

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Masukan Pemodelan Transformator Satu Fasa

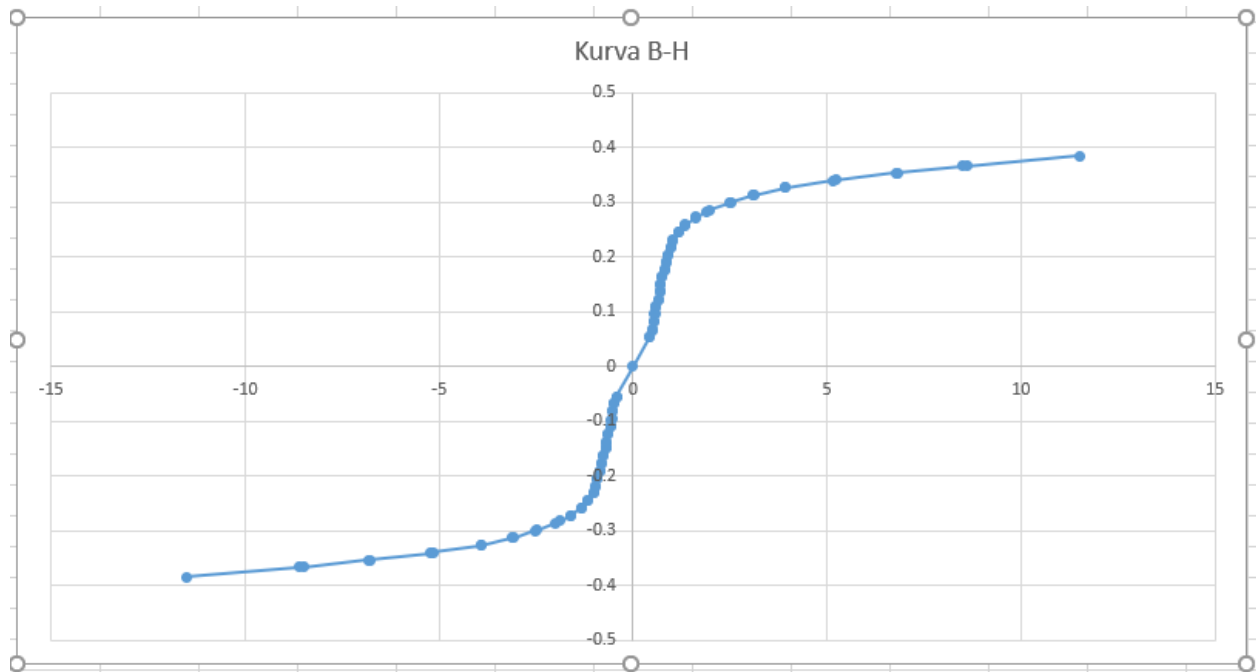
Berdasarkan dari Tabel 3.1 Data Transformator, dapat diketahui parameter masukan sebagai berikut:

- 1) Rating tegangan yang dimiliki oleh transformator satu fasa bernilai 220 Volt.
- 2) Rating daya yang dimiliki oleh transformator satu fasa bernilai 1500 VA.
- 3) Frekuensi yang digunakan pada transformator satu fasa bernilai 50 Hz.
- 4) Berdasarkan persamaan (2.24) impedansi nantinya direpresentasikan sebagai beban pada studi kasus arus *inrush* yang bernilai 32.26Ω .
- 5) Berdasarkan persamaan (2.25) nilai tegangan puncak akan bernilai 311.13 Volt.
- 6) Berdasarkan persamaan (2.1) rasio perbandingan lilitan primer dan sekunder bernilai 0.911.
- 7) Resistansi primer yang dimiliki oleh transformator satu fasa bernilai 0.584Ω .
- 8) Berdasarkan persamaan (2.11) nilai resistansi sekunder referensi sisi primer akan bernilai 0.533Ω .
- 9) Berdasarkan persamaan (2.12) reaktansi primer = reaktansi sekunder referensi sisi primer akan memiliki nilai $70.964 \Omega/1000$ (parameter *coding* untuk normalisasi sehingga menghasilkan sinyal keluaran yang valid).
- 10) Berdasarkan persamaan (2.26) dan (2.27) nilai dari reaktansi magnetisasi tidak saturasi dari kalkulasi hubung buka akan bernilai 510.64Ω .
- 11) Berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.6) parameter masukan perubahan fluks saturasi (Dpsi) merupakan nilai dari kalkulasi H sedangkan parameter masukan fluks saturasi (psiat) merupakan nilai dari kalkulasi B. Nilai kalkulasi B-H ini tersedia pada Lampiran yang dilampirkan berupa gambar datasheet dengan nama "Kalkulasi B-H".

Semua nilai parameter masukan yang disebutkan diatas ketika dijalankan pada *coding* nilainya akan tersimpan di *workspace* untuk digunakan pada simulasi Simulink.(2.13) Setelah *coding* dijalankan maka pada *command window* MATLAB akan dipilih kondisi operasi simulasi untuk kasus studi arus *inrush* yaitu kondisi hubung singkat, dimana kondisi operasi simulasi ini membuat representasi impedansi dikali dengan 100 sebagai RH atau disebut juga resistansi beban yang terpasang pada transformator satu fasa.

4.2 Analisis Karakteristik Inti Transformator Satu Fasa 1:1

Pada poin 11 di parameter masukan transformator, ada masukan dari nilai kalkulasi B-H dimana nilai ini mengindikasikan adanya arus *inrush* apabila terjadi **saturasi**, hal ini akan diperjelas oleh Gambar 4.1 yang merupakan kurva saturasi dari nilai B dan nilai H dimana gambar kurva ini dibuat pada *ms. Excel*.

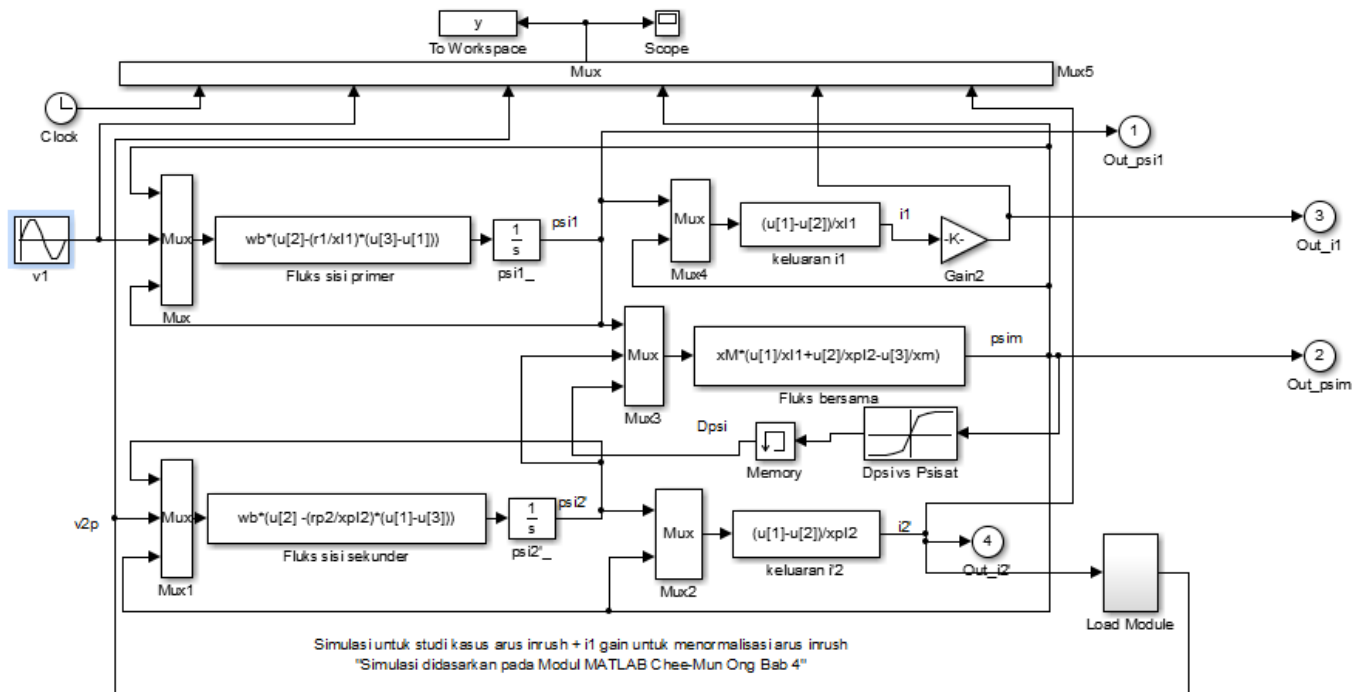


Gambar 4.1 Kurva karakteristik inti transformator

Dari Gambar 4.1 Kurva karakteristik inti transformator terlihat bahwa nilai perubahan fluks saturasi (D_{psi}) mengalami kenaikan yang signifikan mulai dari 0 – 12, sedangkan pada nilai fluks saturasi (ψ_{psiat}), mulai dari 0 kenaikannya signifikan lalu pada titik 0.327, nilai kenaikan ψ_{psiat} tersebut mulai jenuh atau dengan kata lain tidak bisa naik terlalu besar lagi. Kurva karakteristik yang diperlihatkan diatas menunjukkan adanya kejenuhan inti dan dapat dipastikan bahwa nilai arus awal akan mengalami lonjakan. Apabila demikian pada pemodelan seharusnya nilai arus awal juga akan mengalami lonjakan atau dengan kata lain arus *inrush* pasti terjadi.

4.3 Pemodelan Simulink

Pada Gambar 4.2 pemodelan blok Simulink yang dibuat merupakan pemodelan dengan alur kalkulasi secara otomatis yang menyertakan kalkulasi fluks saturasi serta perubahan fluks saturasinya. Nilai tersebut merupakan nilai karakteristik penting karena jika nilai tersebut tidak diikutsertakan maka pemodelan studi kasus arus *inrush* ini tidak akan membuahkan hasil. Selain itu, *gain* diberikan pada *output* arus untuk menghasilkan sinyal arus yang valid dengan nilai $5.066269/10$.



Gambar 4.2 Pemodelan pada Simulink

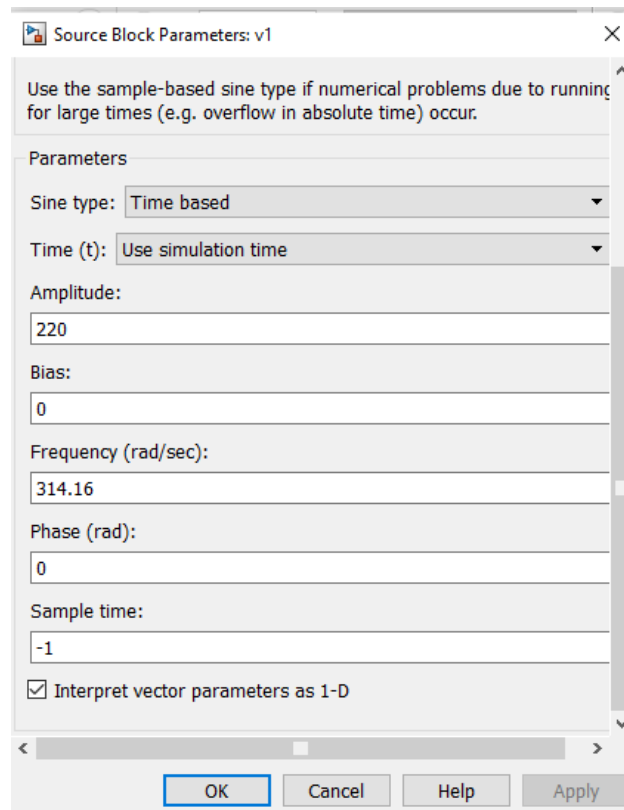
Untuk nilai fungsi pada blok pemodelan Simulink tersebut merupakan persamaan yang terdapat pada sub-bab BAB 1 yaitu 2.2.4 Pemodelan Matematika Transformator Satu Fasa:

1. Blok fungsi “*fluks sisi primer*” berasal dari persamaan (2.13)
2. Blok fungsi “*fluks sisi sekunder*” berasal dari persamaan (2.14)
3. Blok fungsi “*keluaran i1*” berasal dari persamaan (2.15)
4. Blok fungsi “*fluks bersama*” berasal dari persamaan (2.20)
5. Blok fungsi “*keluaran i'2*” berasal dari persamaan (2.16)

Pada blok fungsi tersebut terdapat nilai representasi pada masing masing blok, yaitu:

1. Nilai $u[1]$ merepresentasikan nilai dari ϕ_1 .
2. Nilai $u[2]$ merepresentasikan nilai dari ϕ'_2/ϕ_m^{sat} .
3. Nilai $u[3]$ merepresentasikan nilai dari $\Delta\phi$.

Sebelum dijalankan, pada Gambar 4.3 ada parameter penting lain sebelum simulasi arus *inrush* dilakukan yaitu mengatur sinyal sinusoidal masukan pada blok Simulink v1.



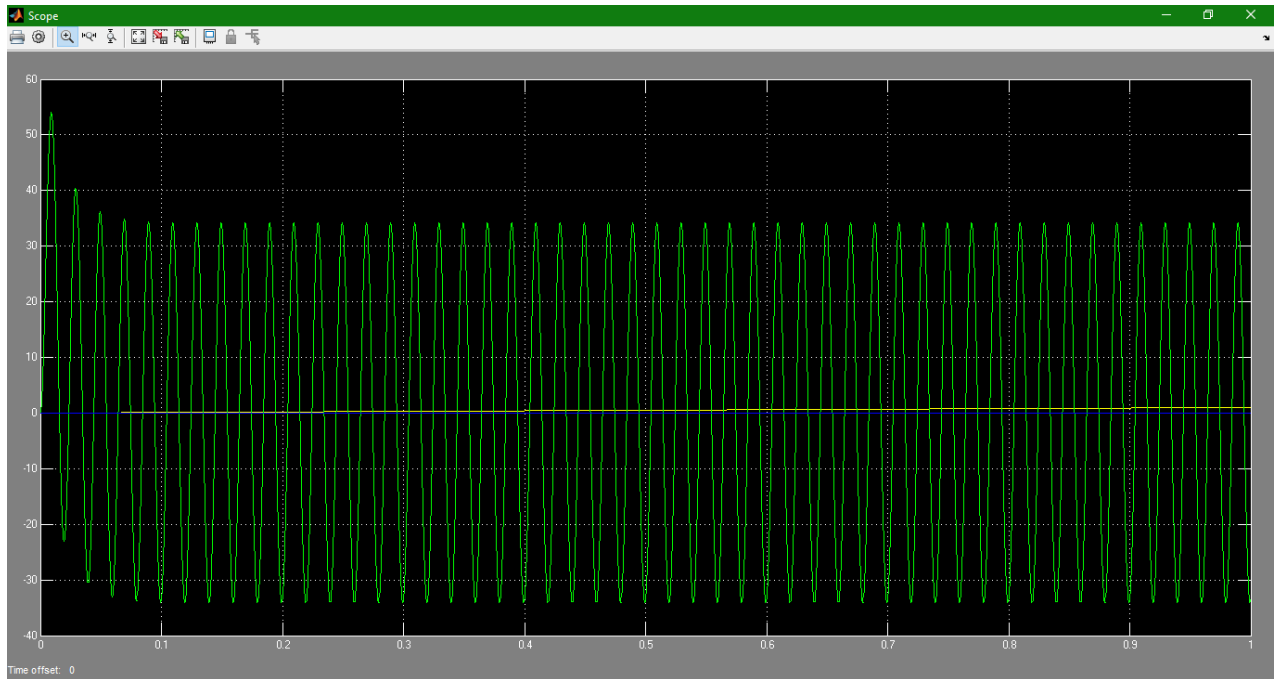
Gambar 4.3 Pengaturan blok parameter sinyal masukan

Untuk pengaturan masukan sinyalnya, pada bagian tipe sinyal dipilih “*Time based*” karena simulasi sinyal dilakukan terhadap waktu, untuk bagian *Time (t)*, dipilih “*Use Simulation Time*” karena simulasi dilakukan sampai selesainya perintah pada *coding* “*tstop*”. Untuk Amplitudo sinyalnya dipilih sesuai dengan besaran nilai pada *Vprimer* pada Tabel 3.1 Data Transformator yaitu 220 volt.

Pada pengaturan Bias diberi nilai 0 karena itu merupakan pengaturan kemiringan sinyal (tidak digunakan pada studi kasus arus *inrush*). Untuk Frequency (rad/sec) berarti frekuensi masukan dari sinyal bukan dalam bentuk 50 Hz sehingga digunakan persamaan (2.22) lalu dihasilkan nilai 314.16 rad/second. Pengaturan *Phase (rad)* merupakan pengaturan pergeseran sudut fasa tegangan pada saat awal transformator dinyalakan, nilai *Phase* yang diuji tergantung dari kebutuhan pengambilan data, karena bentuknya bukan derajat maka digunakan persamaan (2.23). Contoh, apabila sudut fasa tegangan dikonversi yang tadi nilainya (10°) menggunakan persamaan (2.23) maka akan menghasilkan pergeseran fasa sebesar 0.174 rad.

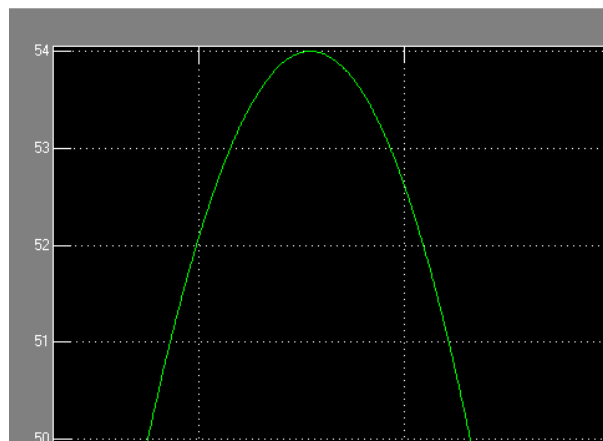
4.4 Hasil Simulasi dan Perbandingan Dengan Pengukuran Laboratorium

Pada kasus arus *inrush* yang disimulasikan, Peneliti lebih memilih melihat lewat *scope* untuk melihat hasil arus *inrush*nya karena yang menjadi bahan analisa utama adalah lonjakan arus awalnya. Pada gambar dibawah, Gambar 4.4 merupakan gambar arus *inrush* dengan arus normal yang ikut menjadi besar karena arus *inrush* mempengaruhi kestabilan arus normal.



Gambar 4.4 Gambar arus *inrush* sudut 0°

Pada gambar scope di Gambar 4.4 tersebut dapat terlihat pada saat awal simulasi transformator satu fasa, arus *inrush* yang dihasilkan cukup tinggi. Hal ini dapat diperjelas dengan perbesaran gambar *scope* pada Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa nilai arus *inrush* yang dihasilkan adalah sebesar 54 Ampere. Apabila benar seharusnya di sudut 0° ini merupakan nilai arus *inrush* tertinggi.



Gambar 4.5 Gambar perbesaran menunjukkan nilai puncak 54 Ampere

Berikut merupakan Tabel 4.1 yang merupakan hasil simulasi MATLAB dari sudut fasa tegangan 0° - 350° :

Tabel 4.1 Hasil simulasi lonjakan awal arus *inrush*

Pengaturan Sudut Fasa	Hasil Simulasi (A)	Pengaturan Sudut Fasa	Hasil Simulasi (A)
0°	54	190°	-53.6531
10°	53.6531	200°	-52.6717
20°	52.6717	210°	-51.0221
30°	51.0221	220°	-48.7178
40°	48.7178	230°	-45.8
50°	45.8	240°	-42.3147
60°	42.3147	250°	-38.3508
70°	38.3508	260°	-34
80°	34	270°	-29.4082
90°	29.4082	280°	-24.6788
100°	24.6788	290°	-19.9667
110°	19.9667	300°	-15.4251
120°	15.4251	310°	-11.2061
130°	11.2061	320°	-7.4603
140°	7.4603	330°	-4.3345
150°	4.3345	340°	-1.9638
160°	1.9638	350°	-0.4685
170°	0.4685		
180°	-54		

Menurut Tabel 4.1 Hasil simulasi lonjakan awal arus *inrush*, hasil mengikuti teori dimana pada saat sudut fasa tegangan 0° , arus *inrush* berada pada nilai tertinggi bernilai 54 Ampere dan pada pergeseran sudut fasa tegangan di 90° nilai arus *inrush* lebih rendah bernilai 29,4 Ampere. Begitu juga dengan hasil pada sudut 180° hasilnya menyatakan hasil yang sesuai dengan kuadran sinusoidal dimana pada kuadran satu ($0 - 180^\circ$) nilai perubahannya dari positif menjadi negatif lalu untuk kuadran dua ($180-360^\circ$) nilainya dari negatif menuju 360° kembali positif. Selanjutnya berikut merupakan Tabel 4.2 yang merupakan hasil pengukuran lapangan yang telah dilakukan menggunakan instrumen:

Tabel 4.2 Hasil pengukuran laboratorium

Pengaturan Sudut Fasa	Hasil Lapangan (A)	Pengaturan Sudut Fasa	Hasil Lapangan (A)
0°	7.8	190°	3.5
10°	-2.5	200°	6
20°	-8	210°	11.5
30°	-9	220°	10
40°	12	230°	18
50°	-10	240°	-13
60°	-13	250°	21
70°	-18	260°	31
80°	-37	270°	54
90°	-26	280°	45
100°	-21	290°	28.5
110°	-14	300°	25.5
120°	15	310°	22
130°	-11	320°	-15
140°	-6	330°	18
150°	-9	340°	11
160°	-4	350°	9.8
170°	-2.5		
180°	4.5		

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 Hasil pengukuran laboratorium, hasilnya berbeda dengan hasil simulasi, nilai arus *inrush* tertinggi didapat pada sudut fasa tegangan 270°. Pada pengujian laboratorium, pergeseran sudut fasa tegangan di masukan tidak dapat diketahui secara pasti walaupun sudah diatur sudut fasa tegangannya menggunakan instrumen. hal ini dikarenakan *zero crossing* yang digunakan kemungkinan tidak dapat membedakan sudut fasa antara 0-180° maupun antara sudut fasa 180-360°. Hal ini menyebabkan arus yang terukur tidak beraturan (acak). Tabel 4.3 merupakan tabel perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran laboratorium yang sudah disortir mengikuti besaran nilai hasil simulasi.

Tabel 4.3 Tabel perbandingan hasil simulasi - hasil pengukuran laboratorium

Pengaturan Sudut Fasa	Hasil Simulasi (A)	Hasil Lapangan (A)	Kesalahan Relatif
0°	54	54	0
10°	53.6531	45	0.161279

20°	52.6717	31	0.411449
30°	51.0221	28.5	0.441419
40°	48.7178	25.5	0.476577
50°	45.8	22	0.519651
60°	42.3147	21	0.503719
70°	38.3508	18	0.530649
80°	34	18	0.470588
90°	29.4082	15	0.489938
100°	24.6788	12	0.513753
110°	19.9667	11.5	0.424041
120°	15.4251	11	0.286877
130°	11.2061	10	0.107629
140°	7.4603	9.8	0.31362
150°	4.3345	7.8	0.799516
160°	1.9638	6	2.055301
170°	0.4685	4.5	8.605123
180°	-54	3.5	1.064815
190°	-53.6531	-37	0.310385
200°	-52.6717	-26	0.506376
210°	-51.0221	-21	0.588414
220°	-48.7178	-18	0.630525
230°	-45.8	-15	0.672489
240°	-42.3147	-14	0.669146
250°	-38.3508	-13	0.661024
260°	-34	-13	0.617647
270°	-29.4082	-11	0.625955
280°	-24.6788	-10	0.594794
290°	-19.9667	-9	0.54925
300°	-15.4251	-9	0.416535
310°	-11.2061	-8	0.286103
320°	-7.4603	-6	0.195743
330°	-4.3345	-4	0.077172
340°	-1.9638	-2.5	0.273042
350°	-0.4685	-2.5	4.336179

Dari Tabel 4.3 Tabel perbandingan hasil simulasi - hasil pengukuran laboratorium, nilai dari simulasi sudah sesuai dengan teori pergeseran sudut fasa tegangan, diasumsikan sudah valid, maka nilai hasil arus *inrush* pengujian laboratorium akan diurutkan sesuai dengan nilai seperti pada simulasi. Hasilnya, baik pengujian simulasi serta pengujian laboratorium menjadi sesuai dengan teori pergeseran sudut fasa tegangan dimana nilai pada sudut 0° sama yaitu bernilai 54 Ampere, dan nilai pada sudut 90° berbeda yaitu pada simulasi bernilai 29,4 Ampere sedangkan pada pengukuran lapangan bernilai 15 Ampere. Perbedaan ini terjadi karena nilai arus pada pengujian laboratorium hasilnya dipengaruhi oleh fluks residu sehingga nilai pada sudut fasa tegangan yang diatur bisa jadi lebih besar atau bahkan lebih kecil, hal yang sangat disayangkannya pengukuran laboratorium tidak dapat mengetahui fluks residu serta nilai sudut fasa tegangan yang valid. Sedangkan nilai arus pada hasil simulasi tetap seperti itu pada sudut fasa tegangan yang diatur karena pada pemodelannya apabila masukannya sesuai dengan yang diatur nilai outputnya akan konstan mengikuti masukan serta kalkulasi otomatis yang dijalankan pada pemodelan, selain itu asumsi pada pemodelan fluks residunya dianggap 0. Jika dikalkulasi lebih lanjut untuk nilai kesalahan relatif dari hasil pengukuran digunakan persamaan:

$$Kesalahan\ Relatif = \frac{(Hasil\ Simulasi - Pengukuran\ Lapangan)}{Hasil\ Simulasi} \quad (4.1)$$

Berdasarkan hasil dari kesalahan relatif, nilai kesalahan relatif paling kecil ada pada nilai sudut fasa tegangan 330° sebesar 0,077 Ampere dan tertinggi ada pada nilai sudut fasa tegangan 170° sebesar 8,6 Ampere, serta nilai rata-rata dari kesalahan relatif dari hasil pengukuran lapangan adalah 0,8385 Ampere.