



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daya Listrik Secara Umum

Daya listrik adalah banyaknya energi tiap satuan waktu. Satuan waktu internasional untuk daya adalah watt, yang diambil dari nama **James Watt** (1746-1819) maka daya listrik dapat dirumuskan :

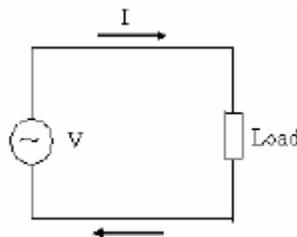
$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \text{Energi} / \text{Waktu} \\ &= W / t \dots\dots\dots(2.1)^1 \end{aligned}$$

Secara umum telah diketahui dimana didalam setiap rangkaian listrik,jika terdapat beban pada ujung rangkaian dan diberikan sumber tegangan pada awal rangkaian, maka akan terdapat arus yang mengalir. Dengan mensubtitusikan rumus energi, maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= V \cdot I \cdot t / t \\ &= V \cdot I \dots\dots\dots(2.2)^2 \end{aligned}$$

Jika dengan mensubtitusikan hukum ohm kedalam persamaan diatas maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= V \cdot I \\ &= (I \cdot R) \cdot I \\ &= I^2 \cdot R \dots\dots\dots(2.3)^3 \end{aligned}$$



Gambar 2.1 Arah Aliran arus listrik

¹ Trevor Linsley, 2004. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*, Erlangga:Jakarta.(136)
²Trevor Linsley, 2004. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*, Erlangga:Jakarta.(136)
³ Lister, Eugene C. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. 1993. (41)



2.1.1 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut :

Untuk satu phasa

$$P = V_{L-N} \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \dots\dots\dots(2.4)^4$$

Untuk tiga phasa

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- P = Daya aktif (watt)
- V_{L-N} = Tegangan Line to Netral (volt)
- V_{L-L} = Tegangan Line to Line (volt)
- I = Arus (A)
- $\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.1.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

Untuk satu phasa

$$Q = V_{L-N} \cdot I \cdot \sin \varphi \quad \dots\dots\dots(2.6)^5$$

Untuk tiga phasa

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot \sin \varphi \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- Q = Daya Reaktif (VAR)

⁴ Cekmas Cekdin, Taufik Barlian, Transmisi Daya Listrik, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2013 (17)

⁵ Cekmas Cekdin, Taufik Barlian, Transmisi Daya Listrik, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2013 (17)



V_{L-N} = Tegangan Line to Netral (volt)

V_{L-L} = Tegangan Line to Line (volt)

I = Arus (A)

$\text{Sin } \varphi$ = Faktor Daya

2.1.3 Daya Semu

Daya Semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Satuan daya semu adalah VA.

Untuk satu phasa

$$S = V_{L-N} \cdot I \quad \dots\dots\dots(2.8)^6$$

Untuk tiga phasa

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

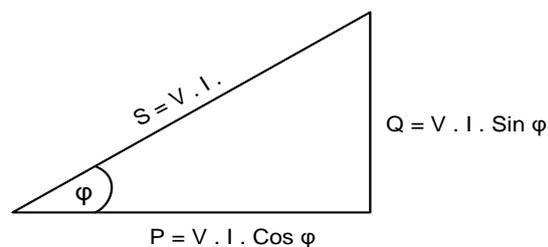
V_{L-N} = Tegangan Line to Netral (volt)

V_{L-L} = Tegangan Line to Line (volt)

I = Arus (A)

2.1.4 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe - tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri



Gambar 2.2 segitiga daya

⁶ Cekmas Cekdin, Taufik Barlian, Transmisi Daya Listrik, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2013 (16)



dimana berlaku hubungan :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$P = S \cdot \cos \varphi \text{ (Watt)} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \text{ (VAR)} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

2.2 Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol dan Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak berhingga. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut :

2.2.1 Beban Resistif (R)

Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus satu fasa. Persamaan daya sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

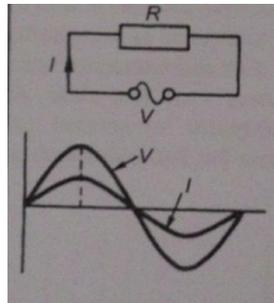
Untuk mencari besarnya beban resistif suatu benda dapat dicari dari rumus dibawah ini:

$$R = \frac{V}{I} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan : R = Resistansi (Ω)

V = Tegangan pada beban resistif (Volt)

I = Arus yang mengalir pada beban resistif (Ampere)



Gambar 2.3 Rangkaian Resistif Gelombang AC



Gambar 2.4 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Resistif

Sumber: Buku Instalasi Listrik Tingkat Lanjut

2.2.2 Beban Induktif (L)

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti *coil*, transformator, dan solenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V.I \cos \varphi$$

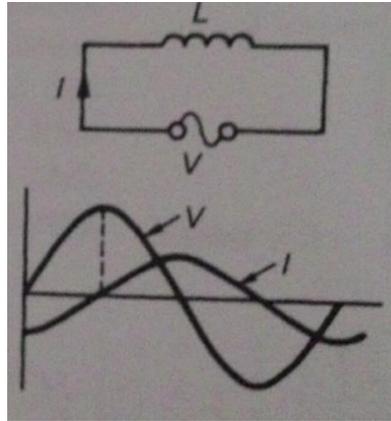
Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

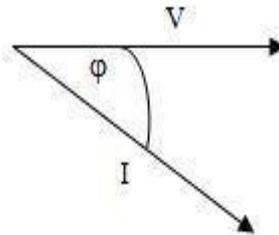
V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

φ = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.5 Rangkaian Induktif Gelombang AC



Gambar 2.6 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Induktif

Sumber: Buku Instalasi Listrik Tingkat Lanjut

Umumnya beban induktif banyak terdapat pada rangkaian elektronik. Peralatan rumah tangga umumnya menggunakan peralatan elektronik seperti TV, Radio, Kipas angin, Kulkas. Beban induktif dapat menimbulkan fluks magnet. Beban induktif juga dapat mempengaruhi daya reaktif dari suatu rangkaian listrik. Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L), dapat digunakan rumus :

$$X_L = 2 \pi f L \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

X_L = Reaktansi induktif

Π = Konstanta sebesar 3,142

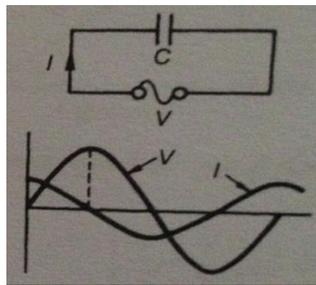
f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

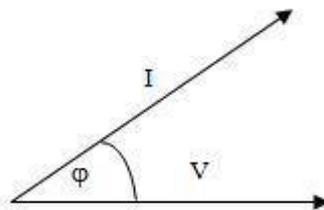


2.2.3 Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus *leading* terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.⁷



Gambar 2.7 Rangkaian Kapasitif Gelombang AC



Gambar 2.8 Grafik Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif

Sumber: Buku Instalasi Listrik Tingkat Lanjut

Reaktansi kapasitif mengakibatkan arus rangkaian yang mendahului tegangannya, Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif (X_C), dapat digunakan rumus:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

X_C = reaktansi kapasitif

f = frekuensi

C = kapasitansi (Farad)

⁷ Trevor Linsley, 2004. *Instalasi Listrik Tingkat Lanjut*, Erlangga:Jakarta. Hal: 112-113



2.3 Koreksi Faktor Daya

2.3.1 Faktor Daya

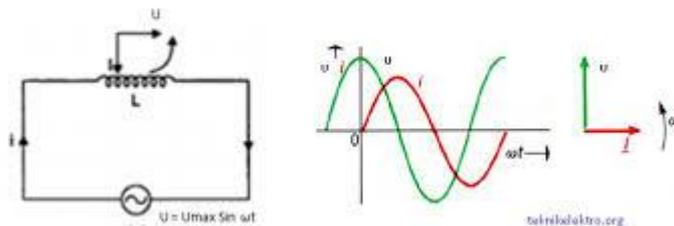
Faktor daya ($\cos \varphi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam listrik arus bolak balik (AC) atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya semu (S)}} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}} \\ &= \frac{V \cdot I \cdot \cos \varphi}{V \cdot I} = \cos \varphi \quad \dots\dots\dots(2.17)^8 \end{aligned}$$

2.3.1.1 Faktor Daya Terbelakang (Lagging)

Faktor daya terbelakang (lagging) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif
2. Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut φ



Gambar 2.9 Arus tertinggal dari tegangan sebesar sudut φ

2.3.1.2 Faktor Daya Mendahului (Leading)

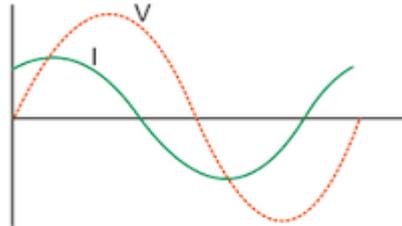
Faktor daya mendahului (leading) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif

⁸ Edminister, Joseph A. Rangkaian Listrik 1, Edisi ke Dua, Erlangga, Jakarta, 1995 (136)



2. Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut ϕ



Gambar 2.10 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut ϕ

2.3.2 Penyebab faktor daya rendah

Penyebab utama faktor daya suatu sistem jaringan listrik menjadi rendah adalah beban induktif. Pada sebuah rangkaian induktif murni, arus akan tertinggal sebesar 90° terhadap tegangan, perbedaan yang besar pada sudut fasa antara arus dan tegangan ini akan menyebabkan faktor daya mendekati nilai nol.

Pada umumnya faktor-faktor daya yang rendah dihasilkan oleh peralatan seperti motor induksi, terutama pada beban–beban rendah dan unit-unit ballast dari lampu pelepas (discharge lighting) yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk gerakannya. Alat-alat las busur listrik juga mempunyai faktor daya yang rendah. Medan magnet dari peralatan-peralatan seperti ini memerlukan arus yang tidak melakukan kerja yang bermanfaat dan tidak mengakibatkan panas atau daya mekanis, tetapi yang diperlukan hanyalah untuk membangkitkan medan. Walaupun arus dikembalikan ke sumber jika medan turun mendadak, perlu penambahan penampang kabel dan instalasi untuk membawa arus ini.

Berikut ini adalah beberapa sumber yang menyebabkan rendahnya faktor daya pada sistem jaringan listrik, yaitu :⁹

⁹ Direktori listrik, *Penyebab Faktor Daya Rendah*, diakses dari <http://direktorilistrik.blogspot.co.id/2014/02/penyebab-faktor-daya-rendah.html>, Pada tanggal 5 maret 2017



1. Motor Induksi Satu Phasa atau Tiga Phasa, jika motor induksi dibebani ringan maka faktor dayanya rendah sekali, tetapi jika motor induksi sekalipun dibebani penuh maka faktor dayanya jarang melebihi 90%.¹⁰
2. Variasi besar kecilnya beban pada jaringan sistem tenaga listrik. Pada periode beban rendah, tegangan supply meningkat yang meningkatkan magnetizing yang menyebabkan faktor daya menurun.
3. Tungku pemanasan / pembakaran pada industri
4. Lampu penerangan yang memanfaatkan gas neon
5. Transformer
6. Arus Harmonic

2.3.3 Kerugian Akibat Rendahnya Faktor Daya

Faktor daya yang rendah menimbulkan beberapa kerugian pada jaringan, berikut ini adalah kerugian yang disebabkan oleh faktor daya rendah yaitu :¹¹

1. Kerugian pada jalur penghantar (rugi tembaga)

Pada sebuah jalur penghantar, kerugian yang timbul akibat arus yang mengalir adalah berbanding lurus dengan nilai arus pangkat 2 (I^2). Sehingga rugi-rugi daya pada penghantar tersebut menjadi :

Rugi daya = $I^2 \times R$: yaitu, semakin besar arus yang mengalir pada penghantar tersebut, semakin besar kerugian (looses daya) pada jaringan tersebut. Dengan kata lain, seperti yang kita ketahui bahwa hampir semua peralatan mesin listrik (transformer, alternator, dll) dihitung dengan satuan kVA. Sedangkan faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dan ($P = kW$) dengan daya semu ($S = kVA$), yaitu :

$$\text{Cos } \varphi = P / S = Kw / kVA$$

¹⁰ Lister, Eugene C. Mesin dan Rangkaian Listrik. 1998. (218)

¹¹ Neidle, Michael. Teknologi Instalasi Listrik. 1991. (208)



Sehingga, semakin rendah faktor daya, semakin besar rating kVA sebuah mesin, semakin besar pula ukuran mesin dan semakin besar mesin maka semakin besar biaya pengadaannya dan perawatannya.

2. Ukuran Penghantar

Ketika faktor daya rendah, arus yang mengalir akan meningkat, dengan demikian, untuk mengalirkan arus yang besar membutuhkan ukuran penghantar konduktor yang lebih besar dan semakin besar penghantar atau konduktor akan semakin besar biaya yang dibutuhkan untuk pengadaannya.

3. Voltage Drop (tegangan jatuh)

Tegangan jatuh (Voltage Drop) disepanjang penghantar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan, tegangan jatuh (Voltage Drop) $V = I.Z$. Pada kondisi faktor daya rendah, arus yang mengalir akan meningkat. Sehingga dari persamaan ($V = I.Z$), tegangan jatuh pada penghantar akan menjadi lebih besar.

Ketika faktor daya bernilai rendah, tegangan jatuh akan menjadi besar, sehingga nilai tegangan diujung penerima menjadi kecil bila dibandingkan dengan tegangan diujung pengiriman, dan akan semakin besar selisihnya apabila dibandingkan dengan nilai tegangan disisi pengirim ketika pada kondisi tanpa beban, dimana arus tidak ada yang mengalir.

4. Efisiensi rendah

Dalam kasus rendahnya faktor daya, akan ada drop tegangan yang cukup besar dan kerugian disepanjang penghantar dan hal ini akan menyebabkan sistem atau peralatan akan memiliki nilai efisiensi yang rendah. Hal ini jelas terlihat pada sistem pembangkitan (generator).

5. Penalti dari penyedia layanan listrik (PLN)

PLN akan membebankan denda faktor daya dibawah 0,85 tertinggal dalam tagihan tenaga listrik.



2.3.4 Perbaikan Faktor Daya Listrik

Pada umumnya suatu pabrik mempunyai faktor daya listrik yang rendah, hal ini disebabkan karena banyak menggunakan peralatan-peralatan seperti mesin-mesin, mesin las, lampu TL, transformer dan lain - lain. Dibawah ini diberikan beberapa contoh faktor daya listrik dari beberapa pabrik, yaitu :¹²

Industri	Faktor daya listrik
Textile	0,65 – 0,75
Chemical	0,75 – 0,85
Machine shops	0,40 – 0,65
Arc welding	0,35 – 0,40
Foundries	0,50 – 0,70
Steel works	0,60 – 0,85
Clothing factories	0,35 – 0,60

Tabel 2.1 Faktor Daya Listrik di Berbagai Jenis Industri

Untuk mendapatkan harga yang pasti dari besarnya faktor daya listrik, maka haruslah dilakukan pengukuran dengan menggunakan cos phi meter. Untuk memperbaiki besarnya faktor daya listrik ini dapat dilakukan dengan memasang kapasitor daya secara paralel terhadap beban listrik tersebut.

¹² Belajar tanpa henti, Faktor Daya Listrik, diakses dari <http://belajar-tanpa-henti.blogspot.co.id/2015/03/faktor-daya-listrik-power-faktor.html>, pada tanggal 1 maret 2017.



Hal ini dikarenakan pada faktor daya listrik yang rendah, peralatan listrik banyak menarik daya reaktif induktif sehingga perlu dikompensir dengan daya reaktif kapasitif agar faktor daya listrik dari peralatan tersebut menjadi lebih besar.

Beberapa strategi untuk koreksi faktor daya adalah :

1. Meminimalkan operasi dari beban motor yang ringan atau tidak bekerja
2. Menghindari operasi dari peralatan listrik diatas tegangan rata – ratanya
3. Mengganti motor – motor yang sudah tua dengan energi efisien motor. Meskipun dengan energi efisien motor, bagaimanapun faktor daya dipengaruhi oleh beban yang variasi. Motor ini harus dioperasikan sesuai dengan kapasitas rata – ratanya untuk memperoleh faktor daya tinggi.
4. Memasang kapasitor pada jaringan AC untuk menurunkan medan dari daya reaktif.

Selain itu, pemasangan kapasitor dapat menghindari :

1. Trafo kelebihan beban (overload), sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia
2. Voltage drops pada line ends
3. Kenaikan arus / suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi – rugi.

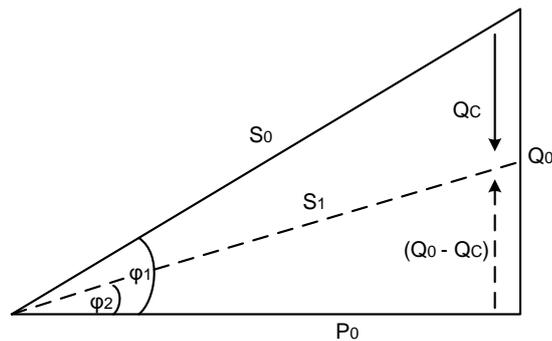
Untuk pemasangan Capasitor Bank diperlukan :

1. Kapasitor, dengan jenis yang cocok dengan kondisi jaringan
2. Regulator, dengan pengaturan daya tumpuk kapasitor (Capasitor Bank) otomatis
3. Kontaktor, untuk switching kapasitor
4. Pemutus tenaga, untuk proteksi tumpuk kapasitor.

Energi listrik digunakan berbanding lurus dengan biaya produksi yang dikeluarkan. Semakin besar energi listrik yang digunakan maka semakin besar biaya produksi yang dibutuhkan. Dengan menggunakan power monitoring system dapat diketahui pemakaian energi listrik dan kondisi energi listrik dari peralatan listrik sehingga



meningkatkan efisiensi dari energi listrik yang digunakan dalam pekerjaan dan meminimalkan rugi – rugi pada sistem untuk penyaluran energi listrik yang lebih efisien dari sumber listrik ke beban.



Gambar 2.11 Kompensasi daya reaktif

2.4 Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan listrik untuk meningkatkan *power factor* (PF) yang akan mempengaruhi besarnya arus (Ampere). Biasanya rating kapasitor daya dapat ditentukan setelah didapat data-data dari peralatan listrik, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan rating kapasitor tersebut. Besarnya kompensasi daya reaktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \dots\dots\dots(2.18)^{13}$$

Keterangan :

Q_c = Besarnya kompensasi kapasitor daya (kVAR)

P = Daya aktif atau beban listrik (kW)

$\tan \phi_1$ = Diperoleh dari faktor daya listrik / $\cos \phi$ awal

$\tan \phi_2$ = Diperoleh dari faktor daya listrik / $\cos \phi$ yang diinginkan

Seperti kita ketahui bahwa harga $\cos \phi$ adalah mulai dari 0 s/d 1. Berarti kondisi terbaik yaitu pada saat harga P (kW) maksimum [P (kW) = S (kVA)] atau harga $\cos r = 1$ dan ini disebut juga dengan $\cos r$ yang terbaik. Namun dalam kenyataannya harga $\cos r$ yang ditentukan oleh PLN sebagai pihak yang mensuplai

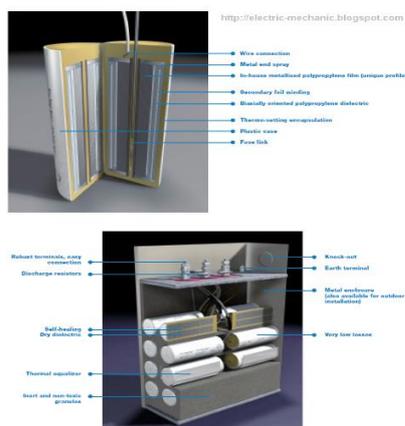
¹³ Pabla, AS. Sistem Distribusi Daya Listrik. 1991. (287)



daya adalah sebesar 0,85. Jadi untuk harga $\cos r < 0,85$ berarti pf dikatakan jelek. Jika pf pelanggan jelek (rendah) maka kapasitas daya aktif (kW) yang dapat digunakan pelanggan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun sering dengan semakin menurunnya pf sistem kelistrikan pelanggan.

Untuk memperbesar harga $\cos \phi$ (pf) yang rendah hal yang mudah dilakukan adalah memperkecil sudut ϕ sehingga menjadi $\phi 1$ berarti $\phi > \phi 1$. Sedang untuk memperkecil komponen daya reaktif (kVAR). Berarti komponen daya reaktif yang ada bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor. Proses pengurangan itu bisa terjadi karena kedua beban (induktor dan kapasitor) arahnya berlawanan akibatnya daya reaktif menjadi kecil. Bila daya reaktif menjadi kecil sementara daya aktif tetap maka harga pf menjadi besar akibatnya daya nyata (kVA) menjadi kecil sehingga rekening listrik menjadi berkurang.

Kapasitor – kapasitor statik biasanya digunakan untuk perbaikan faktor daya, sehubungan dengan tidak adanya bagian-bagian yang bergerak, instalasi pemeliharaannya termasuk sederhana. Keuntungan lain bahwa kapasitor-kapasitor ini dapat dipasang pada tiang penyangga atau dinding bilamana tempat dilantai tidak tersedia⁵



Gambar 2.12 Bagian Kapasitor Bank

⁵ Neidle, Michael. Teknologi Instalasi Listrik. 1991. (208)



2.4.1 Pembagian Kapasitor

Kapasitor dibagi atas dua kelompok, yaitu :

a. kapasitor tetap

Kapasitor tetap merupakan kapasitor yang mempunyai nilai kapasitansi yang tetap.



Gambar 2.13 Simbol Kapasitor Tetap

Untuk mengetahui besarnya nilai kapaitansi dapat dibaca melalui kode angka pada badan kapasitor tersebut terdiri dari tiga angka. Angka pertama dan kedua menunjukkan angka atau nilai, angka ketiga menunjukkan faktor pengali atau nilai nol.



Gambar 2.14 Kapasitor Tetap

b. Kapasitor Tidak Tetap

Kapasitor tidak tetap adalah kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi yang dapat diubah-ubah. Kapasitor ini terdiri dari :

a. Kapasitor Trimer

Kapasitor trimer adalah kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnya dengan obeng

b. Kapasitor Varco



Kapasitor varco adalah kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat diubah-ubah dengan memutar poror yang tersedia (bentuknya menyerupai potensio meter)

KAPASITOR VARIABEL (VARIABLE CAPACITOR)

Nama Komponen	Gambar	Simbol
VARCO (Variable Condensator)		
Trimmer		

Gambar 2.15 Simbol dan Bentuk Kapasitor variabel

2.4.1 Tipe kapasitor Bank

Ditinjau dari cara kerjanya, kapasitor bank dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. *Capacitor bank Fixed type*, dengan memberikan beban *capasitive* yang tetap walaupun terdapat perubahan beban. Biasanya digunakan pada beban langsung seperti pada motor induksi. Nilai yang aman adalah 5% dari kapasitas motor, pertimbangannya adalah kondisi saat tanpa beban.
2. *Automatic type*, memberikan beban *capasitive* yang bervariasi sesuai dengan kondisi beban. Jenis panel ini dilengkapi dengan sebuah *Power Factor Controller* (PFC). PFC akan menjaga *cos phi* jaringan sesuai dengan target yang ditentukan. Untuk beban yang berfluktuasi dengan cepat digunakan *Static Var Compensator type* (SVC) yang menggunakan Thyristor sebagai switchernya. Sedangkan untuk fluktuasi beban yang tidak terlalu cepat digunakan *Dynamic Var Compensator* dengan menggunakan *Magnetic Contactor* serta *PFC relay* sebagai switchernya.



Merek *capacitor* yang tersedia antara lain : Shizuki, Epcos Siemen, Merlin Gerin/Schneider, Nokian, Vishay, Circutor.¹⁴

2.4.2 Proses Kerja Kapasitor Bank

Kapasitor yang akan digunakan untuk meperbesar pf dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya treaktif ke beban. Keran beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil.

Rugi-rugi daya sebelum dipasang kapasitor :

$$\text{Rugi daya aktif} = I^2 R \text{ (Watt)}$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = I^2 \times X_c \text{ (VAR)}$$

Rugi-rugi daya sesudah dipasang kapasitor :

$$\text{Rugi daya aktif} = (I^2 - I_c^2) R \text{ (Watt)}$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = (I^2 - I_c^2) \times X_c \text{ (VAR)}$$

2.4.3 Cara Pemasangan Kapasitor Paralel

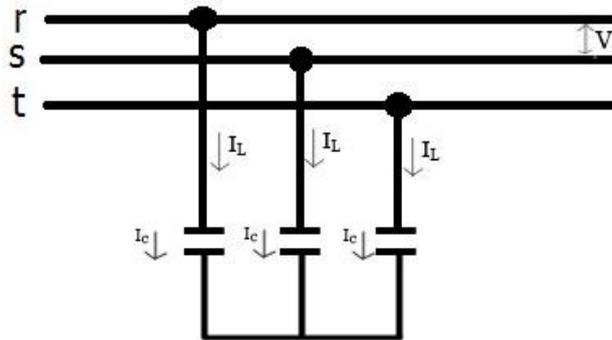
Dalam sistem tiga phasa terdapat dua cara pemasangan kapasitor paralel untuk perbaikan faktor daya, yaitu :

¹⁴ Velsaravanan-smvelmurugen, Capacitor bank design, diakses dari, <http://velsaravanan-smvelmurugen.blogspot.co.id/2012/04/capacitor-bank-design.html?m=1>, pada tanggal 3 april 2017



1. Hubungan Bintang

Sistem pemasangan kapasitor hubungan bintang dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.16 Kapasitor Hubungan Bintang

Dalam hubungan bintang, arus perphasanya adalah sama dengan arus saluran ($I_P = I_L$) sedangkan untuk tegangan setiap fasanya $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari tegangan saluran ($V_P = \frac{1}{\sqrt{3}} V_L$), sehingga :

$$X_c = \frac{V_c}{I_c} \dots\dots\dots(2.19)$$

Arus yang mengalir melalui kapasitor untuk hubungan bintang adalah perbandingan daya reaktifnya dengan tegangan setiap fasa.

$$I_c = \frac{Q_c}{V_c} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

$$V_c = V_P = \frac{V}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Untuk mencari kapasistansi kapasitor dalam hubungan bintang dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_c} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

- ω = $2 \times \pi \times f$
- F = 50 Hz
- Q_c = Daya Reaktif Kapasitor (VAR)
- C = Kapasistansi Kapasitor (Farad)

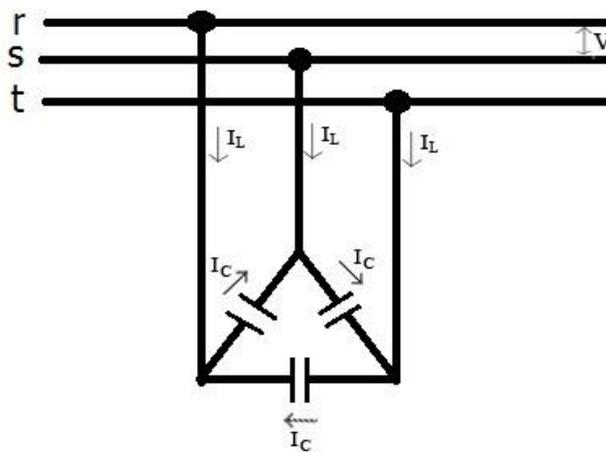


I_c = Arus yang mengalir pada kapasitor (Ampere)

X_c = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

2. Hubungan Segitiga

Hubungan pemasangan kapasitor hubungan segitiga dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.17 kapasitor hubungan segitiga

Dalam hubungan segitiga arus per phasanya = $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dari arus saluran, ini berarti $I_P = \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_L$ sedangkan tegangan perphasanya adalah sama dengan tegangan saluran ($V_P = V_L$).

Sama seperti hubungan bintang maka pada hubungan segitiga, arus yang mengalir melalui kapasitor adalah perbandingan antara tegangan setiap phasa dan reaktansi kapasitifnya, dapat dilihat dari persamaan-persamaan dibawah ini, yaitu :

$$X_C = \frac{V_c}{I_c} \dots\dots\dots(2.23)$$

Arus yang mengalir melalui kapasitor untuk hubungan segitiga adalah perbandingan daya reaktifnya dengan tegangan setiap phasa.

$$I_C = \frac{Q_c}{V_c} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :



$$V_C = V_P = V_L \dots\dots\dots(2.25)$$

Sedangkan untuk kapasistansinya dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana :

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

$$F = 50 \text{ Hz}$$

$$Q_C = \text{Daya Reaktif Kapasitor (VAR)}$$

$$C = \text{Kapasistansi Kapasitor (Farad)}$$

$$I_C = \text{Arus yang mengalir pada kapasitor (Ampere)}$$

$$X_C = \text{Reaktansi Kapasitif (Ohm)}$$

2.4.4 Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

Cara pemasangan instalasi kapasitor dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu : *global compensation, individual compensation, group compensation.*

1. *Individual Compensation*

Pada cara ini, kapasitor bank dipasang hanya di bus yang ingin diperbaiki cos phi nya. Keuntungan dari cara ini adalah cos phi di setiap bus selalu baik. Selain itu juga cos phi sistem akan baik. Kerugian dari sitem ini adalah terlalu boros dan harganya mahal.

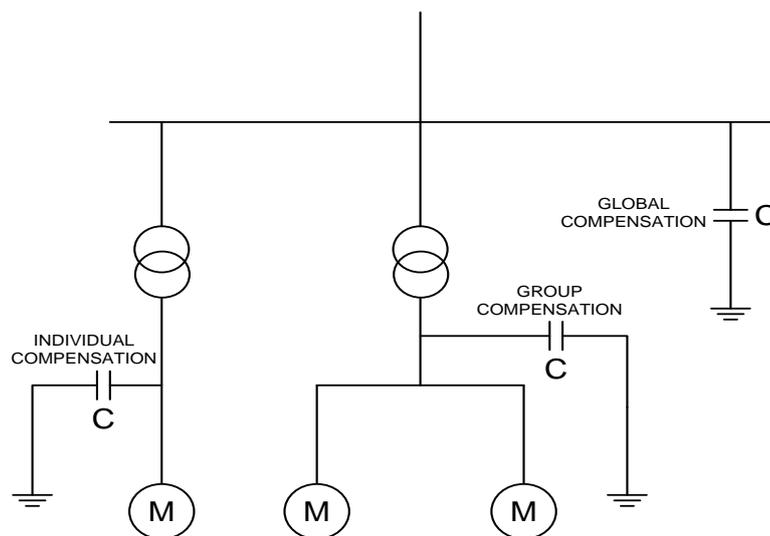
2. *Group Compensation*

Sistem group ini adalah suatu cara pemasangan kapasitor bank yang ditempatkan di bus teratas dalam suatu group didala suatu interkoneksi (bukan di bus teratas keseluruhan sistem). Keuntungan dari cara ini adalah dapat memperbaiki cos phi atau faktor daya dalam suatu group. Kekurangan dari sistem ini adalah meskipun sudah memperbaiki faktor daya dalam suatu group, namun tetap tidak bisa memperbaiki faktor daya secara keseluruhan.



3. Global Compensation

Adalah cara pemasangan kapasitor yang dipasang di bagian bus utama suatu sistem. Tujuan utama dari pemasangan ini adalah untuk memperbaiki faktor daya di bus utama atau sistem secara keseluruhan. Keuntungan dari sistem ini adalah harganya murah dan faktor daya sistem bagus, sedangkan kelemahannya adalah tidak dapat memperbaiki faktor daya pada setiap bus beban sehingga seringkali terjadi drop tegangan dan faktor daya buruk pada setiap bus beban yang memiliki beban dinamik (motor)



Gambar 2. 18 Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

Namun pada dasarnya dari ketiga cara diatas tidak ada yang terbaik atau terburuk, namun dalam memilih cara pemasangan kapasitor bank harus disesuaikan dengan kebutuhannya tidak asal pasang di segala posisi. Selain itu karena harga kapasitor bank yang mahal amak dalam pemilihan spesifikasi kapasitor bank harus disesuaikan dengan kebutuhan. Misalnya jika ingin memperbaiki faktor daya dari suatu sistem, harus mencari dulu nilai kapasitor bank (VAR) yang ingin dipasang.



2.4.5 Komponen – Komponen Kapasitor Bank

1. *Main switch / load Break switch*

Main switch ini sebagai peralatan kontrol dan isolasi jika ada pemeliharaan panel . Sedangkan untuk pengaman kabel / instalasi sudah tersedia disisi atasnya dari PDU. *Main switch* atau lebih dikenal *load break switch* adalah peralatan pemutus dan penyambung yang sifatnya *on load* yakni dapat diputus dan disambung dalam keadaan berbeban, berbeda dengan *on-off switch* model *knife* yang hanya dioperasikan pada saat tidak berbeban .Untuk menentukan kapasitas yang dipakai dengan perhitungan minimal 25 % lebih besar dari perhitungan KVar terpasang dari sebagai contoh :Jika daya kvar terpasang 400 Kvar dengan arus 600 Ampere , maka pilihan kita berdasarkan $600 \text{ A} + 25 \% = 757 \text{ Ampere}$ yang dipakai size 800 Ampere.

2. Kapasitor Breaker

Kapasitor Breaker digunakan untuk mengamankan instalasi kabel dari breaker ke Kapasitor bank dan juga kapasitor itu sendiri. Kapasitas breaker yang digunakan sebesar 1,5 kali dari arus nominal dengan $I_m = 10 \times I_r$. Untuk menghitung besarnya arus dapat digunakan rumus $I_n = Q_c / 3 \cdot V_L$. Sebagai contoh : masing masing steps dari 10 steps besarnya 20 Kvar maka dengan menggunakan rumus diatas didapat besarnya arus sebesar 29 ampere , maka pemilihan kapasitas breaker sebesar $29 + 50 \% = 43 \text{ A}$ atau yang dipakai 40 Ampere. Selain breaker dapat pula digunakan Fuse , Pemakaian Fuse ini sebenarnya lebih baik karena respon dari kondisi *over current* dan *Short circuit* lebih baik namun tidak efisien dalam pengoperasian jika dalam kondisi putus harus selalu ada penggantian fuse. Jika memakai fuse perhitungannya juga sama dengan pemakaian breaker.

3. *Magnetic Contactor*

Magnetic contactor diperlukan sebagai Peralatan kontrol. Beban kapasitor mempunyai arus puncak yang tinggi , lebih tinggi dari beban motor. Untuk pemilihan *magnetic contactor* minimal 10 % lebih tinggi dari arus nominal (pada



AC 3 dengan beban induktif/kapasitif). Pemilihan magnetic dengan range ampere lebih tinggi akan lebih baik sehingga umur pemakaian magnetic contactor lebih lama.

4. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang akan berfungsi sebagai penyeimbang sifat induktif. Kapasitas kapasitor dari ukuran 5 Kvar sampai 60 Kvar. Dari tegangan kerja 230 V sampai 525 Volt.

5. Reactive Power Regulator

Peralatan ini berfungsi untuk mengatur kerja kontaktor agar daya reaktif yang akan disupply ke jaringan/ system dapat bekerja sesuai kapasitas yang dibutuhkan. Dengan acuan pembacaan besaran arus dan tegangan pada sisi utama Breaker maka daya reaktif yang dibutuhkan dapat terbaca dan regulator inilah yang akan mengatur kapan dan berapa daya reaktif yang diperlukan. Peralatan ini mempunyai bermacam macam steps dari 6 steps , 12 steps sampai 18 steps. Peralatan tambahan yang biasa digunakan pada panel kapasitor antara lain :

1. Push button on dan push button off yang berfungsi mengoperasikan magnetic contactor secara manual.- Selektor auto – off – manual yang berfungsi memilih system operasional auto dari modul atau manual dari push button.
2. Exhaust fan + thermostat yang berfungsi mengatur ambein temperature dalam ruang panel kapasitor. Karena kapasitor , kontaktor dan kabel penghantar mempunyai disipasi daya panas yang besar maka temperature ruang panel meningkat.setelah setting dari thermostat terlampaui maka exhust fan akan otomatic berhenti.



6. Setup C/K PFR

Capacitor Bank Agar Power Factor Regulator (PFR) yang terpasang pada Panel Capacitor Bank dapat bekerja secara maksimal dalam melakukan otomatisasi mengendalikan kerja capacitor maka diperlukan setup C/K yang sesuai.

2.4.6 Menentukan Ukuran Kapasitor untuk Memperbaiki Faktor Daya

Ukuran kapasitor untuk memperbaiki faktor daya sistem pada titik-titik tertentu dapat secara manual untuk sistem distribusi yang relatif kecil, KVAR kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya $\cos \phi_1$ sampai dengan $\cos \phi_2$. Ada beberapa Metode dalam mencari ukuran kapasitor untuk perbaikan faktor daya seperti dengan metode perhitungan sederhana, metode tabel kompensasi dan metode diagram¹⁵

2.4.6.1 Metode perhitungan sederhana

Metode ini digunakan agar dengan cepat bisa menentukan Qc. Angka yang harus diingat :

0.84 untuk **setiap kW beban**. Yaitu diambil dari :

Perkiraan rata-rata faktor daya suatu instalasi : 0.65

Faktor daya yang diinginkan : 0.95

Maka dari tabel $\cos \phi$ didapat angka : **0.84**

CONTOH:

Untuk menghindari denda PLN suatu instalasi dengan beban 100 kW memerlukan daya reaktif (Qc) seb

esar = $0.84 \times 100 \text{ kW} = 84 \text{ kvar}$

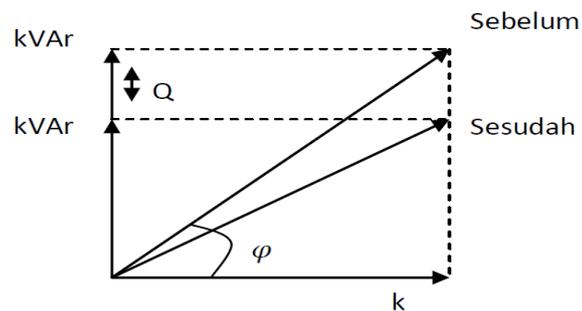
¹⁵ Schneider Electric. 2014. Koreksi Faktor Daya. Hal 5-4



2.4.6.2 Metode Diagram

Dalam menentukan besarnya kapasitor yang dibutuhkan diperlukan diagram sebelum kompensasi dan sesudah kompensasi maka dapat di peroleh persamaan sebagai berikut $Q_c = kW(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$

Seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 2.19 Diagram Daya untuk menentukan Kapasitor

2.4.6.3 Metode Tabel Kompensasi

Metode ini menggunakan tabel $\cos \phi$. Data yang diperlukan adalah:

Daya beban total dan faktor daya ($\cos \phi$)

CONTOH : Sebuah instalasi pabrik memiliki faktor daya : 0.70 untuk beban puncak 600 kW. Untuk meningkatkan faktor daya menjadi 0.93 diperlukan daya kapasitor sebesar :

Dari tabel didapat angka : 0.62 Maka Daya Reaktif yang diperlukan = **0.62 x 600 kW = 372 kvar**

Jika tidak memiliki data untuk daya beban dapat dihitung menggunakan rumus:

Daya Beban = $V \times I \cos \phi \times \sqrt{3}$, dengan :

V = Tegangan Jaringan/Instalasi

I = Arus Jaringan/Instalasi

$\cos \phi$ = Faktor Daya Jaringan/Instalasi



Tabel 2.2 Tabel Cos ϕ ¹⁶

SEBELUM KOMPENSAASI		SESUDAH KOMPENSAASI (Faktor Daya yang diinginkan)															
Cos ϕ		0.85	0.88	0.87	0.88	0.88	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.96	0.98	0.87	0.88	0.98	1.00
	tg ϕ	0.52	0.59	0.57	0.54	0.51	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.00
0.40	2.29	1.67	1.70	1.72	1.75	1.78	1.81	1.84	1.87	1.90	1.93	1.96	2.00	2.04	2.09	2.15	2.29
0.41	2.22	1.60	1.63	1.66	1.68	1.71	1.74	1.77	1.80	1.83	1.86	1.90	1.93	1.97	2.02	2.08	2.22
0.42	2.16	1.54	1.57	1.59	1.62	1.65	1.68	1.71	1.73	1.77	1.80	1.83	1.87	1.91	1.96	2.02	2.16
0.43	2.10	1.48	1.51	1.53	1.56	1.59	1.62	1.64	1.67	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.90	1.96	2.10
0.44	2.04	1.42	1.45	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.79	1.84	1.90	2.04
0.45	1.98	1.36	1.39	1.42	1.44	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.62	1.66	1.69	1.73	1.78	1.84	1.98
0.46	1.93	1.31	1.34	1.36	1.39	1.42	1.45	1.47	1.50	1.54	1.57	1.60	1.64	1.68	1.73	1.79	1.93
0.47	1.88	1.26	1.28	1.31	1.34	1.37	1.39	1.42	1.45	1.48	1.52	1.55	1.59	1.63	1.67	1.74	1.88
0.48	1.83	1.21	1.23	1.26	1.29	1.32	1.34	1.37	1.40	1.43	1.46	1.50	1.54	1.58	1.62	1.69	1.83
0.49	1.78	1.16	1.19	1.21	1.24	1.27	1.29	1.32	1.35	1.38	1.42	1.45	1.49	1.53	1.58	1.64	1.78
0.50	1.73	1.11	1.14	1.17	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.40	1.44	1.48	1.53	1.59	1.73
0.51	1.69	1.07	1.09	1.12	1.15	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29	1.32	1.36	1.39	1.44	1.48	1.54	1.69
0.52	1.64	1.02	1.05	1.08	1.10	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.39	1.44	1.50	1.64
0.53	1.60	0.98	1.01	1.03	1.06	1.09	1.12	1.14	1.17	1.20	1.24	1.27	1.31	1.35	1.40	1.46	1.60
0.54	1.56	0.94	0.97	0.99	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.16	1.20	1.23	1.27	1.31	1.36	1.42	1.56
0.55	1.52	0.90	0.93	0.95	0.98	1.01	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.23	1.27	1.32	1.38	1.52
0.56	1.48	0.86	0.89	0.91	0.94	0.97	1.00	1.02	1.05	1.08	1.12	1.15	1.19	1.23	1.28	1.34	1.48
0.57	1.44	0.82	0.85	0.87	0.90	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	1.19	1.24	1.30	1.44
0.58	1.40	0.78	0.81	0.84	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.20	1.26	1.40
0.59	1.37	0.75	0.78	0.80	0.83	0.86	0.88	0.91	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.17	1.23	1.37
0.60	1.33	0.71	0.74	0.77	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.04	1.08	1.13	1.19	1.33
0.61	1.30	0.68	0.71	0.73	0.76	0.79	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.97	1.01	1.05	1.10	1.16	1.30
0.62	1.27	0.65	0.67	0.70	0.73	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.97	1.01	1.06	1.12	1.27
0.63	1.23	0.61	0.64	0.67	0.69	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.94	0.98	1.03	1.09	1.23
0.64	1.20	0.58	0.61	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.77	0.81	0.84	0.87	0.91	0.95	1.00	1.06	1.20
0.65	1.17	0.55	0.58	0.60	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74	0.77	0.81	0.84	0.88	0.92	0.97	1.03	1.17
0.66	1.14	0.52	0.54	0.57	0.60	0.63	0.65	0.68	0.71	0.74	0.78	0.81	0.85	0.89	0.94	1.00	1.14
0.67	1.11	0.49	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.86	0.90	0.97	1.11
0.68	1.08	0.46	0.48	0.51	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.94	1.08
0.69	1.05	0.43	0.46	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.76	0.80	0.85	0.91	1.05
0.70	1.02	0.40	0.43	0.45	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.82	0.88	1.02
0.71	0.99	0.37	0.40	0.43	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.79	0.85	0.99
0.72	0.96	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.64	0.67	0.71	0.76	0.82	0.96
0.73	0.94	0.32	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.69	0.73	0.79	0.94
0.74	0.91	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.51	0.55	0.58	0.62	0.66	0.71	0.77	0.91
0.75	0.88	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.59	0.63	0.68	0.74	0.88
0.76	0.86	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.56	0.60	0.65	0.71	0.86
0.77	0.83	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	0.54	0.58	0.63	0.69	0.83
0.78	0.80	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.51	0.55	0.60	0.66	0.80
0.79	0.78	0.16	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.53	0.57	0.63	0.78
0.80	0.75	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.50	0.55	0.61	0.75
0.81	0.72	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.40	0.43	0.47	0.52	0.58	0.72
0.82	0.70	0.08	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27	0.30	0.34	0.37	0.41	0.45	0.49	0.56	0.70
0.83	0.67	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.38	0.42	0.47	0.53	0.67
0.84	0.65	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.32	0.35	0.40	0.44	0.50	0.65
0.85	0.62	0.00	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37	0.42	0.48	0.62
0.86	0.59		0.00	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.34	0.39	0.45	0.59
0.87	0.57			0.00	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.42	0.57
0.88	0.54				0.00	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.40	0.54
0.89	0.51					0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.51
0.90	0.48						0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.16	0.19	0.23	0.28	0.34	0.48

¹⁶ Schneider Electric.2017. Koreksi Faktor Daya. Hal 5-4