

EVALUASI UNJUK KERJA KAPASITOR BANK GEDUNG 21 FASILITAS INSTALASI RADIOMETALURGI

Darma Adiantoro, Amanda Ulfa F.A, Yoskasih, Asep Fathudin
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Pemasangan kapasitor bank sangat penting untuk perbaikan reaktif dari sebuah sistem daya. Untuk menjaga unjuk kerja kapasitor bank, maka perlu dilakukan kegiatan perawatan dan pemeliharaan secara berkala. Tujuan kegiatan ini adalah mendapatkan hasil evaluasi unjuk kerja kapasitor bank berdasar pada data perawatan dan pemeliharaan kapasitor bank gedung Instalasi Radiometalurgi Tahun 2018. Perawatan dan pemeliharaan dilakukan melalui pengamatan visual (*in service inspection*) dan kegiatan pengukuran (*in service measurement*). Hasil evaluasi menunjukkan tidak terlihat ketidakseimbangan baik pada pengukuran arus maupun tegangan pada step kapasitor bank. Sedangkan untuk perhitungan kapasitansi pada step kapasitor yang sedang beroperasi bergantung pada hasil $\cos \Phi$ terbaca, arus fasa terukur dan tegangan fasa yang terukur. Berdasarkan evaluasi pengamatan temperatur komponen kapasitor menggunakan *infrared thermograph* belum terdeteksi temperatur yang melebihi panas yang dipersyaratkan pada kapasitor bank. tagihan listrik tiap bulannya. Berdasarkan informasi tagihan listrik, kelebihan KVArh tertinggi pada bulan Juli sebesar 13816 KVArh. Sedangkan pada bulan lainnya nilai kelebihan KVArh relative kecil bahkan pada bulan tertentu tidak ditemukan adanya kelebihan KVArh. Dengan demikian kapasitor bank masih beroperasi dengan baik.

Kata Kunci: Kapasitor bank, $\cos \phi$, kapasitansi, temperatur

PENDAHULUAN

Kualitas sistem catu daya gedung Instalasi Radiometalurgi bergantung pada kesinambungan pasokan energi listrik dari sumber listrik PLN dari sumber listrik darurat (genset) dalam bentuk tegangan, arus, frekuensi dan faktor daya ($\cos \Phi$). Berdasarkan sumbernya, catu daya listrik pada instalasi radiometalurgi dibagi menjadi dua, yaitu: Sistem distribusi normal dan sistem distribusi darurat. Sistem distribusi normal meliputi panel tegangan menengah 20 kV (Panel TM), Transformator daya dan panel distribusi tegangan rendah. Kapasitas daya terpasang 1815 kVA dengan jumlah transformator dua unit (TR.301 dan TR.302) dengan pemasangan *capacitor bank* (PCB 301 dan PCB 302). Peningkatan kualitas sistem catu daya dapat mengefiesiensikan penggunaan daya listrik. Upaya untuk meningkatkan kualitas daya dilakukan dengan cara pemasangan kapasitor bank sehingga dapat memperbaiki drop tegangan, faktor daya, rugi-rugi daya dan mereduksi harmonisa. Kapasitor merupakan salah satu alat listrik yang sering digunakan untuk faktor daya, untuk memperbesar nilai $\cos \Phi$ yang rendah adalah dengan cara memperkecil sudut phi sehingga $\cos \Phi$ mendekati nilai 1. Menurunnya nilai faktor daya

lebih kecil dari 0,85 berdampak terhadap rugi-rugi daya listrik dan meningkatkan nilai daya reaktif (KVAR) sehingga kualitas daya listrik menjadi rendah dan timbul jatuh tegangan^[1].

Perawatan dan pemeliharaan kapasitor bank perlu dilakukan secara berkala guna mencegah terjadinya kegagalan fungsi kapasitor bank. Dalam melakukan perawatan dan pemeliharaan dilakukan FMECA (*Failure Mode and Effect Critical Analysis*) merupakan metoda untuk mengetahui resiko kegagalan sebuah subsistem pada sebuah sistem peralatan^[2]. Adapun perawatan dan pemeliharaan kapasitor bank gedung Instalasi Radiometalurgi antara lain melalui pengamatan visual pada bagian-bagian peralatan terhadap adanya anomali yang berpotensi menurunkan unjuk kerja peralatan atau merusak sebagian/keseluruhan peralatan (*in service inspection*) dan kegiatan pengukuran yang dilakukan pada saat kapasitor sedang dalam keadaan bertegangan/operasi (*in service measurement*).

Pada makalah ini akan membahas hasil evaluasi unjuk kerja kapasitor bank berdasar pada data perawatan dan pemeliharaan kapasitor bank gedung Instalasi Radiometalurgi baik *in service inspection* maupun *in service measurement*. Hasil yang diharapkan dari kegiatan evaluasi ini antara lain degradasi kerusakan sistem, struktur dan komponen (SSK) kapasitor bank dapat diketahui secara dini sehingga dapat dilakukan tindakan *preventive maintenance* dan *safety* terhadap sistem serta efisiensi dan efektivitas penggunaan daya listrik Instalasi Radiometalurgi untuk pemakaian periode Tahun 2018.

DASAR TEORI

Kapasitor merupakan salah satu alat listrik yang sering digunakan untuk memperbaiki faktor daya, untuk memperbesar nilai $\cos \Phi$ yang rendah adalah dengan cara memperkecil sudut Φ sehingga $\cos \Phi$ mendekati nilai 1. Sedangkan untuk memperkecil sudut Φ hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif. Komponen daya reaktif yang ada bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangannya itu bias dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif melalui pemasangan kapasitor.

a. Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang terdiri dari beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu. Jumlah unit-unit kapasitor pada sebuah bank ditentukan oleh

tegangan dan daya yang dibutuhkan. Untuk daya dan tegangan yang lebih tinggi, atau sesuai kebutuhan maka kapasitor disusun secara seri dan paralel. Kapasitor bank memberikan yang manfaat besar untuk kinerja sistem distribusi. Di mana kapasitor bank dapat mengurangi *losses*, memperbesar kapasitas layanan dan mengurangi jatuh tegangan ^[3]:

1. Rugi-rugi jaringan (*losses*): dengan memberi kompensasi daya reaktif pada motor dan beban lainnya dengan power faktor yang rendah, kapasitor akan menurunkan arus jaringan. Penurunan arus ini akan mengurangi rugi-rugi I^2R jaringan secara signifikan.
2. Kapasitas pelayanan: penurunan arus di jaringan ini lebih lanjut akan memperbesar kapasitas pelayanan di mana, jaringan yang sama akan dapat melayani beban yang lebih besar.
3. Drop tegangan: kapasitor bank dapat mengurangi voltage drop di mana dengan kompensasi daya reaktif akan meningkatkan menaikkan level tegangan jaringan.

b. Kualitas Daya Listrik

1. Faktor Daya

Faktor daya merupakan salah satu indikator baik buruknya kualitas daya listrik. Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif [watt] dengan daya semu/daya total [VA], atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total. Peningkatan daya reaktif akan meningkatkan sudut antara daya aktif dan daya semu sehingga daya aktif yang tetap akan mengakibatkan peningkatan daya semu yang akan dikirimkan. Dengan kata lain akan menurunkan efisiensi dari sistem distribusi ketenagalistrikan. Faktor daya juga disimbolkan sebagai $\cos \Phi$, dimana:

$$\cos \Phi = pf = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Keterangan:

p = Daya aktif (Watt)

s = Daya Semu (KVA)

f = Frekuensi (Hz)

Nilai faktor daya tertinggi adalah 1. Sistem dengan faktor daya seperti ini memiliki efisiensi yang sangat baik dimana hal ini berarti daya total/semu [VA] yang dibangkitkan digunakan secara utuh pada beban resistif [Watt]. Dalam hal ini nilai daya total/semu [VA] sama dengan daya aktif.

2. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah W [Watt] dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik wattmeter. Daya aktif pada beban yang bersifat resistansi [R], dimana tidak mengandung indikator grafik gelombang tegangan [V] dan arus se-fasa, sehingga besar daya sebagai perkalian tegangan dan arus menghasilkan dua gelombang yang keduanya bernilai positif besarnya daya aktif P.

Daya aktif pada beban impedansi [Z], beban impedansi pada suatu rangkaian disebabkan oleh beban yang bersifat resistansi [R] dan induktansi [L]. Persamaan daya aktif [P] pada beban yang bersifat impedansi .

$$P = V \times I \times \cos \Phi \quad (2)$$

Keterangan:

P = Daya aktif [W]

V = Tegangan [V]

I = Arus Listrik [A]

Cos Φ = Faktor daya

3. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif. Berikut persamaan daya reaktif:

$$Q = V \times I \times \sin \Phi \quad (3)$$

Keterangan:

Q = Daya reaktif [Var]

$\sin \Phi = \frac{Q}{S}$, dimana s = daya semu

4. Daya Semu (s)

Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik. Daya nyata merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen. Satuan daya nyata adalah VA (Volt Ampere).

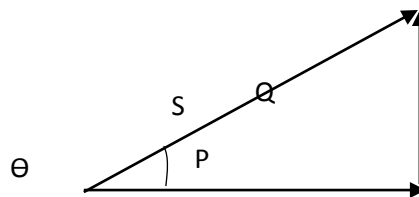
Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi [R]. Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik se-fasa memiliki perbedaan sudut fasa adalah 0° dan memiliki nilai faktor daya sebesar 1. Berikut ini persamaan daya semu:

$$S = V \times I \tag{4}$$

Keterangan:

$$S = \text{Daya Semu [VA]}$$

5. Segitiga Daya



Gambar 1. Segitiga Daya

Daya Aktif [P] digambarkan dengan garis horizontal yang lurus. Daya reaktif [Q] berbeda sudut sebesar 90° dari daya aktif. Sedangkan daya semu [S] adalah hasil penjumlahan secara vector antara daya aktif dengan daya reaktif. Hubungan antara ketiga daya listrik^[4] tersebut antara lain sebagai berikut:

$$p.f = \cos \Phi = \frac{P}{S} \text{ atau } P = S \times \cos \Phi \tag{5}$$

$$\sin \Phi = \frac{Q}{S} \text{ atau } Q = S \times \sin \Phi \tag{6}$$

$$I_{\Phi} = I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \text{ atau } I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \Phi} \tag{7}$$

$$C = \frac{Q}{2 \pi f V^2} \tag{8}$$

6. Kelebihan KVARh

Kompensasi terhadap kerugian PLN yang diakibatkan pelanggan memakai arus yang lebih besar untuk daya yang sama, maka PLN memberlakukan denda untuk kelebihan pemakaian KVAR. Batas faktor daya yang diperbolehkan oleh PLN adalah 0,85. PLN membatasi nilai KVARh yaitu 0,62 dari total energi. Adapun formula nilai KVARh yang bayar adalah sebagai berikut:

$$\text{KVARh yang dibayar} = \text{KVARh terpakai} - (0,62 \times \text{total KWH}) \times \text{harga} \tag{6}$$

METODOLOGI

Perawatan dan pemeliharaan kapasitor bank dilakukan dengan cara pengukuran terhadap arus dan tegangan step kapasitor pada kapasitor bank. Pengamatan faktor daya ($\cos \phi$) secara langsung melalui *power factor controller BR 6000* display secara rutin. Selain itu, dilakukan juga pengecekan temperatur komponen kapasitor bank menggunakan teknologi *infrared thermograph*. Pengecekan temperature dilakukan pada kapasitor, kontaktor dan pengkabelan. Teknologi thermograph merupakan salah satu peralatan teknologi *non-destructive testing non-contact* yang dapat digunakan untuk kegiatan *preventive maintenance*. Pengukuran temperatur menggunakan *infrared thermograph* dilakukan dari jarak tertentu tanpa menyentuh objek yang diukur secara *scanning* serta mendeteksi perubahan temperatur hingga $0,1^{\circ}\text{C}$, sehingga mampu mengkondisikan material komponen yang mengalami perubahan. Metoda ini sangat efisien dan efektif untuk kegiatan inspeksi terhadap komponen, peralatan maupun instalasi yang sedang beroperasi pada sistem kelistrikan gedung Instalasi Radiometalurgi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

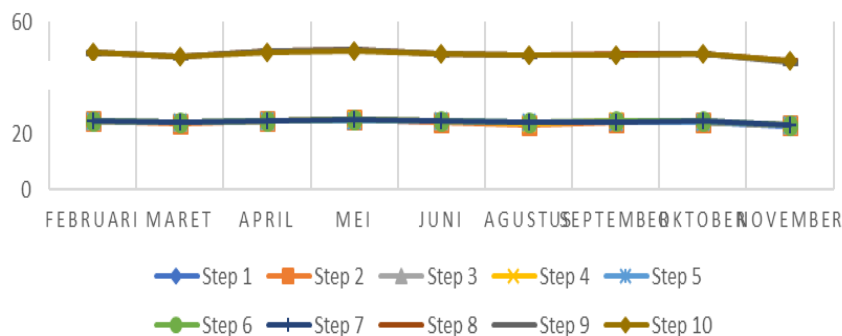
a. Data hasil pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran rutin arus dan tegangan step kapasitor pada kapasitor bank 301 di dapatkan hasil seperti Tabel 1, Tabel 2.

Tabel 1. Pengukuran arus R kapasitor bank 301

Step	Kvar	Arus R (Ampere)								
		Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept	Okt	Nov
1	30	24,3	24,0	24,5	24,8	24,1	23,8	24,0	24,2	22,7
2	30	24,6	23,7	24,7	24,8	24,0	23,0	24,1	24,1	22,8
3	30	24,4	23,9	24,7	24,9	24,3	24,1	24,4	24,4	22,9
4	30	24,7	23,9	24,5	24,9	24,3	23,6	24,4	24,1	23,0
5	30	24,4	24,1	24,6	24,7	24,3	24,0	24,0	24,2	22,8
6	30	24,6	24,0	24,7	25,0	24,4	24,0	24,3	24,4	23,0
7	30	24,4	23,9	24,7	25,1	24,5	24,0	24,2	24,4	22,9
8	60	48,8	47,5	49,4	49,8	48,6	48,1	48,4	48,6	45,8
9	60	48,8	47,6	49,4	49,8	48,5	48,1	48,1	48,5	45,3
10	60	49,1	47,6	49,0	49,7	48,3	48,0	48,2	48,6	45,9

Dari data tersebut, arus yang terdapat pada tiap-tiap step melalui pengukuran fasa R cenderung stabil. Begitu pula pengukuran arus untuk fasa S dan T. belum terlihat peningkatan dan penurunan arus kapasitor bank 301 yang signifikan. Hal tersebut dapat dilihat pada Grafik 1.



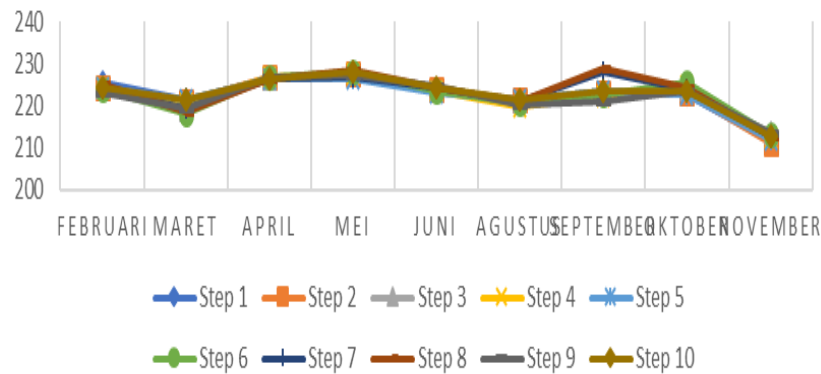
Grafik 1. Grafik pengukuran arus R pada kapasitor bank 301

Pengukuran arus R pada kapasitor bank 301 baik pada 30 KVAR maupun 60 KVAR hasilnya cenderung stabil. Pada Grafik 1, pengukuran 30 KVAR tidak mengalami kenaikan dan penurunan arus yang signifikan sehingga grafik tersebut menjadi linier, begitu pula untuk pengukuran 60 KVAR. Sedangkan pengukuran tegangan kapasitor bank 301 dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Data hasil pengukuran tegangan fasa R pada kapasitor bank 301

Step	Kvar	Tegangan R (Volt)								
		Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept	Oktober	Nov
1	30	223,4	220,2	225,5	226,4	223,4	220,1	222,2	222,0	210,7
2	30	223,2	219,8	225,6	226,4	222,7	219,7	222,6	223,3	211,0
3	30	223,5	218,3	225,1	226,9	223,0	219,5	221,9	222,9	212,7
4	30	223,8	220,3	225,8	226,4	222,8	220,0	221,3	222,9	212,1
5	30	223,0	220,1	225,5	226,8	222,6	220,1	222,6	221,9	209,7
6	30	223,0	217,6	225,9	227,1	222,8	219,5	221,3	232,2	212,0
7	30	223,3	218,8	225,1	225,9	224,1	220,3	222,3	223,2	212,4
8	60	223,2	218,2	225,9	227,3	222,5	219,3	222,0	223,1	212,6
9	60	222,5	219,5	225,4	226,4	223,9	221,0	221,6	222,6	212,2
10	60	223,7	219,4	225,3	226,6	222,4	220,4	221,7	222,8	211,2

Pada tegangan fasa R kapasitor bank 301 terjadi sedikit kenaikan tegangan pada bulan tertentu, hal ini dapat terlihat pada Grafik 2.



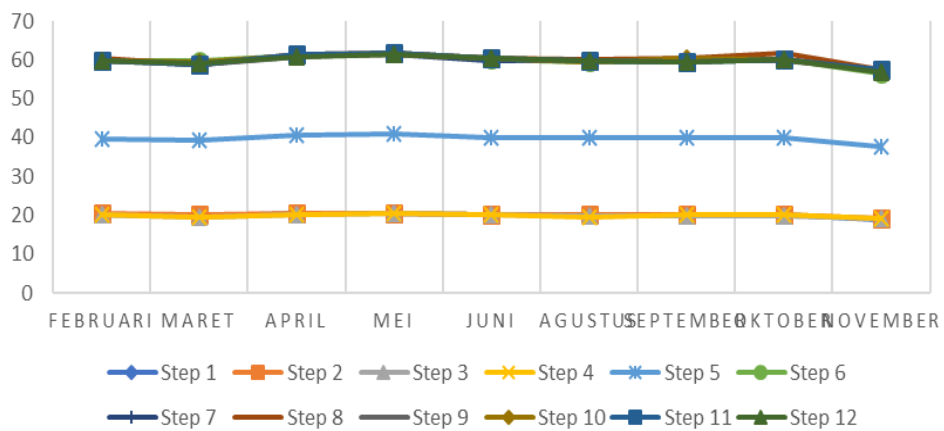
Grafik 2. Grafik hasil pengukuran tegangan fasa R pada kapasitor bank 301

Berdasarkan hasil grafik pengukuran tegangan fasa R kapasitor bank, ada beberapa step mengalami kenaikan tegangan. Hal ini disebabkan nilai pengukuran yang dilakukan melalui voltmeter tidak tetap sehingga data yang muncul random. Akan tetapi kenaikan tegangan fasa R tersebut tidak signifikan dan belum mencapai 1 Volt sehingga tegangan tersebut tidak diindikasikan terdapat ketidakseimbangan. Data yang sama pun terlihat pada tegangan fasa S dan fasa T kapasitor bank 301. Data tersebut menunjukkan kenaikan tegangan pada beberapa step kapasitor bank. Akan tetapi kenaikan tersebut tidak menunjukkan adanya ketidakseimbangan atau anomali.

Data hasil pengukuran rutin arus dan tegangan step kapasitor pada Fasa R kapasitor bank 302 di dapatkan hasil seperti Tabel 3, Tabel 4. Pengukuran arus dan tegangan step kapasitor pada fasa R kapasitor bank 302 belum menunjukkan kenaikan atau pun penurunan baik arus maupun tegangan yang signifikan. Sama seperti data pengukuran arus dan tegangan step kapasitor pada fasa R kapasitor bank 301, fasa R kapasitor bank 302 juga tidak menunjukkan adanya anomali dan ketidakseimbangan arus maupun tegangan. Hal ini dapat terlihat pada Grafik 3 dan Grafik 4. Begitu juga data hasil pengukuran arus dan tegangan pada fasa S dan fasa T kapasitor bank 302. Data pengukurannya belum menunjukkan ketidakseimbangan arus maupun tegangan. Hal ini terlihat dari kenaikan ataupun penurunan arus dan tegangan pada fasa tersebut tidak melebihi 1 ampere ataupun 1 Volt.

Tabel 3. Data hasil pengukuran arus R pada kapasitor bank 302

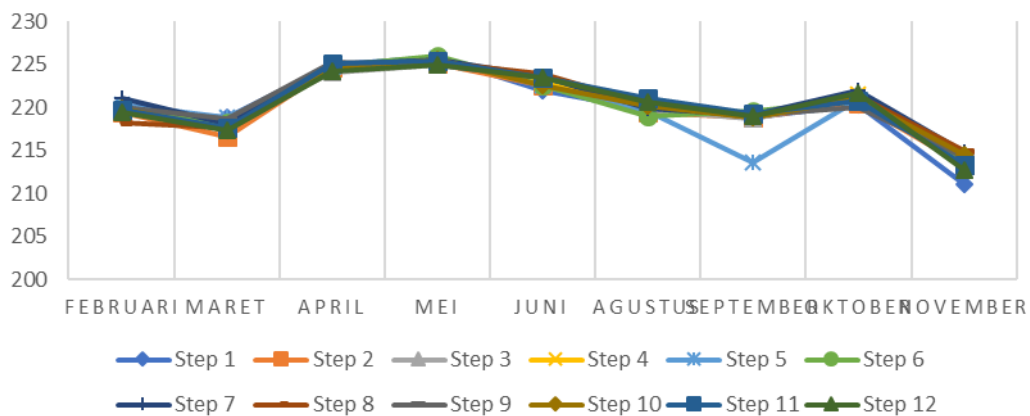
Step	Kvar	Arus R (Ampere)								
		Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept.	Okt.	Nov.
1	15	20,3	19,9	20,4	20,4	20,1	20,1	20,1	20,2	18,9
2	15	20,4	20,0	20,4	20,5	20,3	20,0	20,2	20,0	19,0
3	15	20,0	19,6	20,3	20,4	20,1	19,7	19,9	19,8	19,1
4	15	20,1	19,5	20,3	20,4	20,1	19,5	20,1	20,1	19,0
5	30	39,6	39,3	40,6	41,0	40,0	39,8	40,0	40,0	37,8
6	60	59,7	59,8	61,0	61,7	60,0	59,3	59,6	60,1	56,5
7	60	60,0	58,7	61,2	61,5	59,8	60,0	59,9	60,0	57,0
8	60	60,4	58,8	61,4	61,6	60,6	60,2	60,4	61,9	57,4
9	60	59,7	58,7	60,9	61,6	60,3	59,9	59,7	59,7	57,4
10	60	59,7	59,5	61,2	61,4	60,3	59,5	60,4	60,0	57,1
11	60	59,9	58,7	61,3	61,6	60,6	59,9	59,4	60,1	57,5
12	60	59,8	59,2	60,9	61,5	60,5	59,7	59,5	60,2	56,9



Grafik 3. Grafik hasil pengukuran arus R kapasitor bank 302

Tabel 4. Data hasil pengukuran tegangan R kapasitor bank 302

Step	Kvar	Tegangan R (Volt)								
		Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept.	Okt.	Nov.
1	15	219,8	218,8	224,9	225,9	221,9	219,8	218,9	220,4	211,1
2	15	219,5	216,6	224,6	225,1	222,5	219,4	218,8	220,5	213,4
3	15	219,6	218,3	224,0	225,0	223,5	219,8	218,7	221,2	214,5
4	15	219,4	217,6	224,4	225,6	223,1	220,1	219,1	221,5	213,5
5	30	220,4	218,8	224,7	225,7	222,6	219,6	213,6	220,9	213,5
6	60	219,9	218,3	224,8	226,0	222,5	219,0	219,6	220,7	213,7
7	60	221,1	218,1	225,0	225,6	223,6	219,9	219,2	221,9	214,8
8	60	218,3	217,6	224,4	225,2	223,9	220,3	218,8	221,4	215,0
9	60	220,1	218,7	225,2	225,0	223,5	220,9	219,1	220,1	214,2
10	60	219,9	217,3	224,5	225,6	222,5	220,2	218,9	221,1	214,5
11	60	219,8	217,6	225,1	225,4	223,4	221,1	219,3	220,7	213,4
12	60	219,4	217,4	224,2	225,0	223,5	220,6	219,0	221,7	212,7



Grafik 4. Grafik pengukuran tegangan R kapasitor bank 302

b. Hasil perhitungan kapasitansi pada kapasitor bank

Data pembacaan cosphi pada display kapasitor bank 301 dan kapasitor bank 302 dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Nilai cosphi kapasitor bank 301

Cosphi (Cos Φ)								
Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept	Okt	Nov
0,97	0,97	0,88	0,96	0,96	0,97	0,97	0,96	0,99

Tabel 6. Nilai cosphi kapasitor bank 302

Cosphi (Cos Φ)								
Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept	Okt	Nov
0,96	0,96	0,96	0,95	0,98	0,96	0,96	0,96	0,95

Setelah data yang dibutuhkan terkumpul yaitu data arus tiap fasa, data tegangan tiap fasa, faktor kerja (Cos Φ) dan frekuensi. Perhitungan daya reaktif dan kapasitansi pada kapasitor bank menggunakan persamaan (3) dan persamaan (8). Untuk perhitungan daya reaktif pada bulan Februari step 1 fasa R kapasitor bank 301 dengan daya 30 KVAR adalah sebagai berikut:

$$\text{Arus} = 24,3 \text{ Ampere}$$

$$\text{Tegangan} = 223,4 \text{ Volt}$$

$$\text{Cos } \Phi = 0,97$$

$$\text{Daya reaktif (Q)} = V \cdot I \cdot \text{Sin } \Phi$$

Di mana

$$\begin{aligned} \text{Sin } \Phi &= \sqrt{1 - \text{cos}^2 \Phi} \\ &= \sqrt{1 - (0,97^2)} \\ &= 0,2431 \end{aligned}$$

Maka

$$Q = V \cdot I \cdot \text{Sin } \Phi$$

$$Q = 223,4 \cdot 24,3 \cdot 0,2431$$

$$Q = 1319,69 \text{ VAr atau } 1,31969 \text{ KVAR}$$

Adapun perhitungan kapasitansi pada Bulan Februari 2018 untuk step 1 fasa R 30 KVAR kapasitor bank 301 dengan frekuensi 50 Hz adalah sebagai berikut:

$$\text{Kapasitansi (C)} = \frac{Q}{2 \Pi f V^2}$$

$$C (30 \text{ KVAR}) = \frac{1319,69 \text{ KVAR}}{2 \sqrt{50 \cdot 223,4 \text{ Volt}^2}}$$

$$C (30 \text{ KVAR}) = 8,4135 \times 10^{-5} \text{ F}$$

$$C (30 \text{ KVAR}) = 84,135 \mu\text{F}$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, maka didapatkan Rangkuman hasil kapasitansi untuk pemakaian kapasitor selama setahun seperti Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Hasil perhitungan kapasitansi pada kapasitor bank 301 berbeban periode 2018

KVAR	Kapasitansi (μF)								
	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept	Okt	Nov
30	84,21	104,07	164,34	97,67	96,19	83,71	83,58	97,20	48,40
60	169,27	168,54	330,78	195,37	194,77	169,81	168,79	194,25	96,78

Tabel 8. Hasil perhitungan kapasitansi pada kapasitor bank 302 berbeban periode 2018

KVAR	Kapasitansi (μF)								
	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Agust	Sept	Okt	Nov
15	82,35	81,10	80,88	89,80	57,40	81,54	81,88	81,72	89,03
30	160,21	160,16	161,12	180,64	113,88	161,61	166,98	161,47	178,06
60	242,09	244,27	241,97	271,48	170,89	241,45	242,05	242,82	265,14

Berdasarkan Tabel 7 dan 8, Analisa perhitungan kapasitansi pada step kapasitor yang sedang beroperasi bergantung pada hasil $\cos \phi$ terbaca, arus fasa terukur dan tegangan fasa yang terukur. Semakin besar $\cos \phi$ terbaca pada kapasitor bank maka kapasitansi pada tiap step kapasitor semakin kecil nilainya. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil $\cos \phi$ yang terbaca pada display kapasitor bank maka nilai kapasitansi pada tiap step kapasitor semakin besar. Hal ini disebabkan oleh beban pada kapasitor bank tersebut. Hal ini juga mempengaruhi perbedaan nilai kapasitansi pada tiap bulan atau tiap pengukurannya.

Hasil kapasitansi pada saat kapasitor bank beroperasi dapat dievaluasi dengan membandingkan antara hasil perhitungan kapasitansi dan nilai standar yang tercantum pada nameplate kapasitor. Pada kapasitor bank 301, nilai standar kapasitansi yang tercantum adalah sebagai berikut:

$$30 \text{ KVAR} = 3 \times 115 \mu\text{F}$$

$$60 \text{ KVAR} = 3 \times 115 \mu\text{F} \text{ diparalel 2 kapasitor}$$

Maka, nilai standar kapasitansi pada kapasitor bank 301 (dalam 3 fasa) adalah

$$C \text{ total (30 KVAR)} = (1/C_1 + 1/C_2) + C_3$$

$$C \text{ total (30 KVAR)} = 172,5 \mu\text{F}$$

Sedangkan nilai kapasitansi untuk kapasitor 60 KVAR

$$\begin{aligned} C \text{ Paralel (60 KVAR)} &= 172,5 \mu\text{F} + 172,5 \mu\text{F} \\ &= 345 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Pada kapasitor bank 301, KVAR terbagi menjadi 3 yaitu 15 KVAR, 30 KVAR, dan 60 KVAR. Nilai standar kapasitansi kapasitor bank 302 dapat dihitung sebagai berikut:

$$15 \text{ KVAR} = 3 \times 96,3 \mu\text{F}$$

$$30 \text{ KVAR} = 3 \times 96,3 \mu\text{F} \text{ diparalel 2 Kapasitor}$$

$$60 \text{ KVAR} = 3 \times 96,3 \mu\text{F} \text{ diparalel 3 Kapasitor}$$

Maka, nilai standar kapasitansi pada kapasitor bank 302 (dalam 3 fasa) adalah

$$C \text{ total (15 KVAR)} = (1/C_1 + 1/C_2) + C_3$$

$$C \text{ total (15 KVAR)} = 144,45 \mu\text{F}$$

Sedangkan nilai kapasitansi untuk kapasitor 30 KVAR

$$\begin{aligned} C \text{ Paralel (30 KVAR)} &= 144,5 \mu\text{F} + 144,5 \mu\text{F} \\ &= 288,9 \mu\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C \text{ Paralel (60 KVAR)} &= 144,5 \mu\text{F} + 144,5 \mu\text{F} + 144,5 \mu\text{F} \\ &= 433,35 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai standar kapasitansi maka kapasitansi pada Tabel 7 dan Tabel 8 dapat dinyatakan bahwa kapasitansi pada kapasitor bank yang beroperasi masih dalam ambang batas nilai standar kapasitansi kapasitor.

c. Hasil pemeriksaan temperatur kapasitor bank menggunakan thermograph

Pengukuran menggunakan infrared thermograph dilakukan pada objek permukaan sebagai target dengan kondisi harus langsung terlihat kamera dan objek tidak terhalang oleh benda lain meskipun tembus cahaya secara visual. Hasil scanning ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil scanning thermograph kontaktor panel kapasitor bank IRM

Hasil scanning menunjukkan adanya temperature panas mencapai 44,6 °C pada kontaktor kapasitor bank. Panas yang terbaca pada thermograph telah melebihi temperatur ambient kontaktor yaitu 40 °C, namun panas tersebut masih dibawah batas nilai temperatur panas yang disyaratkan komponen kontaktor yaitu tidak lebih besar dari 120 °C (NEMA -*The National Electrical Manufactures Association*). Apabila panas yang timbul melebihi 120 °C dikhawatirkan dapat memicu timbulnya kegagalan isolasi listrik dan menyebabkan arus bocor pada bahan isolator. Begitu pula pada hasil scanning thermograph untuk komponen kapasitor bank lainnya. Belum terlihat temperatur yang melebihi batas syarat nilai temperatur panas. Sehingga berdasarkan evaluasi pengamatan temperatur komponen kapasitor menggunakan *infrared thermograph* yang melebihi panas yang dipersyaratkan pada kapasitor bank.

d. Efisiensi biaya tagihan listrik tahun 2018

Data-data yang diperoleh melalui informasi tagihan listrik PLN dapat dilihat pada Tabel 9 berupa nilai stand meter untuk pemakaian daya reaktif pada luar waktu beban puncak (LWBP) dan waktu beban puncak (WBP), serta daya reaktif (KVArh). Data tersebut merupakan data pemakaian periode 2018.

Tabel 9. Data pemakaian daya aktif dan daya reaktif

Id pelanggan : 546102145936
 Tarif/ daya : P2/ 1815000 VA
 FKM KWH/ KVArh/ FRT : 2400/ 2400/1

Bulan	Pembacaan stand meteran (Awal – akhir)					
	LWBP		WBP		KVArh	
Januari	3362,640	3272,040	372,880	362,240	2382,980	2317,340
Februari	3462,890	3362,640	384,290	372,880	2453,250	2382,980
Maret	3551,970	3462,890	394,460	384,290	2516,230	2453,250
April	3650,210	3551,970	405,660	394,460	2586,390	2516,230
Mei	3749,170	3650,210	416,330	405,660	2655,300	2586,390
Juni	3846,520	3749,170	427,240	416,330	2724,500	2655,300
Juli	3925,830	3846,520	437,290	427,240	2785,670	2724,510
Agustus	4028,790	3925,830	448,480	437,290	2858,040	2785,670
Sept	4131,670	4028,790	459,680	448,480	2926,200	2858,040
Nov	4332,070	4226,890	481,260	470,340	3037,800	2926,830
Des	4432,390	4332,070	492,640	481,260	3134,070	3067,800

Pada Tabel 10, ditunjukkan biaya pemakaian untuk biaya luar waktu beban puncak (LWBP), biaya waktu beban puncak (WBP) dan biaya daya reaktif (KVArh).

Tabel 10. Biaya pemakaian daya listrik

Bulan	Biaya pemakaian (Rp)		
	LWBP	WBP	KVArh
Januari	225.220.003	39.674.517	7.681.673
Februari	249.208.668	42.545.699	2.784.621
Maret	221.441.478	37.921.977	3.665.918
April	244.212.065	41.762.650	6.172.315
Mei	246.001.893	39.786.381	2.513.739
Juni	241.000.630	40.681.295	5.588.192
Juli	197.154.508	41.725.362	15.401.246
Agustus	255.945.381	41.725.362	4.272.796
September	255.746.511	41.762.650	1.151.526
November	249.382.679	42.433.835	0
Desember	261.464.017	40.718.583	0

Berdasarkan Tabel 9 dapat dilihat total daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dengan mengalikan selisih stand dengan faktor kali (FKM x FRT). Sedangkan Tabel 10, hasil total daya aktif dan daya reaktif dikalikan dengan harga yang telah ditetapkan oleh PLN. Penyebab kelebihan KVARh adalah power faktor yang kurang dari 0,85 sehingga menyebabkan nilai KVARh tinggi. PLN membatasi nilai KVARh yaitu 0,62 dari total energi (LWBP + WBP). Adapun formula nilai KVARh yang bayar adalah sebagai berikut:

$$\text{KVARh yang dibayar} = \text{KVARh terpakai} - (0,62 \times \text{total KWH}) \times \text{harga}^{[6]}$$

Dari hasil informasi rekening listrik dapat dilihat bahwa kelebihan KVARh tertinggi berada pada bulan juli 2018 sebesar 13816 KVARh, sehingga pada bulan juli tersebut fasilitas instalasi radiometalurgi membayar kelebihan KVARh senilai Rp. 15.401.246. Sedangkan untuk bulan lainnya seperti pada tabel 10, kelebihan KVARh relatif kecil dan pada bulan November dan Desember tidak ditemukan adanya kelebihan KVARh. Sehingga kapasitor bank dapat menghemat biaya kelebihan KVARh.

KESIMPULAN

Berdasarkan kegiatan evaluasi unjuk kerja kapasitor bank, maka dapat disimpulkan bahwa Pencegahan dan mitigasi terhadap efek penuaan dan kerusakan komponen kapasitor bank dapat dilakukan dengan perawatan dan pemeliharaan. Berdasarkan evaluasi perawatan dan pemeliharaan kapasitor bank tahun 2018, belum terlihat ketidakseimbangan baik pada pengukuran arus maupun tegangan pada step kapasitor bank. Sedangkan untuk perhitungan kapasitansi pada step kapasitor yang sedang beroperasi bergantung pada hasil $\cos \Phi$ terbaca, arus fasa terukur dan tegangan fasa yang terukur. Semakin besar $\cos \Phi$ terbaca pada kapasitor bank maka kapasitansi pada tiap step kapasitor semakin kecil nilainya. Berdasarkan evaluasi pengamatan temperature komponen kapasitor menggunakan *infrared thermograph* belum terdeteksi kegagalan sistem pada kapasitor bank.

Efisiensi biaya listrik melalui pemasangan kapasitor bank dapat dilihat dari informasi tagihan listrik tiap bulannya. Berdasarkan informasi tagihan listrik, kelebihan KVARh tertinggi pada bulan Juli sebesar 13816 KVARh. Sedangkan pada bulan lainnya nilai kelebihan KVARh relative kecil bahkan pada bulan tertentu tidak ditemukan adanya kelebihan KVARh. kapasitor bank belum membackup keseluruhan kelebihan KVARh sehingga masih ditemukan biaya kelebihan kelebihan KVARh. Untuk itu, perlu dilakukan kaji ulang peralatan yang menyebabkan kelebihan KVARh tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Teguh S, dkk, Deteksi kegagalan fungsi kapasitor bank Gedung RSG Gas menggunakan infrared thermography, Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII, ISSN: 1978 – 0176, Hal. 187, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir: Nov 2011
2. PT PLN, Buku Pedoman Pemeliharaan Kapasitor, Dok No:PDM/ PGI/ 04: 2014, Jakarta: 2014
3. TA Short, *Electric Power Distribution Handbook*, USA: CRC Press LCC: 2004
4. Bondan D, dkk. Penggunaan Kapasitor Bank dan Tuned Filter untuk Perbaikan Faktor Daya Serta Mereduksi Harmonisa Pada Beban non linier, Prosiding Seminar Nasional dan Pendidikan Sains IX, ISSN: 2087-0922, Hal.117, Salatiga: 2014
5. National Electrical Manufactures Association, *Electrical Standards and Product Guide*, Dual – Lite, ESPG: 2019
6. Hakim. Fahmi, Analisis Kebutuhan Capasitor Bank Beserta Implementasinya untuk Memperbaiki Faktor Daya Listrik di Politeknik Kota Malang, Jurnal ELTEK, Vol 12 No 1, ISSN: 1693 – 4024, Hal 105 – 118, Malang: 2014