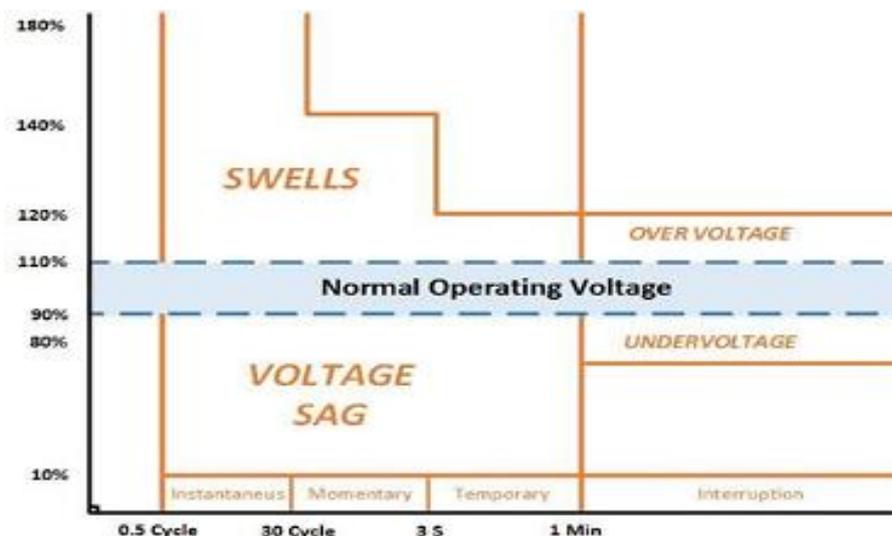
Kemampuan tegangan dalam kondisi operasi dan ditambah gangguan tertentu harus dapat secepatnya kembali keposisi awal dan seimbang sesuai ambang normal. Gangguan tersebut yaitu lonjakan beban secara berterusan, gangguan instalasi proteksi, hubungan singkat listrik di konduktor, kebocoran listrik dan gagalnya mesin penggerak generator set (Ådnanes, 2003). Sistem proteksi generator akan merespon secara tepat untuk mengembalikan tegangan ke nilai normal (contoh AVR), jika lonjatan semakin liar maka akan mengakibatkan trip *main breaker*

generator (*blackout*). Stabilitas tegangan adalah kemampuan jaringan listrik dalam mempertahankan tegangan hingga titik ujung pemakaian listrik.

Distribusi dengan nilai terbatas jika generator mencapai maksimum daya reaktifnya. Penyebab utama tegangan tidak stabil yaitu dipengaruhi tingkat beban listrik. Stabilitas tegangan berdasarkan gangguan dibagi dua kategori, yaitu:

- a. Gangguan besar adalah kemampuan sistem mengendalikan tegangan mengikuti gangguan yang sama besar. Kemampuan ini ditentukan oleh karakteristik beban dan sistem dan interaksi sistem proteksi.
- b. Gangguan kecil adalah kemampuan sistem mengendalikan tegangan gangguan kecil, contoh kenaikan beban perlahan. Kecepatan respon dalam setiap perubahan beban diperlukan tiap saat. Kondisi barbus harus diperhatikan agar gangguan jaringan dapat dihindari.

Setiap gangguan listrik memberikan pengaruh pada kestabilan tegangan, pembangkitan, jaringan distribusi, karakteristik beban, dan daya reaktif. Stabilitas tegangan dilihat dari kemampuan sistem dalam menjaga tegangan dengan nilai stabil. Jenis gangguan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Jenis gangguan tegangan standart IEEE(IEEE Std, 1995).

### 3. Standart Undervoltage

Dikatakan undervoltage jika nilai efektif tegangan tidak lebih dari 90 persen dari nilai awal, untuk rentang waktu tidak melebihi 1 menit. Kondisi jatuh tegangan ini karena pembebanan berlebihan (*overload*) atau saat beban lebih tinggi dari daya yang dibangkitkan. Standart tegangan normal listrik yaitu (IEEE Std, 1995):

- a. 500 kV +/- 5%
- b. 150 kV +/- 5%
- c. 70 kV +/- 5%
- d. 20kV +/- 5%

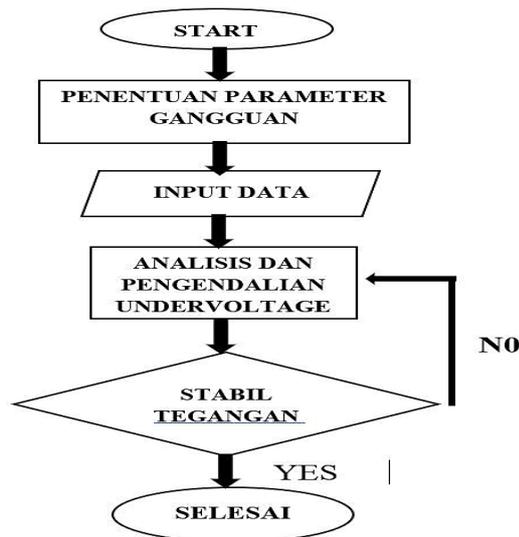
### 4. Voltage Collapse

Pada kondisi ini generator tidak mampu lagi menerima beban yang ada, pada kondisi ini menyebabkan terjadinya *voltage collapse* atau pelepasan sendiri. Faktor penyebab *voltage collapse* adalah beban sangat tinggi, *short circuit*, kebocoran listrik dan *malfuntion* mesin diesel penggerak generator.

## METODE PENELITIAN

### 1. Diagram Alir

Analisis terhadap gangguan *undervoltage* untuk sistem power kapal dengan kapasitas 3 x 562 KVA ditampilkan diagram alir pada Gambar 5.



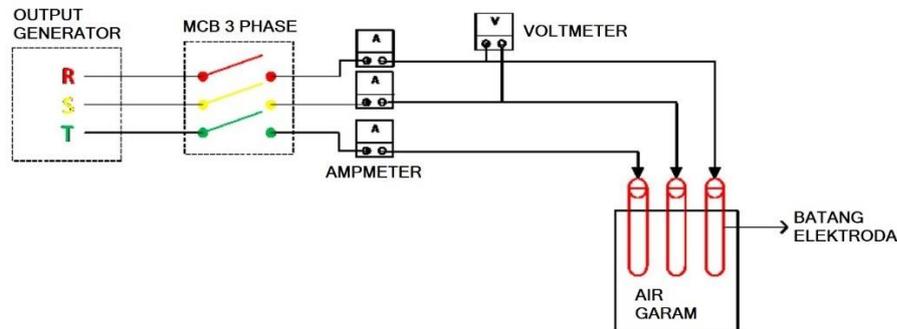
Gambar 6. Diagram alir.

Berdasarkan diagram alir sesuai Gambar 6 dinyatakan bahwa kegiatan penilaian power listrik diawali dari penentuan parameter penyebab terjadinya *undervoltage*, dilanjutkan dengan pengambilan data secara berkala dari sistem power listrik. Langkah kedua analisa data terukur untuk mendapatkan respon cepat sehingga tegangan kembali normal. Langkah ketiga dengan kontrol dan monitoring untuk memastikan tegangan kembali normal, sistem dianggap sukses jika pengontrol berhasil menjaga kestabilan tegangan listrik.

### 2. Metode Penyelesaian Masalah

Metode penyelesaian masalah menggunakan *study literature* dan uji laboratorium untuk mendapatkan kontrol terbaik guna menjaga kestabilan tegangan. Nilai diperoleh dari nilai pembebanan (*load*) didalam sistem power. Pengujian dilakukan dengan beban berjalan pada jaringan distribusi. Analisis aliran daya ke sistem UVLS yaitu pemberian gangguan berupa nilai beban berjenjang untuk dilakukan analisis pengecekan dan penghitungan. Simulasi pengujian yaitu dengan mengalirkan tegangan output generator pada kabel phase RST. Langkah simulasi pengujian pemberian beban dengan skala tertentu, yaitu memasukan batang rod tembaga dari output generator phase RST ke dalam larutan air garam

setiap sentimeter. Nilai beban diberikan bertahap dengan skala persentase dan dikelompokkan dalam rentang 5%, 10% hingga mencapai ambang maksimal di 90-100%. Hasil simulasi pengujian disetiap tingkatan beban untuk dianalisis dan melihat pelepasan sistem UVLS. Simulasi pengujian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Simulasi pengujian pemberian variatif beban (Illahi, 2021)

## PEMBAHASAN

Ketidakstabilan tegangan yang disebabkan oleh penurunan tegangan berlebih menyebabkan sistem mengalami pemadaman total (*blackout*). Metode UVLS untuk mengantisipasi terhadap kemungkinan turunnya tegangan secara drastis adalah pelepasan sebagian beban yang dipikul oleh generator. Cara ini efektif untuk pengurangan beban lebih (*overload*), beban-beban yang dipikul oleh pembangkit akan berkurang dan tegangan akan kembali ke keadaan normal. Pelepasan beban harus dilakukan segera pada saat tegangan listrik mulai menurun drastis.

### 1. Metode Pelepasan Beban

Proses pelepasan beban berdasarkan skala prioritas (*essential – non essential*). Prioritas utama adalah melepaskan beban non essential sehingga beban penting terus mendapat suplai power listrik berkelanjutan. Cara pelepasan beban terbagi menjadi:

- a. *Manual Load Shedding* - manual
- b. *Automatic Load Shedding* - auto
- c. *Over Load Shedding*

### 2. Analisa Daya

Analisa daya adalah dasar untuk menghitung jaringan power listrik, perlu adanya perencanaan baik dan matang. Tujuan utama kegiatan analisis daya untuk memperoleh angka besar dan sudut phase tegangan, untuk mendapatkan pengukuran nilai daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Tujuan analisa terbut yaitu:

- a. Nilai perubahan tegangan dan sudut fasa tiap barbus.
- b. Pengecekan kemampuan peralatan dalam sistem untuk menyalurkan daya.
- c. Sebagai studi lanjutan dalam uji hubungan singkat, rugi transmisi dan stabilitas.

### 3. Analisis Undervoltage

Analisis penurunan tegangan dalam jaringan power listrik digunakan untuk mengidentifikasi beban dan jatuh tegangan dibawah ambang minimal yang diatur kurang lebih 5 persen dari tegangan utama. Pada analisis busbar dilakukan perhitungan pelepasan beban oleh *undervoltage load shedding* (UVLS). Pengukuran dilakukan guna mengetahui respon UVLS dalam menghindari *voltage collapse (blackout)* sistem power.

### 4. Penyebab Undervoltage

Kendala dalam jaringan power listrik oleh *undervoltage*, penyebab dari kondisi tersebut antara lain yaitu:

- a. Pemakaian beban tidak kontrol dan beban berlebih sesaat yaitu memaksa breaker untuk ON, sedangkan breaker alat listrik lain yang masih ON dengan *load* yang sangat tinggi.
- b. Kondisi *undervoltage* di tiap jaringan fasa, besarnya *undervoltage* bisa sama atau berbeda tiap fasa, nilai tergantung pada tingkat kesalahan.
- c. Energi trafo pembangkitan tidak normal dimana nilai antar trafo pembangkitan berbeda.
- d. Kebocoran instalasi dan kegagalan peralatan listrik sehingga *shorted* atau konsleting konduktor.
- e. Kondisi cuaca buruk saat pelayaran menyebabkan Rpm mesin diesel generator menjadi tidak stabil.
- f. Kondisi instalasi lembab dan basah di beberapa titik jaringan distribusi menyebabkan terjadinya *low insulation (IR Low)*.

### 5. Analisis Jaringan Barbus Sistem Listrik

Analisis barbus digunakan untuk mengetahui kestabilan operasi generator dan sistem listrik yang beroperasi. Barbus dengan nilai normal sengai dasar acuan untuk pengukuran bar yang berikutnya. Bar dengan kondisi normal diberikan beban berkelanjutan, semakin banyak jumlah beban (MW) yang dilepas maka semakin baik kondisi kestabilan tegangan listrik.

### 6. Analisis Jaringan Power Listrik

Analisa penggunaan alat UVLS didalam sistem power untuk segera merespon kenaikan tegangan pada jalur barbus atau pelepasan beban berkelanjutan. Syarat skema penggunaan UVLS adalah:

- a. Pelepasan beban sebanyak 5% dari keseluruhan beban tertera dalam Ampmeter atau kWh meter dengan batas waktu minimal 3,5 detik.
- b. Pelepasan beban kedua sebanyak 5% dari keseluruhan beban tertera dalam Ampmeter atau kWh meter dengan batas waktu minimal 5 detik.
- c. Pelepasan beban ketiga sebanyak 5% dari keseluruhan beban tertera dalam Ampmeter atau kWh meter dengan batas waktu minimal 8 detik.

Karakteristik pada saat penggunaan sistem UVLS berdasarkan aturan adalah nilai ambang tegangan (*threshold value*), waktu tunda (*time delay*) respon yaitu 1-10 detik, jumlah beban yang akan dilepas secara berurutan dengan nilai 5 % hingga

20% dari beban total tertera dalam Amperemeter. Analisis penggunaan UVLS dilakukan dengan memberikan variabel acak dalam melaksanakan pelepasan beban (variasi nilai beban) guna melihat respon fungsi UVLS. Pengujian respon UVLS dilakukan secara berkelanjutan dengan memberikan nilai beban berbeda untuk mendapatkan nilai respon dan hasil stabilitas tegangan terbaik. Semakin banyak memberikan pelepasan beban (nilai gangguan) secara berkelanjutan, sangat berpengaruh terhadap kondisi kestabilan tegangan power listrik. Pelepasan beban dengan memperhatikan nilai respon untuk kestabilan tegangan guna mencapai tujuan utama yaitu mencegah *voltage collapse*.

## SIMPULAN

Hasil yang didapatkan dari analisis *undervoltage* untuk jaringan power listrik menggunakan metode pelepasan UVLS adalah nilai gangguan diperlukan sebagai dasar parameter input untuk mendapatkan nilai terukur dari jaringan power, sehingga dapat dianalisis dampaknya terhadap tegangan *undervoltage* yang terjadi pada sistem power didalam busbar listrik kapal. Pengujian untuk pelepasan beban secara berkelanjutan dimulai dari beban kecil hingga besar untuk analisis sistem pelepasan beban pada metode UVLS. Karakteristik pada saat penggunaan sistem UVLS berdasarkan aturan adalah nilai ambang tegangan (*threshold value*), waktu tunda (*time delay*) respon yaitu 1-10 detik, jumlah beban yang akan dilepas secara berurutan dengan nilai 5 % hingga 20% dari beban total tertera dalam Amperemeter. Analisis penggunaan UVLS dilakukan dengan memberikan variabel acak dalam melaksanakan pelepasan beban (variasi nilai beban) guna melihat respon fungsi UVLS. Sistem UVLS bekerja baik guna menghindari kondisi *voltage collapse/blackout*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ådnanes, A. K. (2003). Maritime electrical installations and diesel electric propulsion. *ABB AS Marine*.  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.966&rep=rep1&type=pdf>
- Arsyad, B. M., Sofwan, A., & Nugroho, A. (2019). Perancangan Sistem Kontrol Over/Under Voltage Relay Berbasis Mikrokontroler Pada Saluran Tegangan 220Vac. *Transmisi*, 21(1), 25. <https://doi.org/10.14710/transmisi.21.1.25-32>
- Birkby, J. M. (1999). *Five Percent Voltage Drop - A Closer Look*. 19(4), 8–9. <http://0323c7c.netsolhost.com/docs/5-PercentVoltageDrop.pdf>
- Chavan, S. D., Chinchkar, L. P., Khot, P. N., & Attar, A. A. (2022). *Three Phase Overvoltage and Undervoltage Protection and Alert*. 02, 712–714. [www.irjmets.com](http://www.irjmets.com)
- Darmana, E., & Pujiyanto, F. (2021). Power Management System (PMS) Sebagai Kontrol Utama Dalam Perkembangan Power Listrik Kapal. *Majalah Ilmiah Bahari Jogja*, 19(2), 137–150. <https://doi.org/10.33489/mibj.v19i2.268>
- Hall, D. T. (1999). *KNOWLEDGE MARINE Second Edition*.
- IEEE Std. (1995). IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power

- Quality. In *IEEE Std 1159 - 1995* (Vol. 2019). [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=5154067](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5154067)
- Illahi, A. L. R. (2021). *Pengaruh Kedalaman Batang Elektroda terhadap Kepekatan Suatu Larutan pada Perancangan Alat Beban Uji Generator*. 237–246.
- Paul Kpochi, K., JeffreySmith, E., Ibrahim, A., & Author, C. (2018). Microcontroller-based under and over voltage protection device. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 7, 16–20. [www.ajer.org](http://www.ajer.org)
- Pujiyanto, F., Studi Teknik, P., Bumi AKPELNI Jl Pawiyatan Luhur, P. I., & Dhuwur, B. (2021). Energy Storage System Sebagai Pendukung Power Utama Pada Kapal Modern. *Prosiding Seminar Nasional*, 3(1), 19–24. <https://e-journal.akpelni.ac.id/index.php/prosiding-nsmis/article/view/179>
- Rama Mohan, P., Neeli Mallikarjuna, A. P., & Niteesh Kumar, K. (2020). A Novel Over Voltage and Under Voltage Protecting System for Industrial and Domestic Applications. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(10), 885–889. [www.ijisrt.com](http://www.ijisrt.com)
- Saadat, H. (1999). *Power System Analysis - Hadi Saadat.pdf* (pp. 1–720).
- Wanjari, N. C., Mhashakhetri, V. C., Ramteke, P. A., & Phatankar, A. (2019). *Design and Implementation of Over Voltage and Under Voltage an Protection Circuit on Grid*. 5(2), 2019. [www.ijariie.com](http://www.ijariie.com)