

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alat Penghemat Daya Listrik

Alat penghemat daya listrik adalah suatu alat yang oleh perusahaan pembuatnya diklaim mampu menghemat penggunaan daya listrik pada instalasi rumah tinggal. Alat tersebut juga diklaim mampu menghemat biaya pemakaian listrik dari 10 % hingga 30%.¹

Alat penghemat daya listrik bekerja dengan cara memperbaiki faktor daya ($\text{Cos}\phi$) sehingga dapat mengurangi daya reaktif atau Q (VAR) yang dihasilkan oleh peralatan listrik, sehingga memaksimalkan kapasitas jaringan listrik yang kemudian dapat meningkatkan efisiensi penggunaan daya listrik.



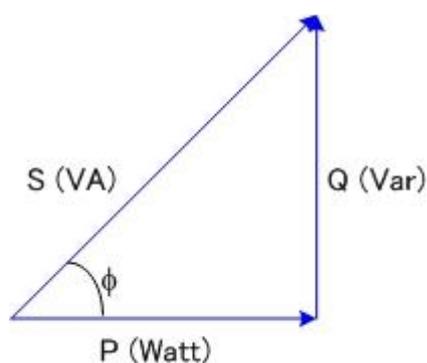
Gambar 2.1 Alat Penghemat Daya Listrik

Alat penghemat daya tersebut dipasang pada rumah, ruko atau kantor dengan daya terpasang antara 450 VA hingga 2200 VA. Tersedia satu stop kontak untuk pemasangan alat penghemat daya tersebut. Alat penghemat daya listrik akan bekerja lebih efektif dan maksimal pada instalasi yang menggunakan peralatan – peralatan beban induktif, seperti lemari es, kipas angin, lampu TL, televisi, motor listrik, blender dan lain – lain.

¹ Anonymous, *Alat Penghemat Daya Listrik*, <https://poweroptimizer.wordpress.com>

2.2 Daya Listrik

Daya listrik adalah laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt, yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik). Daya listrik terbagi atas 3 (tiga) jenis, yaitu Daya Nyata (P) dalam satuan Watt (W), Daya Semu (S) dalam satuan Volt Ampere (VA) dan Daya Reaktif (Q) dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR).²



Gambar 2.2 Segitiga Daya

2.2.1. Daya Nyata (P)

Daya nyata adalah daya yang memang benar – benar digunakan dan terukur pada beban. Daya nyata dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa atau tiga fasa. Secara matematis dapat ditulis :

Untuk 1 (satu) fasa :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.1)$$

Untuk 3 (tiga) fasa :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (2.2)$$

Keterangan :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

² Mohamad Ramdhani, *Rangkaian Listrik*, Erlangga, 2008 Jakarta, halaman 4

2.2.2. Daya Semu (S)

Daya semu adalah nilai tenaga listrik yang melalui suatu penghantar. Daya semu merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus yang melalui penghantar. Daya semu dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu pada satu fasa dan 3 fasa. Secara matematis dapat dituliskan :

Untuk 1 (satu) fasa :

$$S = V \cdot I \quad (2.3)$$

Untuk 3 (tiga) fasa :

$$S = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (2.4)$$

Keterangan :

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

2.2.3. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dihasilkan oleh peralatan – peralatan listrik. Sebagai contoh, pada motor listrik terdapat 2 daya reaktif panas dan mekanik. Daya reaktif panas karena kumparan pada motor dan daya reaktif mekanik karena perputaran. Daya reaktif adalah hasil perkalian dari tegangan dan arus dengan vektor daya. Secara matematis dapat dituliskan :

Untuk 1 (satu) fasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.5)$$

Untuk 3 (tiga) fasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (2.6)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\sin \varphi$ = Besaran Vektor Daya

2.3 Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan elektron – elektron, mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan coulomb/detik atau Ampere.

Arus listrik dibagi atas dua jenis, yaitu arus bolak – balik (*Alternating Current*) dan arus searah (*Dirrect Current*). Arus bolak – balik adalah arus yang nilainya berubah terhadap satuan waktu. Arus bolak – balik biasanya dihasilkan oleh pusat – pusat pembangkit tenaga listrik. Arus searah adalah arus yang nilainya tetap atau konstan terhadap satuan waktu. Arus listrik searah biasanya dihasilkan oleh baterai dan akumulator (*accu*).³

Secara matematis dapat dituliskan :

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.7)$$

Keterangan :

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R = Tahanan (Ohm)

2.4 Tegangan

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Berdasarkan nilai tegangannya, tegangan listrik dibagi atas empat jenis, yaitu tegangan rendah, tegangan menengah, tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi.⁴

Secara matematis dapat dituliskan :

$$V = I \times R \quad (2.8)$$

Keterangan :

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)

³ Mohamad Ramdhani, *Rangkaian Listrik*, Erlangga, 2008, Jakarta, halaman 2

⁴ Mohamad Ramdhani, *Rangkaian Listrik*, Erlangga, 2008, Jakarta, halaman 3

2.5 Faktor Daya

Menurut sejarahnya, penggunaan konsep daya semu (*apparent power*) dan faktor daya (*power factor*) diperkenalkan oleh kalangan industri penyedia daya listrik, yang bisnisnya memindahkan energi listrik dari satu titik ke titik lain. Efisiensi proses pemindahan daya listrik ini terkait langsung dengan biaya energi listrik yang pada gilirannya menjelma menjadi biaya yang harus dibayarkan oleh konsumen. Hal yang mempengaruhi perpindahan energi listrik tersebut adalah faktor daya. Untuk mencapai efisiensi pemindahan energi 100 %, maka rangkaian harus memiliki nilai faktor daya sebesar 1. Namun hal ini sulit dicapai karena adanya rugi – rugi yang ditimbulkan oleh penghantar listrik dan juga beban listrik, terutama beban induktif.⁵

2.5.1 Penyebab Faktor Daya Rendah

Faktor daya yang rendah disebabkan oleh peralatan listrik seperti motor induksi, unit – unit *ballast* yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk gerakannya. Alat – alat seperti ini memerlukan arus listrik untuk membangkitkan medan, sehingga menimbulkan panas dan daya mekanis yang dapat menimbulkan rugi – rugi. Penggunaan kapasitor yang berlebihan dalam suatu instalasi juga akan menyebabkan faktor daya yang buruk, namun hal ini jarang terjadi.

2.5.2 Kerugian Akibat Faktor Daya Rendah

Hal yang menyebabkan menyebabkan rendahnya faktor daya adalah besarnya daya reaktif. Daya reaktif yang terlalu besar ini tidak memberikan nilai kerja, melainkan diserap oleh saluran dan disimpan dalam bentuk elektromagnetik. Dengan bertambahnya daya reaktif, maka faktor daya menjadi rendah, sehingga akan menyebabkan beberapa kerugian, diantara lain :

- a. Kapasitas penyaluran daya dari saluran penghantar akan menurun. Bila faktor daya rendah maka arus akan membesar sedangkan kapasitas penghantar adalah tetap. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya kapasitas penyaluran daya dari saluran penghantar.

⁵ Willim J. Hayt, Jr dan Jack E. Kemmerly dan Steven M. Durbin, *Rangkaian Listrik Edisi Keenam*, Erlangga, Jakarta, 2002, halaman 375

- b. Dengan bertambahnya daya reaktif, maka kebutuhan akan arus induktifnya akan menjadi lebih besar sehingga akan mendapatkan daya nyata, diperlukan penambahan daya semu dan hal ini berarti harus memperbesar kapasitas (kebutuhan instalasi listrik), yaitu dengan memperbesar rating pengaman arus lebih dan ukuran penghantar yang lebih besar. Sehingga dibutuhkan penambahan biaya dengan kata lain kebutuhan listrik yang lebih besar.
- c. Bertambahnya rugi – rugi pada saluran penghantar dan peralatan listrik. Hal ini biasanya berupa rugi – rugi penyaluran daya yang diakibatkan oleh panas yang timbul.

2.5.3 Perbaikan Faktor Daya

Prinsip dasar dari peningkatan faktor daya adalah dengan menyuntikkan arus dengan fase mendahului ke dalam rangkaian agar menetralkan arus yang ketinggalan fase. Salah satu caranya yaitu dengan memasang kapasitor pada rangkaian.

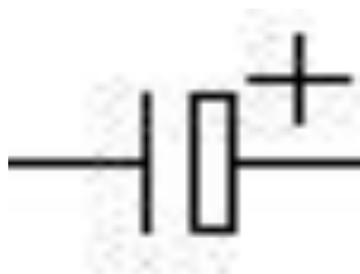
Kebanyakan instalasi industrial menggunakan menggunakan motor induksi untuk mengendalikan beban mekanis. Kecuali jika bekerja menggunakan beban penuh (atau mendekati beban penuh), faktor daya dari motor ini dapat cukup rendah. Akibatnya pemakaian kVA-nya pada beban kecil lebih besar daripada keluarannya. Sebaliknya, beban kecil pada motor ini mengakibatkan tingginya biaya kVA. Jika faktor daya dari jaringan diperbaiki dengan menghubungkan kapasitor ke tiap motor induksi besar, maka kVA permintaan maksimum dari instalasi berkurang. Akibatnya, koreksi faktor daya mempunyai efek sekunder dalam mengurangi arus yang dalirkan oleh kombinasi motor – kapasitor jika dibandingkan dengan motor saja. Tentunya harus diperhatikan bahwa jika perbaikan faktor daya dari suatu instalasi mengakibatkan berkurangnya kVA, perbaikan faktor daya itu tidak mempengaruhi beban dalam kW dari jaringan (karena hal ini tergantung pada banyaknya kerja yang diselesaikan oleh jaringan).⁶

2.6 Kapasitor

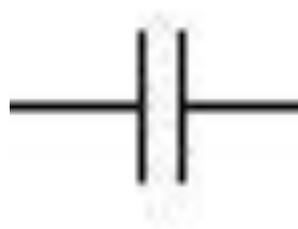
Kapasitor atau Kondensator adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kapasitor memiliki satuan yang disebut Farad (F). Kondensator

⁶ Noel M. Morris, *Aplikasi Listrik dan Elektronika*, PT. Elex Media Komputindo, 1998, Jakarta, hal. 98

diidentifikasi mempunyai dua kaki dan dua kutub, yaitu positif (+) dan negatif (-) serta memiliki cairan elektrolit dan pada umumnya berbentuk tabung, sedangkan kapasitor nilai kapasitansinya lebih rendah, tidak memiliki kutub positif (+) dan negatif (-) pada kakinya, kebanyakan berbentuk bulat pipih berwarna cokelat, merah, hijau seperti tablet.⁷



Gambar 2.3 Simbol Kondensator



Gambar 2.4 Simbol Kapasitor

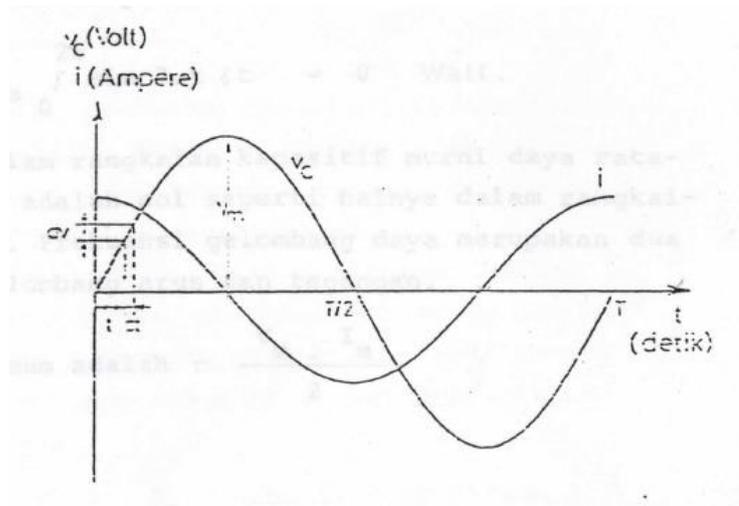
Satuan dari kapasitansi adalah Farad (F), tetapi karena nilai dalam Farad sangat besar, maka lebih sering digunakan :

- Pikofarad (pF) = 1×10^{-12} F
- Nanofarad (nF) = 1×10^{-9} F
- Mikrofarad (μ F) = 1×10^{-6} F

2.6.1 Arus Bolak Balik Kapasitor

Bila tegangan AC dipakai pada kapasitor, maka pertama – tama akan terjadi pengisian muatan pada suatu arah namun kemudian pada setengah perioda lagi pengisian pada arah sebaliknya, Sehingga bila pada suatu saat beda potensial pada kapasitor adalah $V = V_m \times \sin \omega t$ dan besarnya muatan pada kapasitor adalah q coulumb, maka $q = C \times V$, dimana C adalah kapasitansi dalam Farad.

⁷ Anonymous, *Ilmu Listrik 2 Jurusan Teknik Elektronika*, Dinas Pendidikan Pengembangan Politeknik Negeri Medan, Medan, 1986 halaman 10.31



Gambar 2.5 Rangkaian dan bentuk gelombang arus dan tegangan pada rangkaian kapasitif

2.7 Bargainser

Bargainser merupakan alat yang berfungsi sebagai pembatas daya listrik yang digunakan konsumen dan juga berfungsi sebagai pengukur jumlah daya listrik yang digunakan oleh konsumen tersebut (dalam satuan kWh). Ada beberapa batasan daya yang diberikan PLN untuk instalasi rumah tinggal, yaitu 220 VA, 450 VA, 900 VA, 1300 VA dan 2200 VA.

Pada *bargainser* terdapat tiga bagian utama, yaitu :

1. *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Miniature Circuit Breaker (MCB) berfungsi untuk memutuskan daya listrik secara otomatis jika daya yang diantarkannya melebihi batasannya. MCB juga berfungsi sebagai saklar utama dalam suatu instalasi rumah. Artinya apabila tuas MCB diposisikan pada posisi *off* maka sumber tegangan listrik ke rumah tersebut akan terputus.

2. Meter Listrik (kWh Meter)

Meter listrik berfungsi untuk mengukur jumlah daya yang digunakan konsumen dalam satuan *kilowatt hour* (kWh). Pada *bargainser*, meter listrik berbentuk deretan angka, baik dalam bentuk analog maupun digital yang akan berubah sesuai dengan besarnya pemakaian daya listrik.

3. *Spin Control*

Spin Control merupakan alat kontrol penggunaan daya yang ada pada bargainser. *Spin Control* akan terus berputar selama masih ada daya terpakai yang melalui bargainser tersebut. Semakin besar daya yang terpakai, maka semakin cepat perputaran *spin control* tersebut, begitu juga sebaliknya.



Gambar 2.6 Bargainser 1 Fasa

2.8 Teknik Pengukuran Listrik

Teknik pengukuran listrik adalah suatu cara untuk mengetahui nilai dari suatu besaran listrik, baik listrik arus searah ataupun bolak – balik.

Pada umumnya, sistem (cara) pengukuran listrik ini dapat dibedakan dalam :

1. Sistem pengukuran yang berdasarkan khusus dari ilmu pengetahuan.
2. Sistem pengukuran teknik.

Adapun yang dimaksud dengan pengukuran teknik adalah pengukuran besaran listrik seperti kuat arus, tegangan, tahanan, induksi, daya, frekuensi, faktor kerja dan pengukuran terhadap listrik untuk menentukan harga besaran yang sifatnya lain, seperti suhu, susunan kimia dan lainnya.⁸

Di dalam pelaksanaan sehari – hari, alat ukur ini telah dibentuk dan dapat dibedakan dalam beberapa jenis :

a. Instrumen papan penghubung (*Schakel Board Instrument*)

Alat ini dipasang pada papan penghubung atau di dalam almari penghubung (*Schakel Kosten*). Alat ukur ini diperdagangkan dalam berbagai bentuk dan jenis. Ketelitian pengukuran papan penghubung ini tidak terlalu besar, biasanya instrumen ini termasuk dalam kelas 1,5 atau 2,5.

b. Instrumen Pasang

Alat ukur jenis ini adalah suatu alat pengukur yang mudah dan dapat dipindah – pindahkan. Ukuran dari alat ini biasanya tidak terlalu besar dan bodynya terbuat dari bahan ebonit yang dipress. Contohnya adalah Voltmeter, Multimeter dan beberapa alat ukur lain.

c. Instrumen Laboratorium / Instrumen Persisi

Instrumen ini dipakai untuk pengukuran laboratorium dan instrumen ini termasuk dalam kelas 0,2 dan 0,5. Biasanya alat ini tidak untuk dipindah – pindahkan. Umumnya pembacaan alat ukur harus dikoreksi menurut suhu disekitarnya.

d. Pengukur Catat (*Recorder*)

Alat ukur ini berfungsi untuk mengukur suatu besaran secara kontiniu dan pada waktu – waktu tertentu. Dengan dilengkapi pena recorder, alat ini akan menunjukkan hasil pengukuran dalam bentuk grafik di atas sebuah kertas.

2.9 Jenis – Jenis Beban Listrik

Dalam sistem listrik arus bolak balik, jenis – jenis beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Beban Resistif (R)

Beban resistif adalah beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm / resistor murni, seperti elemen pemanas dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya menyerap

⁸ F. Suryatmo, *Teknik Listrik Pengukuran*, Bina Aksara, 1974, Jakarta, halaman 27

daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali, serta mempunyai faktor daya sama dengan 1. Tegangan dan arusnya berada pada satu garis yang sama.

Persamaan daya sebagai berikut :

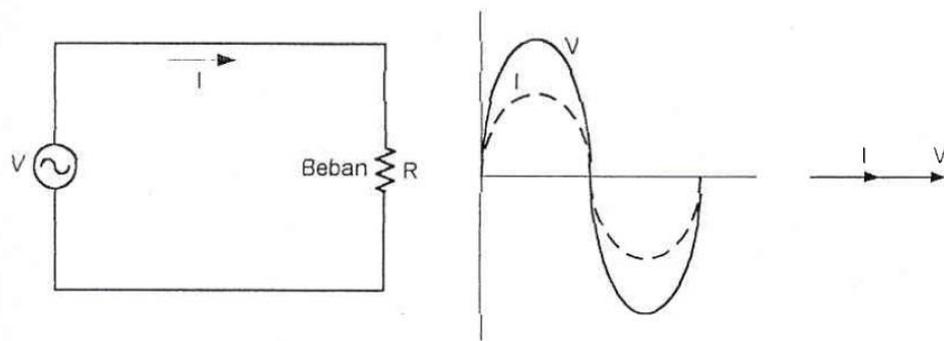
$$P = V \times I \quad (2.9)$$

Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap beban (Watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (Volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (Ampere)



Gambar 2.7 Arus dan tegangan pada beban resistif

2. Beban Induktif (L)

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti *coil*, motor – motor listrik, transformator dan selenoida. Beban jenis ini dapat menyebabkan pergeseran fasa pada arus sehingga bersifat *lagging*. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser dan menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menghisap daya aktif dan daya reaktif.

Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I \times \text{Cos } \varphi \quad (2.10)$$

Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap oleh beban (Watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (Volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (Ampere)

$\text{Cos } \varphi$ = Sudut antara arus dan tegangan

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L) dapat digunakan rumus :

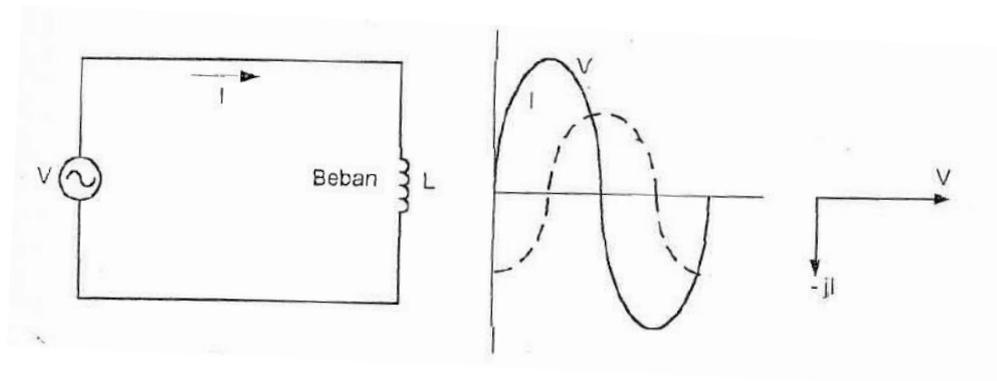
$$X_L = 2\pi \times f \times L \quad (2.11)$$

Keterangan :

X_L = Reaktansi induktif

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)



Gambar 2.8 Arus dan tegangan pada beban induktif

3. Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian dielektrik (*electrical charge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus mendahului tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.⁹

Persamaan daya aktif untuk beban kapasitif adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I \times \text{Cos } \varphi \quad (2.12)$$

Keterangan :

P = Daya aktif yang diserap oleh beban (Watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (Volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (Ampere)

⁹ Zazili Nopian Pratama, *Analisa Pengaruh Pemasangan Kapasitor Terhadap Faktor Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa (Motor Rotor Sangkar Tupai)*, Laporan Akhir, 2013, Palembang, halaman 18

$\cos \phi$ = Sudut antara tegangan dan arus

Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif (X_c) adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

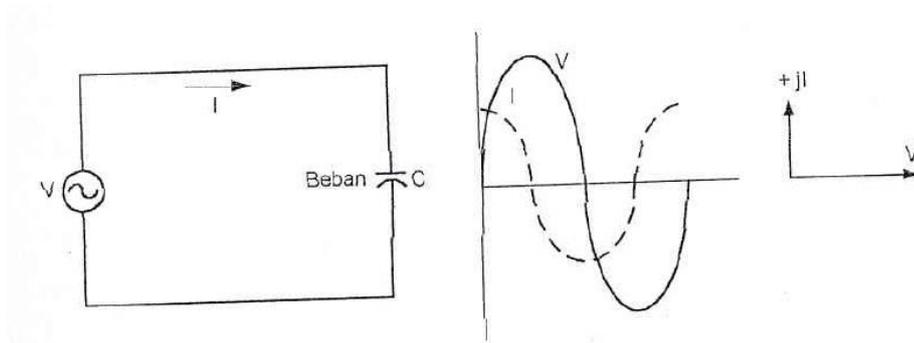
$$X_c = \frac{1}{2\pi \times f \times C} \quad (2.13)$$

Keterangan :

X_c = Reaktansi kapasitif

f = Frekuensi (Hz)

C = Kapasitansi (Farad)



Gambar 2.9 Arus dan tegangan pada beban kapasitif