

Static Line Rating untuk Integrasi PLTB di Jaringan Tegangan Menengah : Studi Kasus Master Plan Pembangkit Hibrid di Krueng Raya

Idraki Sariyan^{#1}, Hafidh Hasan^{#2}, Syahrizal Syahrizal^{#3}

[#] Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk Syech Abd Rauf no 7, Darusslam, Banda Aceh 23111, Indonesia

¹idraki.93@gmail.com

²hafidh.hasan@unsyiah.ac.id

³syahrizal.ee@unsyiah.ac.id.

Abstrak— Static line rating adalah salah satu metode line rating yang digunakan dalam perencanaan sistem saluran udara. Metode ini bekerja dengan memperhitungkan faktor cuaca dengan kondisi ekstrim seperti kecepatan angin yang rendah, suhu udara yang tinggi, dan radiasi matahari yang intens. Faktor-faktor tersebut diperoleh berdasarkan data riwayat cuaca daerah studi. Dengan penelitian ini diperoleh ampacity saluran. Ampacity tersebut kemudian dibandingkan dengan arus yang mengalir pada saluran yang telah diintegrasikan dengan sebuah PLTB berkapasitas 1 MW. Penelitian dilakukan dengan membuat sebuah simulasi pemodelan jaringan tegangan menengah 20 kV yang diintegrasikan dengan PLTB tersebut. Adapun hasil pada penelitian ini mengindikasikan besar ampacity pada tanggal 1 Juni 2015 pada suhu 35°C, dan kecepatan angin 0.6 m/s adalah sebesar 271 A. Selain itu besar nilai aliran daya yang mengalir pada saluran sebelum dan setelah integrasi masih belum melewati batas dari ampacity saluran tersebut.

Kata Kunci— Static line rating, ampacity, PLTB, aliran daya, sistem tegangan menengah.

I. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan ekonomi di suatu negara dan juga dengan pertumbuhan populasi yang tinggi. Untuk mendukung kehandalan dari permintaan kebutuhan yang cepat ini, sistem transmisi dan distribusi harus ditingkatkan dengan biaya yang efektif dan beberapa pembangkit harus ditambahkan pada sistem agar tidak kekurangan daya.

Tren penggunaan *distributed generation* yang umumnya menggunakan sumber energi terbarukan (energi angin, energi surya, *fuel cell*, energi panas bumi) pada jaringan distribusi yang ada saat ini sering menyebabkan terjadinya *bottleneck* pada kapasitas saluran distribusi sehingga arus yang dihantar kurang maksimal.

Untuk meningkatkan kapasitas sistem distribusi ini, dapat dilakukan dengan menambah saluran distribusi baru atau dengan mengganti konduktor penghantar yang memiliki kapasitas lebih besar. Regenerasi pada sistem maupun saluran tentu memiliki dana yang tidak sedikit. Oleh karenanya penelitian ini memberikan alternatif terhadap dua pilihan di atas dengan memanfaatkan kapasitas yang tidak

terpakai pada saluran distribusi yang tentunya dapat meminimalisir pengeluaran ekonomi.

Secara teori *line rating* mengindikasikan arus maksimum yang dapat dibawa oleh suatu saluran. Kapasitas arus yang dapat dibawa ini dibatasi oleh suhu operasi konduktor yang diizinkan dan kondisi cuaca di sekitar. Jika temperatur suhu telah melebihi batas, maka dapat menyebabkan ekspansi panas yang berlebih secara tidak terduga pada saluran distribusi.

Static line rating (SLR) adalah salah satu metode perencanaan *rating* saluran udara pada sistem transmisi dan distribusi yang telah banyak digunakan. Metode *line rating* ini dalam perhitungannya menggunakan acuan pada kondisi cuaca terburuk yang telah diamati berdasarkan data observasi meteorologis[1]. Data – data meteorologis tersebut antara lain adalah temperatur suhu udara yang tinggi, radiasi matahari yang besar, serta kecepatan angin yang rendah.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi pengintegrasian sebuah *distributed generation* dengan sumber energi angin (PLTB) dengan asumsi daya sesuai potensi angin daerah studi, pada penyulang distribusi 20 KV daerah Krueng Raya, Aceh Besar. Selain untuk menghilangkan *bottleneck* yang terjadi pada jaringan, penelitian juga akan melihat potensi energi angin pada daerah Krueng Raya berdasarkan data meteorologis yang di dapat serta dengan asumsi sebuah PLTB pada jaringan. Hal ini dilakukan mengingat daerah tersebut memiliki garis pantai yang panjang sehingga memungkinkan untuk dibangunnya sebuah Pembangkit Listrik Energi Terbarukan (PLET) guna menambah suplai listrik Aceh.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Distribusi Listrik Pembangkit Tersebar

Definisi *Distributed Generation* (DG) adalah setiap pembangkit tenaga listrik yang menghasilkan daya dan biasanya terletak tidak jauh dari beban. DG tersebut dapat langsung terhubung ke pelanggan ataupun terhubung dengan sistem distribusi[2]. Ada beberapa pengertian DG berdasarkan ukuran daya pembangkit, yaitu :

1. CIGRE mendefinisikan DG sebagai pembangkit kecil dengan ukuran 50 KW hingga 100 MW.
2. *Preston* dan *Rastler* mendefinisikan ukuran dari DG dari beberapa KW hingga lebih dari 100 MW.
3. Berdasarkan kepada *The Gas Research Institute*, DG mempunyai daya di antara 25 KW dan 25 MW.
4. *The Electric Power Research Institute* menyatakan bahwa DG sebagai pembangkitan tenaga listrik dengan daya beberapa KW hingga 50 MW.

B. Static Line Rating

Rating saluran udara didefinisikan sebagai kapasitas arus maksimum yang dapat dibawa oleh suatu konduktor. Kapasitas arus maksimum tersebut dipengaruhi oleh suhu operasi pada konduktor dan kondisi cuaca yang tidak menentu. Apabila suhu telah melewati batasan yang dapat diterima oleh konduktor, maka akan menyebabkan kelebihan panas pada saluran udara. Hal ini akan mengurangi kapasitas arus yang dibawa [1].

Salah satu cara untuk meminimalisir resiko tersebut adalah dengan menggunakan metode *static line rating*. Cara kerja metode ini berdasarkan asumsi kondisi cuaca yang terburuk seperti suhu udara sekitar yang tinggi, radiasi matahari yang besar, kecepatan angin yang rendah, dan lainnya [3].

C. Model Thermal Saluran Udara

Untuk meneliti dampak dari perubahan cuaca pada saluran udara dengan *static rating*, digunakan model *thermal* saluran udara untuk mengkonversi data simulasi cuaca yang akan datang menjadi *rating* prediksi. Model ini sendiri dikembangkan berdasarkan IEEE Std 738 [4].

Berdasarkan hukum konservasi energi, panas yang diperoleh suatu konduktor akan memiliki keseimbangan dengan panas yang dikeluarkan. Persamaan kesetimbangan panas ini menjadi dasar dalam penentuan *rating ampacity* konduktor[5].

$$Heat_{GAIN} = Heat_{LOSS} \tag{1}$$

Apabila dijabarkan ke dalam persamaan kesetimbangan panas, factor – factor yang mempengaruhi peningkatan panas dan pelepasan panas adalah sebagai berikut.

$$P_{LOSS} = Q_{solar} + Q_{convection} + Q_{radiation} \tag{2}$$

Besar rugi – rugi daya yang terjadi pada suatu konduktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$P_{LOSS} = I_1^2 \cdot R_{TC} \tag{3}$$

dengan:

- P_{LOSS} = rugi listrik
- I = arus penghantar (A)
- R = tahanan (Ohm/meter)

Penambahan panas oleh matahari dipengaruhi oleh radiasi matahari dan kondisi permukaan konduktor. Pada model penelitian ini [1], baik radiasi langsung dari matahari maupun pancaran radiasi yang dipantulkan dari awan, langit dan tanah tetap dianggap.

$$q_s = \alpha Q_{sc} \sin(\theta) A' \tag{4}$$

dengan:

- q_s = panas yang berasal dari matahari
- α = absorptifitas
- Q_{sc} = Total radiasi matahari yang telah dikoreksi
- A = luas penampang

Rugi – rugi konveksi ditentukan oleh dua faktor: kecepatan angin dan arah angin. Persamaan untuk menghitung rugi – rugi konveksi yang disebabkan oleh kecepatan angin yang rendah ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$q_c = \left[1.01 + 0.0372 \left(\frac{U_{ref} K_w}{\rho_f} \right)^{0.52} \right] k_f N_{conv} (T_c - T_a) \tag{5}$$

$$N_{conv} = 1.19 - \cos \theta + 0.19 \cos 2\theta + 0.36 \sin 2\theta$$

dimana

- D = diameter konduktor dalam mm
- ρ_f = massa jenis udara (lb/ft^3)
- μ_f = kerapatan udara ($\text{lb}/\text{ft} \times \text{hr}$)
- k_f = konduktivitas thermal udara $W/\text{ft}(\text{C})$
- T_c = suhu konduktor dalam $^{\circ}\text{C}$
- T_a = suhu di sekitar dalam $^{\circ}\text{C}$
- K_w = kecepatan uap udara ft/h

Persamaan untuk perhitungan rugi – rugi radiasi ditampilkan di bawah ini

$$q_r = 0.01780E \left[\left(\frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \tag{6}$$

dimana

- E = emisivitas konduktor

Dapat diamati bahwa rugi – rugi radiasi konduktor tergantung pada diameternya dan emisivitas. Baik diameter dan emisivitas keduanya dapat berubah – ubah sesuai pada kondisi permukaan konduktor. Sama halnya juga dengan daya serap yang memiliki keanekaragaman sesuai dengan tipe konduktor yang dipakai. Pada penelitian ini, nilai emisivitas diasumsikan 0.5 sesuai standar IEEE [1].

Dengan mensubstitusikan persamaan rugi – rugi ini maka untuk nilai *ampacity* suatu saluran dapat dihitung.

$$I^2 R(T_c) = q_s - q_c + q_r \tag{7}$$

dimana

- I = arus yang mengalir melalui konduktor
- $R(T_c)$ = hambatan konduktor pada suhu operasi
- q_s = panas yang berasal dari matahari
- q_c = panas yang hilang akibat konveksi
- q_r = panas yang hilang akibat radiasi

Pada kondisi tertentu, kemampuan saluran udara dalam membawa arus dibatasi oleh suhu operasi maksimum konduktor (T_{max}) untuk meminimalisir kelengkungan konduktor, *losses* pada saluran, daya yang hilang, atau kombinasi ketiganya. Dengan mengasumsi suhu konduktor T_{max} , *rating* saluran udara dapat diturunkan dari persamaan menjadi

$$I = \sqrt{\frac{q_c + q_r + q_s}{R(T_{max})}} \tag{8}$$

III. METODE PENELITIAN

Berikut ini adalah langkah-langkah tahapan penelitian yang meliputi:

A. Survey Lokasi Studi

Pada tahapan ini survei lokasi dilakukan untuk melihat kondisi penyulang distribusi pada daerah studi dan juga untuk melihat letak penempatan PLTB yang akan diintegrasikan pada penyulang distribusi tersebut.

Langkah berikutnya adalah mengumpulkan data penyulang distribusi Krueng Raya yang dapat diperoleh dari PLN Rayon Lambaro. Penelitian ini juga membutuhkan data – data terkait meteorologis seperti data kecepatan angin, data temperature suhu, serta data radiasi matahari yang nantinya akan menjadi parameter dalam menentukan nilai *line rating*. Data – data tersebut diperoleh dari BMKG dan *website* NASA.

B. Pemodelan Jaringan Distribusi Penyulang Krueng Raya Integrasi PLTB

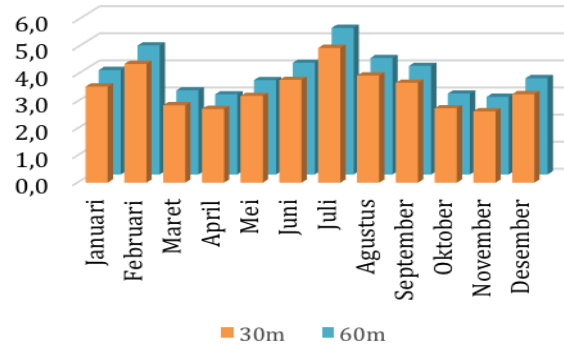
Pada tahapan ini, peneliti melakukan suatu pemodelan penyulang distribusi 20 kV daerah Krueng Raya melalui simulasi dengan merancang sistem menggunakan *software* E.T.A.P 12.6. Kemudian pada sistem jaringan tersebut ditempatkan PLTB dengan asumsi daya yang dihasilkan sebesar 1 MW. Hasil simulasi akan melihat perbandingan kondisi arus pada penghantar dengan model sistem kelistrikan saat ditempatkan PLTB dan saat tidak ditempatkan PLTB.

C. Menentukan Nilai Static Line Rating

Pada tahapan ini, kapasitas saluran untuk menghantarkan arus pada tiap bus dihitung dengan perhitungan manual *static line rating* sesuai dengan standar IEEE 738 – 2006. Selain itu juga dilihat pengaruh perubahan cuaca terhadap kapasitas saluran tersebut.

D. Perbandingan Nilai SLR dengan Aliran Daya Penyulang Krueng Raya Integrasi PLTB

Tahapan terakhir dari penelitian adalah membandingkan nilai *line rating* saluran pada saat sebelum dan sesudah ditempatkan PLTB dengan nilai kapasitas (*ampacity*) dari saluran yang telah diperoleh. Hasil dari perbandingan tersebut dapat dijadikan rekomendasi apabila pada daerah tersebut akan dibangun PLTB.



Gambar 1. Perbandingan rata-rata kecepatan angin pada ketinggian 30 m dan 60 m.

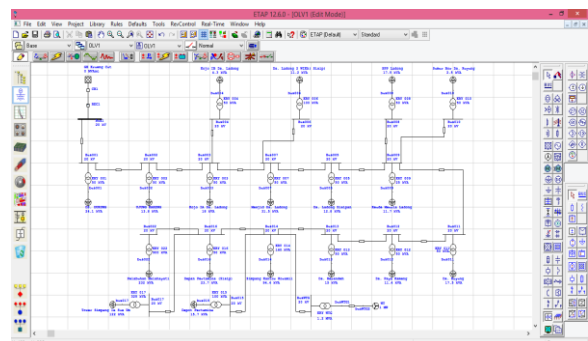
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Hub Height kecepatan angin Krueng Raya

Pada Gambar 1 dapat dilihat perubahan kecepatan angin pada ketinggian 30 m dan 60 m. Ketinggian tersebut disesuaikan dengan tinggi dari tower PLTB yang akan dipasang. Kecepatan angin rata – rata pada ketinggian 30 meter dari permukaan tanah adalah sebesar 3.5 m/s. sedangkan besar kecepatan angin rata – rata pada ketinggian 60 meter adalah 3.8 m/s.

B. Hasil Pemodelan Jaringan Distribusi Krueng Raya Integrasi PLTB

Pada tahap ini peneliti melakukan pemodelan sistem distribusi 20 kV penyulang Krueng Raya integrasi PLTB berdasarkan data penyulang daerah studi yang telah didapat pada saat pengumpulan data dan dapat dilihat pada bab sebelumnya. Teknis melakukan pemodelan yaitu dengan menggambar secara langsung *single line diagram* daerah studi menggunakan *software* sistem tenaga ETAP. Hasil pemodelan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah.

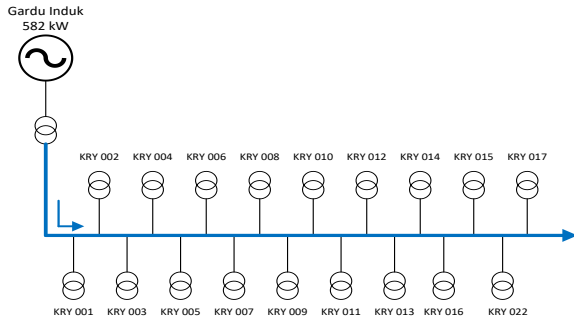


Gambar 2 Pemodelan jaringan distribusi P. Krueng Raya Integrasi PLTB menggunakan ETAP

Penyulang distribusi Krueng Raya menggunakan sistem radial. Pada pemodelan ini sumber tenaga berasal dari sebuah *power grid* yang mewakili gardu hubung Krueng Cut yang merupakan awal dari penyulang ini. Total trafo beban

yang dimiliki penyulang Krueng Raya berdasarkan data yang diperoleh adalah sebanyak 37 trafo dan diasumsikan dengan beban yang seimbang. Namun pada pemodelan ini jumlah trafo diringkas dengan tetap mempertimbangkan besar beban trafo dan tanpa memperhitungkan panjang saluran dari setiap trafo beban yang diringkas.

C. Hasil Simulasi Aliran Daya Sebelum Integrasi PLTB



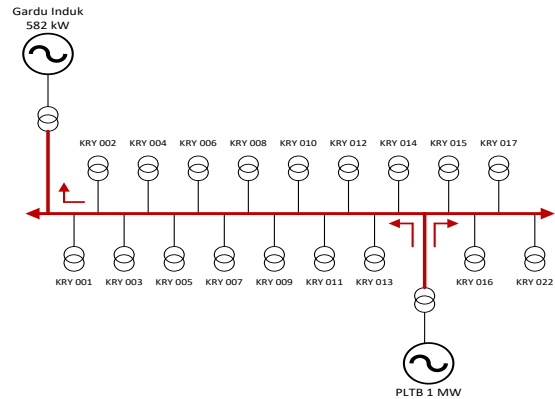
Gambar 3 Arah Aliran Arus sebelum integrasi PLTB pada jaringan

Pada Gambar 3 dapat dilihat arah aliran arus masih dalam kondisi normal yaitu dari pembangkit menuju setiap beban dan besar arus yang mengalir beserta nilai ampacity dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat perbedaan ampacity yang cukup jelas pada setiap bus. Semakin panjang saluran konduktor tersebut maka nilai resistansi akan semakin besar dan mengakibatkan nilai ampacity semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, nilai resistansi akan semakin kecil apabila saluran konduktor memiliki jarak yang pendek. Hal ini akan membuat nilai ampacity menjadi lebih besar. Nilai arus yang mengalir pada jaringan tidak terlalu besar sehingga belum melewati nilai dari ampacity.

TABEL 1
HASIL PERBANDINGAN ALIRAN DAYA DAN AMPACITY
SEBELUM ITEGRASI PLTB

Dari Bus ke Bus		Arus (A)
Power Grid	Bus001	18.9
Bus001	Bus002	18.5
Bus002	Bus003	18.1
Bus003	Bus004	0.1
Bus003	Bus007	17.6
Bus007	Bus006	0.3
Bus007	Bus005	16.4
Bus005	Bus009	16.1
Bus009	Bus008	0.4
Bus009	Bus010	0.1
Bus009	Bus011	15.3
Bus011	Bus012	14.9
Bus012	Bus013	14.6
Bus013	Bus014	14.2
Bus014	Bus016	11.5
Bus014	Bus015	0.4
Bus016	Bus017	3.6
Bus016	Bus022	6.8

D. Hasil Simulasi Aliran Daya Setelah Integrasi PLTB



Gambar 4. Arah Aliran arus setelah integrasi PLTB pada jaringan

Pada Gambar 4 di atas dapat dilihat arah aliran arus berubah setelah ditempatkan PLTB pada jaringan, hal ini karena PLTB yang memiliki daya sebesar 1 MW telah mampu membackup Penyulang Krueng Raya yang hanya memiliki beban kurang dari 1 MW.

Untuk besar arus yang mengalir pada saluran dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah. Pengintegrasian PLTB juga berdampak dari besar arus yang mengalir semakin kecil. Kondisi tersebut cukup baik dikarenakan arus yang mengalir juga tidak melewati batas dari ampacity saluran.

TABEL 2
HASIL PERBANDINGAN ALIRAN DAYA DAN AMPACITY
SETELAH INTEGRASI PLTB

Dari Bus ke Bus		Arus (A)
Power Grid	Bus001	15.7
Bus001	Bus002	15.9
Bus002	Bus003	16.1
Bus003	Bus004	0.1
Bus003	Bus007	16.4
Bus007	Bus006	0.3
Bus007	Bus005	17
Bus005	Bus009	17.2
Bus009	Bus008	0.8
Bus009	Bus010	0.1
Bus009	Bus011	17.8
Bus011	Bus012	18.1
Bus012	Bus013	18.2
Bus013	Bus014	18.5
Bus014	Bus016	10.9
Bus014	Bus015	0.4
Bus016	Bus017	3.5
Bus016	Bus022	6.7
BusWTG	Bus014	28.4

E. Hasil Simulasi Aliran Daya Setelah Integrasi PLTB

TABEL 3
NILAI STATIC LINE RATING PADA PERUBAHAN SUHU SEKITAR

Suhu Sekitar (°C)		Rating Harian (A)
Kondisi	Suhu	
Cuaca Dingin	25	302
	30	287
Cuaca Panas	35	271

Kemampuan penghantar dalam menghantarkan arus dapat berubah – ubah sesuai dengan beberapa factor yang mempengaruhinya. Berdasarkan Tabel 3 dapat diamati perbedaan suhu sangat mempengaruhi kinerja penghantar. Pada suhu 35 °C *ampacity* konduktor sebesar 271 A. Berbeda pada saat kondisi suhu turun menjadi 25 °C *ampacity* konduktor bertambah menjadi 302 A.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan ampacity dengan metode static line rating, besar nilai ampacity dari konduktor AAAC pada suhu konduktor 80 °C, suhu sekitar 35 °C dan kecepatan angin 0.6 m/s adalah sebesar 271 A. Dari hasil *ampacity* yang dibandingkan dengan aliran daya pada penyulang Krueng Raya pada saat sebelum dan setelah integrasi PLTB, konduktor AAAC yang terpakai saat ini masih dapat digunakan untuk pengintegrasian PLTB 1 MW pada jaringan, hal ini dikarenakan arus yang mengalir belum melewati nilai ampacity konduktor tersebut.

REFERENSI

- [1] X. Hu and I. Cotton, "Impact of climate change on static ratings of overhead line in Edinburgh," in Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities, Dublin, 2013.
- [2] G. A. L. S. Thomas Ackermann, "Distributed generation: a definition," Electric Power Systems Research, no. 57, pp. 195-204, 2001.
- [3] P. Zhang, M. Shao, A. R. Leoni, D. H. Ramsay and M. Graham, "Determination of Static Thermal Conductor Rating using Statistical Analysis Method," in IEEE Conference Publications, Nanjing, 2008
- [4] IEEE, "Standard for Calculating the Current – Temperature Relationship of Bare Overhead Conductor. Std 738 ; 2012," IEEE, New York, 2012
- [5] S. Talpur, "Dynamic Line Rating Implementation as an Approach to Handle Wind Power Integration," The Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2013.