

## BAB II

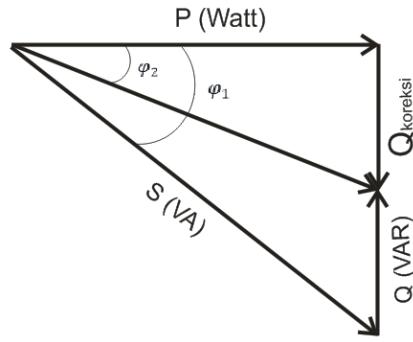
### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik (Dugan, 1996).

Suatu utilitas dapat mendefinisikan kualitas daya sebagai keandalan dan menunjukkan statistik yang menunjukkan bahwa sistemnya 99,98 persen andal. Peralatan beban dapat menentukan kualitas daya sebagai karakteristik catu daya yang memungkinkan peralatan berfungsi dengan benar. Kualitas daya pada akhirnya adalah yang dijadikan permasalahan oleh konsumen. Oleh karena itu definisi masalah kualitas daya apapun dapat dimanifestasikan atau diwujudkan dalam tegangan, arus atau frekuensi yang menghasilkan kegagalan/ kesalahan pengoperasian peralatan pelanggan (McGraw-Hill, 2004).

(Arwindra Rizqiawan, 2010, *Memahami Faktor Daya-Konversi ITB*)  
Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor pada jaringan tersebut. Kapasitor adalah komponen listrik yang justru menghasilkan daya reaktif pada jaringan yang tersambung. Pada jaringan yang bersifat induktif apabila kapasitor dipasang maka daya reaktif yang harus disediakan oleh sumber akan berkurang sebesar  $Q_{koreksi}$  (yang merupakan daya reaktif berasal dari kapasitor). Karena daya aktif tidak berubah sedangkan daya reaktif berkurang, maka dari sudut pandang sumber, segitiga daya yang baru ( $Q_{koreksi}$ ) diperoleh di tunjukkan pada Gambar 2.1. Terlihat bahwa sudut  $\varphi$  mengecil akibat pemasangan kapasitor tersebut sehingga faktor daya jaringan akan naik.



**Gambar 2.1** Perbaikan Faktor Daya

Perbandingan daya aktif (kW) dengan daya nyata (kVA) dapat didefinisikan sebagai faktor daya (PF) atau cos phi. Seperti diketahui bahwa harga cos phi adalah mulai dari 0-1, untuk kondisi terbaik yaitu harga cos phi = 1. Namun dalam kenyataannya harga cos phi yang ditentukan oleh PLN sebagai pihak yang mensuplai daya adalah sebesar 0,85 sampai dengan 0,95 sesuai dengan SPLN 70-1:1985.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Kualitas Daya Listrik

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh konsumen. Kualitas daya yang baik, antara lain meliputi kapasitas daya yang memenuhi dan tegangan yang selalu konstan dan nominal. Tegangan harus selalu dijaga konstan, terutama rugi tegangan yang terjadi di ujung saluran. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat-alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat-alat elektronik). Demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan alat-alat listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Salah satu syarat penyambungan alat-alat listrik, yaitu tegangan sumber harus sama dengan tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. Tegangan terlalu tinggi akan dapat merusak alat-alat listrik.

## 2.2.2 Daya Listrik pada Arus Bolak-Balik (*Alternating Current*)

Dalam sistem tenaga listrik daya adalah jumlah energi yang digunakan oleh beban untuk melakukan usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan *Watt*.

### 1. Daya aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya dan satuan daya aktif adalah *Watt*. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain-lain.

$$P_{1-fasa} = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{3-fasa} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

### 2. Daya reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang tidak termanfaatkan oleh konsumen, tetapi hanya ada di jaringan dan satuan daya reaktif adalah (*Volt-Ampere Reactive*). Misalnya transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain.

$$Q_{1-fasa} = V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$Q_{3-fasa} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

### 3. Daya semu (S)

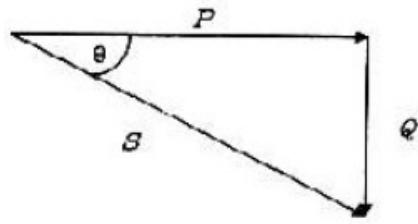
Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan dan satuan daya semu adalah *Volt-Ampere* (VA).

$$S_{1-fasa} = V \cdot I$$

$$S_{3-fasa} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

### 4. Segitiga Daya

Segitiga daya adalah segitiga yang menghubungkan antara tipe-tipe daya yang berbeda (daya aktif, daya reaktif dan daya semu).



**Gambar 2.2 Segitiga Daya**

Dimana :

$$S = V \cdot I$$

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

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

### 2.2.3 Faktor Daya

Faktor daya (PF/ Cos φ) merupakan perbandingan antara daya aktif (P) yang satuannya watt (W) dengan daya semu (S) satuannya Volt Ampere (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya di nyatakan dalam Cos φ.

$$\begin{aligned}\text{Faktor Daya} &= \text{Daya aktif (P) / Daya semu (S)} \\ &= \text{Watt / Volt Ampere} \\ &= V \cdot I \cos \varphi / V \cdot I \\ &= \cos \varphi\end{aligned}$$

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0-1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang sangat ideal adalah apabila nilai faktor dayanya sangat mendekati satu.

$$\begin{aligned}\tan \varphi &= \text{Daya reaktif (Q) / Daya aktif (P)} \\ &= \text{kVAR / kW}\end{aligned}$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAR berubah sesuai dengan faktor daya), maka dapat dituliskan seperti :

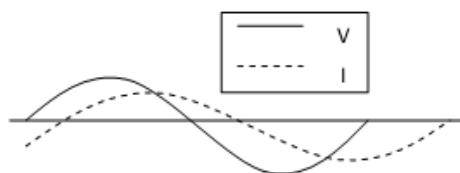
$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya aktif (P)} \times \tan \varphi$$

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah:

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = \text{Daya aktif (P)} \times (\text{Tan } \varphi_{1\text{lama}} - \text{Tan } \varphi_{2\text{baru}})$$

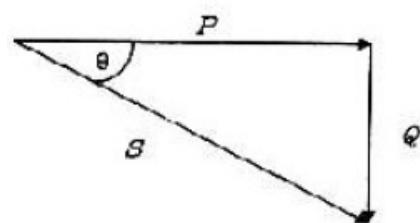
#### 2.2.3.1 Faktor daya terbelakang (Lagging)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan “*lagging*”.



**Gambar 2.3** Faktor daya *lagging*

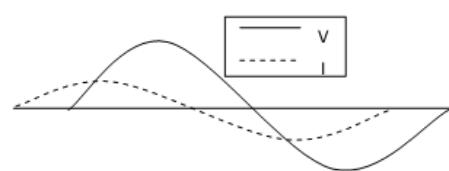
Faktor daya ini terjadi apabila bebannya induktif, seperti motor induksi, generator asinkron dan transformator. Beban induktif merupakan beban yang menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR).



**Gambar 2.4** Segitiga daya untuk beban induktif

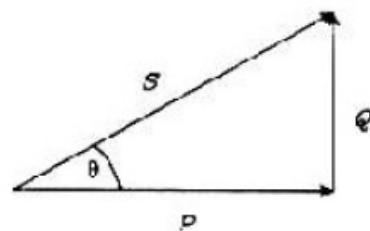
#### 2.2.3.2 Faktor daya mendahului (Leading)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah apabila arus mendahului tegangan, maka faktor daya ini dikatakan “*leading*”.



**Gambar 2.5** Faktor daya *leading*

Faktor daya ini terjadi apabila bebannya kapasitif seperti kapasitor, generator sinkron, motor sinkron. Beban kapasitif merupakan beban yang menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR).



**Gambar 2.6** Segitiga daya untuk beban kapasitif

#### 2.2.4 Penyebab Faktor Daya Rendah

Jika *power factor* (PF) lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang di gunakan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya PF sistem kelistrikan. Akibat menurunnya PF maka akan timbul beberapa persoalan :

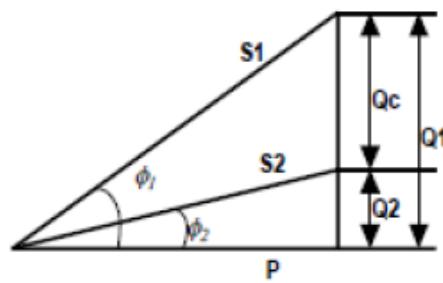
1. Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi.
2. Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR.
3. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan.

Secara teoritis sistem dengan PF yang rendah akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari pensuplai menjadi besar. Hal ini menyebabkan rugi-rugi daya (daya reaktif) dan jatuh tegangan menjadi besar.

#### 2.2.5 Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya umumnya adalah penambahan komponen sebagai pembangkit daya reaktif yang memungkinkan untuk mensuplai kebutuhan kVAR pada beban-beban induktif, untuk merencanakan suatu sistem dalam memperbaiki faktor daya.

Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor.



**Gambar 2.7** Prinsip perbaikan faktor daya

Memperbaiki faktor daya adalah memperbaiki perbedaan besar sudut daya aktif dengan daya semu yang digunakan dalam rangkaian AC atau perbedaan sudut phasa antara tegangan (V) dan arus (I) yang biasa dinyatakan dalam  $\cos \phi$ .

Keuntungan-keuntungan yang akan diperoleh dari perbaikan faktor daya tersebut antara lain :

1. Pemakaian daya listrik menjadi lebih kecil
2. Rugi-rugi tegangan akan menjadi lebih kecil
3. Pengaturan tegangan menjadi lebih baik

Kompensasi daya reaktif merupakan suatu cara untuk mengurangi daya reaktif, karena daya reaktif adalah daya yang tidak berguna sehingga tidak dapat diubah menjadi tenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban, jadi yang menyebabkan pemborosan energi listrik adalah banyaknya peralatan yang bersifat induktif, otomatis dengan banyaknya peralatan yang bersifat induktif maka faktor daya yang diperoleh sangat kecil.

### **2.2.6 Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya**

Insinyur sistem tenaga biasanya menganggap sebuah kapasitor sebagai generator daya reaktif positif, dan bukannya

sebagai suatu beban yang memerlukan daya reaktif negatif. Konsep ini sangat masuk akal, karena sebuah kapasitor yang menarik daya reaktif negatif dan terpasang paralel dengan sebuah beban induktif akan mengurangi daya reaktif yang seharusnya di suplai seluruhnya oleh sistem kepada beban induktif.

Dengan kata lain, kapasitor mencatut daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif. Hal ini sama saja dengan menganggap sebuah kapasitor sebagai suatu alat yang memberikan arus yang tertinggal (lagging) dan bukannya sebagai alat yang menarik arus yang mendahului (leading). Jadi, sebuah kapasitor variabel yang terpasang paralel pada suatu beban induktif dapat diatur sedemikian rupa sehingga arus yang mendahului pada kapasitor menjadi tepat sama besar dengan komponen arus pada beban induktif yang tertinggal  $90^\circ$  terhadap tegangan, jadi arus total sefasa dengan tegangan. Rangkaian induktif masih memerlukan daya reaktif positif, tetapi daya reaktif nettonya nol. Inilah alasannya mengapa insinyur sistem tenaga lebih suka menganggap kapsitor sebagai pencatut daya reaktif kepada beban induktif.

#### 2.2.6.1 *Kapasitor bank*

Bank kapasitor (*capacitor banks*) adalah peralatan yang digunakan untuk memperbaiki kualitas pasokan energi listrik antara lain memperbaiki mutu tegangan di sisi beban, memperbaiki faktor daya ( $\cos \phi$ ) dan mengurangi rugi-rugi transmisi.

Pada prinsipnya, unit-unit kapasitor terpasang dalam rak baja galvanis untuk membentuk suatu bank kapasitor. Jumlah unit-unit kapasitor pada sebuah bank ditentukan oleh tegangan dan daya yang dibutuhkan. Untuk daya dan tegangan yang lebih tinggi, unit-unit kapasitor dihubungkan secara seri maupun paralel.



**Gambar 2.8 Kapasitor Bank**

- **Elemen kapasitor**

Elemen kapasitor merupakan bagian terkecil dari kapasitor yang berupa belitan aluminium foil dan plastic film. Elemen-elemen kapasitor dihubungkan secara seri untuk membangun tegangan dan dihubungkan secara paralel untuk membangun daya (VAR) pada unit kapasitor.

- **Unit kapasitor**

Sebuah unit kapasitor terdiri dari elemen-elemen kapasitor yang dihubungkan dalam suatu matriks secara seri dan parallel. Unit kapasitor rata-rata terdiri dari 40 elemen-elemen.



**Gambar 2.9 Unit Kapasitor**

#### 2.2.6.2 Proses kerja kapasitor

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.

#### 2.2.6.3 Kapasitor paralel

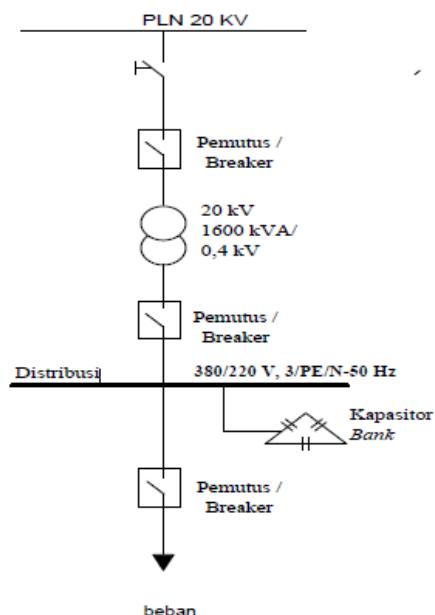
Kapasitor paralel adalah kapasitor yang dipasang secara paralel dengan beban. Kapasitor paralel mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif. Kapasitor paralel digunakan untuk kompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan ujung transmisi. Beban-beban yang mempunyai daya besar sering dijumpai turunnya faktor daya ( $\cos \theta$ ) karena pemakaian listriknya dipergunakan untuk motor-motor induksi dan penerangan yang mempergunakan lampu TL sehingga faktor daya menjadi turun, hal ini sangat merugikan bagi konsumen dimana sesuai peraturan Tarif Dasar Listrik bahwa faktor daya  $<0,85$ , konsumen tersebut disamping membayar biaya pemakaian dan biaya beban juga membayar biaya kVArh.

### 2.2.7 Metode Pemasangan Kapasitor

Cara pemasangan instalasi kapasitor bank dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

#### 1. Kompensasi Terpusat

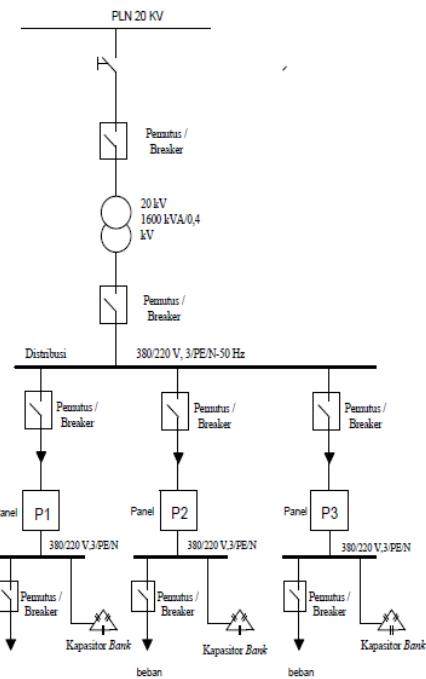
Kapasitor dipasang di induk panel, sehingga arus yang turun hanya di penghantar antara panel induk dan transformator, sedangkan arus yang lewat setelah induk panel tidak turun.



**Gambar 2.10** Kompensasi Terpusat

#### 2. Kompensasi Kelompok

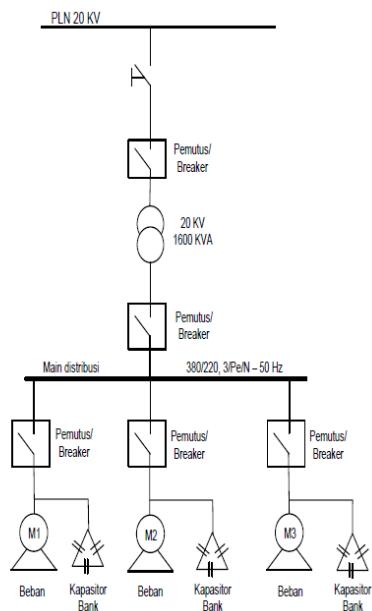
Kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang di panel industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan kva.



**Gambar 2.11 Kompensasi Kelompok**

### 3. Kompensasi Individual

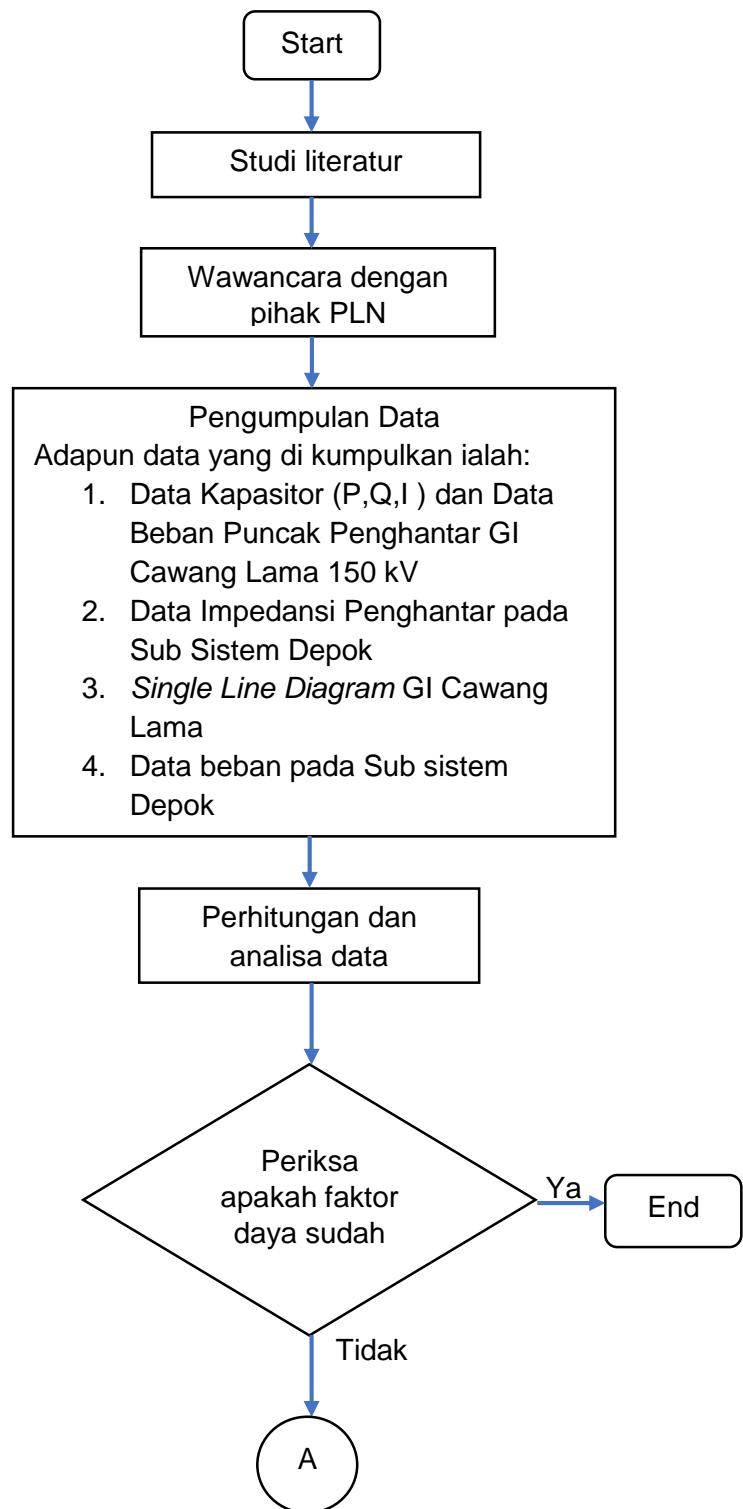
Kapasitor langsung dipasang pada masing-masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar, cara ini lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun kekurangannya adalah harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut.

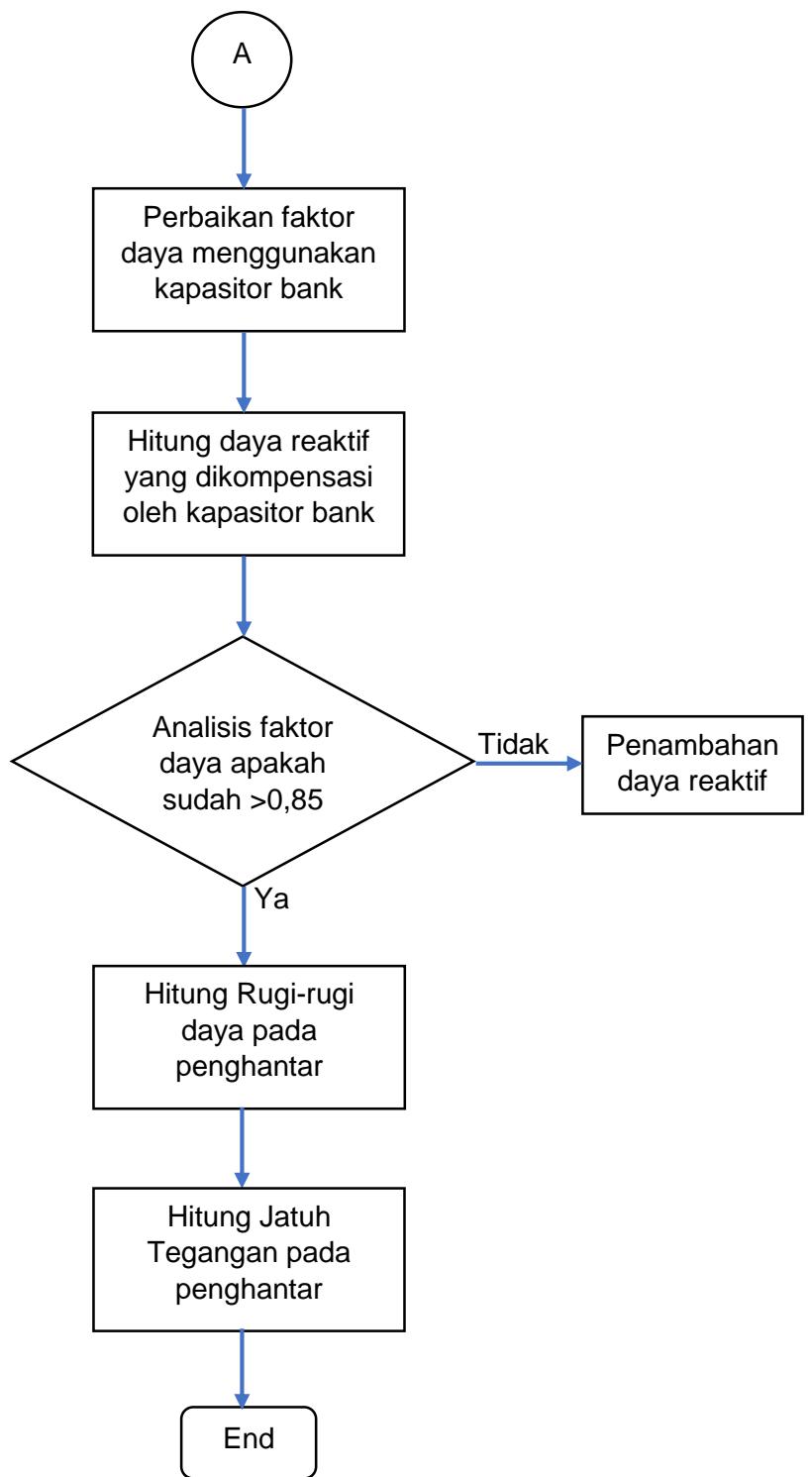


**Gambar 2.12 Kompensasi Individual**

### 2.3 Kerangka Pemikiran

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka perlu adanya susunan kerangka pemikiran yang jelas tahapannya. Adapun kerangka pemikiran yang dilakukan sebagai berikut :





**Gambar 2.13** Diagram Alur Penelitian