

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Studi literatur berisi tentang berbagai penelitian yang dilakukan sebelumnya mengenai pemodelan transformator serta arus *inrush*. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya bermanfaat sebagai masukan serta referensi demi menunjang keberhasilan dari penelitian mengenai pemodelan transformator satu fasa ini.

Pada penelitian pemodelan transformator tiga fasa yang dilakukan oleh H. Abdull Halim dan kawan-kawan. Parameter yang penting dalam membangun pemodelan adalah representasi dari sisi primer, sisi sekunder transformator, memperkirakan fluks bersama (karakteristik inti transformator), serta data dari transformator serta koneksinya. Dari hasil penelitian yang dilakukan dinyatakan bahwa pemodelan transformator tiga fasa yang dibuat telah memenuhi syarat sebagai simulasi studi kasus arus *inrush* dimana inti saturasinya perlu diperhatikan[4].

Pada penelitian pemodelan transformator tiga fasa yang dilakukan oleh Mitar Simic dan kawan-kawan. Pemodelan dilakukan dengan model matematika berdasarkan sirkuit ekuivalen dari transformator itu sendiri. Untuk parameter linear seperti induktansi dan resistansi kumparan dapat diketahui dengan *Open Circuit Test* dan *Short Circuit Test* serta bisa juga melalui spesifikasi transformator itu sendiri. Karakteristik inti (nilai B dan H) dari transformator perlu ditambahkan dalam pemodelan sehingga nilai fluks bersama yang terjadi pada saat transformator dinyalakan menjadi indikator penting dalam memprediksikan serta memastikan terjadinya lonjakan arus *inrush*[5].

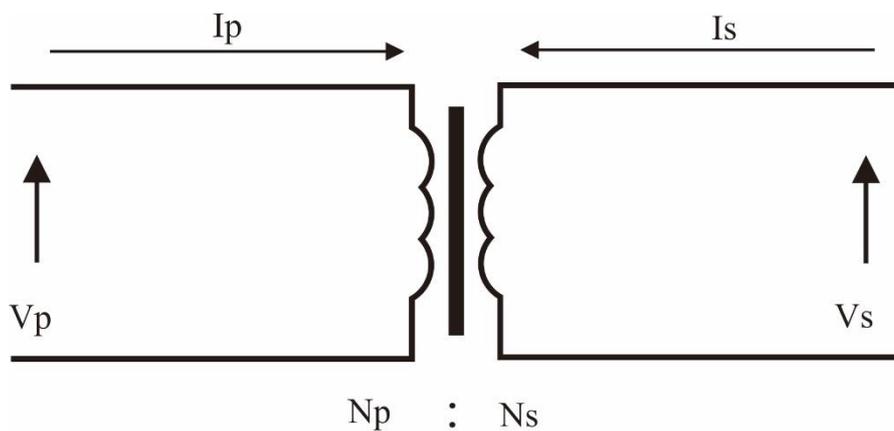
Pada penelitian arus *inrush* yang dilakukan oleh Negara, Fahmi dan kawan-kawan. Topologi perpotongan inti berdampak pada terjadinya arus *inrush*. Pengujian arus *inrush* dilakukan dengan variasi masukan sudut fasa tegangan dari 0° sampai dengan 90° dan hasilnya menyatakan bahwa nilai arus *inrush* yang terjadi bernilai paling besar pada sudut fasa tegangan 0° dibandingkan dengan nilai arus *inrush* pada sudut fasa tegangan 90° [6].

Atas dasar penelitian-penelitian yang telah dijelaskan diatas. Maka pada penelitian ini diharapkan pemodelan transformator satu fasa sesuai dengan dasar teori mengenai pemodelan yang sudah pernah dilakukan. Selain itu, hasil dari simulasi arus *inrush* diharapkan dapat menghasilkan nilai arus *inrush* yang paling besar pada sudut fasa tegangan 0° dibandingkan dengan pada sudut fasa tegangan 90° .

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Transformator Satu Fasa

Transformator adalah instrumen kelistrikan untuk mengkonversi tegangan maupun arus dari tinggi ke rendah maupun sebaliknya. Gambar 2.1 merupakan representasi dari sirkuit transformator satu fasa ideal dengan mengabaikan rugi-rugi transformator. Secara teori, pada transformator satu fasa ideal, dengan asumsi rugi-ruginya diabaikan, perbandingan belitan antara kedua sisinya sama dengan perbandingan tegangan pada kedua sisi primer dan sisi sekunder. Selain itu, daya listrik pada keluaran primer sama dengan daya listrik pada keluaran sekunder.



Gambar 2.1 Rangkaian ideal transformator satu fasa

Pernyataan dari Gambar 2.1 tersebut dapat diekspresikan dalam persamaan berikut:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (2.1)$$

$$P_p = P_s \quad (2.2)$$

Lalu persamaan (2.2) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_p \times I_p &= V_s \times I_s \\ \frac{V_p}{V_s} &= \frac{I_s}{I_p} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) disubstitusi ke persamaan (2.1) sehingga menjadi:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.4)$$

Dimana:

N_p : Jumlah lilitan primer

N_s : Jumlah lilitan sekunder

V_p : Tegangan sisi primer (Volt)

V_s : Tegangan sisi sekunder (Volt)

P_p : Daya sisi primer (Watt)

P_s : Daya sisi sekunder (Watt)

I_p : Arus sisi primer (Ampere)

I_s : Arus sisi sekunder (Ampere)

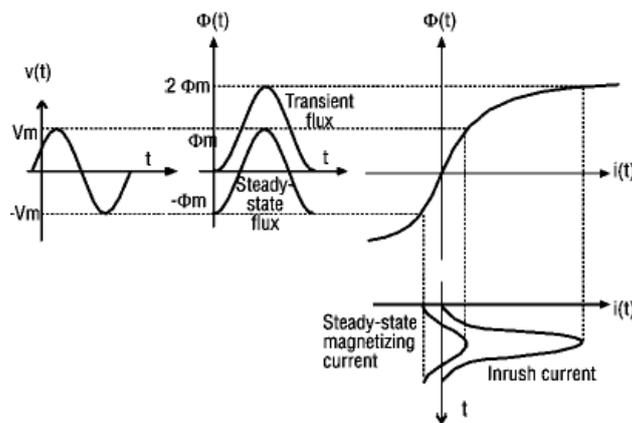
Dari persamaan yang sudah diuraikan diatas. Persamaan (2.1), (2.3), dan (2.4) merupakan persamaan rasio transformator (a). Bagaimanapun pada kenyataannya transformator yang ideal itu tidak mungkin ada dikarenakan adanya rugi-rugi, diantaranya:

1. Rugi-rugi tembaga: rugi-rugi yang disebabkan oleh pemanasan yang terjadi akibat arus yang mengalir pada kawat penghantar di sisi primer maupun sekunder.
2. Rugi-rugi arus eddy: rugi-rugi yang disebabkan oleh pemanasan yang terjadi karena adanya arus yang mengalir pada pelat inti besi.
3. Rugi-rugi histeresis: rugi-rugi yang terjadi akibat adanya fluks bolak-balik pada inti besi.
4. Rugi-rugi fluks bocor: rugi-rugi yang terjadi akibat adanya fluks yang tidak dapat lewat pada inti besi sehingga fluks tersebut mengalir pada masing-masing kumparan dimana hal ini menyebabkan reaktansi primer dan sekunder atau induktansi sendiri.

Berdasarkan dari uraian tentang keadaan transformator secara nyata diatas, maka pemodelan akan dibuat dengan mengabaikan adanya rugi-rugi tembaga, arus histerisis, dan arus eddy serta memperhatikan karakteristik inti pada transformator satu fasa. Hal ini didapat dari pengukuran *Open Circuit Test*[4][5]. Selain itu, karena adanya karakteristik inti pada transformator satu fasa, maka tegangan yang terinduksi sama dengan perubahan waktu yang terjadi pada fluks bersama di masing-masing belitan. Representasi sirkuitnya berupa resistansi serta reaktansi (sesuai dengan poin rugi-rugi nomor empat) akan direferensikan berdasarkan sisi primer untuk memudahkan parameter masukan pemodelan, nilai dari sisi sekunder akan dikalkulasi secara otomatis pada sistem pemodelan[7].

2.2.2 Karakteristik Inti Transformator (B-H)

Gaya kemagnetan (H), sering disebut dengan kuat medan magnet, atau sering juga disebut dengan intensitas medan magnet. Sedangkan induksi magnet (B) sering disebut dengan rapat fluks magnet atau rapat garis gaya magnet[8]. Gambar 2.2 merupakan ilustrasi yang menyatakan bahwa dalam situasi tegangan yang sama apabila posisi fluks bersama berada mendahului sudut fasa tegangan 0° maka nilai fluksnya transien sebesar 2 kali fluks maksimumnya. Fluks transien ini mengindikasikan adanya saturasi yang besar pada kurva karakteristik inti transformator sehingga menyebabkan arus *inrush* sedangkan ketika posisi fluks bersama berada mendahului sudut fasa tegangan 90° maka nilai fluks transiennya sama dengan fluks maksimumnya yang mengindikasikan saturasi yang lebih kecil sehingga seharusnya nilai arus yang dihasilkan cenderung lebih kecil dan stabil.



Gambar 2.2 Grafik fluks terhadap kurva karakteristik inti serta arus *inrush*[1]

Persamaan mengenai karakteristik inti transformator adalah:

$$B = \frac{v_s \cdot 10^{-8}}{4 \cdot A \cdot N_p \cdot f} \quad (2.5)$$

$$H = \frac{0.4\pi \times N_p \cdot I_o}{MPL} \quad (2.6)$$

Dimana:

B : Kerapatan fluks magnet (wb/m²)/(Tesla)

v_s : Tegangan keluaran sekunder OCT (Volt)

A : Luas inti (m²)

N_p : Lilitan primer

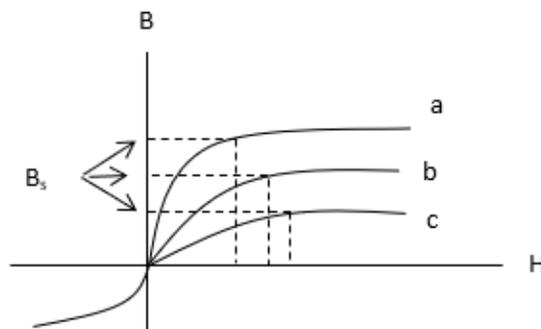
f : Frekuensi fundamental (Hz)

H : Kuat medan magnet (At/m)

I_o : Arus *OCT* (Ampere)

MPL: Panjang lintasan fluks (m)

Dari persamaan (2.6) terlihat bahwa apabila nilai I_o dinaikkan maka nilai H akan naik. Tetapi bila I_o terus dinaikkan sampai pada nilai H tertentu, nilai B tidak lagi banyak berubah. Kondisi ini dikatakan sebagai kondisi jenuh atau saturasi dimana inti tidak lagi mampu menampung fluks magnet dan rapat fluks magnet, B juga menjadi jenuh atau disebut juga fluks bersama saturasi[8]. Dalam kondisi tersebut, walaupun arus I_o dibesarkan dan nilai H naik namun nilai B akan tetap. Gambar 2.3 merupakan gambar kurva B-H yang menunjukkan kejenuhan dari inti besi. Maksud dari pernyataan sebelumnya, nilai B tidak akan naik lagi walaupun nilai H naik (semakin tinggi nilai H , arah kurvanya semakin memanjang kekanan). Maksud dari a, b, dan c pada gambar menunjukkan tingkat saturasi dari nilai kurva dimana a dan b adalah saturasi dari magnet lunak, dan c adalah saturasi dari magnet keras.

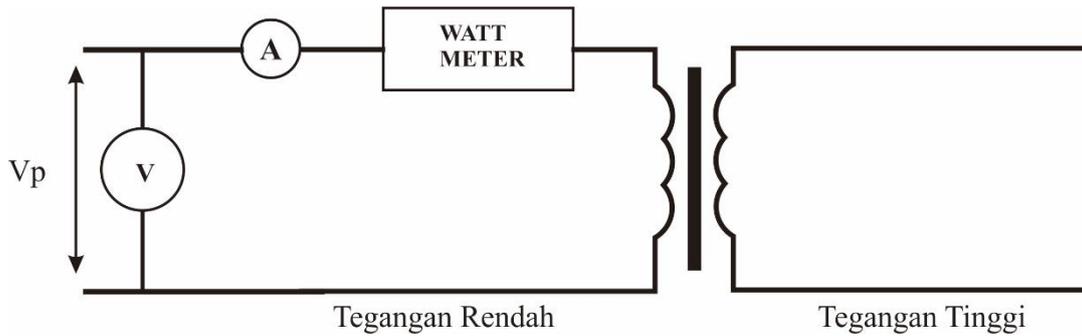


Gambar 2.3 Contoh kurva B-H saturasi[8]

2.2.3 Pengujian Transformator

Open Circuit Test

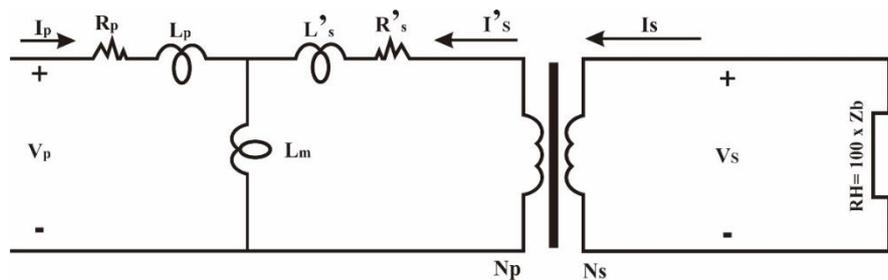
Pada pengujian ini sisi primer yang terhubung sumber adalah sisi tegangan rendah (TR), sedangkan sisi sekunder yang terbuka tanpa disambung beban adalah sisi tegangan tinggi (TT) atau dengan kata lain transformator penaik tegangan (*step-up*). Pada Gambar 2.4 ilustrasi pengujiannya dilakukan berdasarkan sisi tegangan rendah dan tinggi, apabila tidak melihat dari sisi tegangan rendah maupun tinggi maka akan dilihat berdasarkan kumparan mana yang lebih banyak dan lebih sedikit. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini adalah nilai V_o , I_o , P_o , dan V_s . Selain mendapatkan hasil tersebut, beberapa parameternya seperti V_s dan I_o digunakan untuk mencari nilai dari karakteristik inti transformator yaitu nilai kerapatan fluks magnet serta nilai kuat medan magnet.



Gambar 2.4 Pengujian hubung buka transformator

2.2.4 Pemodelan Matematika Transformator Satu Fasa

Dalam Analisis biasanya perangkat keras kelistrikan dimodelkan dengan suatu rangkaian ekivalen yang sesuai, hal ini berlaku juga dalam pembuatan parameter masukan pemodelan[5][9]. Secara umum, rangkaian ekivalen hanyalah penafsiran secara rangkaian listrik dari suatu persamaan matematik yang menggambarkan perilaku suatu perangkat keras[9]. Gambar 2.5 merupakan representasi sirkuit pemodelan dimana sisi sekunder direferensi berdasarkan referensi sisi primer sehingga memudahkan dalam pemasukan parameter di pemrograman.



Gambar 2.5 Representasi rangkaian ekivalen pemodelan

Karena adanya karakteristik inti pada transformator satu fasa, maka tegangan yang terinduksi sama dengan perubahan waktu yang terjadi pada fluks bersama di masing-masing belitan. Tegangan yang terinduksi di masing-masing belitan akan ditulis sebagai berikut[10]:

$$V_p = I_p \cdot R_p + \frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{d\phi_p}{dt} \quad (2.7)$$

$$V'_s = I'_s \cdot R'_s + \frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{d\phi'_s}{dt} \quad (2.8)$$

Untuk nilai I_p dan I'_s merupakan nilai fluks masing-masing belitan yang dikurangi oleh fluks bersama yang terjadi pada transformator dibagi dengan nilai reaktansi sendiri pada masing-masing belitan atau bisa diekspresikan sebagai[10]:

$$I_p = \frac{\Phi_p - \Phi_m}{x_{lp}} \quad (2.9)$$

$$I'_s = \frac{\Phi'_s - \Phi_m}{x'_{ls}} \quad (2.10)$$

Untuk nilai R_p didapat langsung dari spesifikasi transformator jika ada. Jika tidak maka harus dicari berdasarkan *Short Circuit Test*. Untuk nilai R'_s karena direferensi berdasarkan sisi primer maka nilainya dicari dengan persamaan[10]:

$$R'_s = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \times R_s \quad (2.11)$$

Untuk nilai dari x_{lp} dan x'_{ls} merupakan kebocoran fluks yang hadir di kedua sisi primer dan sekunder yang direferensi berdasarkan sisi primer. Kebocoran ini menimbulkan kebocoran reduksi pada kedua sisi. Karena direferensi berdasarkan sisi primer maka nilainya dicari dengan persamaan[10]:

$$x_{lp} = x'_{ls} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_p \quad (2.12)$$

Nilai L_p dicari dengan *Short Circuit Test* apabila tidak tertera dari spesifikasi. Karena inti dari transformator merupakan parameter yang sangat penting maka dengan menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10) untuk mengganti arus, persamaan (2.7) dan (2.8) dapat diekspresikan sebagai persamaan integral jumlah dua fluks bersama yaitu[10]:

$$\Phi_p = \int \left\{ \omega_b \cdot V_p - \omega_b \cdot R_p \cdot \left(\frac{\Phi_p - \Phi_m}{x_{lp}} \right) \right\} dt \quad (2.13)$$

$$\Phi_s = \int \left\{ \omega_b \cdot V'_s - \omega_b \cdot R'_s \cdot \left(\frac{\Phi'_s - \Phi_m}{x'_{ls}} \right) \right\} dt \quad (2.14)$$

Persamaan (2.13) dan (2.14) nantinya akan menjadi salah satu blok pada alur kalkulasi otomatis fluks bersama di Simulink yang akan bersambung ke persamaan keluaran i_1 dan i'_2 . Pada persamaan (2.5) hasil B yang merupakan fluks nilainya tidak banyak berubah ketika persamaan (2.6), H mengalami saturasi maksimum. Maka nilai B ketika kondisi saturasi adalah fluks bersama sama dengan fluks bersama saturasi, sehingga persamaan arus (2.9) dan (2.10) dapat diekspresikan sebagai berikut[10]:

$$I_p = \frac{\Phi_p - \Phi_m^{sat}}{x_{lp}} \quad (2.15)$$

$$I'_s = \frac{\Phi'_s - \Phi_m^{sat}}{x'_{ls}} \quad (2.16)$$

Persamaan (2.15) dan (2.16) ini nantinya merupakan salah satu blok keluaran pemodelan dari nilai I_p dan I'_s berupa sinyal arus. Pada simulasi, nilai dari Φ_m^{sat} akan ditentukan berdasarkan

dari nilai Φ_m^{unsat} yang mana hal ini dihitung pada nilai x_{mp}^{unsat} atau yang sering disebut juga dengan reaktansi magnetisasi yang tidak saturasi dari *open circuit test*. Jika dituliskan hubungan antara nilai fluks tidak saturasi dan saturasi berdasarkan perubahan fluks adalah[10]:

$$\Phi_m^{unsat} = \Phi_m^{sat} + \Delta\Phi \quad (2.17)$$

Dimana ekspresi persamaan fluks tidak saturasi yang digunakan bergandengan dengan arus masuk pada sisi primer dan sisi sekunder referensi primer atau bisa dituliskan[10]:

$$\Phi_m^{unsat} = x_{mp}^{unsat}(I_p + I'_s) \quad (2.18)$$

Ekspresi dari persamaan (2.18) dapat dituliskan kembali sebagai berikut apabila nilai dari I_p dan I'_s disubstitusi dari persamaan (2.15) dan (2.16)[10]:

$$\frac{\Phi_m^{unsat}}{x_{mp}^{unsat}} = \frac{\Phi_p - \Phi_m^{sat}}{x_{lp}} + \frac{\Phi'_s - \Phi_m^{sat}}{x'_{ls}} \quad (2.19)$$

Lalu, untuk persamaan arus nilainya masih nilai saturasi sehingga apabila mengganti Φ_m^{unsat} dengan $\Phi_m^{sat} + \Delta\Phi$ dan dikumpulkan persamaan Φ_m^{sat} maka didapatkan[10]:

$$\Phi_m^{sat} = xM \left(\frac{\Phi_p}{x_{lp}} + \frac{\Phi'_s}{x'_{ls}} - \frac{\Delta\Phi}{x_{mp}^{unsat}} \right) \quad (2.20)$$

Dimana nilai dari xM (reaktansi magnetisasi saturasi) pada kasus tidak saturasi adalah[10]:

$$\frac{1}{xM} = \frac{1}{x_{mp}^{unsat}} + \frac{1}{x_{lp}} + \frac{1}{x'_{ls}} \quad (2.21)$$

Persamaan (2.20) nantinya akan menjadi blok untuk kalkulasi fluks saturasi terhadap waktu yang berulang dimana waktu berhenti simulasi akan diatur oleh coding *tstop* atau “waktu berhenti.”

Berikut merupakan penjelasan simbol dari persamaan-persamaan diatas:

V'_s : Tegangan sisi sekunder referensi sisi primer (Volt)

R'_s : Resistansi sisi sekunder referensi sisi primer (Ω)

I'_s : Arus sisi sekunder referensi sisi primer (Ampere)

ω_b : Frekuensi fundamental (rad)

$\frac{d\Phi}{dt}$: Perubahan fluks terhadap waktu

Φ_p : Fluks bocor sisi primer (Tesla)

Φ'_s : Fluks bocor sisi sekunder referensi sisi primer (Tesla)

Φ_m/Φ_m^{unsat} : Fluks bersama (Tesla)

Φ_m^{sat} : Fluks bersama pada saat kondisi saturasi/psiat (Tesla)

$\Delta\Phi$: Perubahan fluks saturasi/Dpsi (At/m)

x_{mp}^{unsat} : Reaktansi magnetisasi tidak saturasi dari OCT (Ω)

xM : Reaktansi magnetisasi saturasi (Ω)

x_{lp} : Reaktansi sisi primer (Ω)

x'_{ls} : Reaktansi sisi sekunder referensi sisi primer (Ω)

L_p : Induktansi sisi primer (Henry)

f : Frekuensi fundamental (Hz)

2.2.5 Persamaan Paramater Masukan

Persamaan-persamaan berikut merupakan persamaan tambahan yang digunakan dalam mengkonversi suatu nilai ke nilai yang lain serta untuk kepentingan parameter masukan pada pemodelan:

1. Persamaan ini merupakan persamaan yang digunakan pada blok masukan sinyal sinus v_1 di Simulink dimana frekuensinya yang tadinya dalam bentuk *Hertz* harus diubah ke bentuk kecepatan sudut atau *rad/s*:

$$\omega = 2\pi \times f \quad (2.22)$$

Dimana:

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

f : Frekuensi dari sumber tegangan (Hz)

2. Persamaan ini merupakan persamaan yang digunakan pada blok masukan sinyal sinus v_1 di Simulink dimana sudut fasa tegangan yang tadinya berfungsi sebagai pergeseran sudut fasa tegangan dalam bentuk derajat harus diubah ke bentuk rad:

$$rad = \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \times \theta \quad (2.23)$$

Dimana:

θ : Sudut fasa tegangan ($^\circ$)

3. Persamaan ini merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung parameter masukan yang digunakan pada *coding* pemodelan dimana representasi impedansi nantinya di pemodelan akan menjadi beban pada kasus arus *inrush*, persamaan tersebut diekspresikan sebagai:

$$Z_b = \frac{V_p^2}{P} \quad (2.24)$$

Dimana:

Z_b : Impedansi dasar berdasarkan sisi primer (Ω)

V_p^2 : Tegangan sisi primer (Volt)

P : Rating daya transformator (VA)

4. Persamaan ini merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung parameter masukan yang digunakan pada *coding* pemodelan dimana masukannya merupakan nilai tegangan puncak dari rating nilai tegangan pada sisi primer, persamaan tersebut diekspresikan sebagai:

$$V_{pk} = V_p x \sqrt{2} \quad (2.25)$$

Dimana:

V_{pk} : Tegangan puncak (Volt)

V_p : Tegangan sisi primer (Volt)

5. Persamaan ini merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung parameter masukan yang digunakan pada *coding* pemodelan dimana masukannya berguna pada simulasi Simulink untuk kalkulasi otomatis bersama dengan nilai fluks yang sudah dicari nilainya, persamaan reaktansi ini diekspresikan sebagai:

$$I_\mu = I_o x \sin \theta \quad (2.26)$$

$$x_m = x_o = \frac{V_o}{I_\mu} \quad (2.27)$$

Dimana:

I_μ : Arus magnetisasi *OCT* (Ampere)

I_o : Arus hubung buka (Ampere)

$\sin \theta$: Nilai sinus dari sudut fasa faktor daya hubung buka

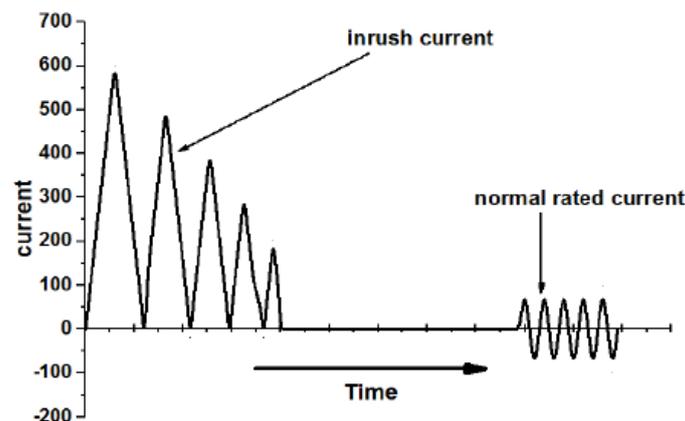
$x_m = x_o$: Reaktansi magnetisasi tidak saturasi (Ω)

V_o : Tegangan output hubung buka (Volt)

2.2.6 Arus Inrush

Ketika transformator disuplai dari sumber listrik (dienergisasi), maka dapat membangkitkan lonjakan arus yang sangat besar senilai 10-100 kali dari arus nominalnya[1][2]. Pada transformator dikondisi nyata, resistansi dan impedansi belitan biasanya akan mengurangi arus *inrush* sampai pada kondisi *steady state* terhadap waktu energisasi yang biasanya hal tersebut dipengaruhi oleh nilai rating transformator dan desain parameter transformator itu sendiri[2]. Gambar 2.6 mengilustrasikan bahwa arus *inrush* adalah lonjakan arus yang terjadi dengan nilai arus yang sangat besar. Sedangkan arus normal biasanya bernilai lebih kecil dibanding arus *inrush*.

Bagaimanapun jika arus *inrush* tidak direduksi maka akan mempengaruhi kestabilan arus normal sehingga nilainya pun ikut tinggi.



Gambar 2.6 Contoh arus *inrush* energisasi transformator dengan arus normal[11]

Faktor-faktor yang mempengaruhi arus *inrush*, antara lain:

1. **Pergeseran fasa tegangan pada saat awal transformator dinyalakan**, faktor ini berkaitan dengan fluks dimana pada saat pergeseran sudut fasa tegangan 0 derajat maka nilai arus *inrush* berada pada kondisi tertinggi dan pada saat pergeseran sudut fasa tegangan 90 derajat maka arus *inrush* berada pada kondisi yang rendah, hal ini disebabkan oleh nilai parameter resistansi dan induktansi yang didesain pada transformator, bahkan dalam beberapa kasus, pada sudut 90 derajat arus sudah berada pada kondisi nominal[2]. Hal ini dapat dijelaskan menggunakan persamaan:

$$\Phi_{max} = \Phi_{max} \cdot \sin(\omega t + \alpha) + \Phi_{residual} + \Phi_{max} \cdot \sin(\alpha) \quad (2.28)$$

Dimana α merupakan sudut fasa fluks, serta θ merupakan sudut fasa tegangan, ketika sudut fasa tegangan bernilai $1/90$ maka sudut fasa fluks bernilai 0 sehingga hasil dari persamaan menjadi fluks maksimum ditambahkan fluks residu, sedangkan ketika sudut fasa tegangan bernilai 0/0 maka sudut fasa fluks bernilai 1 sehingga hasil dari persamaan menjadi dua kali fluks maksimum ditambahkan fluks residu.

2. **Fluks Saturasi**, faktor ini berkaitan dengan kurva karakteristik inti transformator yaitu kurva B-H dimana kurva ini menunjukkan saturasi dari fluks yang mana apabila sesuai teori “jika nilai fluks saturasi pada kurva B-H rendah maka arus yang dibangkitkan pun kecil bahkan mendekati nilai nominal/*steady state*, sebaliknya jika nilai fluks saturasi pada kurva B-H tinggi maka arus yang dibangkitkan menunjukkan adanya lonjakan”, pada prinsipnya transformator bekerja pada fluks bersama normal $\pm 1.5 - 1.7$ Tesla[2].

3. Ukuran Rating Transformator, faktor ini berkaitan dengan pembuatan pada transformator mengenai rating transformator dimana impedansi dan resistansi pada transformator dengan rating besar cenderung memiliki nilai yang kecil sedangkan pada transformator dengan rating kecil cenderung memiliki impedansi dan resistansi yang besar. Hal ini sebenarnya berimbas pada waktu berkurangnya nilai arus *inrush* menuju arus normal, untuk transformator dengan rating (<1000VA) maka arus *inrush* biasanya berkurang dalam waktu sekitar 0.1 detik, sedangkan pada transformator dengan rating besar arus *inrush* biasanya berkurang sekitar 1 detik bahkan bisa lebih lama[2].