

Mitigasi *Blackout* Akibat *Overload* melalui Implementasi Prioritas Beban dalam Skema *Overload Shedding*

FATKHIYATI RISQI, SAID SUNARDIYO

Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia
Email: fatkhiyatirisqi04@students.unnes.ac.id

Received 22 Maret 2024 | *Revised* 14 Mei 2024 | *Accepted* 17 Mei 2024

ABSTRAK

Gangguan kontingensi sistem tenaga listrik dapat menyebabkan overload yang berpotensi memicu blackout masal jika tidak ditangani dengan tepat. Penelitian ini mengusulkan desain skema overload shedding untuk Subsistem Pedan 3,4 yang mempertimbangkan prioritas beban. Simulasi dilakukan pada tiga skenario gangguan kontingensi N-1 dan N-1-1 meliputi trip pada Interbus Transformer (IBT), PLTU Pacitan 1, serta kombinasi keduanya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kasus gangguan IBT dan kombinasi IBT-PLTU, skema overload shedding yang diusulkan berhasil mencegah blackout dengan melakukan pelepasan beban bertahap sesuai prioritas. Namun, pada kasus trip PLTU saja, tidak diperlukan pelepasan beban karena pembebanan IBT masih aman. Dengan demikian skema overload shedding ini terbukti efektif dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik saat menghadapi gangguan kontingensi, mencegah blackout masal dan meminimalkan dampak pada area non-kritis.

Kata kunci: *load shedding, overload, kontingensi, prioritas beban, DIGSILENT*

ABSTRACT

Power system contingency disturbances can cause overloads that have the potential to trigger mass blackouts if not handled appropriately. This study proposes an overload shedding scheme design for Pedan 3,4 Subsystem that considers load prioritization. Simulations were conducted on three N-1 and N-1-1 contingency fault scenarios including trips to the Interbus Transformer (IBT), Pacitan 1 PLTU, and a combination of both. The simulation results show that in the case of IBT fault and IBT-PLTU combination, the proposed overload shedding scheme successfully prevents blackout by performing gradual load shedding according to priority. However, in the case of PLTU trip only, no load shedding is required because the IBT loading is still safe. Thus this overload shedding scheme is proven effective in maintaining power system reliability when facing contingency disturbances, preventing mass blackouts and minimizing the impact on non-critical areas.

Keywords: *load shedding, overload, contingency, load priority, DIGSILENT*

1. PENDAHULUAN

Gangguan pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan pemadaman listrik masal atau *blackout* masih menjadi perhatian utama dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Fenomena *blackout* seringkali terjadi akibat dari beberapa faktor, tetapi salah satu penyebab utama adalah *overload* atau beban berlebih pada sistem tenaga listrik. *Overload* terjadi ketika permintaan terhadap suplai listrik melebihi kapasitas yang dapat disediakan oleh sistem, seringkali selama puncak penggunaan (**Kundur, 2022**). Kondisi disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu terputusnya salah satu komponen dalam sistem ketenagalistrikan sering disebut juga sebagai kontingensi N-1 (**Song, dkk, 2020**) (**Ly, dkk, 2023**). Kontingensi N-1 yang tidak segera ditangani akan menimbulkan kontingensi N-1-1 di mana terdapat dua komponen dalam sistem ketenagalistrikan terputus secara berurutan (**Prabhakar, dkk, 2022**) (**Heidari, dkk, 2022**). Kondisi ini lebih berpotensi mengakibatkan terjadinya *blackout* dibandingkan dengan kondisi kontingensi N-1.

Untuk mengatasi masalah *overload* dan mencegah terjadinya *blackout*, strategi yang umum diterapkan adalah *overload shedding* (**Alwaini & Dini, 2021**) (**Basati, dkk, 2024**) (**Akbar & Wrahatnolo, 2023**). *Overload shedding* adalah proses terkontrol untuk mengurangi beban pada sistem tenaga listrik dengan memutuskan suplai listrik ke area atau konsumen tertentu. Proses ini bertujuan untuk menjaga stabilitas sistem dengan mengurangi beban sampai pada level yang aman, sehingga mencegah kerusakan pada infrastruktur tenaga listrik dan menghindari pemadaman listrik yang lebih luas (**Fitri & Kim, 2019**) (**Sapari, dkk, 2018**), (**Rabbani, dkk, 2019**) (**Ghotbi-Maleki, dkk, 2023**) (**Sayed, dkk, 2020**). Menurut kondisi pengoperasian sistem tenaga listrik, pelepasan beban hanya diperbolehkan pada keadaan darurat dan ekstrim. *Overload shedding* dapat diaktifkan secara manual oleh operator sistem atau secara otomatis oleh sistem kontrol yang dirancang untuk merespons kondisi *overload* secara *real-time*.

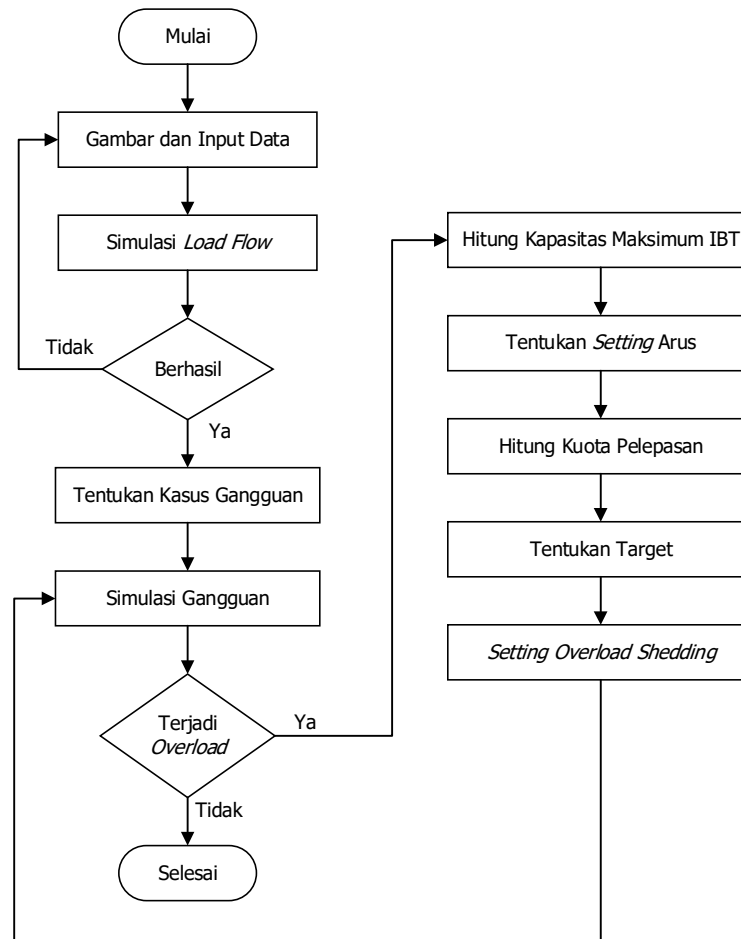
Implementasi *overload shedding* memerlukan pemahaman yang mendalam tentang dinamika sistem tenaga listrik dan interaksi antara berbagai komponennya. Ini termasuk pemahaman tentang bagaimana dan kapan beban harus dikurangi, area mana yang harus diprioritaskan untuk pemutusan, dan bagaimana dampak dari pemutusan dapat diminimalisir terhadap konsumen. Prioritas beban merujuk pada pengurutan konsumen berdasarkan kekritisannya, di mana pemadaman dilakukan secara terakhir pada beban yang dianggap kritis. Pelepasan beban yang tidak tepat, tanpa mempertimbangkan total kehilangan transmisi, biaya pelepasan beban, dan kebutuhan beban, tidak disarankan Ramesh (**Ramesh, dkk, 2022**). Melepaskan beban secara acak tanpa mempertimbangkan prioritasnya akan menyebabkan gangguan listrik pada infrastruktur penting (**Sundarajoo & Soomro, 2023**). Dengan demikian penting untuk mempertimbangkan prioritas beban dalam merencanakan sistem *overload shedding*.

Dalam penelitian yang dilakukan Hirodantis dan Kuppusamy (**Hirodantis, dkk, 2021**) (**Kuppusamy, dkk, 2023**), pemeringkatan prioritas beban diimplementasikan pada skema *Island Operation* di mana beban dengan prioritas rendah menjadi target pemutusan. Metode ini terbukti memberikan kinerja *islanding* dan pelepasan beban yang lebih baik dengan stabilitas tegangan yang konstan. Dalam penelitian Khan (**Khan & Russell, 2022**), pemeringkatan prioritas beban juga digunakan untuk menentukan target pelepasan beban oleh *Under Frequency Load Shedding* (UFLS). Hasilnya skema pemutusan dengan metode ini berpotensi meningkatkan kemampuan sistem tenaga listrik dalam mencegah *blackout* dengan mempertimbangkan stabilitas frekuensi dan tegangan.

Fokus penelitian ini adalah implementasi prioritas beban dalam mendesain skema *overload shedding* untuk Subsistem Pedan 3,4. Selain itu juga dilakukan simulasi untuk melihat pengaruh skema *overload shedding* terhadap pembebanan pada IBT 500/150 kV 3, dan 4 Pedan sehingga *overload shedding* mampu menyelamatkan sistem apabila terjadi gangguan beban lebih.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan secara rinci dan sistematis pada gambar berikut, yang menggambarkan tahapan-tahapan penting serta alur kerja yang dilakukan untuk memperoleh data dan informasi yang diperlukan bagi keberhasilan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Load Shedding

Pemadaman listrik total atau *blackout* kerap kali disebabkan oleh gangguan kontingensi yang tidak segera ditangani. *Blackout* dapat dicegah dengan pemutusan beban (*load shedding*) yang tepat. *Load shedding* umum digunakan untuk mengatasi penyimpangan frekuensi/tegangan yang besar dan menghilangkan kelebihan beban dengan mengurangi beban dan aliran daya melalui perangkat transmisi, yang sebagian besar didasarkan pada perhitungan aliran daya (Shi, dkk, 2019) (Chai & Zhang, 2016). *Load shedding* adalah

pemutusan aliran listrik secara sengaja pada beberapa bagian jaringan untuk mencegah penyebaran pemadaman ketika permintaan melebihi kapasitas pembangkitan atau transmisi (**Khan & Russell, 2022**) (**Sayed & Kamel, 2017**). Biasanya, melepaskan beban dianggap tidak dikehendaki, namun dalam beberapa situasi, hal ini menjadi tak terelakan, terutama apabila batas operasional terlampaui dan tidak tersedia opsi pengendalian alternatif lainnya. Skema proteksi otomatis ini bekerja melalui peralatan relai dengan pemicu berupa parameter listrik (*parameter based*) maupun status CB peralatan (*event based*) yang dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga melindungi sistem pada saat yang diperlukan (**Renew, 2022**). Skema *load shedding* dapat dilakukan secara manual maupun otomatis.

Manual load shedding dilakukan ketika peningkatan beban subsistem signifikan sehingga waktu untuk melakukan pemulihan cukup panjang. Pada skema ini, operator perlu mencari beban yang akan dilepaskan secara manual.

Automatic load shedding dilakukan ketika terjadi peningkatan beban secara signifikan sehingga waktu yang untuk melakukan pemulihan sangat terbatas. Pada skema ini relai proteksi akan melepas beban secara otomatis sesuai skema yang telah diatur sebelumnya.

2.2 *Overload Shedding*

Overload shedding adalah skema untuk memitigasi terjadinya *overload* yang diakibatkan kontingensi N-1 tidak terpenuhi pada instalasi penyaluran, di mana salah satu dari peralatan yang beroperasi mengalami gangguan dan menyebabkan peralatan lainnya mengalami *overload* (**Renew, 2022**). Skema ini akan melakukan pelepasan beban secara otomatis sesuai dengan skenario yang direncanakan dengan maksud untuk menghindari tripnya peralatan lain yang masih beroperasi akibat beban lebih sehingga pemadaman yang meluas dapat dihindari. Pengamanan dengan *overload shedding* dibuat dalam beberapa tahap dengan meminimalkan jumlah beban konsumen yang dilepas (dipadamkan) serta mempertimbangkan kontingensi yang mungkin terjadi menyesuaikan konfigurasi jaringan tenaga listrik. Secara umum *overload shedding* terpasang pada penghantar dan IBT 500/150 kV yang cenderung berbeban di atas 50% (kriteria N-1 tidak terpenuhi).

Dalam merencanakan *overload shedding*, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satunya yaitu kemampuan hantar arus pada saluran transmisi atau IBT 500/150 kV. *Overload shedding* mengandalkan *Over Current Relay* (OCR) sebagai sensor utama untuk mendeteksi peningkatan beban. Prinsip kerja *overload shedding* mirip dengan OCR, namun perbedaannya terletak pada penggunaan karakteristik waktu definit (pasti) pada *overload shedding*, biasanya dengan pengaturan waktu bertahap. Tahapan waktu ini berfungsi sebagai parameter yang diperlukan untuk mengatur pelepasan beban sesuai dengan kelebihan beban dari peralatan itu sendiri, yang mencakup pelepasan beban dari transformator atau saluran transmisi (**Hajar & Ridho, 2020**).

Sebagai sensor untuk mendeteksi peningkatan beban, perlu ditentukan *setting* arus agar *overload shedding* bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas *setting*. Untuk menentukan *setting* arus digunakan persamaan (**Putra & Marbun, 2022**) berikut.

$$I_{set} = 1.1 \times I_{nom} \quad (1)$$

Dengan, I_{nom} = arus nominal IBT (A)

Dalam skema pelepasan beban menggunakan *overload shedding*, besarnya beban yang dilepas harus dihitung agar tidak terjadi pelepasan beban yang sia-sia. Untuk menentukan kuota pelepasan beban digunakan persamaan (**Thaha, dkk, 2022**) berikut.

$$P_{ols} = P_{ol} - P_{max} \quad (2)$$

P_{max} adalah kapasitas maksimum IBT yang telah dihitung sebelumnya menggunakan persamaan dibawah.

$$P_{max} = \sqrt{3} \times V_s \times I_{nom} \times \cos\varphi \quad (3)$$

Keterangan,

P_{ols} : kouta pelepasan beban (MW)

P_{ol} : beban pada IBT ketika *overload* (MW)

P_{max} : kapasitas maksimum IBT (MW)

V_s : tegangan pada sisi sekunder IBT (kV)

I_{nom} : arus nominal IBT (kA)

$\cos\varphi$: faktor daya pada IBT

2.3 Prioritas Beban

Pelepasan beban yang cerdas akan melibatkan penentuan prioritas beban, dengan prioritas terendah untuk diputuskan terlebih dahulu. Melepaskan beban secara acak tanpa mempertimbangkan prioritasnya akan menyebabkan gangguan listrik pada infrastruktur penting (**Sundarajoo & Soomro, 2023**). Dalam artikel ini, desain *overload shedding* yang diusulkan dibuat berdasarkan prioritas beban di mana beban dengan prioritas terendah akan menjadi target yang dilepas terlebih dahulu.

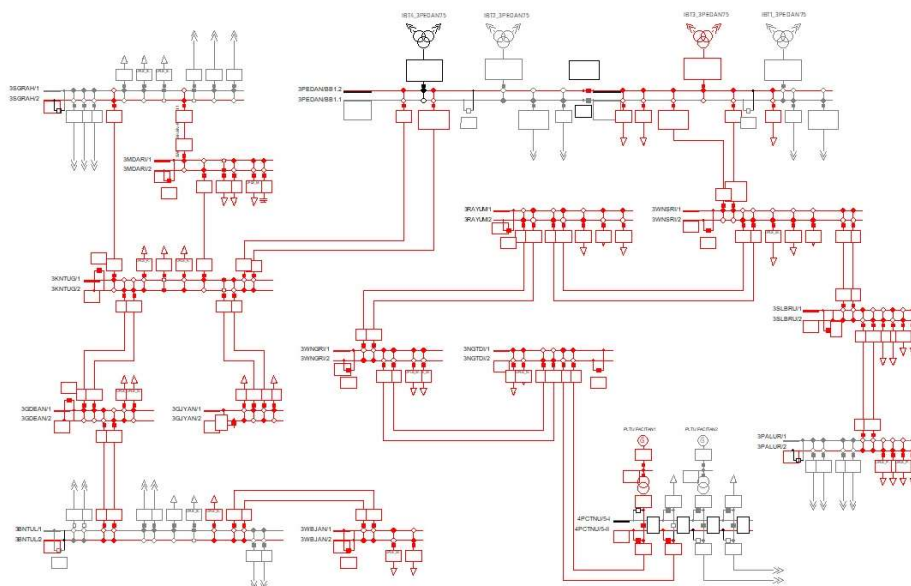
Tabel 1. Klasifikasi Umum Beban

| Kategori | Prioritas | Keterangan | Pelepasan Beban |
|---------------------------|--|---|-------------------------|
| Residensial | Menengah | AC merupakan beban berat yang dapat diputuskan sambungannya terlebih dahulu | Opsi kedua |
| Komersial/ Perkantoran | Tinggi saat jam kerja, Rendah di jam lainnya | Pekerjaan kantor dan peralatan komputer tidak boleh terganggu | Opsi ketiga/ keempat |
| Industri | Sangat tinggi | Peralatan industri tidak boleh terganggu | Opsi terakhir |
| Pedesaan | Rendah | | Opsi pertama |

2.4 Overview Sistem

Subsistem Pedan 3,4 disuplai oleh IBT 3 dan 4 Pedan serta PLTU Pacitan 1. Pada konfigurasi ini, Subsistem 3,4 menyuplai 14 gardu induk yang tersebar di wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Beban puncak pada Subsistem Pedan 3,4 terjadi pada malam hari di mana masing-masing IBT 3 dan IBT 4 Pedan terbebani 253.61 MW sedangkan PLTU pacitan terbebani 280 MW.

Mitigasi *Blackout* Akibat *Overload* melalui Implementasi Prioritas Beban dalam Skema *Overload Shedding*



Gambar 2. Konfigurasi Subsystem Pedan 3,4

2.5 Kasus Gangguan

Kasus gangguan yang digunakan untuk menilai metode ini adalah kasus gangguan kontingensi. Kontingensi merujuk pada situasi ketika terjadi gangguan, seperti tidak berfungsinya satu atau beberapa komponen dalam sistem kelistrikan (**Song, dkk, 2020**) (**Ly, dkk, 2023**). Situasi ini berhubungan dengan keandalan operasi sistem kelistrikan yang harus tetap berfungsi untuk memberikan suplai daya ke konsumen meskipun ada gangguan. (**Gusmedi & Legita, 2022**). Terlepasnya satu elemen dalam sistem menyebabkan terjadinya kontingensi N-1. Kondisi kontingensi N-1 yang tidak segera ditangani berpotensi mengakibatkan sistem mengalami kontingensi N-1-1 (**Ly, dkk, 2023**) (**Prabhakar, dkk, 2022**). Gangguan kontingensi yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi tiga kasus sebagai berikut.

Tabel 2. Klasifikasi Gangguan

| Case | Outage |
|-------------|----------------------|
| 1 | N-1 IBT |
| 2 | N-1 PLTU |
| 3 | N-1-1 (IBT dan PLTU) |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Subsystem Pedan 3,4 yang ditunjukkan pada Gambar 1 digunakan untuk menguji dan mengevaluasi desain *overload shedding* yang diusulkan. Subsystem ini disuplai oleh IBT 3 Pedan, IBT 4 Pedan dan PLTU Pacitan 1. Subsystem Pedan 3,4 mengalami beban puncak di hari kerja pada kondisi malam, di mana beban yang ditanggung mencapai 786 MW. Perangkat lunak *DIGSILENT Power Factory 15.1.1* akan digunakan pada simulasi ini.

Simulasi *load flow* dimaksudkan untuk memastikan gambar dan input data tidak ada yang *error*. Hasil dari simulasi *load flow* juga dapat digunakan sebagai pembandingan dengan kondisi gangguan.

Tabel 3. Load Flow Kondisi Normal

| Beban Puncak | IBT 3 Pedan | | IBT 4 Pedan | | PLTU Pacitan 1 | |
|--------------|-------------|----|-------------|----|----------------|-------|
| | MW | % | MW | % | MW | MVAR |
| Malam Kerja | 253.61 | 59 | 253.61 | 59 | 280.00 | 53.58 |
| Malam Sabtu | 251.95 | 59 | 251.95 | 59 | 280.00 | 54.62 |
| Malam Minggu | 228.88 | 52 | 228.88 | 52 | 280.00 | 41.48 |
| Siang Kerja | 245.93 | 59 | 245.93 | 59 | 280.00 | 90.93 |
| Siang Sabtu | 225.19 | 54 | 225.19 | 54 | 280.00 | 92.20 |
| Siang Minggu | 167.48 | 40 | 167.48 | 40 | 280.00 | 70.50 |

3.1 Kasus Gangguan 1

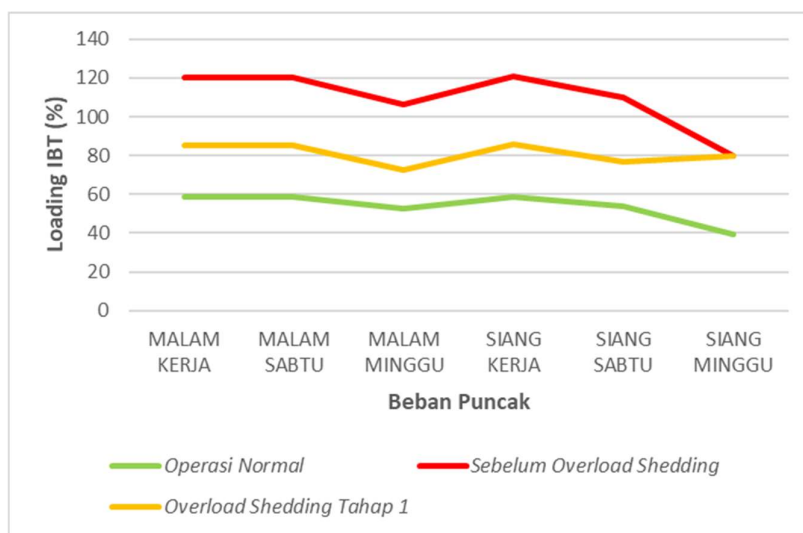
Kasus gangguan 1 merupakan kondisi saat salah satu IBT mengalami trip sehingga suplai untuk Subsistem Pedan 3,4 hanya berasal dari satu unit IBT yang tersisa dan PLTU Pacitan 1. Ketika salah satu IBT mengalami trip maka beban yang ditanggungnya akan berpindah ke IBT lainnya yang masih beroperasi. Inilah yang mengakibatkan IBT berpotensi mengalami *overload*.

Tabel 4. Load Flow Kasus Gangguan 1

| Gangguan | Beban Puncak | IBT 3 Pedan | | IBT 4 Pedan | | PLTU Pacitan 1 | |
|--------------|--------------|-------------|--------|-------------|------|----------------|--------|
| | | MW | % | MW | % | MW | MVAR |
| IBT 3 | Malam Kerja | 0.00 | 0.00 | 507.68 | 120 | 280.00 | 74.70 |
| | Malam Sabtu | 0.00 | 0.00 | 504.39 | 120 | 280.00 | 77.20 |
| | Malam Minggu | 0.00 | 0.00 | 458.00 | 106 | 280.00 | 58.86 |
| | Siang Kerja | 0.00 | 0.00 | 492.68 | 121 | 280.00 | 118.63 |
| | Siang Sabtu | 0.00 | 0.00 | 451.04 | 110 | 280.00 | 115.98 |
| | Siang Minggu | 0.00 | 0.00 | 335.13 | 80 | 280.00 | 86.30 |
| | IBT 4 | Malam Kerja | 507.68 | 120 | 0.00 | 0.00 | 280.00 |
| Malam Sabtu | | 504.39 | 120 | 0.00 | 0.00 | 280.00 | 77.20 |
| Malam Minggu | | 458.00 | 106 | 0.00 | 0.00 | 280.00 | 58.86 |
| Siang Kerja | | 492.68 | 121 | 0.00 | 0.00 | 280.00 | 118.63 |
| Siang Sabtu | | 451.04 | 110 | 0.00 | 0.00 | 280.00 | 115.98 |
| Siang Minggu | | 335.13 | 80 | 0.00 | 0.00 | 280.00 | 86.30 |

Tabel 4 menunjukkan respons beban ketika salah satu IBT mengalami trip. Saat satu unit IBT trip pada beban puncak siang di hari minggu maka IBT lainnya yang masih beroperasi tidak mengalami *overload*. Namun lain halnya apabila salah satu IBT trip pada kondisi selain beban puncak siang di hari minggu, IBT yang masih beroperasi mengalami *overload*.

Pada kasus ini *overload shedding* dibutuhkan untuk menyelamatkan subsistem agar tidak mengalami *blackout*. Gambar 3 menunjukkan perbandingan beban sebelum dan sesudah pemasangan *overload shedding* di mana satu tahap pelepasan beban menggunakan *overload shedding* mampu mengembalikan *loading* IBT menjadi dibawah 100%. Konsumen yang menjadi target pelepasan yaitu Palur TD3, Wonogiri TD2, Bantul TD3, Godean TD2, dan Wirobrajan TD2.



Gambar 3. Loading IBT pada Kasus Gangguan 1

3.2 Kasus Gangguan 2

Kasus gangguan 2 adalah kondisi ketika PLTU Pacitan 1 mengalami trip atau dalam *maintenance* sehingga suplai untuk Subsistem Pedan 3,4 berasal dari IBT 3 dan IBT 4 Pedan. Respons beban ketika PLTU Pacitan 1 mengalami trip atau dalam *maintenance* ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Load Flow Kasus Gangguan 2

| Gangguan | Beban Puncak | IBT 3 Pedan | | IBT 4 Pedan | | PLTU Pacitan 1 | |
|----------------|--------------|-------------|----|-------------|----|----------------|------|
| | | MW | % | MW | % | MW | MVAR |
| PLTU Pacitan 1 | Malam Kerja | 393.08 | 90 | 393.08 | 90 | 0.00 | 0.00 |
| | Malam Sabtu | 391.43 | 90 | 391.43 | 90 | 0.00 | 0.00 |
| | Malam Minggu | 368.00 | 83 | 368.00 | 83 | 0.00 | 0.00 |
| | Siang Kerja | 385.21 | 92 | 385.21 | 92 | 0.00 | 0.00 |
| | Siang Sabtu | 364.05 | 87 | 364.05 | 87 | 0.00 | 0.00 |
| | Siang Minggu | 305.69 | 70 | 305.69 | 70 | 0.00 | 0.00 |

Kasus ketika PLTU Pacitan 1 mengalami trip atau dalam *maintenance* tidak mengakibatkan IBT mengalami *overload*. Hal ini dikarenakan beban yang sebelumnya ditanggung PLTU Pacitan 1 beralih ke IBT 3 dan IBT 4 dengan jumlah yang sama sehingga *loading* pada kedua IBT seimbang. Pada kasus ini pelepasan beban tidak diperlukan.

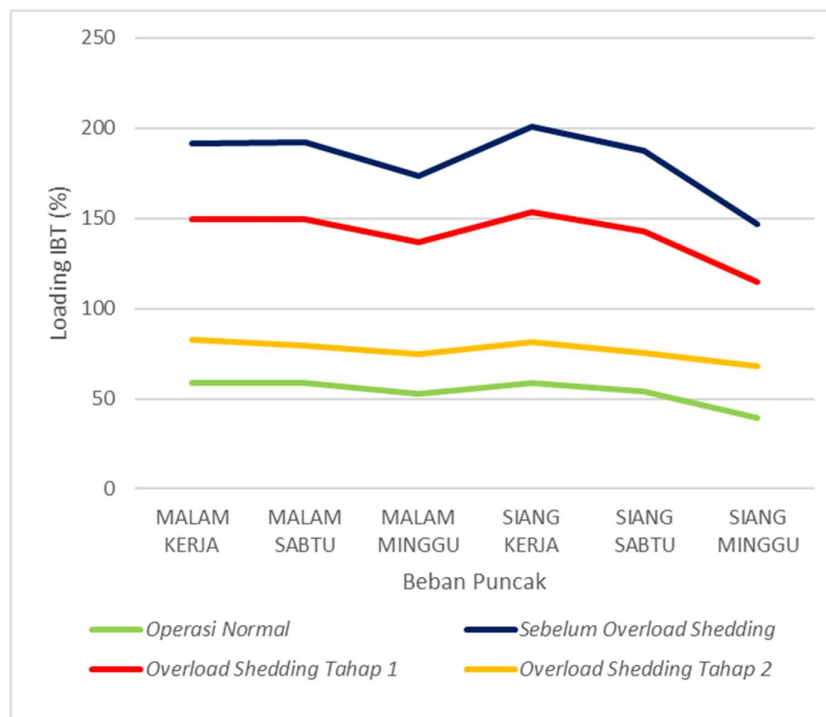
3.3 Kasus Gangguan 3

Pada kasus gangguan 3, salah unit IBT dan PLTU Pacitan 1 mengalami trip atau dalam *maintenance* sehingga suplai untuk Subsistem Pedan 3,4 hanya berasal dari satu unit IBT yang tersisa.

Tabel 6. Load Flow Kasus Gangguan 3

| Gangguan | Beban Puncak | IBT 3 Pedan | | IBT 4 Pedan | | PLTU Pacitan 1 | |
|--------------------------|--------------------------|-------------|--------|-------------|------|----------------|------|
| | | MW | % | MW | % | MW | MVAR |
| IBT 3 DAN PLTU Pacitan 1 | Malam Kerja | 0.00 | 0.00 | 787.98 | 192 | 0.00 | 0.00 |
| | Malam Sabtu | 0.00 | 0.00 | 784.78 | 192 | 0.00 | 0.00 |
| | Malam Minggu | 0.00 | 0.00 | 737.18 | 173 | 0.00 | 0.00 |
| | Siang Kerja | 0.00 | 0.00 | 773.13 | 201 | 0.00 | 0.00 |
| | Siang Sabtu | 0.00 | 0.00 | 730.21 | 187 | 0.00 | 0.00 |
| | Siang Minggu | 0.00 | 0.00 | 612.14 | 147 | 0.00 | 0.00 |
| | IBT 4 DAN PLTU Pacitan 1 | Malam Kerja | 787.98 | 192 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Malam Sabtu | | 784.78 | 192 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Malam Minggu | | 737.18 | 173 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Siang Kerja | | 773.13 | 201 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Siang Sabtu | | 730.21 | 187 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Siang Minggu | | 612.14 | 147 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Tabel 6 menunjukkan respons beban ketika satu unit IBT dan PLTU Pacitan 1 mengalami trip atau dalam *maintenance*. Ketika satu unit IBT dan PLTU Pacitan 1 trip atau dalam *maintenance* maka seluruh beban di Subsistem Pedan 3,4 akan ditanggung oleh satu unit IBT yang masih beroperasi dan hal ini akan mengakibatkan IBT tersebut mengalami *overload*. Pada kasus gangguan ini *overload shedding* dibutuhkan untuk menyelamatkan subsistem agar tidak mengalami *blackout*. Konsumen yang menjadi target pelepasan tahap 1 yaitu Palur TD3, Wonogiri TD2, Bantul TD3, Godean TD2, dan Wirobrajan TD2. Sedangkan Konsumen yang menjadi target pelepasan tahap 3 adalah Medari TD2 dan TD3, Solo Baru TD2 dan TD4, Wonosari TD2 dan TD3, Pedan TD2 dan TD3, Kentungan TD3 dan TD4 serta Palur TD2.



Gambar 4. Loading IBT pada Kasus Gangguan 3

Gambar 4 menunjukkan perbandingan beban sebelum dan sesudah pemasangan *overload shedding* saat satu tahap pelepasan dengan *overload shedding* belum mampu mengembalikan *loading* IBT menjadi dibawah 100% sehingga dilakukan pelepasan tahap 2.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan desain skema *overload shedding* untuk Subsistem Pedan 3,4 yang mempertimbangkan prioritas beban. Prioritas beban ditentukan berdasarkan kategori seperti residensial, komersial/perkantoran, industri, dan pedesaan, dengan beban pedesaan menjadi prioritas terendah untuk diputuskan lebih dulu saat terjadi *overload*. Simulasi dilakukan pada tiga kasus gangguan kontingensi N-1 dan N-1-1, yaitu trip pada satu *Interbus Transformer* (IBT), PLTU Pacitan 1, atau kombinasi keduanya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kasus gangguan kontingensi N-1 IBT dan N-1-1, skema *overload shedding* yang diusulkan mampu mencegah terjadinya *blackout* dengan melakukan pelepasan beban bertahap sesuai prioritas sehingga pembebanan pada IBT yang tersisa tidak melebihi kapasitasnya. Sementara pada kasus trip PLTU saja, tidak diperlukan pelepasan beban karena pembebanan IBT masih dalam batas aman. Dengan demikian, desain *overload shedding* yang diusulkan terbukti efektif dalam mencegah *blackout* akibat *overload* pada sistem dengan mempertimbangkan prioritas beban saat terjadi gangguan kontingensi.

DAFTAR RUJUKAN

Akbar, F., & Wrahatnolo, T. (2023). Dampak Gangguan Beban Lebih terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150kV Sukolilo , Surabaya. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5, 157–163.

- Alwaini, D. R., & Dini, H. S. (2021). Design of Defense Scheme Based on Adaptive under Frequency Load Shedding (AUFLS) at Lombok Island Grid System. *2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems, ICHVEPS 2021*, 117–121. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS53178.2021.9601026>
- Basati, S., Moradi, H., & Karimi, S. (2024). Voltage profile improvement in islanded DC microgrid using load shedding method based on DC bus voltage estimation. *Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s00202-023-02139-0>
- Chai, Y., & Zhang, H. (2016). Load shedding considering transient security and overload constraints. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, 2016-Decem(1)*, 1995–1999. <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2016.7779873>
- Fitri, I. R., & Kim, J. S. (2019). Economic Dispatch Problem using Load Shedding: Centralized Solution. *IFAC-PapersOnLine*, *52(4)*, 40–44. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.152>
- Ghotbi-Maleki, M., Chabanloo, R. M., & Javadi, H. (2023). Load shedding strategy using online voltage estimation process for mitigating fault-induced delayed voltage recovery in smart networks. *Electric Power Systems Research*, *214(PB)*, 108899. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108899>
- Gusmedi, H., & Legita, L. H. J. (2022). Analisis Kontigensi Saluran Transmisi Dengan Menggunakan Indeks Performa Tegangan (PIV) Dan Indeks Performa Daya Aktif (PIMW). *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, *2(1)*. <https://doi.org/10.23960/snip.v2i1.79>
- Hajar, I., & Ridho, M. (2020). *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah Review dan Resetting Skema Overload Shadding Interbus Transformer Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*. *12(1)*.
- Heidari, H., Tarafdar Hagh, M., & Salehpour, P. (2022). Accurate, simultaneous and Real-Time screening of N-1, N-k, and N-1-1 contingencies. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *136(September 2021)*, 107592. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107592>
- Hirodantis, S., Ioannou, S., & Raspopoulos, M. (2021). Load Shedding Schemes for Islanding Distribution Network Operation. 97–102. <https://doi.org/10.1049/icp.2021.1268>
- Khan, S., & Russell, C. A. B. (2022). Automated Remote Selective Load Shedding for Limiting Uncontrolled Blackouts. *Proceedings of 2022 25th International Conference on Computer and Information Technology, ICCIT 2022*, (pp. 1104–1109). <https://doi.org/10.1109/ICCIT57492.2022.10055346>

- Kundur, Prabha. (2022). Power System Stability And Control by Prabha Kundur.pdf. In *McGraw-Hill, Inc.*
- Kuppusamy, M., Muthukumaran, N., Lakshmi, R. R., & Sangno, R. (2023). Multi-term islanding protection and load priority-based optimal shedding framework for maintain voltage stability loadability in microgrid system. *Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s00202-023-02159-w>
- Ly, S., Chauhan, K., Hoay, G., & Nguyen, H. D. (2023). A Novel Quantile Lite-PCE for Probabilistic Risk Assessment of Power System Cascading Outage for N-1-1 Contingency Analysis. *2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/PESGM52003.2023.10252798>
- Prabhakar, P. S. V., Krishan, R., & Pullaguram, D. R. (2022). Static Security Assessment of Large Power Systems under N-1-1 Contingency. *2022 22nd National Power Systems Conference, NPSC 2022*, (pp. 35–40). <https://doi.org/10.1109/NPSC57038.2022.10069705>
- Putra, P. D., & Marbun, M. P. (2022). Adaptive Defense Scheme Implementation in Muarakarang Subsystem to Prevent Island Operation Failure. *Proceedings - 11th Electrical Power, Electronics, Communications, Control, and Informatics Seminar, EECCIS 2022*, (pp. 88–93). <https://doi.org/10.1109/EECCIS54468.2022.9902921>
- Rabbani, F. M., Ardita, I. M., Aryani, D. R., Jufri, F. H., & Utomo, A. R. (2019). Overload handling of IBT using load and capacitor shedding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *673*(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/673/1/012056>
- Ramesh, B., Khedkar, M., & Vardhan, B. V. S. (2022). Priority Based Optimal Load Shedding in a Power System Network under Contingency Conditions. *2022 International Conference for Advancement in Technology, ICONAT 2022*, (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/ICONAT53423.2022.9725967>
- Renev, T. (2022). Defense Scheme. In *PT. PLN Persero UP2B Jakarta dan Banten*.
- Sapari, N. M., Mokhlis, H., Laghari, J. A., Bakar, A. H. A., & Dahalan, M. R. M. (2018). Application of load shedding schemes for distribution network connected with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*(September 2017), 858–867. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.090>
- Sayed, F., & Kamel, S. (2017). Optimal load shedding for voltage collapse prevention using improved harmony search algorithm. *2017 19th International Middle-East Power Systems Conference, MEPCON 2017 - Proceedings, 2018-Febru*(December), (pp. 947–951). <https://doi.org/10.1109/MEPCON.2017.8301294>

- Sayed, F., Kamel, S., Yu, J., & Jurado, F. (2020). Optimal Load Shedding of Power System Including Optimal TCSC Allocation Using Moth Swarm Algorithm. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Electrical Engineering*, *44*(2), 741–765. <https://doi.org/10.1007/s40998-019-00255-x>
- Shi, F., Zhang, H., Cao, Y., Sun, H., & Chai, Y. (2019). Enhancing event-driven load shedding by corrective switching with transient security and *overload* constraints. *IEEE Access*, *7*, 101355–101365. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2929304>
- Song, J. S., Kim, J. S., Lee, W. S., Shin, G. S., & Kim, C. H. (2020). A study on optimal *setting* method of overcurrent relay considering N-1 contingency. *IET Conference Publications*, *2020*(CP771), 1–5. <https://doi.org/10.1049/cp.2020.0093>
- Sundarajoo, S., & Soomro, D. M. (2023). Optimal load shedding for voltage collapse prevention following overloads in distribution system. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, *36*(7), 1230–1238. <https://doi.org/10.5829/ije.2023.36.07a.04>
- Thaha, S., Adiyanti, A., Usman, & Sultan, A. R. (2022). Implementasi Over Load Shedding (OLS) Pada Interbus Transformator (IBT) #3 31.5 Mva Dan IBT #5 31.5 MVA Di GI Tello 150/66 kV Untuk Menjaga Keandalan Suplai Ke GI Borongloe, GI Daya Dan GI Mandai. *Jurnal Teknologi Elekterika*, *19*(1), 64–70.