

Pengaruh Kenaikan Tegangan Pada Penyulang Generator Unit 4 PLTP Kamojang Akibat Pelepasan Beban Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0

Tasya Aulia Putri¹, Supriyanto², Yudi Prana Hikmat³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail: tasya.aulia.tlis19@polban.ac.id

²E-mail: *supriyanto_suhono@polban.ac.id

³E-mail: yudipranahikmat@yahoo.com

*E-mail korespondensi

ABSTRAK

Generator berperan sangat penting dalam pembangkitan tenaga listrik. Adanya gangguan pada generator dapat mengganggu operasi dari sistem. Salah satu gangguan generator yaitu terjadinya gangguan perubahan nilai tegangan secara tiba-tiba atau terjadi tegangan berlebih (*overvoltage*) yang diakibatkan oleh pelepasan beban dalam sistem interkoneksi. Oleh karena itu keandalan sistem proteksi sangat diperlukan. Salah satu proteksi untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan alat pengaman yaitu relai *overvoltage* 59. Relai ini digunakan untuk mendeteksi besarnya tegangan diatas nominal settingnya. *Output* dari relai dapat dihubungkan pada rangkaian pemutus untuk memutuskan aliran listrik jika terjadi gangguan. Studi dilakukan dengan bantuan *software* ETAP 12.6.0 untuk simulasi pelepasan beban dengan menggunakan *load flow analysis* dan simulasi relai *overvoltage* 59 menggunakan *transient stability analysis* dengan melihat kurva relai *action* waktu dan tegangan. Hasil simulasi pelepasan beban dengan melihat cara kerja relai *overvoltage* 59 berjalan dengan baik berdasarkan hasil dari waktu relai mendeteksi tegangan lebih yaitu 110% dari bus nominal kV, lalu alarm beroperasi 1,1 detik setelah mendeteksi tegangan sudah sesuai dengan perhitungan yang dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan beban mempengaruhi kenaikan tegangan, karena tegangan lebih yang diakibatkan oleh pelepasan beban membuat tegangan bus menjadi naik 110%-120% dari tegangan nominal lalu turun secara perlahan.

Kata Kunci

Kenaikan tegangan, pelepasan beban, ETAP 12.6.

1. PENDAHULUAN

Generator memiliki peran yang sangat vital dalam sistem pembangkitan tenaga listrik sebagai sumber energi listrik. Pada PLTP Unit 4 Kamojang terdapat 1 generator dengan kapasitas 64 MW dan terdapat relai proteksi *overvoltage* yang mensuplai 8 saluran. Dalam pengoperasiannya generator tidak selalu berjalan normal. Salah satu gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu terjadinya tegangan berlebih atau *over voltage* yang dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti pelepasan beban mendadak. *Over voltage* merupakan gangguan dimana nilai tegangan naik lebih dari 110% tegangan nominal. Akibat dari *overvoltage* yaitu dapat terjadinya degradasi peralatan tenaga listrik (berkurangnya masa penggunaan alat) dan kerusakan belitan rotor pada generator. Permasalahan yang akan dikaji yaitu gangguan kenaikan tegangan akibat

pelepasan beban yang terjadi pada generator. Kemudian yang akan diamati pengaruh kenaikan tegangan terhadap relai proteksi *over voltage* dengan kodefikasi 59 menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

Salah satu cara untuk mengetahui bagaimana relai tegangan lebih bekerja yaitu dengan cara simulasi menggunakan perangkat lunak penganalisis sistem tenaga listrik seperti ETAP. Metode untuk mensimulasikan relai proteksi menggunakan ETAP yaitu dengan memasukkan data-data sistem dan relai proteksi lalu mensimulasikan skenario pelepasan beban, setelah itu dilakukan perhitungan setting relai lalu mensimulasikan kerja relai tersebut.

1.1 Generator Sinkron

Generator sinkron ialah generator AC yang beroperasi untuk membuat energi mekanik diubah ke energi listrik. Operasi dari generator sinkron beroperasi sesuai dengan hukum tangan kanan atau faraday yaitu gaya

listrik induksi akan sama dengan perubahan nilai laju yang melewati kumparan. Artinya frekuensi yang dibangkitkan disinkronkan terhadap putaran mekanik pada generator. Pada rotor terletak kumparan medan magnet generator sinkron dan di stator terletak kumparan jangkar. [1] Di bagian rotor generator terdapat belitan medan dan digerakkan oleh arus searah yang pada akhirnya diperoleh medan magnet berputar sesuai dengan kecepatan dari putaran rotor.

1.2 Sistem Eksitasi Generator

Sistem eksitasi pada generator ialah sistem catu daya arus searah (DC) cadangan untuk pembangkitan medan magnet, sehingga akan menghasilkan daya listrik dan tegangan keluaran dari generator. Beban sangat mempengaruhi sistem eksitasi pada generator sinkron. Jika beban bertambah, arus dan tegangan jaringan juga akan berkurang. Oleh karena itu, untuk menghindari dalam kondisi *under exciter*, arus eksitasi yang diterapkan harus ditingkatkan. Dan sebaliknya jika beban berkurang maka tegangan jaringan akan meningkat dan menyebabkan tegangan generator naik. Oleh karena itu, untuk menghindari eksitasi berlebih, arus eksitasi yang diterapkan harus diturunkan.

1.3 Gangguan pada Tegangan Generator Sinkron

Gangguan pada generator yaitu tegangan lebih atau *over voltage* dan tegangan kurang atau *under voltage*.

1.3.1 Tegangan lebih (*overvoltage*)

Overvoltage merupakan kenaikan nilai tegangan AC melebihi 110% dengan waktu gangguan diatas 1 menit (*long duration*). Penyebab dari *overvoltage* disebabkan oleh sistem terlalu lemah terhadap sistem jaringan yang lebih dan regulasi tegangan. Tegangan lebih pada generator dapat terjadi akibat mesin putaran lebih (*over speed*) pada prime mover, kerusakan pada pengatur tegangan otomatis (AVR), dan pelepasan beban secara mendadak. Adapun besar presentase regulasi tegangan maksimum yang diizinkan menurut IEEE Std C37.102-2006 adalah 205% dari tegangan nominal pada saat beban dan frekuensi berjalan. Sehingga hal ini akan menentukan setting relai yang dipakai, apabila tipe relai instantaneous yaitu 130% sampai 150% tegangan terminal generator atau tegangan yang ada pada Potential Transformator sedangkan untuk inverstime yaitu sekitar 110% dari tegangan terminal. [2]

1.3.2 Tegangan kurang (*undervoltage*)

Undervoltage merupakan suatu kondisi dimana tegangan AC turun dengan nilai lebih besar 90% tegangan nominalnya dengan jangka waktu lebih dari 1 menit. Penyebabnya ialah pengawatan yang kurang baik dan pembebanan yang berlebih.

1.4 Perangkat Sistem Proteksi *Overvoltage* pada Generator

Jaringan pada sistem tenaga listrik diharapkan tidak ada kendala, namun realitanya terdapat kasus yang menyebabkan kerusakan sistem kelistrikan. Sehingga dibutuhkan sistem perlindungan yang bisa mengurangi kerusakan pada perlengkapan kelistrikan akibat kendala tersebut. [4] Sehingga dibutuhkan sistem proteksi sebagai pengaman terhadap gangguan dan diharapkan dapat mengisolir jaringan yang tidak terkena dampaknya. Berikut proteksi yang dipasang untuk gangguan *overvoltage* pada generator.

1.4.1 Trafo Tegangan (PT)

Trafo tegangan atau PT merupakan trafo 1 fasa penurun tegangan yang digunakan sebagai alat ukur, relai, indikator, dan alat sinkronisasi.

1.4.2 Relai *Overvoltage*

Relai *overvoltage* atau tegangan lebih memiliki fungsi untuk mendeteksi tegangan yang melebihi tegangan nominal. Relai tegangan lebih beroperasi pada rangkaian sekunder sebuah trafo tegangan dengan tegangan nominal yang ditentukan. Waktu tunda kerja relai dapat ditentukan menggunakan persamaan menurut standar IEC 60255-127 [3] :

$$t = TMS \times \left(\frac{k}{\left(\frac{V_2}{V_s} \right)^a} \right) + c \quad (1)$$

Keterangan:

- t : waktu beroperasi (detik)
- V_2 : tegangan terukur pada trafo tegangan
- V_s : setting tegangan relai
- TMS : time multiplier setting
- k,a,c : konstanta

1.5 Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

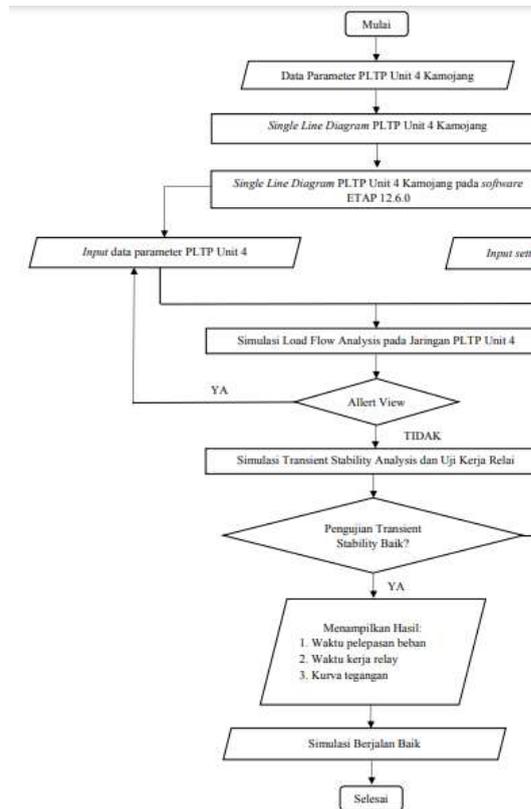
Load Shedding ialah suatu aksi dilepaskannya beban dengan tujuan agar bisa mengamankan komponen listrik terhadap terjadinya *under frequency* dan *under voltage*. *Load shedding* ketika terjadinya penurunan suplai daya dan dilakuka secara otomatis dilihat dari frekuensi atau sumber pembangkit yang tidak mampu untuk mensuplai beban. Pelepasan beban yang disebabkan oleh lepasnya beban dengan kapasitas daya yang besar dapat

berakibat terhadap tegangan lebih pada bus tersebut. [5]

2. METODE PENELITIAN

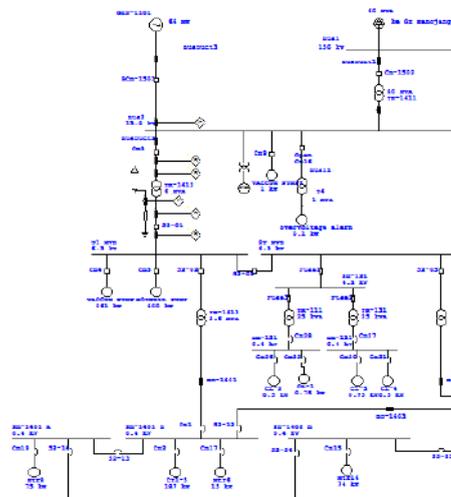
2.1 Urutan Metode Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dapat memudahkan dalam pengerjaan. Berikut diagram alir dalam melaksanakan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Pemodelan Single Line Diagram PLTP Unit 4 Kamojang pada ETAP



Gambar 2. Pemodelan Single Line Diagram pada ETAP

Pada gambar 2 merupakan gambar perancangan jaringan PLTP Unit 4 Kamojang pada aplikasi *software* ETAP. Pada jaringan tersebut dipasang *overvoltage* relai sebagai proteksi generator.

2.3 Spesifikasi Generator

Generator yang dipasang pada bus 2 PLTP Unit 4 Kamojang merupakan generator dengan tipe *steam turbine* dengan kodefikasi Gen-1101.

Pabrik pembuat	: Areva
Phase	: 3
Tegangan terminal	: 13.8 kV
Daya semu	: 80 MVA
Daya nyata	: 64 MW
Faktor daya	: 0.9 lagging
Kecepatan	: 3000 rpm
Jumlah kutub	: 2

2.4 Spesifikasi Trafo Tegangan (PT)

Transformator utama pada PLTP Unit 4 dengan rating 150/13.8 kV yang dipasang pada Bus 1. Data dibawah menjelaskan spesifikasi rating pada transformator tegangan yang dikoneksikan dengan relai *overvoltage*.

Tabel 1. Spesifikasi Trafo Tegangan

Potential Transformator	Tegangan Primer (V)	Tegangan Sekunder (V)
PT1	13800	100

2.5 Spesifikasi Relai Overvoltage

Relai *over voltage* yang dipasang pada PLTP Unit 4 dikoneksikan dengan Potential Transformator (PT) dengan setting 110% unit % sesuai standar yang berlaku. Relai *overvoltage* dipasang pada terminal generator atau Bus 2 melalui Potential Transformator (PT). Untuk melihat indikator relai akan bekerja dipasang sebuah CB yaitu CB-16 yang terhubung ke sebuah perangkat alarm untuk menjadi indikator relai akan bekerja. Prinsip kerjanya yaitu pada saat relai *overvoltage* membaca tegangan sesuai setting yang diberikan, maka relai tersebut akan memberikan sinyal/perintah kepada CB-16 untuk *closed* sehingga menyalakan perangkat alarm tersebut.

Berikut spesifikasi rating dari relai *overvoltage* yang dipasang di PLTP Unit 4 Kamojang.

Manufacturer	: ABB
Type	: GPU 200R

Serial	: 1VAA3295944
Rated Voltage	: 70V
PT Ratio	: 13800/100V

2.6 Menghitung Tegangan Sekunder PT

Perhitungan tegangan sekunder yang terukur pada PT dapat menggunakan persamaan [4] dengan rasio PT yang didapatkan nilai tegangan sekundernya yaitu:

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{VT}{\alpha} \quad (2) \\ &= \frac{13,8 \times 10^3}{138} \\ &= 100 \text{ Volt} \end{aligned}$$

2.7 Perhitungan Pengaturan Tegangan pada Relai Overvoltage

Berdasarkan standar IEEE Std C37.102TM-2006: IEEE Guide for AC Generator Protection, relai tegangan lebih dengan jenis inverse time diatur 110% dari tegangan sekunder PT. Sehingga didapat settingan tegangan pada relai yaitu:

$$100 \times 110\% = 110 \text{ Volt} \quad (3)$$

Jadi pengaturan tegangan untuk relai tegangan lebih yang dipakai dengan persentase 110% yaitu sebesar 110 volt. Dan untuk mengetahui tegangan terminalnya yaitu dengan cara mengalikan tegangan setting relai yang terbaca tegangan rasio PT yang digunakan yaitu

$$138 \times 110 = 15,1 \text{ kV.} \quad (4)$$

2.8 Menghitung Waktu Kerja Relai

Waktu kerja relai tegangan lebih yaitu durasi relai pada saat mendeteksi gangguan sebesar 110% untuk memberikan sinyal kepada alarm atau tanda peringatan. Waktu kerja relai dapat diketahui dengan melakukan perhitungan berdasarkan persamaan:

$$\begin{aligned} t &= TMS \times \left(\frac{k}{\left(\frac{V_2}{V_S}\right)^a} \right) + c \quad (5) \\ &= 1 \times \left(\frac{1}{\left(\frac{100}{110}\right)^a} \right) + c \\ &= 1,1 \text{ s} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, durasi relai untuk bekerja ketika mendeteksi tegangan lebih sesuai dengan nilai setting tegangan sebesar 110 V pada sisi sekunder PT atau 15,1 KV pada terminal generator adalah 1,1 detik untuk menyalakan alarm.

2.9 Skenario Pelepasan Beban

Simulasi pelepasan beban dilakukan agar bisa melihat bagaimana relai *overvoltage* bekerja pada saat terjadi tegangan lebih pada terminal generator. Untuk melihat bagaimana relai tegangan lebih bekerja, dilakukan skenario pelepasan beban pada bus 150

kV yaitu CB-1502 yang menuju jaringan GI Kamojang 150 kV dilepas (kondisi *open*) pada waktu 0,5 detik

Pelepasan beban pada jaringan 150 kV dilakukan dengan dua skenario, yaitu:

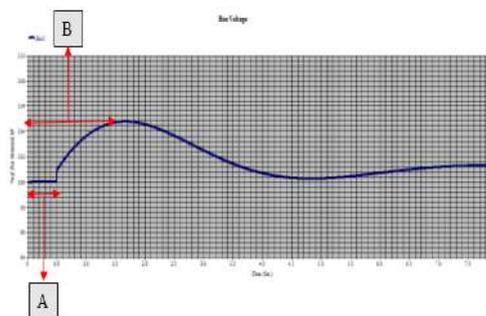
- Pelepasan beban dengan setting rating PF jaringan yang tetap, tetapi rating MVA yang berbeda 30 MVA, 60 MVA dengan rating PF 0.9.
- Pelepasan beban dengan setting MVA jaringan yang tetap, tetapi rating PF yang berbeda PF 0.6, 0.8 dengan rating MVA jaringan 60 MVA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pelepasan beban dengan fitur *transient stability analysis* akan didapatkan waktu pelepasan beban dari *action study case* yang telah dibuat, dan waktu ketika relai *overvoltage* bekerja dari *action* relai tersebut.

3.1 Hasil Simulasi Pelepasan Beban 30 MVA dengan PF 0.9

Pada pelepasan beban jaringan dengan waktu 0,5 detik pada kapasitas 30 MVA tidak terjadi *overvoltage*, bisa dilihat dari gambar 3 tegangan tidak mencapai 110% dari Bus Nominal kV tetapi hanya mencapai 104,5% dari Bus Nominal kV, maka dari itu relai *overvoltage* tidak bekerja pada kondisi ini.



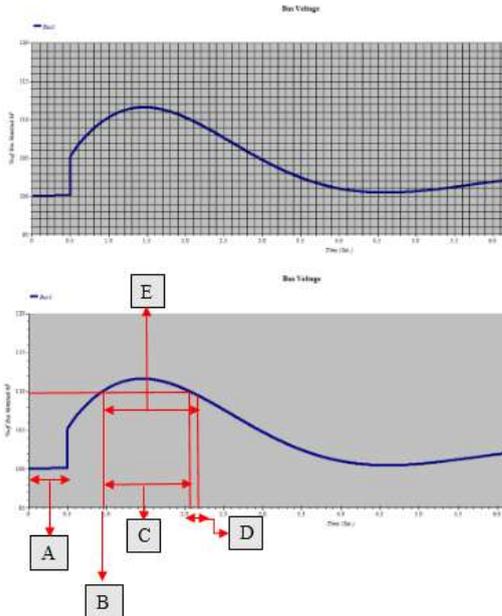
Gambar 3. Pelepasan Beban 30 MVA, PF 0.9
Keterangan:

- A: Kondisi operasi normal selama 0,5 detik sebelum CB-1502 trip lalu terjadi pelepasan beban
B: Tegangan pada pelepasan beban kondisi ini mencapai 104,5% dari bus nominal kV.

3.2 Hasil Simulasi Pelepasan Beban 60 MVA dengan PF 0.9

Pada pelepasan beban jaringan dengan waktu 0,5 detik pada kapasitas 60 MVA terjadi *overvoltage*, bisa dilihat dari Gambar 4 tegangan mencapai 110% dari Bus Nominal KV. Dapat dilihat bahwa pada kondisi ini terjadi kenaikan tegangan keluaran generator

dari 13,8 kV menjadi 15,1 kV. Berdasarkan perhitungan setting relai sebelumnya, relai akan bekerja pada saat tegangan keluaran generator bernilai 15,1 kV sehingga pada saat pelepasan beban ini relai akan bekerja untuk memberikan sinyal kepada alarm setelah delay waktu sesuai dengan setting relai yaitu 1,1 detik.



Gambar 4. Pelepasan Beban 60 MVA, PF 0.9
Keterangan:

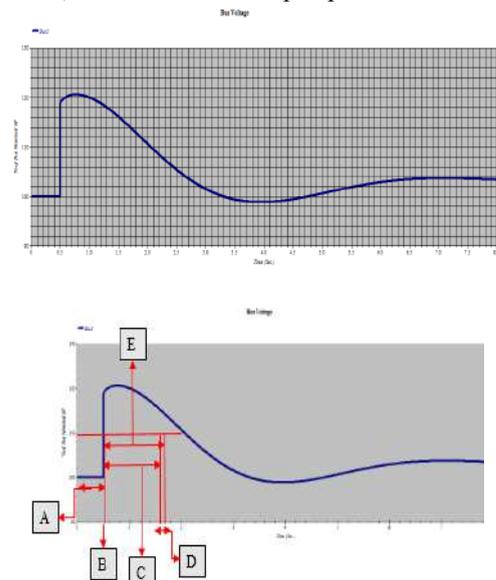
- A: Kondisi operasi normal selama 5 detik, lalu CB-1502 trip dan terjadi pelepasan beban
- B: Relai mendeteksi tegangan lebih ketika 0,95 detik dari kondisi normal atau 0,45 detik setelah pelepasan beban
- C: Waktu setting delay relai selama 1,1 detik
- D: Cycle CB-16 yaitu $0,1 \left(\frac{1}{50} \right)$
- E: Alarm beroperasi yaitu $(B+C+D) = (0,45+1,1+0,1) = 1,65$ detik setelah pelepasan beban atau 2,15 detik dari kondisi normal

Berdasarkan Gambar IV.5 terlihat bahwa pada saat terjadi pelepasan beban, tegangan terminal yang sedang berjalan pada nilai normalnya yaitu 13,8 kV kemudian naik selama 1,6 detik hingga mencapai puncaknya sebesar 15,1 selama 0,021 detik. Terjadi tegangan 110% dari bus nominal kV pada waktu 0,95 detik. Relai mendeteksi tegangan lebih pada 0,45 detik setelah pelepasan beban lalu terjadi delay 1,1 detik untuk memberikan perintah/sinyal kepada alarm. Sehingga alarm beroperasi 1,65 detik setelah pelepasan beban terjadi. Kemudian tegangan berangsur turun selama kurang lebih 5 detik sampai tegangan

mulai turun hingga stabil pada 14 kV dimana besar tegangan ini masih dibawah batas maksimal tegangan lebih yaitu sebesar 15,1 kV. Hal ini terjadi karena sistem eksitasi generator yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan induksi terhubung dengan AVR (Automatic Voltage Regulator) yang berfungsi untuk mengatur arus medan yang diinjeksikan dalam pembangkitan tegangan. Sehingga pada saat terjadi kenaikan tegangan akibat pelepasan beban mendadak, AVR menyesuaikan tegangan yang dibangkitkan agar tegangan lebih yang terjadi tidak berlangsung lama yang dapat menyebabkan kerusakan isolasi belitan generator.

3.3 Hasil Simulasi Pelepasan Beban 60 MVA dengan PF 0.6

Pada pelepasan beban 60 MVA dengan PF 0.6 terjadi *overvoltage*, bahkan ketika pelepasan beban pada 0,5 detik langsung menyentuh 110% dari bus nominal kV. Lalu mencapai puncaknya sampai 120% dari bus nominal kV saat 0,58 detik dari kondisi normal atau sekitar 0,1 detik setelah pelepasan beban. Sesuai dengan Gambar 5 CB-1502 trip lalu melakukan pelepasan beban ketika 0,5 detik lalu relai langsung mendeteksi tegangan lebih ketika 0,5 detik itu dan alarm beroperasi 0,1 detik setelahnya atau 0,6 detik dari kondisi pelepasan beban.



Gambar 5. Simulasi Pelepasan Beban 60 MVA, PF 0.6

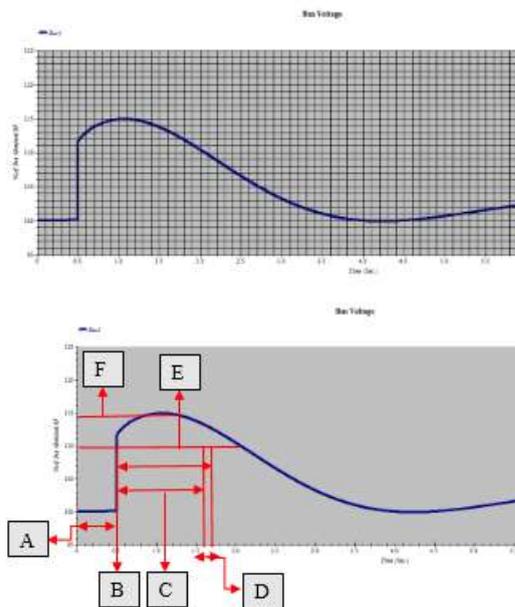
Keterangan:

- A: Kondisi operasi normal selama 5 detik, lalu CB-1502 trip dan terjadi pelepasan beban
- B: Relai mendeteksi tegangan lebih ketika 0,5 detik dari kondisi normal atau langsung mendeteksi setelah pelepasan beban
- C: Waktu setting delay relai selama 1,1 detik
- D: Cycle CB-16 yaitu $0,1 \left(\frac{1}{50}\right)$
- E: Alarm beroperasi yaitu $(B+C+D) = (0+1,1+0,1) = 1,2$ detik setelah pelepasan beban atau 1,7 detik dari kondisi normal

Hal ini terjadi karena ketika beban dengan faktor daya yang rendah merupakan beban yang mengandung nilai induktansi yang menyebabkan kerugian yang lebih tinggi dalam sistem suplai tenaga listrik karena semakin rendah faktor daya semakin besar rating kVA maka generator akan lebih besar menyuplai daya kepada jaringan yang mengakibatkan kurangnya efisiensi pada generator selain itu mengakibatkan arus beban menjadi lebih tinggi dan generator menjadi *over exciter*.

3.4 Hasil Simulasi Pelepasan Beban 60 MVA dengan PF 0.8

Pada kondisi pelepasan beban 60 MVA dengan 0,8 PF terjadi *overvoltage*, bahkan pada 0,5 detik atau saat waktu pelepasan beban relai langsung mendeteksi hal tersebut. Lalu mencapai puncaknya sampai 115% dari bus nominal kV saat 1,1 detik dari kondisi normal atau sekitar 0,6 detik setelah pelepasan beban.



Keterangan:

- A: Kondisi operasi normal selama 5 detik, lalu CB-1502 trip dan terjadi pelepasan beban
- B: Relai mendeteksi tegangan lebih ketika 0,5 detik dari kondisi normal atau langsung mendeteksi setelah pelepasan beban
- C: Waktu setting delay relai selama 1,1 detik
- D: Cycle CB-16 yaitu $0,1 \left(\frac{1}{50}\right)$
- E: Alarm beroperasi yaitu $(B+C+D) = (0+1,1+0,1) = 1,2$ detik setelah pelepasan beban atau 1,7 detik dari kondisi normal
- F: Mencapai puncak 115% dari Bus Nominal kV ketika 1,1 detik dari kondisi normal atau 0,6 detik setelah pelepasan beban

Pada kondisi ini PF 0,8 terjadi *overvoltage* sampai mencapai 115% dari Bus Nominal kV dan mengakibatkan tegangan mencapai 15,53 kV pada saat alarm beroperasi.

4. KESIMPULAN

Pelepasan beban pada *software* ETAP dilakukan dengan melakukan *study case* pada simulasi *transient stability analysis* dengan dua skenario, pelepasan beban dengan mengubah rating MVA 30 MVA dan 60 MVA. Serta dengan mengubah PF mulai dari 0.6 PF dan 0.8 PF, dengan rating MVA yang tetap yaitu 60 MVA. Dilakukan dengan melepaskan beban pada jaringan 150 kV dengan cara membuka CB-1502 dengan waktu 0.5 detik. Hasil simulasi pelepasan beban dengan melihat cara kerja relai *overvoltage* 59 berjalan dengan baik berdasarkan hasil dari waktu relai mendeteksi tegangan lebih yaitu 110% dari bus nominal kV, lalu alarm beroperasi 1,1 detik setelah mendeteksi tegangan sudah sesuai dengan perhitungan yang dilakukan. Hasil simulasi *transient stability analysis* dengan pengujian pelepasan beban dan cara kerja relai ditampilkan menggunakan kurva dan data numerik. Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan beban mempengaruhi kenaikan tegangan, karena tegangan lebih yang diakibatkan oleh pelepasan beban membuat tegangan bus menjadi naik 110%-120% dari tegangan nominal lalu turun secara perlahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui Wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan tugas akhir nomor B/209/PL1/HK.02.00/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramdhany, Dhea Gemilang. "Modifikasi Motor Brushless Dc Menjadi Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Radial Putaran Rendah." Diss. *Universitas Siliwangi*, 2021.
- [2] Widarsono, Kukuh, Moh Jauhari, and Anggika Lutfi Dzuhuri. "Relay Protection of Over Voltage, Under Voltage and Unbalance Voltage Magnitude Based on Visual Basic Using Arduino Mega." *Seminar MASTER PPNS*. Vol. 4. No. 1. 2019.
- [3] Hasani, Abbas, et al. "Synchronous generator LOF protection using a detailed model based on IEEE standard C37. 102-2006." *2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*. IEEE, 2019.
- [4] Chapman, Stephen J. "Electric Machinery Fundamental Secon Edition. New York, 1991.
- [5] IEC Standard. "Measuring Relais and Protection Equipment-Part 127. Functional Requirements for Over/under Voltage Protection." IEC 60255-127