

ANALISIS PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK PADA PENYULANG BARATA PT PLN NGAGEL SURABAYA

Kanda Dias Nurmahandy

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
kandanurmahandy@mhs.unesa.ac.id

Subuh Isnur Haryudo, Widi Aribowo, Mahendra Widyartono

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
subuhisnur@unesa.ac.id, widiaribowo@unesa.ac.id, mahendrawidyartono@unesa.ac.id

Abstrak

Pada artikel ilmiah ini membahas tentang analisis perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank pada penyulang Barata Ngagel Surabaya. Dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk akan berdampak pada pertumbuhan beban dalam sistem tenaga listrik, sehingga dalam penyalurannya mengalami kerugian yang berupa rugi - rugi daya ataupun jatuh tegangan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi aliran daya, menentukan rugi - rugi daya (losses) pada saluran serta menentukan jatuh tegangan pada setiap bus pada sistem kelistrikan PT. PLN Ngagel Surabaya, dalam penelitian ini menggunakan software ETAP 12.6. Adapun untuk metode aliran daya yang digunakan yaitu metode *fast decoupled* untuk mempermudah perhitungan aliran daya. Dari hasil yang disimulasikan pada ETAP 12.6 setelah dilakukan perbaikan dengan melakukan pemasangan kapasitor bank nilai rugi - rugi daya pada penyulang Barata dapat diturunkan dari 4,33 kW menjadi 3,247 kW dan 6,627 kVar menjadi 4,947 kVar. Kemudian faktor daya yang awalnya 0,83 menjadi rata - rata 0,97 pada sistem jaringan dan drop tegangan menurun dari 0,005 % menjadi rata - rata 0,003% dimana drop tegangan paling tinggi terjadi pada trafo BD 516 dari nilai 0,18 % menjadi 0,13%.

Kata Kunci : Perbaikan Faktor daya, Rugi - rugi daya, kapasitor bank, ETAP 12.6

Abstract

In this scientific article, it discusses the optimization analysis of power factor improvements using bank capacitors in Barata Ngagel Surabaya feeders. Increasing population growth has an impact on the load growth in the electric power system. In its distribution to consumers who are located quite far from the power source, they always experience losses in the form of power losses or voltage drops. The purpose of this study is to determine the condition of power flow, determine power losses in the line and determine the voltage drop on each bus in the electrical system of PT. PLN Ngagel Surabaya, in this study using the ETAP 12.6 software with the fast-coupled method to simplify the calculation of power flow. From the simulated results in the ETAP 12.6 software, after repairs by installing a capacitor bank, the value of power losses on the Barata feeder can be reduced from 4.33 kW to 3.247 kW and 6.627 kVar to 4.947 kVar. Then the power factor which was initially 0.83 became an average of 0.97 in the network system and the voltage drop decreased from 0.005% to an average of 0.0034% where the highest voltage drop occurred in transformer BD 516 from a value of 0.18% to 0.13%.

Keywords: Power factor improvement, power losses, capacitor bank, ETAP 12.6

PENDAHULUAN

Banyaknya pertumbuhan penduduk berimbas pada pertumbuhan beban dalam sistem tenaga listrik. Dalam penyalurannya ke konsumen yang letaknya cukup berjauhan dengan sumber tenaga listrik selalu mengalami kerugian yang berupa rugi-rugi daya ataupun jatuh tegangan.

Untuk menunjang bertambahnya permintaan energi listrik harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik yang disalurkan. Dengan melakukan suatu analisa terhadap sistem tenaga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas energi listrik, dikarenakan analisa sistem tenaga mencakup beberapa permasalahan utama dalam sistem tenaga yaitu aliran beban, hubung singkat, stabilitas dan pengaman. Keempat masalah

tersebut adalah faktor penting untuk meningkatkan kualitas energi listrik yang disalurkan.

Pertumbuhan beban yang terjadi selalu diikuti dengan meningkatnya daya reaktif akibat beban induktif pada bus beban maupun pada saluran yang menyebabkan meningkatnya pemakaian daya reaktif. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan dalam melakukan analisis pemasangan kapasitor bank untuk menanggulangi beban induktif.

Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi (Nizam, 2019)

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan $\pm 5\%$ dari nilai nominalnya. (Junus, 1987).

Masalah yang akan timbul karena kualitas daya yang kurang baik akan mengakibatkan beberapa masalah seperti lonjakan atau perubahan tegangan, arus dan frekuensi yang akan menimbulkan kegagalan pada peralatan sistem tenaga listrik. Kegagalan tersebut akan merusak peralatan sistem tenaga listrik baik dari sisi pengirim maupun dari sisi penerima. Mengenai permasalahan tersebut salah satu cara yang efektif dan efisien yang dipilih untuk mendapatkan hasil maksimal diantara menggunakan instalasi kapasitor bank baik dalam seri maupun paralel. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dalam studi aliran daya pada sistem tenaga listrik ini dikenal beberapa metode, antara lain metode Gauss Seidel, metode Newton Raphson dan metode Fast Decouple.

Dalam paper ini akan dipaparkan aliran daya pada 43 bus pada sistem standard IEEE menggunakan metode Fast Decouple dengan software Etap 12.6.0. Tujuan dari penulisan paper ini adalah untuk memperkenalkan studi aliran daya dengan metode Fast Decouple dan mengimplementasikan metode Fast Decouple ini dalam suatu perangkat lunak (software) yang diaplikasikan pada sistem tenaga listrik.

KAJIAN PUSTAKA

Daya Listrik

Daya adalah energi yang diperlukan dalam melakukan usaha. Daya sistem tenaga listrik memiliki satuan Watt, yang mana merupakan perkalian dari tegangan (volt) dengan arus (ampere). Sehingga besarnya dapat dihitung dengan :

$$P = V \times I \tag{1}$$

Dengan nilai :

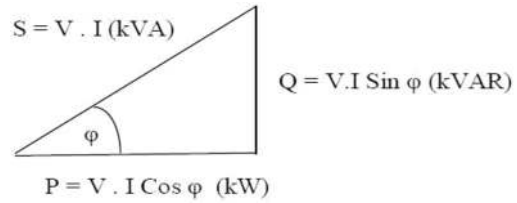
- P = daya (Watt)
- V = tegangan (Volt)
- I = arus (ampere)

Kemudian daya dibagi menjadi tiga yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Untuk perhitungan dari ketiga daya tersebut menggunakan persamaan di bawah ini :

- a. Daya aktif (watt) = $V \times I \times \cos \theta$ (2)
- b. Daya reaktif (VAR) = $V \times I \times \sin \theta$ (3)
- c. Daya semu (VA) = $\sqrt{P^2 + Q^2}$ (4)

Dengan nilai :

- P = daya aktif (watt)
- Q = daya reaktif (VAR)
- S = daya semu (VA)
- Cos θ = faktor daya



Gambar 1. Segitiga Daya

Faktor Daya

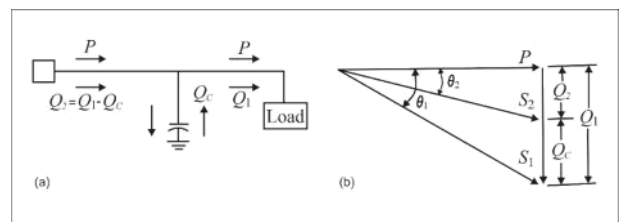
Faktor daya yang merupakan rasio daya nyata terhadap daya tampak merupakan faktor indikator penting tentang bagaimana efektifnya sebuah beban melaksanakan fungsinya sehubungan dengan disipasi daya. (Basudewa, 2020).

Besaran faktor daya dapat ditentukan dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{faktordaya} &= \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya semu (S)}} \\ &= V I \cos \theta \\ &= \cos \theta \end{aligned} \tag{5}$$

Faktor daya merupakan besaran yang menunjukkan besar efisiensi dalam menyalurkan daya yang akan digunakan. Faktor daya yang baik mendekati angka 1 dan sebaliknya faktor daya yang buruk turun yang mendekati nilai 0. Apabila faktor daya jelek maka sistem akan membangkitkan daya yang lebih besar untuk memenuhi permintaan daya aktif. Faktor daya yang rendah ini dapat disebabkan oleh pengoperasian beban induktif yang diakibatkan oleh motor induksi dan unit lain yang memerlukan arus magnetisasi yang aktif. Tiga jenis faktor daya dalam sistem kelistrikan yaitu :

- A. Faktor daya mendahului (*leading*) dapat dipengaruhi dengan kondisi beban, dimana tegangan dijadikan referensi untuk menentukan keadaan *leading* atau *lagging*. Faktor daya *leading* apabila arus mendahului tegangan sebesar θ° . Sehingga beban akan memberikan daya reaktif.
- B. Faktor daya tertinggal (*lagging*) dapat dipengaruhi dengan kondisi beban, dimana tegangan dijadikan referensi untuk menentukan keadaan *leading* atau *lagging*. Faktor daya *lagging* apabila arus tertinggal dari tegangan sebesar θ° . Sehingga beban akan menyerap daya reaktif.
- C. Faktor daya *unity* adalah pada saat nilai $\cos \theta = 1$, dan tegangan sephasa dengan arus, faktor daya *unity* akan terjadi apabila beban bersifat resistif murni.



Gambar 2. Perbaikan Faktor Daya menggunakan Kapasitor

Besarnya nilai faktor daya pada keadaan lagging adalah

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Perbaikan faktor daya juga dapat dilakukan dengan metode perhitungan segitiga daya :

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} \quad (7)$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} \quad (8)$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (9)$$

Untuk menentukan nilai kapasitor bank dari setiap step nya maka dapat dilakukan dengan perhitungan seperti berikut :

$$Q_{step} = \frac{Q_c \text{ (total)}}{\text{jumlah step}} \quad (10)$$

Kemudian untuk mengetahui nilai dari kapasitor dapat menggunakan persamaan :

$$C = \frac{Q}{-V^2 \times 2 \pi F} \quad (11)$$

Kapasitor Bank

Pemasangan kapasitor bank adalah usaha yang dilakukan untuk memberikan supply daya reaktif. Sehingga penggunaan kapasitor bank akan mengurangi penyerapan daya reaktif sistem oleh beban. Hal ini dilakukan agar jatuh tegangan dan rugi-rugi jaringan yang terjadi dapat dikurangi.

Fungsi kapasitor pada sistem tenaga sebagai berikut :

1. Menyuplai daya reaktif sehingga memaksimalkan penggunaan daya kompleks (KVA)
2. Memperbaiki power factor
3. Mengurangi jatuh tegangan
4. Menghindari kelebihan beban trafo
5. Memberi tambahan daya tersedia
6. Menghindari kenaikan arus dan suhu pada kabel
7. Menghemat daya / efisiensi

Metode Fast Decoupled

Karakteristik yang menarik dari pengoperasian sistem tenaga adalah ketergantungan daya nyata dengan sudut fasa tegangan bus dan daya reaktif dengan magnitudo tegangan bus. Dalam kondisi ini, adanya perubahan yang kecil pada magnitudo tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya nyata. Sedangkan perubahan kecil pada sudut tegangan fasa tidak menyebabkan perubahan pada daya reaktif. Ini dapat dibuktikan pada pendekatan untuk menyatakan ketertarikan pada P dan S serta Q dan V (Hasibuan, 2020).

Dengan menggunakan bentuk koordinat kutub maka solusi permasalahan diperoleh yaitu dengan cara mengasumsikan elemen-elemen sub matriks J2 dan J3 dalam matriks Jacobi adalah nol.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\Delta P = J^1 \Delta \delta = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \Delta \delta \quad (13)$$

$$\Delta Q = J^4 \Delta |V| = \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|} \right] \Delta |V| \quad (14)$$

dipersamaan diatas dapat dilihat bahwa apabila pada pembentukan daya aktif faktor yang menentukan adalah sudut tegangan jadi adanya perubahan pada magnitudo tegangan tidak mempengaruhi daya aktif. Kondisi sebaliknya diperuntukkan pada persamaan pembentukan daya reaktif yaitu perubahan kecil pada sudut fasa tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya reaktif.

Pada metode *Fastdecoupled* persamaan matriks menjadi dua persamaan *decoupled* yang membutuhkan waktu yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan menggunakan pemecah persamaan *Newton Raphson*. (Hasibuan, 2020).

Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

Electric Transient and Analysis Program (ETAP) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung simulasi sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengolahan data *real-time*. Fitur yang terdapat pada software *ETAP* bermacam-macam antara lain fitur yang dapat digunakan untuk menganalisa pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi, maupun distribusi tenaga listrik.

Perangkat lunak *ETAP* ini awalnya dibuat dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di amerika serikat selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real-time*, simulasi kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik dalam bentuk *single line diagram* secara grafis untuk berbagai bentuk analisis, *load flow* (aliran daya), *short circuit* (hubung singkat), *starting motor*, *transient stability*, *optimal capacitor placement*, *protective device coordination* (koordinasi relay proteksi), sistem harmonisa, dan *cable derating*. Kelengkapan data dari setiap komponen atau peralatan listrik pada sistem dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.

Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat proyek dengan menggunakan *ETAP*, yaitu :

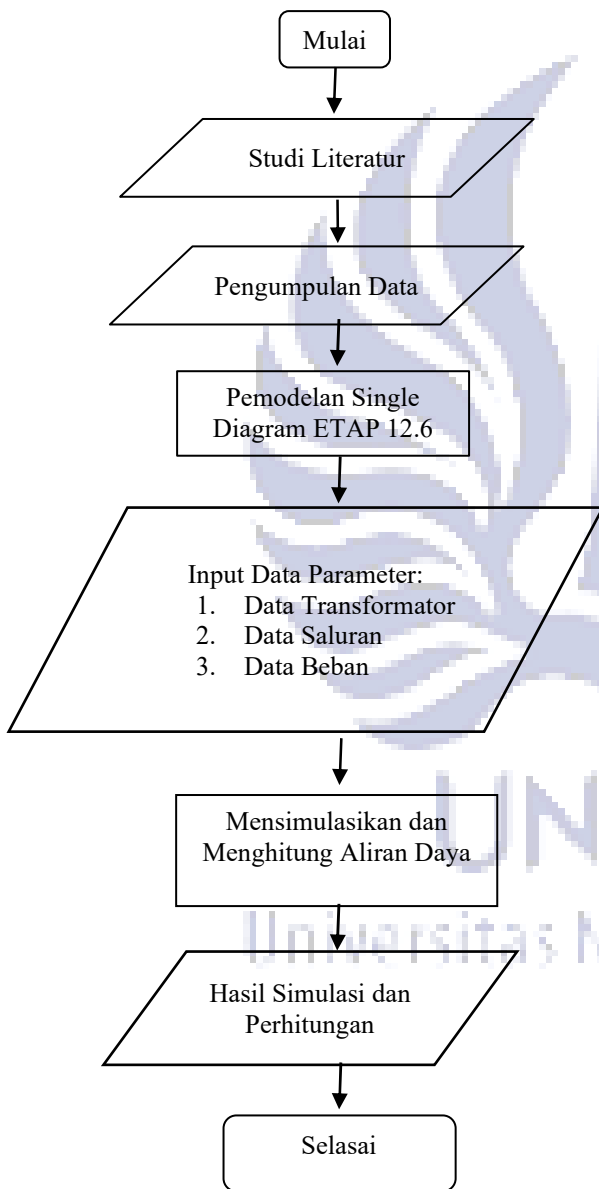
1. *Single line diagram*, menunjukkan hubungan antara komponen atau peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. *Library*, merupakan informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail dapat mempermudah serta memperbaiki hasil simulasi.

3. Standar yang digunakan, mengacu pada standar *IEC* dan *ANSI*. Perbedaan antara *IEC* dan *ANSI* terletak pada standar frekuensi yang digunakan berdasarkan spesifikasi peralatan yang digunakan. Pada standar *IEC* nilai frekuensi yang digunakan 50 Hz, sedangkan pada standar *ANSI* nilai frekuensi yang digunakan adalah 60Hz.
4. *Study case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format analisa (Data primer *software ETAP*, 2020).

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Tujuan penelitian kuantitatif yaitu menggunakan dan mengembangkan model matematis, teori-teori atau hipotesis yang berkaitan dengan alam. Dimana penelitian ini ditujukan untuk mengkaji data teknis yang diperoleh dari PLN, kemudian data tersebut kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai kualitas daya yang dipengaruhi oleh rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang dan kemudian diperbaiki dengan menentukan kapasitas kapasitor bank pada sistem dengan di simulasikan dengan ETAP 12.6.

Tabel 1. Data spesifikasi Transformator Terpasang

NO	KODE GARDU	LOKASI	RATI NG (KV)	KAPASITAS TRAF0 (KVA)
1	BD 516	JL. KALIBOKOR 1/(NGAGEL 89)	20/0.4	100
2	BD 461	JL. RAYA NGAGEL 79	20/0.4	100
3	BD 453	JL. BAGONG GINAYAN IV	20/0.4	160
4	BD 840	JL. RAYA NGAGEL 25	20/0.4	100
5	BD 388	JL. BAGONG GINAYAN 1/12	20/0.4	200
6	BD 389	JL. RAYA NGAGEL 25	20/0.4	150
7	BD 390	JL. IRIAN BARAT	20/0.4	100
8	BD 391 K	JL. IRIAN BARAT (BRANTAS)	20/0.4	50
9	BD 1180 K	JL. IRIAN BARAT NO.29	20/0.4	250
10	BD 630	JL. SULAWESI	20/0.4	200
11	BD 392	JL. BAWEAN 16	20/0.4	200
12	BD 1224 K	JL. BAWEAN NO 11	20/0.4	100
13	BD 393	JL. BAWEAN 34	20/0.4	160
14	BD 500	JL. SUMATRA 122	20/0.4	160
15	BD 628K	JL. SUMATRA 120 (YPIA)	20/0.4	50
16	BD 718 K	JL. SUMATRA 106 (RANCHEROS)	20/0.4	50
17	BD 1063 K	JL. SUMATRA 101	20/0.4	100
18	BD 1285 K	JL. SUMATRA	20/0.4	100
19	BD 499	JL. SUMATRA 100	20/0.4	150
20	BD 1221 K	JL. IRIAN BARAT NO 11	20/0.4	100
21	BD 1274 K	JL. IRIAN BARAT NO 9	20/0.4	200
22	BD 1024	JL. SUMATRA 96	20/0.4	100
23	BD 498 K	JL. KARIMUN JAWA 6 (JAMSOSTEK)	20/0.4	100
24	BD 629 K	JL. SUMATRA 90	20/0.4	50
25	BD 1244	JL. KARIMUN JAWA	20/0.4	100
26	BD 970 K	JL. IRIAN BARAT 1 SBY	20/0.4	100
27	BD 1210 K	JL. KARIMUN JAWA 2	20/0.4	100
28	BD 497	JL. SUMATRA 90	20/0.4	200
29	BD 515	JL. JAWA 3	20/0.4	160
30	BD 495	JL. JAWA 10	20/0.4	200



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

31	BD 496 K	JL. JAWA 12-14	20/0.4	100
32	BD 1135 K	JL RAYA GUBENG NO 45	20/0.4	160
33	BD 492	JL. SUMATRA 72	20/0.4	160
34	BD 1006K	JL. SUMATRA 75	20/0.4	160
35	BD 520	JL. SUMATRA 56-58	20/0.4	50
36	BD 141 K	JL. SUMATRA 69	20/0.4	200
37	BD 489 K	JL. SUMATRA 63	20/0.4	50
38	BD 477 K	JL. SUMATRA 51-53	20/0.4	160
39	BD 470	JL. SUMATRA 42 (PENGADILAN)	20/0.4	100
40	BD 960 K	JL. SUMATRA 42	20/0.4	160
41	BD 1171 K	JL. SUMATRA 40	20/0.4	250
42	BD 1225 K	JL. SUMATRA 40	20/0.4	250
43	BD 475 K	JL. SUMATRA 35	20/0.4	160

Tabel 2. Data Beban subsistem Penyulang Barata

NO	KODE GARDU	LOKASI	BEBAN TRAF0			
			KVA	KW	KVAR	PF(%)
1	BD 516	JL. KALIBOKOR 1/(NGAGEL 89)	53	45.1	27.9	85
2	BD 461	JL. RAYA NGAGEL 79	26	22.1	13.6	85
3	BD 453	JL. BAGONG GINAYAN IV	89	75.6	46.8	85
4	BD 840	JL. RAYA NGAGEL 25	48	40.8	25.2	85
5	BD 388	JL. BAGONG GINAYAN I/12	21	17.8	11.1	85
6	BD 389	JL. RAYA NGAGEL 25	60	51	31.6	85
7	BD 390	JL. IRIAN BARAT	18	15.3	9.48	85
8	BD 391 K	JL. IRIAN BARAT (BRANTAS)	35	29.7	18.4	85
9	BD 1180 K	JL. IRIAN BARAT NO.29	151	124	86.4	82
10	BD 630	JL. SULAWESI	37	31.4	19.4	85
11	BD 392	JL. BAWEAN 16	84	71.4	44.2	85
12	BD 1224 K	JL. BAWEAN NO 11	77	65.4	40.5	85
13	BD 393	JL. BAWEAN 34	74	61.4	41.2	83
14	BD 500	JL. SUMATRA 122	102	86.7	53.7	85
15	BD 628K	JL. SUMATRA 120 (YPIA)	31	26.3	16.3	85
16	BD 718 K	JL. SUMATRA 106 (RANCHEROS)	28	23.8	14.7	85
17	BD 1063 K	JL. SUMATRA 101	72	61.2	37.9	85
18	BD 1285 K	JL. SUMATRA	72	61.2	37.9	85
19	BD 499	JL. SUMATRA 100	85	72.2	44.7	85
20	BD 1221 K	JL. IRIAN BARAT NO 11	53	45.1	27.9	85
21	BD 1274 K	JL. IRIAN BARAT NO 9	110	93.5	57.9	85

22	BD 1024	JL. SUMATRA 96	42	35.7	22.1	85
23	BD 498 K	JL. KARIMUN JAWA 6 (JAMSOSTEK)	61	51.8	32.1	85
24	BD 629 K	JL. SUMATRA 90	34	28.9	17.9	85
25	BD 1244	JL. KARIMUN JAWA	50	42.5	26.3	85
26	BD 970 K	JL. IRIAN BARAT 1 SBY	62	52.7	32.6	85
27	BD 1210 K	JL. KARIMUN JAWA 2	50	41	28.6	82
28	BD 497	JL. SUMATRA 90	79	67.1	41.6	85
29	BD 515	JL. JAWA 3	76	64.6	40.1	85
30	BD 495	JL. JAWA 10	90	76.5	47.4	85
31	BD 496 K	JL. JAWA 12-14	65	53.9	36.2	83
32	BD 1135 K	JL RAYA GUBENG NO 45	104	88.4	54.7	85
33	BD 492	JL. SUMATRA 72	104	88.4	54.7	85
34	BD 1006K	JL. SUMATRA 75	101	85.8	53.2	85
35	BD 520	JL. SUMATRA 56-58	34	28.9	17.9	85
36	BD 141 K	JL. SUMATRA 69	153	130	80.5	85
37	BD 489 K	JL. SUMATRA 63	36	30.6	18.9	85
38	BD 477 K	JL. SUMATRA 51-53	112	95.2	59	85
39	BD 470	JL. SUMATRA 42 (PENGADILAN)	32	27.2	16.8	85
40	BD 960 K	JL. SUMATRA 42	98	83.3	51.6	85
41	BD 1171 K	JL. SUMATRA 40	149	127	78.4	85
42	BD 1225 K	JL. SUMATRA 40	151	128	79.5	85
43	BD 475 K	JL. SUMATRA 35	98	83.3	51.6	85

Tabel 3. Tabel Data Distribusi

NO	JENIS PENG-HANTAR	SALURAN					
		DARI	KE	KM	R	X	Z
1	AAAC/S 3x150 mm ²	Feeder	T 1 (BD 516)	0.801	0.1731	0.2646	0.3161
2	AAAC/S 3x150 mm ²	T 1 (BD 516)	T2 (BD 461)	0.239	0.0516	0.0789	0.0942
3	AAAC/S 3x150 mm ²	T2 (BD 461)	T3 (BD 453)	0.225	0.0486	0.0743	0.0887
4	AAAC/S 3x150 mm ²	T3 (BD 453)	T4 (BD 840)	0.062	0.0134	0.0204	0.0244
5	AAAC/S 3x150 mm ²	T4 (BD 840)	T5 (BD 388)	0.149	0.0322	0.0492	0.0588
6	AAAC/S 3x150 mm ²	T5 (BD 388)	T6 (BD 389)	0.037	0.0079	0.0122	0.0145
7	AAAC/S 3x150 mm ²	T6 (BD 389)	T7 (BD 390)	0.413	0.0892	0.1364	0.1629
8	AAAC/S 3x150 mm ²	T7 (BD 390)	T8 (BD 391 K)	0.026	0.0056	0.0085	0.0101
9	AAAC/S 3x150 mm ²	T7 (BD 390)	T9 (BD 1180 K)	0.144	0.0311	0.0475	0.0567
10	AAAC/S 3x150 mm ²	T6 (BD 389)	T10 (BD 630)	0.097	0.0209	0.0320	0.0382
11	AAAC/S 3x150 mm ²	T10 (BD 630)	T11 (BD 392)	0.174	0.0376	0.0574	0.0686
12	AAAC/S 3x150 mm ²	T11 (BD 392)	T12 (BD 1224 K)	0.052	0.0112	0.0171	0.0204
13	AAAC/S 3x150 mm ²	T12 (BD 1224 K)	T13 (BD 393)	0.210	0.0454	0.0693	0.0828
14	AAAC/S 3x150 mm ²	T6 (BD 389)	T14 (BD 500)	0.119	0.0257	0.0393	0.0469
15	AAAC/S 3x150 mm ²	T14 (BD 500)	T15 (BD 628 K)	0.022	0.0047	0.0072	0.0086
16	AAAC/S 3x150 mm ²	T15 (BD 628 K)	T16 (BD 718 K)	0.052	0.0112	0.0171	0.0204
17	AAAC/S 3x150 mm ²	T16 (BD 718 K)	T17 (BD 1063 K)	0.099	0.0214	0.0327	0.0390
18	AAAC/S 3x150 mm ²	T17 (BD 1063 K)	T18 (BD 1285 K)	0.027	0.0058	0.0089	0.0106
19	AAAC/S 3x150 mm ²	T18 (BD 1285 K)	T19 (BD 499)	0.012	0.0025	0.0039	0.0046
20	AAAC/S 3x150 mm ²	T18 (BD 1285 K)	T20 (BD 1221 K)	0.111	0.0239	0.0366	0.0437
21	AAAC/S 3x150 mm ²	T20 (BD 1221 K)	T21 (BD 1274 K)	0.008	0.0017	0.0026	0.0031

22	AAAC/S 3x150 mm ²	T20 (BD 1221 K)	T22 (BD 1024)	0.022	0.0047	0.0072	0.0086
23	AAAC/S 3x150 mm ²	T22 (BD 1024)	T23 (BD 498)	0.036	0.0077	0.0118	0.0140
24	AAAC/S 3x150 mm ²	T22 (BD 1024)	T24 (BD 629 K)	0.093	0.0201	0.0307	0.0366
25	AAAC/S 3x150 mm ²	T24 (BD 629 K)	T25 (BD 1244)	0.032	0.0069	0.0105	0.0125
26	AAAC/S 3x150 mm ²	T25 (BD 1244)	T26 (BD 970 K)	0.042	0.0090	0.0138	0.0164
27	AAAC/S 3x150 mm ²	T26 (BD 970 K)	T27 (BD 1210 K)	0.025	0.0054	0.0082	0.0098
28	AAAC/S 3x150 mm ²	T24 (BD 629 K)	T28 (BD 497)	0.037	0.0079	0.0122	0.0145
29	AAAC/S 3x150 mm ²	T28 (BD 497)	T29 (BD 515)	0.088	0.0190	0.0290	0.0346
30	AAAC/S 3x150 mm ²	T29 (BD 515)	T30 (BD 495)	0.116	0.0250	0.0383	0.0457
31	AAAC/S 3x150 mm ²	T30 (BD 495)	T31 (BD 496 K)	0.028	0.0060	0.0092	0.0109
32	AAAC/S 3x150 mm ²	T30 (BD 495)	T32 (BD 1135 K)	0.052	0.0112	0.0171	0.0204
33	AAAC/S 3x150 mm ²	T29 (BD 515)	T33 (BD 492)	0.170	0.0367	0.0561	0.0670
34	AAAC/S 3x150 mm ²	T33 (BD 492)	T34 (BD 1006 K)	0.055	0.0118	0.0181	0.0216
35	AAAC/S 3x150 mm ²	T34 (BD 1006 K)	T35 (BD 520)	0.070	0.0151	0.0231	0.0276
36	AAAC/S 3x150 mm ²	T35 (BD 520)	T36 (BD 141 K)	0.080	0.0172	0.0264	0.0315
37	AAAC/S 3x150 mm ²	T36 (BD 141 K)	T37 (BD 489 K)	0.026	0.0056	0.0085	0.0101
38	AAAC/S 3x150 mm ²	T37 (BD 489 K)	T38 (BD 477 K)	0.139	0.0300	0.0459	0.0548
39	AAAC/S 3x150 mm ²	T38 (BD 477 K)	T39 (BD 470)	0.067	0.0144	0.0221	0.0263
40	AAAC/S 3x150 mm ²	T39 (BD 470)	T40 (BD 960 K)	0.034	0.0073	0.0112	0.0133
41	AAAC/S 3x150 mm ²	T40 (BD 960 K)	T41 (BD 1171 K)	0.045	0.0097	0.0148	0.0177
42	AAAC/S 3x150 mm ²	T41 (BD 1171 K)	T42 (BD 1225 K)	0.008	0.0017	0.0026	0.0031
43	AAAC/S 3x150 mm ²	T41 (BD 1171 K)	T43 (BD 475 K)	0.082	0.0177	0.0270	0.0322

Hasil Simulasi ETAP

Tabel 4. Kualitas Daya sebelum perbaikan

NO	KODE TRAFO	PF (%)	DROP TEGANGAN (%)	RUGI DAYA	
				KW	KVAR
1	BD 516	84.15	0.18	3.445	5.266
2	BD 461	84.19	0.02	0.296	0.453
3	BD 453	84.19	0.02	0.258	0.395
4	BD 840	84.57	0	0	0
5	BD 388	84.18	0.01	0.103	0.158
6	BD 389	84.17	0	0.006	0.010
7	BD 390	82.30	0	0.004	0.006
8	BD 391 K	82.04	0	0	0
9	BD 1180 K	81.48	0	0	0
10	BD 630	84.02	0	0	0.001
11	BD 392	83.89	0	0.001	0.001
12	BD 1224 K	83.48	0	0	0
13	BD 393	82.60	0	0	0
14	BD 500	84.34	0	0.043	0.066
15	BD 628K	84.33	0	0.001	0.002
16	BD 718 K	84.33	0	0.007	0.011
17	BD 1063 K	84.33	0	0.026	0.039
18	BD 1285 K	84.33	0	0.002	0.003
19	BD 499	84.49	0	0	0
20	BD 1221 K	84.32	0	0.085	0.130
21	BD 1274 K	84.51	0	0	0
22	BD 1024	84.31	0	0.001	0.001
23	BD 498 K	84.30	0	0.002	0.003
24	BD 629 K	84.29	0	0.014	0.021
25	BD 1244	83.62	0	0	0
26	BD 970 K	83.19	0	0	0
27	BD 1210 K	81.57	0	0	0
28	BD 497	84.37	0	0.002	0.003
29	BD 515	84.35	0	0.008	0.013
30	BD 495	83.70	0	0	0
31	BD 496 K	82.43	0	0	0
32	BD 1135 K	84.42	0	0	0
33	BD 492	84.42	0	0.018	0.028
34	BD 1006K	84.42	0	0.002	0.002
35	BD 520	84.42	0	0.002	0.003
36	BD 141 K	84.42	0	0.002	0.004
37	BD 489 K	84.45	0	0	0
38	BD 477 K	84.45	0	0.004	0.007
39	BD 470	84.47	0	0.001	0.001
40	BD 960 K	84.46	0	0	0
41	BD 1171 K	84.46	0	0	0
42	BD 1225 K	84.46	0	0	0
43	BD 475 K	84.45	0	0	0
Rata - Rata		83,9	0,005		
Total				4,333	6,627

Untuk Grafik Kualitas Daya sebelum perbaikan di Penyulang Barata ditunjukkan pada gambar 5 sampai dengan gambar 7 pada lampiran.

Tabel 4 merupakan hasil dari kualitas daya sebelum perbaikan dimana total rugi - rugi daya aktif sebesar 4.333 kW dan rugi - rugi daya reaktif sebesar 6.627 Kvar serta

drop tegangan rata - rata sebesar 0,005 % dimana drop tegangan terbesar terjadi pada BD 516 dengan nilai 0,18 %.

Analisis Kualitas Daya Setelah Perbaikan Kapasitor Bank

Untuk memperbaiki kualitas daya menggunakan kapasitor bank maka dihitung terlebih dahulu kapasitas kapasitor yang dibutuhkan dengan menaikan faktor daya yang telah ditentukan, yaitu sebesar 0,95

Parameter input yang digunakan sesuai dengan data observasi yang dilakukan di PT.PLN APD jawa timur untuk standar jaringan distribusi menggunakan standar IEC dengan frekuensi 50 Hz. Hasil dari permodelan *single line digram* subsistem jaringan distribusi 20 kv penyulang barata menggunakan *software ETAP 12.6.0*.

Simulasi aliran daya diperlukan nilai batasan tegangan dengan menggunakan batas *critical* dan *marginal*, *critical* merupakan keadaan suatu komponen kelistrikan yang berbahaya dan segera dilakukan penanganan, sedangkan *marginal* merupakan keadaan suatu komponen kelistrikan yang hampir mendekati *critical* tetapi masih ditoleransi namun tetap perlu diperhatikan. Batas *critical* tegangan yang diatur dalam simulasi yaitu + 5% dan -10%, dan untuk batas *marginal* tegangan yaitu +2% dan -5%.

Tabel 5. Kualitas Daya setelah perbaikan

NO	KODE TRAFO	PF (%)	DROP TEGANGAN (%)	RUGI DAYA	
				KW	KVAR
1	BD 516	97.21	0.13	2.581	3.945
2	BD 461	97.24	0.01	0.222	0.339
3	BD 453	97.23	0.01	0.193	0.296
4	BD 840	97.19	0	0	0
5	BD 388	97.24	0	0.077	0.118
6	BD 389	97.23	0	0.005	0.007
7	BD 390	97.13	0	0.003	0.004
8	BD 391 K	97.11	0	0	0
9	BD 1180 K	96.97	0	0	0
10	BD 630	97.25	0	0	0
11	BD 392	97.21	0	0.001	0.001
12	BD 1224 K	97.19	0	0	0
13	BD 393	97.28	0	0	0
14	BD 500	97.24	0	0.032	0.049
15	BD 628K	97.23	0	0.001	0.002
16	BD 718 K	97.23	0	0.005	0.008
17	BD 1063 K	97.22	0	0.019	0.030
18	BD 1285 K	97.22	0	0.001	0.002
19	BD 499	97.03	0	0	0
20	BD 1221 K	97.22	0	0.064	0.098
21	BD 1274 K	97.34	0	0	0
22	BD 1024	97.21	0	0.001	0.001
23	BD 498 K	97.20	0	0.002	0.002
24	BD 629 K	97.21	0	0.010	0.016
25	BD 1244	97.29	0	0	0
26	BD 970 K	97.15	0	0	0
27	BD 1210 K	97.02	0	0	0
28	BD 497	97.18	0	0.001	0.002
29	BD 515	97.18	0	0.006	0.010

30	BD 495	97.33	0	0	0
31	BD 496 K	97.49	0	0	0
32	BD 1135 K	97.17	0	0	0
33	BD 492	97.17	0	0.014	0.021
34	BD 1006K	97.17	0	0.001	0.002
35	BD 520	97.14	0	0.002	0.002
36	BD 141 K	97.11	0	0.002	0.003
37	BD 489 K	97.13	0	0	0
38	BD 477 K	97.12	0	0.003	0.005
39	BD 470	97.12	0	0.001	0.001
40	BD 960 K	97.09	0	0	0
41	BD 1171 K	97.10	0	0	0
42	BD 1225 K	97.05	0	0	0
43	BD 475 K	97.06	0	0	0
Rata - rata		97.18	0.0034		
Total			3.247	4.964	

Untuk Grafik Kualitas Daya setelah perbaikan di Penyulang Barata ditunjukkan pada gambar 8 sampai dengan gambar 10 pada lampiran.

Tabel 5 merupakan hasil dari analisis perbaikan kualitas daya pada penyulang Barata dengan pemasangan kapasitor bank. Yang mana didapatkan rugi - rugi daya aktif yang awalnya 4,33 kW menjadi 3,24 kW, kemudian rugi - rugi daya reaktif yang awalnya 6,627 kVar menjadi 4,964 kVar dan drop tegangan rata-rata yang awalnya 0,005 % menjadi 0,0034 % dimana drop tegangan terbesar terjadi pada trafo BD 516 yang awalnya bernilai 0,18 % menjadi 0,13 % . Dengan faktor daya awal 83 % atau 0,83 menjadi rata - rata 97,18 % atau 0,97

Penutup Simpulan

Berdasarkan hasil dari analisis optimasi perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank pada penyulang Barata PT. PLN Ngagel Surabaya untuk mengkompensasi daya reaktif pada penyulang Barata dengan menambahkan kapasitor daya untuk menaikkan faktor daya dari 0,83 menjadi 0,97.

Nilai rugi - rugi daya pada penyulang Barata di PT. PLN Ngagel yang mana sebelum perbaikan sebesar 4,33 kW dan 6,627 kVar. Faktor daya sebesar 0,8 yang mana drop tegangan paling besar pada sistem jaringan terjadi pada trafo BD 516 sebesar 0,018 %. Setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan kapasitor bank, nilai rugi - rugi daya pada penyulang Barata menjadi 3,247 kW dan 4,967 kVar dengan faktor daya rata - rata sebesar 0,0034 pada sistem dimana drop tegangan paling besar terjadi pada sistem jaringan terjadi pada trafo BD 516 sebesar 0,13 %.

Daftar Pustaka

Basudewa, Danang Aji. 2020. "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory Unesa". Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik: Surabaya. Universitas Surabaya.

- Dani, Ahmad. 2018. "Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus STT Sinar Husni)". Jurnal Teknik Elektro: Deli Serdang. Sekolah Tinggi Teknologi Sinar Husni.
- Eko, Perdana Putra Amin. 2010. "Studi Aliran Daya Menggunakan Metode Fast Decoupled (Aplikasi : Sistem Kelistrikan PT. PLN Sumatera Bagian Selatan Subsistem Sumatera Selatan 150 Kv)". Jurnal Teknik: Padang. Universitas Andalas.
- Hardiranto, Windu Nur. 2017. "Analisa Optimasi Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Dengan Menggunakan Kapasitor Bank Pada Line 5 Pt Bukit Asam (Persero) Tbk". Jurnal Teknik: Lampung. Universitas Negeri Lampung.
- Hajar, Ibnu. 2020. "Analisa Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank di Plant 6 PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. Unit Citeureup". Jurnal Teknik Elektro Fakultas Ketengalistrikan dan Energi Terbarukan: Jakarta. Institut Teknologi PLN Jakarta.
- Hasibuan, Arnawan. 2020. "Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap". Jurnal Fakultas Teknik Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis: Aceh Utara. Universitas Malikussaleh.
- Junus, M. 1987. Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara
- Nizam, Khoirum Muhammad. 2019. "Analisis Perbaikan Kualitas Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Penyulang Lumumba PT. PLN Ngagel Surabaya". Jurnal Teknik Elektro: Surabaya. Universitas Negeri Surabaya.
- Putra, I Kadek Satriya Anggara. 2020. "Analisa Pemasangan Kapasitor Untuk Meningkatkan Faktor Daya pada Trafo 1 di Hotel Melia Bali". Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik: Bali. Universitas Udayana.
- Risjayanto, Baktiyar Freda. 2018. "Optimal Capacitor Placement (OCP) Pada Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Menggunakan ETAP". Jurnal Teknik Elektro: Surabaya. Universitas Negeri Surabaya.
- Saadat, H. 1999. "Power System Analysis. The McGraw-Hill Companies".
- Stevenson, William D. 1996. "Analisis Sistem Tenaga Listrik". Edisi ke 4. Diterjemahkan oleh: Kamal Idris. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wijaya, I. K. A. 2019. "Optimasi Penempatan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Rugi Daya Pada Penyulang Saba Menggunakan Algoritma Genetika". Jurnal Teknik Elektro: Bali. Universitas Udayana.