

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR
PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV
DENGAN METODE CORNFIELD**

SKRIPSI

Disusun Oleh :
FARIDA ERLIN A.
NIM : 02.12.097

FEBRUARI 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR
PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV
DENGAN METODE CORNFIELD**

SKRIPSI

*Disusun Dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Mencapai Gelar
Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :
FARIDA ERLIN A.
NIM : 02.12.097



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Lampraptono, MT
NIP. Y. 103 950 0274

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 103 890 0209

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

ANALYSIS OF LIGHTNING-INDUCED VOLTAGE ON DISTRIBUTION LINE 20 KV WITH CORNFIELD METHOD

Farida Erlin A,
Teguh Herbasuki

ABSTRACT

Indirect lightning on distribution line 20kV cause induced voltage, and over voltage. The over voltage by an induced light is more complex than a direct hit. Much theories of protection overhead line show direct light. The induced voltage can calculation with cornfield method, where Z is distance in the vertical is distance from ground to the up direct, X is distance from zero point to conductor line direct, and Y is distance from light direct to conductor.

Problem calculation an induction voltage stroke try on distribution line 20 kV feeder Mawar using Matlab 6.0, the result is the value of induced voltage to decrease side by side with increase the time t (μ s) exponential according (e^{-t}) where value will to decrease approach zero.

Key words : *Indirect stroke, induced voltage, cornfield correction*



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tersebut tepat pada waktunya. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang. Tak lupa penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
2. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku ketua jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak ir. Teguh Herbasuki, MT, selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penyusunan skripsi.
4. Rekan – rekan Jurusan Teknik Elektro angkatan tahun 1997, tahun 1998, dan tahun 2002.

Meskipun telah dikaji berulang – ulang dan dikerjakan dengan sungguh-sungguh, namun penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Sehingga kritik dan saran, penulis terima dengan tangan terbuka. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Maret 2007

PENULIS

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN | i |
| ABSTRAKSI | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | viii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Pembahasan..... | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.5 Metodologi Pembahasan | 3 |
| 1.6 Sistematika Pembahasan | 4 |
| | |
| BAB II SAMBARAN PETIR PADA SALURAN DISTRIBUSI | |
| 2.1 Gangguan pada Saluran Distribusi | 5 |
| 2.2 Proses Terjadinya Petir..... | 5 |
| 2.2.1 Sambaran Mula (<i>Initial Leader</i>) | 9 |
| 2.2.2 Sambaran Kembali (<i>Return Stroke</i>) | 10 |
| 2.2.3 Terkaman yang Berulang – ulang (<i>Multiple Stroke</i>)..... | 11 |
| 2.3 Mekanisme sambaran Petir | 12 |
| 2.3.1 Pengaruh bentuk permukaan bumi | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2 Pengaruh Resistifitas | 12 |
| 2.3.3 Efek Konduktor Pentanahan..... | 12 |
| 2.3.4 Kepadatan Sambaran Petir | 12 |
| 2.4 Tegangan Lebih oleh Surja Petir..... | 13 |

BAB III TEGANGAN INDUKSI PETIR DENGAN METODE CORNFIELD PADA SUTM 20 kV

| | |
|---|----|
| 3.1 Asumsi Dasar Tegangan Induksi..... | 17 |
| 3.2 Tegangan Induksi dengan Metode Cornfield | 18 |
| 3.3 Data Saluran | 20 |
| 3.4 Kondisi Geografis..... | 21 |
| 3.5 Sambaran Petir pada Saluran Distribusi..... | 22 |
| 3.6 Parameter Arus Sambaran Petir | 23 |
| 3.6.1 Menghitung Kepadatan Sambaran Petir..... | 23 |
| 3.6.2 Menghitung Arus Puncak Sambaran Petir | 23 |
| 3.7 Menghitung Tegangan Induksi dengan Metode Cornfield..... | 24 |
| 3.8 Diagram Alir Tegangan Induksi Petir pada Saluran Distribusi 20 kV dengan metode Cornfield..... | 27 |

BAB IV ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR PADA SUTM 20 kV DENGAN METODE CORNFIELD

| | |
|---|----|
| 4.1 Data Jumlah Curah hujan dan Thunderstorm..... | 27 |
| 4.2 Perhitungan Jumlah Sambaran Petir..... | 27 |
| 4.2.1 Jumlah Sambaran Petir ke Tanah..... | 27 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.2 Menghitung Kepadatan Sambaran Petir..... | 28 |
| 4.2.3 Menghitung Tegangan Induksi dengan Metode Cornfield | 29 |
| BAB V KESIMPULAN..... | 46 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | | Halaman |
|---------------|--|----------------|
| 2.1a | Muatan sepanjang pinggir awan menginduksi muatan lawan ke bumi..... | 7 |
| 2.1b | Lidah petir menjalar ke arah bumi | 8 |
| 2.1c | kilat sambaran dari bumi ke awan..... | 8 |
| 2.1d | kumpulan muatan pada jaringan distribusi..... | 8 |
| 2.2 | <i>Stepped leader</i> | 10 |
| 2.3 | Sambaran Ulang | 11 |
| 2.4 | Sambaran ke Kawat Fasa | 14 |
| 2.5 | Sambaran ke Tiang..... | 14 |
| 2.6 | Sambaran Kawat Tanah..... | 15 |
| 2.7 | Sambaran Induksi..... | 16 |
| 3.1 | Asumsi Saluran Konduktor dan Sambaran Petir..... | 17 |
| 3.2 | Gelombang arus dengan ekor konstan..... | 18 |
| 3.3 | Gelombang arus dengan ekor susut..... | 18 |
| 3.4 | Nilai puncak dari tegangan induksi pada saluran udara dengan Linearly- Rising Return – Stroke Current untuk nilai β yang berbeda dan bervariasi sebagai fungsi dari intensitas arus sambaran | 19 |
| 3.5 | Single Line diagram Penyulang Mawar | 20 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | | Halaman |
|--------------|---|----------------|
| 3.1 | Rekapitulasi Penyebab gangguan Penyulang Mawar..... | 22 |
| 4.1 | Data Jumlah Curah Hujan dan Thunderstorm..... | 27 |
| 4.2 | Tabel Hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 0$ m dan $Y = 30$ m | 33 |
| 4.3 | Tabel Hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 5$ m dan $Y = 30$ m | 35 |
| 4.4 | Tabel Hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 10$ m dan $Y = 30$ m | 37 |
| 4.5 | Tabel Hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 15$ m dan $Y = 30$ m | 39 |

DAFTAR GRAFIK

| Grafik | | Halaman |
|--------|---|---------|
| 4.1 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 0$ m dan $Y = 30$ m | 32 |
| 4.2 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 5$ m dan $Y = 30$ m | 34 |
| 4.3 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 10$ m dan $Y = 30$ m | 36 |
| 4.4 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 15$ m dan $Y = 30$ m | 38 |
| 4.5 | Perbandingan Tegangan Induksi Petir, X terhadap waktu | 40 |
| 4.6 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 0$ m dan $Y = 30$ m | 41 |
| 4.7 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 0$ m dan $Y = 45$ m | 42 |
| 4.8 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 0$ m dan $Y = 60$ m | 43 |
| 4.9 | Karakteristik Tegangan Induksi terhadap waktu pada $X = 0$ m dan $Y = 75$ m | 44 |
| 4.10 | Perbandingan Tegangan Induksi Petir, X terhadap waktu | 45 |

| Grafik | Halaman |
|--|----------------|
| 4.11 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 5$ | 46 |
| 4.12 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 5$ | 47 |
| 4.13 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 10$ | 48 |
| 4.14 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 10$ | 49 |

| Grafik | Halaman |
|--|----------------|
| 4.11 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 5$ | 46 |
| 4.12 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 5$ | 47 |
| 4.13 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 10$ | 48 |
| 4.14 Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap Waktu, dengan $Y_0 = 10$ | 49 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh faktor dari dalam (internal) maupun faktor dari luar (eksternal). Salah satu penyebab gangguan yang berasal dari luar adalah sambaran kilat atau petir. Petir merupakan gejala alam yang dapat berubah sesuai dengan kondisi alam geografis dan cuaca pada suatu daerah. Salah satunya adalah saluran distribusi merupakan sasaran dari sambaran petir yang dapat mengakibatkan gangguan. Berbagai hal dilakukan untuk melindungi peralatan listrik dari sambaran petir. Sejumlah metode untuk menduga tingkat serangan telah dikembangkan pada waktu – waktu yang lalu.

Penelitian yang dilakukan memberikan hasil untuk mengetahui karakteristik dan besarnya tegangan induksi petir pada saluran distribusi 20 KV dengan metode Cornfield. Untuk memudahkan pemahaman dalam studi tegangan induksi petir pada SUTM dengan asumsi secara geometris, besarnya tegangan induksi ini dapat dihitung secara matematis dalam koordinat kartesian dengan menggunakan metode Cornfield, dimana sumbu Z vertikal diasumsikan letak sambaran petir, sumbu X diasumsikan letak titik – titik medan tegangan induksi pada saluran konduktor terhadap titik sambaran petir, sumbu Y diasumsikan sebagai jarak titik sambaran petir terhadap saluran konduktor.

1.2 Rumusan Masalah

Atas dasar latar belakang tersebut di atas, maka timbul permasalahan, yang dirumuskan sebagai berikut: "Bagaimana menganalisa tegangan induksi petir dan karakteristiknya dengan metode cornfield tersebut".

1.3 Tujuan Pembahasan

Tujuan pembahasan skripsi ini adalah menghitung dan menganalisa besarnya tegangan induksi petir pada jaringan distribusi 20 kV dengan menggunakan metode Cornfield.

1.4 Batasan Masalah

1. Analisa dilakukan pada saluran distribusi 20 kV pada GI Blimbing penyulang Mawar
 2. Data yang digunakan adalah pada saluran distribusi kota Malang
 3. Analisis data hanya untuk menghitung tegangan induksi petir dengan metode Cornfield
 4. Sambaran petir berupa sambaran vertikal
 5. Menggunakan program Matlab 6.0
-

1.5 Metodologi Pembahasan

Dalam penyusunan skripsi ini pembahasan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Yaitu mempelajari teori penunjang tentang terjadinya gangguan akibat tegangan induksi petir pada saluran distribusi 20 kV di kota Malang.

2. Survei Lapangan

Yaitu melakukan pengamatan dan mencari data-data yang diperlukan yang meliputi :

- 1). Jumlah curah hujan dan jumlah hari guruh dalam 1 tahun dari Badan Meteorologi dan Geofisika.
- 2). Data teknis meliputi : arus puncak petir, tinggi konduktor di atas tanah, dan lain-lain yang diperlukan dalam operasi matematis.

3. Analisa Perhitungan menggunakan personal komputer dengan program

Matlab 6.0

4. Menyimpulkan hasil analisis dari penelitian masalah ini.

1.6 Sistematika Pembahasan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima Bab, dimana secara garis besarnya adalah sebagai berikut :

- BAB I** : Menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, metodologi dan sistematika penulisan.
 - BAB II** : Membahas teori-teori tentang gangguan saluran distribusi akibat sambaran petir, yang meliputi proses terjadinya petir, mekanisme sambaran petir, dan tegangan lebih oleh surja petir.
 - BAB III** : Membahas tentang teori perhitungan terjadinya gangguan pada saluran distribusi akibat tegangan induksi petir pada saluran Distribusi 20 kV dengan menggunakan metode Cornfield.
 - BAB IV** : Berisi Analisis tegangan induksi petir pada saluran distribusi 20 KV dengan menggunakan metode Cornfield..
 - BAB V** : Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian skripsi ini beserta saran-saran sehubungan hasil penelitian ini.
-



BAB II

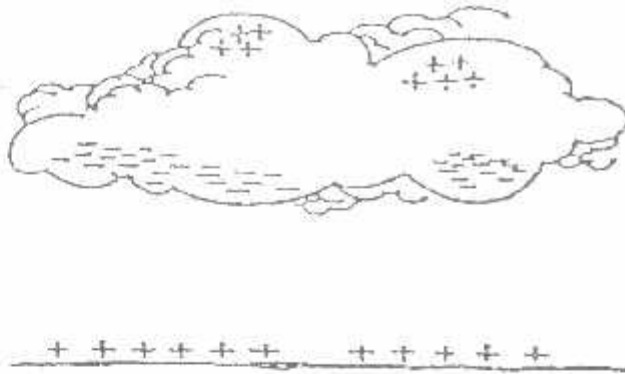
SAMBARAN PETIR PADA SALURAN DISTRIBUSI

2.1 Gangguan Pada Saluran Distribusi

Pada pengoperasian sistem tenaga listrik adanya gangguan-gangguan akan mengakibatkan penyaluran daya listrik menjadi terhambat. Dengan terhambatnya penyaluran daya listrik tersebut akan mengakibatkan kerugian yang banyak baik bagi pihak PLN maupun pihak konsumen. Terjadinya gangguan pada saluran distribusi oleh sambaran petir akan mengganggu sistem distribusi, yakni mengakibatkan adanya tegangan lebih pada saluran distribusi. Dengan adanya tegangan lebih tersebut dapat merusak peralatan karena tegangan tersebut dapat melampaui batas ketahanan yang menyebabkan kerugian-kerugian, diantaranya penurunan tegangan yang dapat mengurangi kerja normal pada peralatan serta kemungkinan kerusakan pada isolator atau komponen lain.

2.2 Proses Terjadinya Petir

Awan terdiri dari daerah yang bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensi di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam tapi gradien tersebar timbul pada bagian muatan tinggi, dimana konsentrasi muatan tertinggi dan gradien tegangan tinggi dari awan ke bumi, timbul muatan pelepasan yang secara umum terjadi di awan. Ketika gradien mencapai batas untuk udara, udara di daerah konsentrasi stress tinggi mengionisasi atau tembus (*break down*).

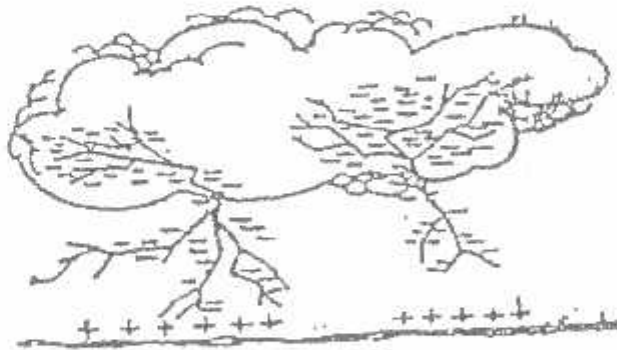


Gambar 2.1a

Awan yang bermuatan menginduksi muatan ke bumi

Sumber : PT. PLN, 1997 : 6

Seperti diperlihatkan pada gambar 2.1a, Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradien tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Formasi suatu sambaran petir berikutnya adalah tembus listrik progresif pada jalur busur api lebih kecil dari pada tembus listrik sesaat dan komplit di udara sepanjang kanal. Sambaran petir ke bumi..



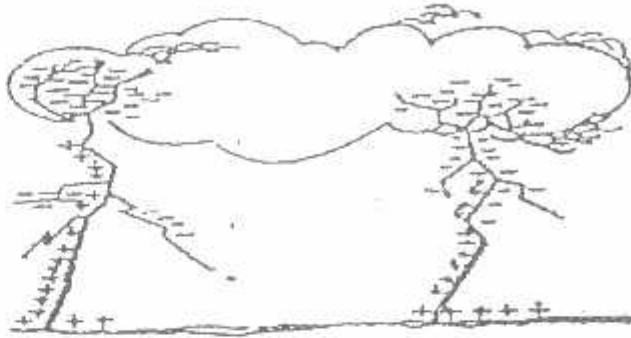
Gambar 2.1b

Lidah petir menjalar ke arah bumi

Sumber : PT. PLN, 1997 : 6

Lidah arah bawah menyebar dari awan ke arah bumi, seperti pada gambar 2.1b. Jika pusat muatan kecil, semua muatan bisa saja dilepaskan selama lidah utama

(*pilot leader*) terbentuk dan sambaran tidak lengkap. Ketika sambaran lengkap, muatan kecil tampaknya di kosongkan akibatnya lidah petir juga berhenti. Begitu pusat muatan baru terbentuk dan lidah terbentuk lagi secara cepat.



Gambar 2.1c

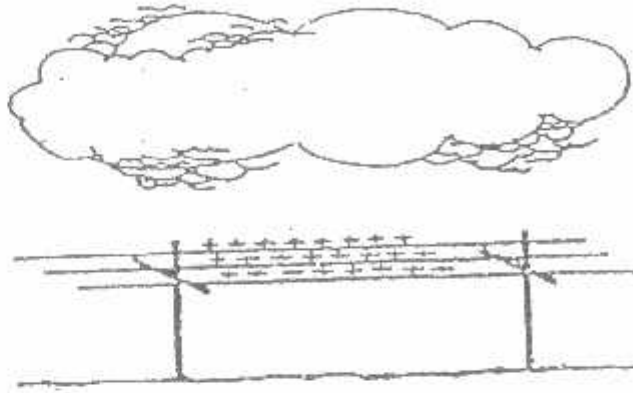
Kilat sambaran dari bumi ke awan

Sumber : PT. PLN, 1997 : 6

Begitu lidah mendekati bumi, sambaran ke arah atas terbentuk, biasanya dari tertinggi di sekitarnya bila lidah petir ke arah atas dan ke arah bawah bertemu seperti gambar 2.1c. Suatu hubungan awan ke bumi dan energi muatan awan dilepaskan ke dalam tanah. Muatan-muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang ada disekitar sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi di netralisir lewat jalur awan ke tanah, muatan dapat terjebak pada jaringan listrik, seperti terlihat pada gambar 2.1d.

Besar muatan yang terjebak ini bergantung pada gradien mula awan ke bumi dan kedekatan sambaran jaringan. Tegangan terinduksi pada jaringan listrik dari sambaran ke tempat jauh, akan menjalar sepanjang jaringan dalam bentuk gelombang berjalan sampai dihilangkan oleh pengurangan (attenuasi), kebocoran, isolator rusak/pecah, atau arrester beroperasi.

Bila sambaran langsung ke jaringan listrik, tegangan naik secara cepat pada titik kontak. Tegangan ini juga menjalar dalam bentuk gelombang berjalan dalam dua arah dari titik sambaran, berusaha menaikkan potensial jaringan terhadap tegangan lidah petir ke arah bawah.



Gambar 2.1d

Kumpulan muatan pada jaringan distribusi

Sumber : PT. PLN, 1997: 6

Tegangan ini melampaui ketahanan tegangan jaringan terhadap tanah dari isolasi sistem dan jika tidak cukup dilengkapi dengan pengamanan tegangan lebih, dapat mengawali kerusakan isolasi. Tegangan yang dihasilkan oleh sambaran petir secara karakteristik naik mencapai nilai puncak secara cepat dan kemudian menurun menuju nol pada laju yang sangat lambat. Waktu untuk tegangan mencapai puncak biasanya beberapa mikro detik atau kurang. Waktu ekor gelombang dapat mencapai 10 atau ratusan mikro detik. Ketika lidah sambaran mendekati penghantar, terjadi induksi muatan. Ketika lidah ini mendekati penghantar pada kecepatan $0,3048 \text{ m/mikro detik}$, terjadi kenaikan tegangan induksi.

Mengingat keadaan muatan listrik yang ada di awan dan bahaya yang terjadi pada sistem tenaga listrik, jika muncul tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir yang tidak mampu ditahan lagi oleh kekuatan isolasi peralatan maka akan terjadi *flashover* atau *breakdown*. Besarnya konsentrasi muatan listrik di awan adalah terbatas, tergantung kemampuan awan itu. Jadi permukaan bumi dapat dianggap sebagai elektroda yang mempunyai luas yang tak terhingga. Gradien tegangan di permukaan bumi tidak melebihi 100 volt/cm jadi pelepasan muatan (*discharge*) cenderung berasal dari awan.

Dari pengamatan dengan Boys Camera, dapat disimpulkan bahwa lidah petir yang tampak oleh mata sebenarnya terdiri dari beberapa sambaran (*stroke*) terpisah yang bergerak turun melalui jalan yang sama. Beberapa istilah dalam sambaran petir adalah : (*Setiyo Saksomo, tanpa tahun : 8*)

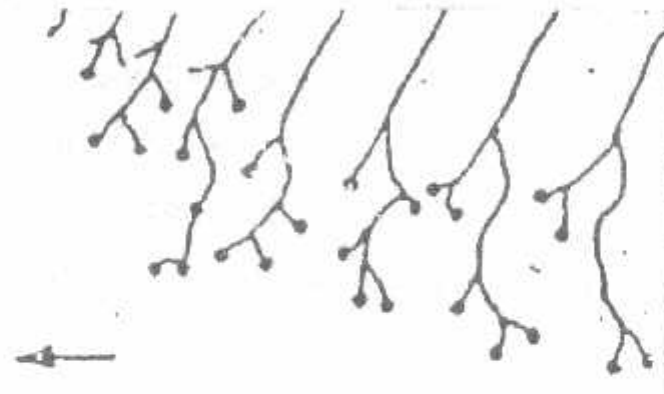
1. Lidah Mula (*Initial Leader*)
2. Sambaran Kembali (*Return Stroke*)
3. Terkaman yang berulang-ulang (*Multiple Stroke*)

2.2.1 Sambaran Mula (*Initial Leader*)

Permulaan dari suatu kilat didahului oleh aliran pengemudi (*pilot streamer*) yang menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara yang ionisasinya rendah. Karena cahayanya lemah, tidak dapat tertangkap oleh Boys Camera. Aliran pengemudi akan diikuti oleh titik cahaya yang bergerak secara melompat –lompat yang dinamakan *Stepped Leader*. Kecepatan *stepped leader* ini lebih - kurang 100.000 m/detik. Arah tiap – tiap langkahnya berubah-ubah, sehingga jalannya tidak lurus dan terpatah-patah.

Ketika lidah kilat menuju ke bumi, cabang-cabang dari lidah utama akan terbentuk. Bila *stepped leader* telah dekat dengan bumi akan terjadi kanal muatan positif dari bumi ke awan, hal ini disebabkan karena adanya beda potensial yang cukup tinggi.

Kanal muatan positif ini akan bertemu dengan ujung *stepped leader* titik pertemuannya dinamakan *point of strike*, yang berada sekitar 20 – 70 m diatas permukaan bumi. Waktu yang dibutuhkan *stepped leader* agar dapat sampai ke bumi kira – kira 20 m/detik. Untuk lebih jelasnya gambar 2.2 berikut ini memperlihatkan *stepped leader* :



Gambar 2.2
Stepped Leader

Sumber : MS Naidu and V Kamaraju, 1985 : 205

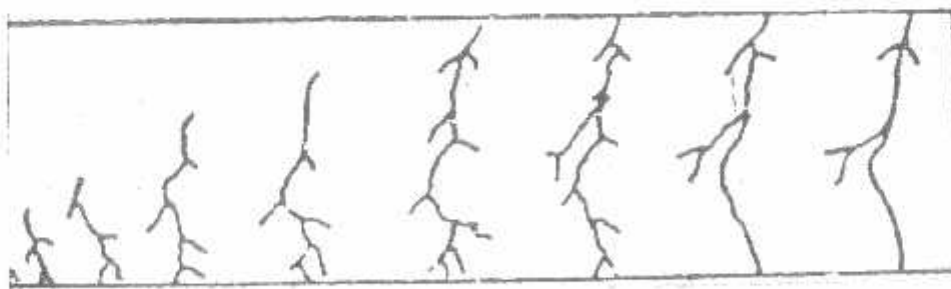
2.2.2 Sambaran Kembali (*Return Stroke*)

Ketika lidah kilat mengenai bumi, suatu sambaran balik yang sangat terang bergerak keatas melalui jalan yang sama. Sambaran balik terjadi karena adanya aliran muatan positif dari bumi ke awan. Naiknya muatan positif akan menarik lagi elektron yang ada diawan, sehingga dapat terjadi lagi lidah kilat lagi yang menuju ke bumi.

Peristiwa yang demikian ini dinamakan sambaran kembali (*return stroke*). Lidah kilat ini merupakan arus impuls dimana harga puncaknya terjadi hanya dalam beberapa mikro detik saja dan setiap sambaran rata-rata besarnya 20 kA, dalam keadaan tertentu bahkan dapat mencapai 100 kA.

2.2.3 Terkaman yang berulang-ulang (*Multiple Stroke*)

Sesudah sambaran balik (*return stroke*) yang pertama biasanya masih ada pusat muatan yang lain di awan untuk memulai sambaran petir berikutnya. Sambaran ini dimulai dengan lidah yang mengikuti jalan yang dilalui oleh sambaran balik sebelumnya. Ciri-cirinya tidak ada percabangan, tidak dapat dilihat dengan Boys Camera dan kecepatannya kira-kira 3% dari kecepatan cahaya (0,13 - 10%). Karena ciri-cirinya tidak ada percabangan maka disebut juga dengan lidah panah (*dart leader*). Lidah panah memerlukan waktu 1 milli sekon untuk sampai ke bumi. Lidah panah ini kemudian akan diikuti dengan sambaran balik berikutnya. Selang waktu antara sambaran balik terdahulu dengan lidah panah berikutnya adalah 40–50 milli detik. Umumnya suatu sambaran petir terdiri dari empat *return stroke*. Untuk lebih jelasnya gambar 2.3 berikut ini memperlihatkan sambaran ulang (*Multiple Stroke*) :



Gambar 2.3
Sambaran Ulang

Sumber : MS Naidu and V Kamaraju, 1985: 205

2.3 Mekanisme Sambaran Petir

Mekanisme sambaran petir pada jaringan distribusi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : (K.T. Sirait dan R. Zoro, 1985: 10)

1. Pengaruh bentuk permukaan bumi
2. Pengaruh resistifitasnya
3. Efek konduktor pentanahan
4. Kepadatan sambaran petir

2.3.1 Pengaruh Bentuk Permukaan Bumi

Petir lebih cenderung menyambar tempat-tempat yang tinggi di permukaan bumi. Hal ini karena kuat medan di sekitar ujung atau puncak bangunan tersebut lebih rapat dan sifat dari muatan akan cenderung mengumpul pada puncak atau ujung dari bagian yang runcing, begitu pula tepian-tepian runcing bangunan.

2.3.2 Pengaruh Resistifitas

Arus petir akan *discharge* ke bumi dengan jalan yang paling konduktif atau kecil resistifitasnya.

2.3.3 Efek Konduktor Pentanahan

Saat konduktor penangkal petir dilalui arus sambaran petir, sangatlah mungkin orang ataupun bangunan disekitarnya akan diloncati oleh arus sambaran tersebut.

2.3.4 Kepadatan Sambaran Petir

Dalam perencanaan pengamanan terhadap sambaran petir maka kepadatannya (frekwensi) harus ditinjau dulu, untuk menentukan mutu pengaman yang akan dipasang. Hal tersebut dapat diketahui dengan banyaknya hari guruh

per tahun pada daerah yang dilaluinya. Banyaknya hari guruh adalah frekwensi guruh di daerah dimana guruh itu ada dan di lintasan yang dilalui oleh saluran transmisinya, banyaknya hari guruh ialah suatu faktor terpenting dalam perencanaan isolasi.

Di Indonesia banyaknya hari guruh setiap tahun untuk setiap tempat yang disebut IKL (*Isokeraunic Level*) dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika. Pada umumnya di daerah yang banyak hari guruhnya dan saluran distribusi yang ada di daerah itu, memerlukan usaha penanggulangan terhadap petir yang cukup dibandingkan dengan daerah yang kurang banyak hari guruhnya. Meskipun demikian, segi ekonomi dan keandalan penyediaan tenaga tidak boleh diabaikan dalam usaha penanggulangan bahaya sambaran petir.

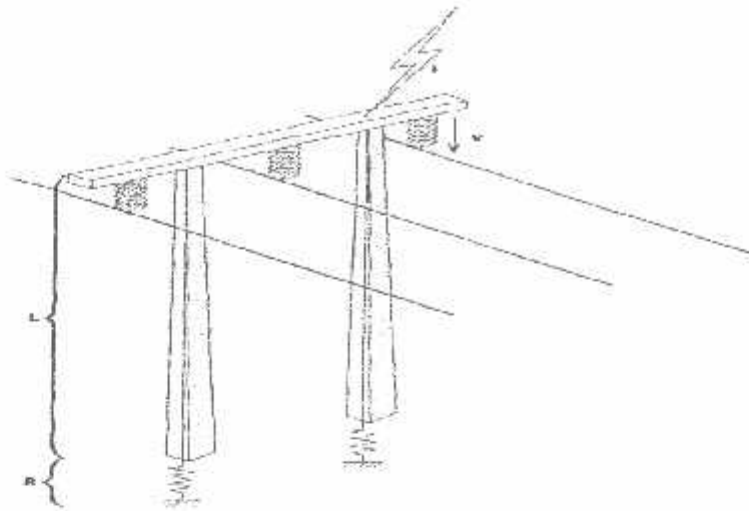
2.4 Tegangan Lebih oleh Surja Petir

Bahaya tegangan lebih yang dapat terjadi pada power sistem (hantaran udara, tiang) dapat berupa : (K.T. Siraat dan R. Zoro, 1986 : 61)

1. Sambaran langsung

a. Secara langsung pada kawat fasa

Adalah sambaran langsung ke kawat fasa dapat juga menyebabkan timbulnya tegangan lebih pada fasa lainnya sebagai akibat adanya kopling magnetis dari sistem. Tegangan ini dapat juga menyebabkan *flashover* pada isolator udara.

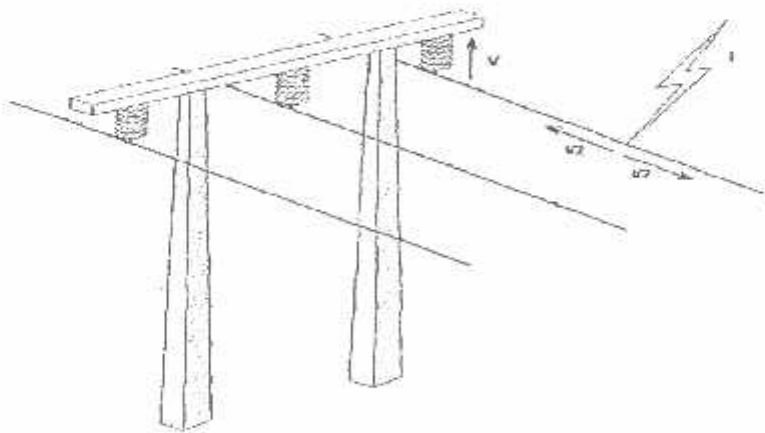


Gambar 2.4
Sambaran ke Kawat fasa

Sumber : Lightning Protection And Detection System, Dr. Reynaldo Zoro

b. Sambaran pada tiang

Sambaran langsung pada tiang akan menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya *Back Flash Over*.

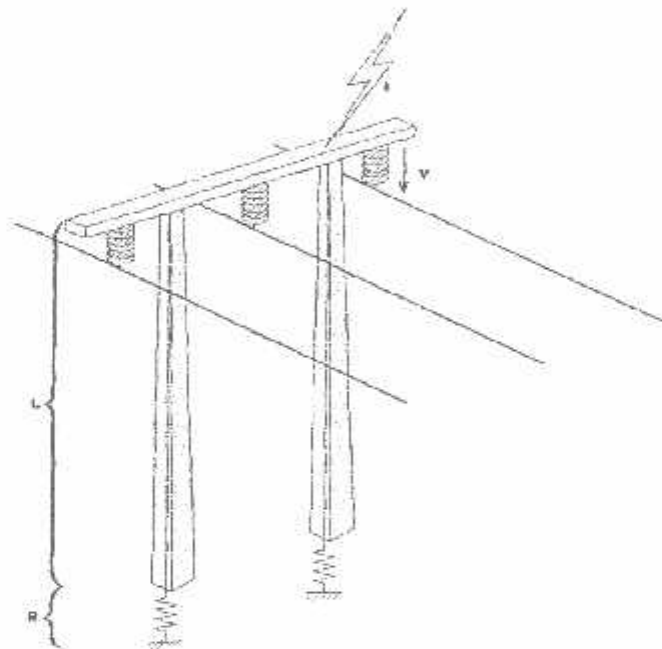


Gambar 2.5
Sambaran Ke Tiang

Sumber : Lightning Protection And Detection System, Dr. Reynaldo Zoro

c. Sambaran pada tiang dengan kawat tanah

Jika kawat tanah disambar petir maka arus tersebut sebagian akan di alirkan ke tiang. Jika jarak bebas antara kawat tanah/tiang ke kawat phasa terlalu kecil atau sambaran petir dengan arus cukup besar maka akan terjadi tembus (*flashover*) antara kawat tanah/tiang ke kawat phasa yang biasa disebut *back flashover*. Dengan pemakaian kawat tanah dapat menurunkan induksi tegangan pada kawat phasa jika terjadi pelepasan muatan di sekitarnya.



Gambar 2.6

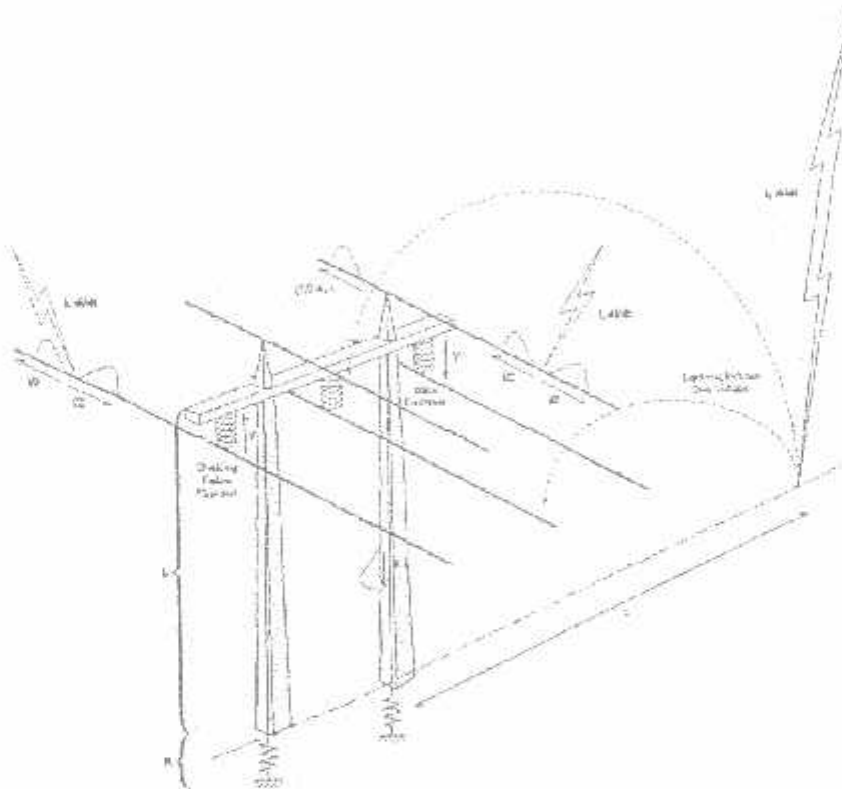
Sambaran Kawat Tanah

Sumber : Lightning Protection And Detection System, Dr. Reynaldo Zoro

2. Secara tidak langsung (induksi)

Dapat terjadi karena :

- Induksi elektromagnetik (arus) akibat terjadinya pelepasan muatan di dekat sistem.
- Induksi elektrostatik sebagai akibat adanya awan bermuatan di atas hantaran udara.



Gambar 2.7
Sambaran Induksi

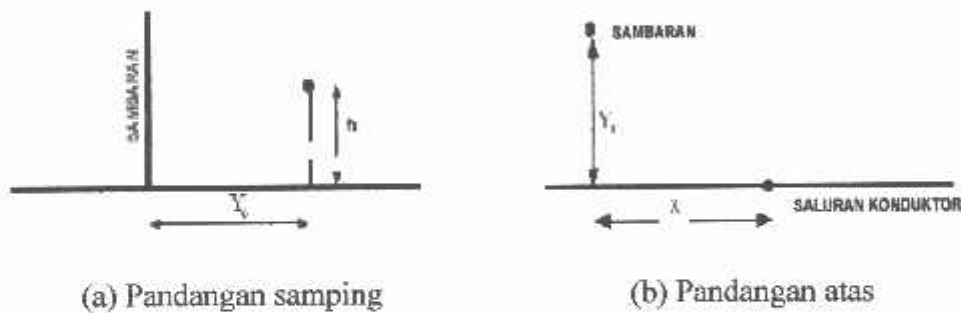
Sumber : *Lightning Protection And Detection System, Dr. Reynaldo Zoro*

BAB III
TEGANGAN INDUKSI PETIR DENGAN METODE CORNFIELD
PADA SUTM 20 KV

3.1 Asumsi Dasar Tegangan Induksi

Tegangan tinggi transien yang disebabkan oleh petir merupakan salah satu sumber utama gangguan saluran udara. Tegangan transien pada saluran udara dapat disebabkan oleh sambaran langsung maupun sambaran induksi di sekitar saluran udara.

Mekanisme tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran induksi, lebih kompleks dari sambaran langsung.



Gambar 3.1

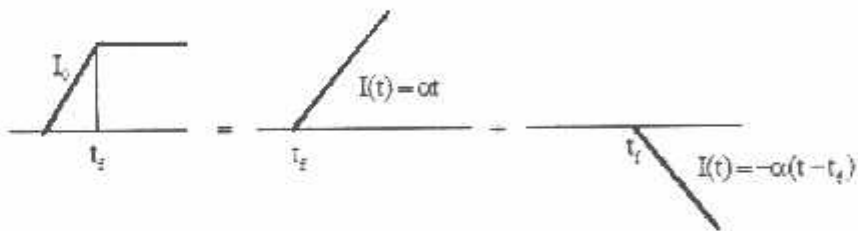
Asumsi Saluran Konduktor dan Sambaran Petir

Sumber : IEEE, Trans. On Power Delivery, Vol. 9, NO.1, Januari 1989

Dalam koordinat kartesian asumsi sumber sistem adalah permukaan tanah. Saluran konduktor diasumsikan terletak pada jarak Y_0 meter dari sambaran, tinggi saluran konduktor pada permukaan tanah h meter dan panjang saluran konduktor x meter. Waktu awal ($t = 0$) diasumsikan waktu sesaat, ketika sambaran balik mulai tepat di dasar tanah.

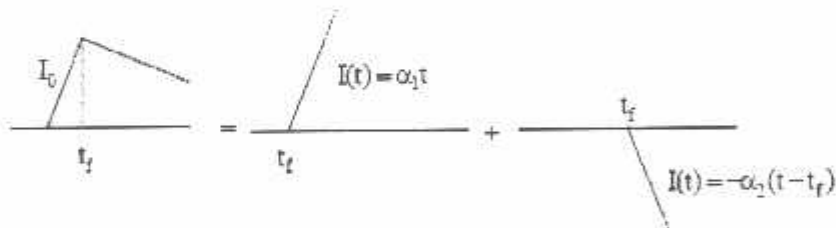
3.2 Tegangan Induksi Dengan Metode Cornfield

Secara *Linearly-Rising Return-stroke current*, arus sambaran balik tidak mempunyai bentuk gelombang yang sederhana, akan tetapi bentuk gelombang dapat digambarkan sebagian linier (*piecewise linear*). Oleh karena itu untuk mempermudah menentukan tegangan induksi secara *Linearly-Rising Return-stroke current* seperti gelombang arus dapat dianalisa dengan penambahan aljabar dua fungsi linearly-rising, pergeseran dengan waktu yang urutan sama untuk waktu muka gelombang arus yang diinginkan seperti gambar berikut :



Gambar 3.2
Gelombang arus dengan ekor konstan

Sumber : IEEE, *Trans. On Power Delivery*, Vol. 9, NO.1, Januari 1989



Gambar 3.3
Gelombang arus dengan ekor susut

Sumber : IEEE, *Trans. On Power Delivery*, Vol. 9, NO.1, Januari 1989

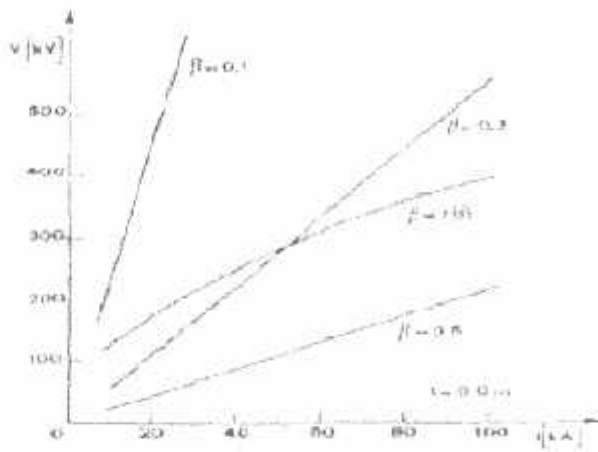
dimana:

I_0 = Arus puncak sambaran petir

$I(t)$ = Nilai arus dalam fungsi waktu

t_f = Saat terjadinya arus puncak

$\alpha, \alpha_1, \alpha_2$ = Konstanta



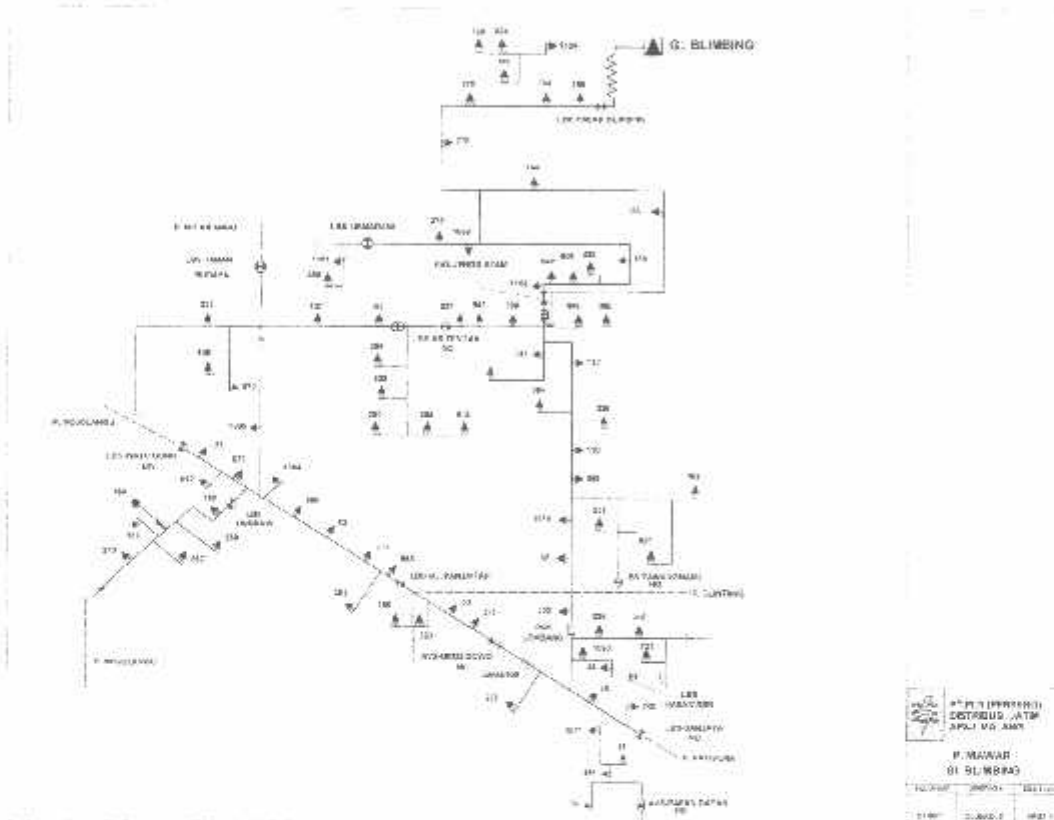
Gambar 3.4

Nilai puncak dari tegangan lebih induksi pada saluran udara dengan Linearly-Rising Return-stoke current untuk nilai β yang berbeda dan bervariasi sebagai fungsi dari intensitas arus sambaran.

Sumber : IEEE, Trans. On Power Delivery, Vol. 9, NO.1, Januari 1989

3.3 Data Saluran

Dalam mengevaluasi besarnya tegangan induksi petir maka data yang digunakan disepanjang penyulang mawar.



Gambar 3.5
Single Line Diagram Penyulang Mawar

Penyulang mawar disuplai dari Gardu Induk Blimbing melalui SKTM (Saluran Kawat Tegangan Menengah) pada tiang awal dan berhenti di AVS-PAPAN DAYAN. Total panjang sirkuit adalah 66 km. Hampir semua penyulang yang disurvei mempunyai tiang jenis beton persegi dengan beberapa tiang besi, dengan rata-rata span gawang rata-rata 50 meter. Tinggi kawat fasa rata-rata adalah 10 meter dari permukaan tanah dengan konfigurasi kawat mendatar

(horizontal) dan jarak antara kawat fasa kurang lebih 1 meter. Secara fisik banyak dijumpai kawat fasa dengan andongan terlalu rendah yang beberapa diantaranya diantisipasi dengan tiang sisipan.

3.4 Kondisi Geografis.

Kondisi daerah penyulang mawar adalah dataran rendah yang mempunyai tipikal tanah hitam atau tanah gunung dan daerah ini sangat padat penduduk. Untuk pohon disepanjang penyulang cukup tinggi, tetapi dari pengamatan dilapangan tinggi pohon yang dominan adalah sekitar 5 meter sampai 19 meter dengan tinggi rata-rata sekitar 12 meter. Tinggi bangunan cukup tinggi atau sama dengan tinggi tiang SUTM 20 kV.

Tabel 3.1
Rekapitulasi Penyebab Gangguan Penyulang Mawar

| No | Penyebab | Tahun | |
|------------------------------|-----------------|--------|--------|
| | | 2004 | 2005 |
| | | Jumlah | Jumlah |
| Rekapitulasi Gangguan | | | |
| 1 | Recloser | 19 | 3 |
| 2 | SUTM Putus | 5 | 4 |
| 3 | Jumper Putus | 2 | 1 |
| 4 | Isolator | 0 | 0 |
| 5 | Tiang Roboh | 1 | 3 |
| 6 | Tiang Ke tabrak | 1 | 0 |
| 7 | Trafo | 6 | 5 |
| 8 | PTS/LBS | 1 | 1 |
| 9 | Cut Out | 5 | 3 |
| 10 | Arrester | 3 | 7 |
| 11 | Kabel Tanah | 2 | 4 |
| 12 | Outdoor | 0 | 0 |
| 13 | Indoor | 0 | 0 |
| 14 | Pohon | 23 | 17 |
| 15 | Layangan | 2 | 5 |
| 16 | Hujan Petir | 40 | 53 |
| 17 | Binatang | 0 | 1 |
| 18 | Tidak Jelas | 83 | 118 |
| 19 | Lain-Lain | 4 | 1 |
| | Total | 197 | 226 |

Sumber : PT. PLN (Persero) Dristribusi Jawa Timur – APJ Malang, 2005

3.5 Sambaran Petir pada Saluran Distribusi

Secara umum banyaknya sambaran petir ke suatu saluran distribusi pada suatu tempat tertentu adalah sebanding dengan tingkat hari guruh (hari guntur tahunan) di tempat itu. Prentice (1977) telah memberikan penjelasan yang lengkap dari penelitiannya tentang hubungan antara jumlah petir ke bumi dengan tingkat hari guruh. Kebanyakan peneliti mencapai hubungan yang sebanding yang berkisar antara 0,1 T hingga 0,19 T petir bumi per km² per tahun dimana T adalah jumlah hari guruh dalam tahunan.

Jumlah sambaran petir ke tanah pada suatu daerah sebanding dengan IKL daerah tersebut. Banyak peneliti telah melakukan penelitian tentang hal tersebut. Dan untuk Indonesia, diperoleh jumlah sambaran petir ke tanah yaitu : (T.S. Hutauruk, 1991 : 135).

$$N = 0,15 T$$

Dimana,

N = Jumlah sambaran ke bumi per km² per tahun

T = Tingkat hari guruh per tahun (IKL)

3.6 Parameter arus Sambaran Petir

Arus sambaran petir mempunyai beberapa parameter, yaitu :

- Arus puncak petir (I_0)
- Kepadatan Sambaran (F_g)
- Saat terjadinya arus puncak (t_f)

3.6.1 Menghitung Arus Puncak Sambaran Petir

Arus Puncak Sambaran Petir mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$I_0 = 29,5143 \times F_g^{0,332737} \times e^{[-4,1411073 \times 10^{-3} Li - 2,40752 \times 10^{-4} hc]}$$

dimana :

I_0 = Arus puncak sambaran petir (kA)

Li = Letak Lintang Geografis

hc = ketinggian awan terendah (m)

3.6.2 Menghitung Kepadatan Sambaran

Kepadatan Sambaran mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$F_g = 3,8371 \times 10^{-3} \times I_{KL}^{0,8179} \times P^{0,5139}$$

dimana :

F_g = kepadatan sambaran

I_{KL} = Jumlah hari guruh rata-rata (hari/tahun)

P = Curah Hujan (mm/tahun)

3.7 Menghitung Besarnya tegangan induksi dengan Metode Cornfield

Yang dinyatakan sebagai berikut :

$$V(t) = V1(t)u(t - t_0) + V2(t)u(t - t_{of})$$

$$V1(t) = f_0 [b_0 \ln(f1_2) - b_0 \ln(f1_1) + 0,5 \ln(f1_3)]$$

$$V2(t) = -f_0 [b_0 \ln(f1_{2a}) - b_0 \ln(f1_{1a}) + 0,5 \ln(f1_{3a})]$$

dimana :

$$b_0 = 1 - \beta^2$$

$$t_{of} = t_0 + t_f$$

$$t_f = t \cdot t_f$$

$$t_0 = \frac{\sqrt{x^2 + y_0^2}}{c}$$

$$f_0 = \frac{30 \cdot h \cdot I_0}{t_f \cdot \beta \cdot c}$$

$$f_0 = \frac{30 \cdot h \cdot I_0}{t_f \cdot \beta \cdot c}$$

$$f1 = m1 + (ct - x)^2 - y_0^2$$

$$f2 = m1 - (ct - x)^2 + y_0^2$$

$$f3 = m_0 + y_0^2 - (c \cdot t - x)^2$$

$$f4 = m_0 - y_0^2 + (c \cdot t_0 - x)^2$$

$$f5 = n1 + (c \cdot t + x)^2 - y_0^2$$

$$f6 = n1 - (c \cdot t + x)^2 + y_0^2$$

$$f7 = n_0 + y_0^2 - (c \cdot t + x)^2$$

$$f8 = n_0 - y_0^2 + (c \cdot t_0 + x)^2$$

$$f9 = b_0 (\beta^2 \cdot x^2 + y_0^2) + \beta^2 \cdot c^2 \cdot t^2 (1 + \beta^2)$$

$$f10 = 2 \cdot \beta^2 \cdot c \cdot t [\beta^2 \cdot c^2 \cdot t^2 + b_0 (x^2 + y_0^2)]^{1/2}$$

$$f11 = \frac{c^2 \cdot t^2 - x^2}{y_0^2}$$

$$f12 = f9 - f10$$

$$f12 = b_0^2 \cdot y_0^2$$

$$f13 = \frac{f1 \cdot f3 \cdot f5 \cdot f7}{f2 \cdot f4 \cdot f6 \cdot f8}$$

$$f13 = \frac{f1 \cdot f3 \cdot f5 \cdot f7}{f2 \cdot f4 \cdot f6 \cdot f8}$$

$$\begin{aligned}
 f1a &= m1a + (c \cdot ttf - x)^2 - y_0^2 \\
 f2a &= m1a - (c \cdot ttf - x)^2 + y_0^2 \\
 f3a &= f3 \\
 f4a &= f4 \\
 f5a &= n1a + (c \cdot t + x)^2 - y_0^2 \\
 f6a &= n1a - (c \cdot t + x)^2 + y_0^2 \\
 f7a &= f7 \\
 f8a &= f8 \\
 f9a &= b_0 (\beta^2 \cdot x^2 + y_0^2) + \beta^2 \cdot c^2 \cdot ttf^2 (1 + \beta^2) \\
 f10a &= 2 \cdot \beta^2 \cdot c \cdot ttf [\beta^2 \cdot c^2 \cdot ttf^2 + b_0 (x^2 + y_0^2)]^{1/2} \\
 f11a &= \frac{c^2 \cdot ttf^2 - x^2}{y_0^2} \\
 f12a &= \frac{f9a - f10a}{b_0^2 \cdot y_0^2} \\
 f13a &= \frac{f1a \cdot f3a \cdot f5a \cdot f7a}{f2a \cdot f4a \cdot f6a \cdot f8a}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m0 &= [((c \cdot t_0 - x)^2 + y_0^2)^2 + 4 \cdot h \cdot c^2 (c \cdot t_0 - x)^2]^{1/2} \\
 m1 &= [((c \cdot t - x)^2 + y_0^2)^2 + 4 \cdot h \cdot c^2 (c \cdot t - x)^2]^{1/2} \\
 n0 &= [((c \cdot t_0 + x)^2 + y_0^2)^2 + 4 \cdot h \cdot c^2 (c \cdot t_0 + x)^2]^{1/2} \\
 n1 &= [((c \cdot t + x)^2 + y_0^2)^2 + 4 \cdot h \cdot c^2 (c \cdot t + x)^2]^{1/2} \\
 m1a &= [((c \cdot ttf - x)^2 + y_0^2)^2 + 4 \cdot h \cdot c^2 (c \cdot ttf - x)^2]^{1/2} \\
 n1a &= [((c \cdot ttf + x)^2 + y_0^2)^2 + 4 \cdot h \cdot c^2 (c \cdot ttf + x)^2]^{1/2}
 \end{aligned}$$

keterangan :

c = kec. gelb. elektromagnetik (m/s)

I_0 = arus puncak sambaran balik (A)

t_f = saat terjadi arus puncak (s)

t = waktu saat teg. Induksi (s)

t_0 = waktu untuk mencapai titik pada saluran (s)

x = letak titik medan pada konduktor (m)

y_0 = jarak titik sambaran ke konduktor (m)

β = rasio kecepatan sambaran balik



BAB IV
ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR PADA SUTM 20 KV
DENGAN METODE CORNFIELD

4.1 Data Jumlah Curah Hujan dan Thunderstorm

Tabel 4.1
Data Jumlah Curah Hujan dan Thunderstorm

| TAHUN 2005 | Jumlah Curah Hujan (mm) | Jumlah Thunderstorm |
|-------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Januari | 243 | 58 |
| Pebruari | 140 | 43 |
| Maret | 359 | 63 |
| April | 251 | 25 |
| Mei | 73 | 2 |
| Juni | 134 | 14 |
| Juli | 3 | 4 |
| Agustus | 15 | 0 |
| September | 101 | 3 |
| Oktober | 43 | 13 |
| November | 227 | 21 |
| Desember | 408 | 59 |
| Jumlah | 1997 | 305 |

4.2 Perhitungan Jumlah Sambaran Petir

4.2.1 Jumlah Sambaran Petir ke Tanah

Dari data yang diperoleh diketahui :

Jumlah hari guruh rata – rata per tahun (IKL) adalah 25,4167

Maka jumlah sambaran petir ke tanah dihitung sebagai berikut :

$$N = 0,15 T$$

$$N = 0,15 \times 25,4167$$

$$= 3,8125 \text{ sambaran / km}^2 \text{ / tahun}$$

4.2.2 Menghitung Kepadatan Sambaran Petir

Kepadatan sambaran petir mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$F_g = 3,8371 \times 10^{-3} \times I_{KL}^{0,8179} \times P^{0,5139}$$

Untuk penelitian ini diperoleh :

$$I_{KL} = 305 \text{ hari/tahun}$$

$$P = 1997 \text{ mm/tahun}$$

Dengan demikian kepadatan sambaran petir adalah :

$$F_g = 3,8371 \times 10^{-3} \times 305^{0,8179} \times 1997^{0,5139}$$

$$= 20,5105 \text{ mm.hari / tahun}$$

4.2.3 Menghitung Arus Puncak Petir

Arus Puncak Sambaran Petir mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$I_0 = 29,5143 \times F_g^{0,332737} \times e^{[-4,1411073 \times 10^{-3} L_i - 2,40752 \times 10^{-4} hc]}$$

Untuk penelitian ini diperoleh :

$$F_g = 20,5105$$

$$L_i = 54$$

$$hc = 455$$

Dengan demikian Arus Puncak Sambaran Petir adalah :

$$I_0 = 29,5143 \times 20,5105^{0,332737} \times e^{[-4,14107 \times 10^{-3} \cdot 54 - 2,40752 \times 10^{-4} \cdot 455]}$$

$$= 57,7944 \text{ kA}$$

4.2.3 Menghitung Tegangan Induksi dengan Metode Cornfield

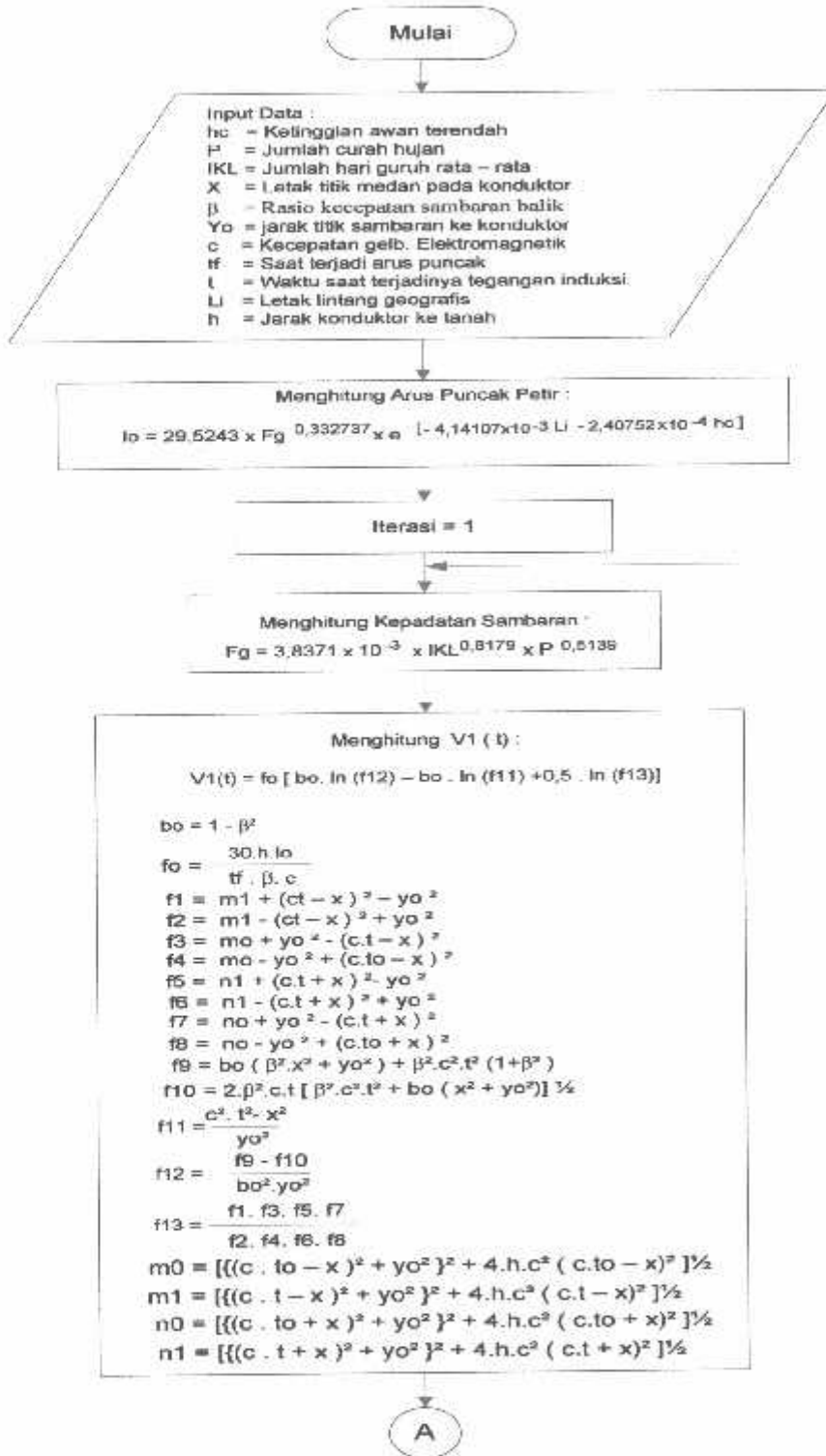
Tegangan Induksi dengan Metode Cornfield mempunyai persamaan sebagai berikut :

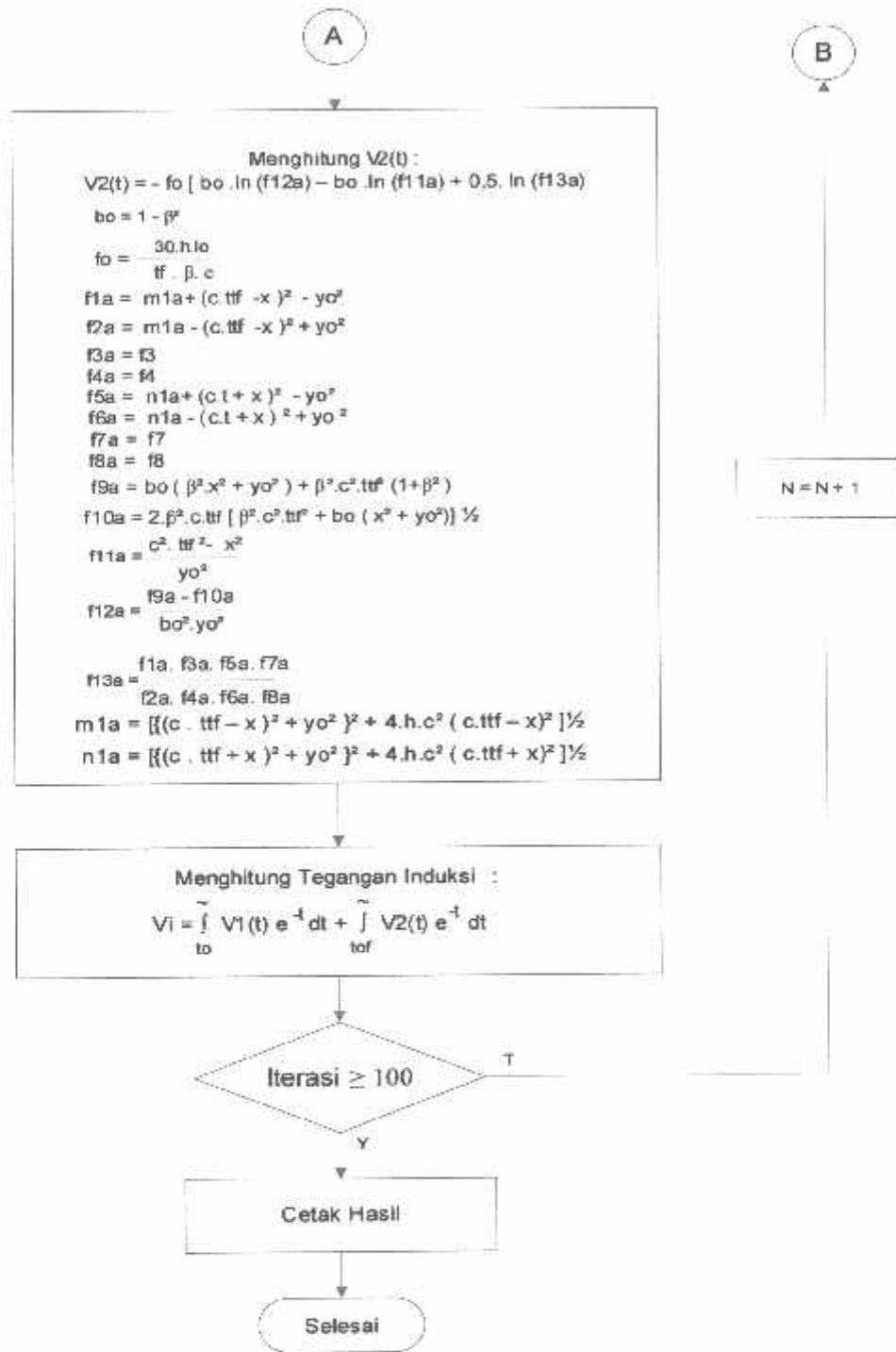
$$V_i = \int_{t_0}^{\tilde{t}} V_1(t) e^{-t} dt + \int_{t_0}^{\tilde{t}} V_2(t) e^{-t} dt$$

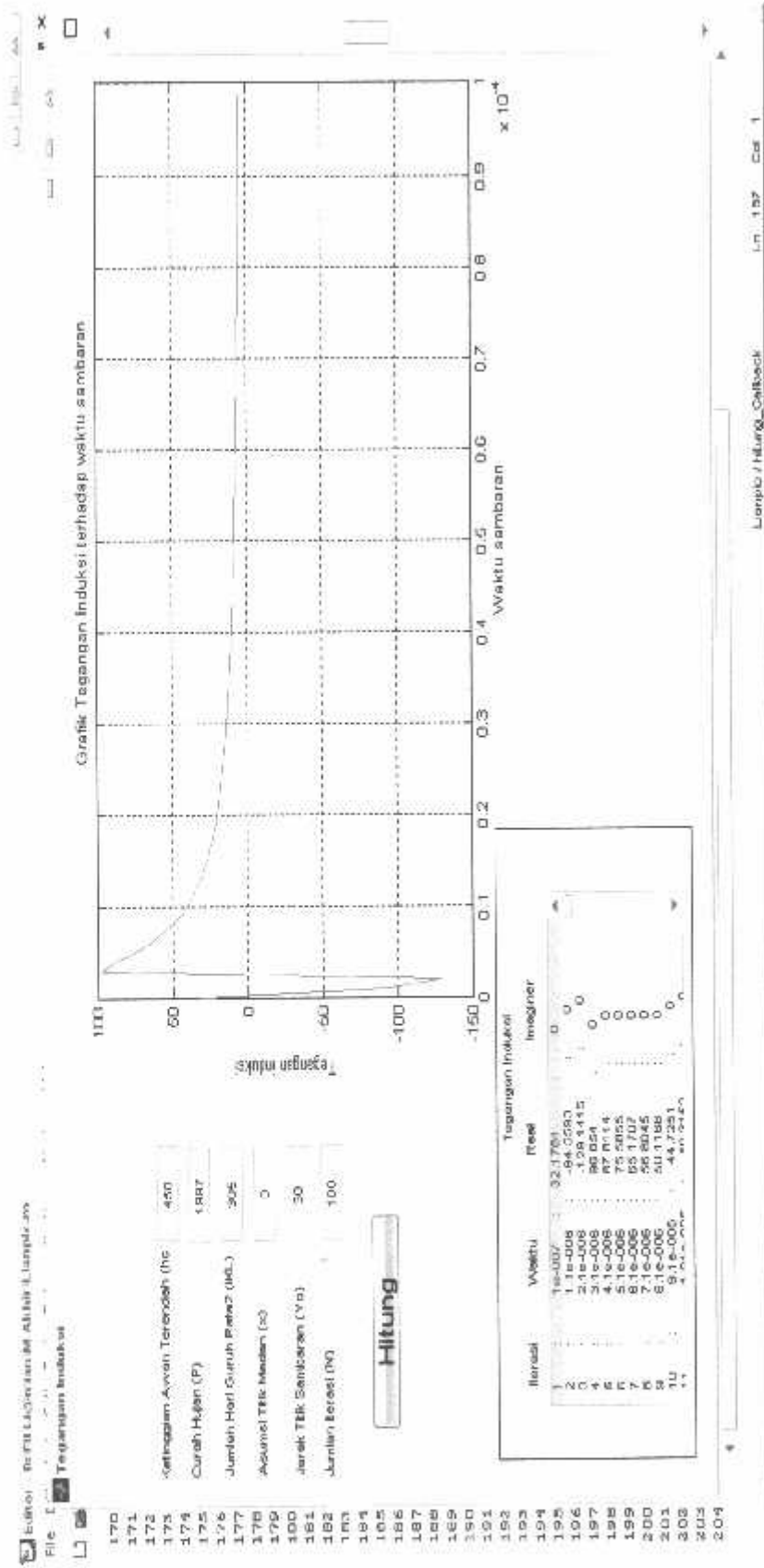
$$V_1(t) = f_0 [b_0 \cdot \ln (f_{12}) - b_0 \cdot \ln (f_{11}) + 0,5 \cdot \ln (f_{13})]$$

$$V_2(t) = - f_0 [b_0 \cdot \ln (f_{12a}) - b_0 \cdot \ln (f_{11a}) + 0,5 \cdot \ln (f_{13a})]$$

**Diagram Alir Program
Tegangan Induksi Petir Pada Saluran Distribusi 20 kV
dengan Metode Cornfield**





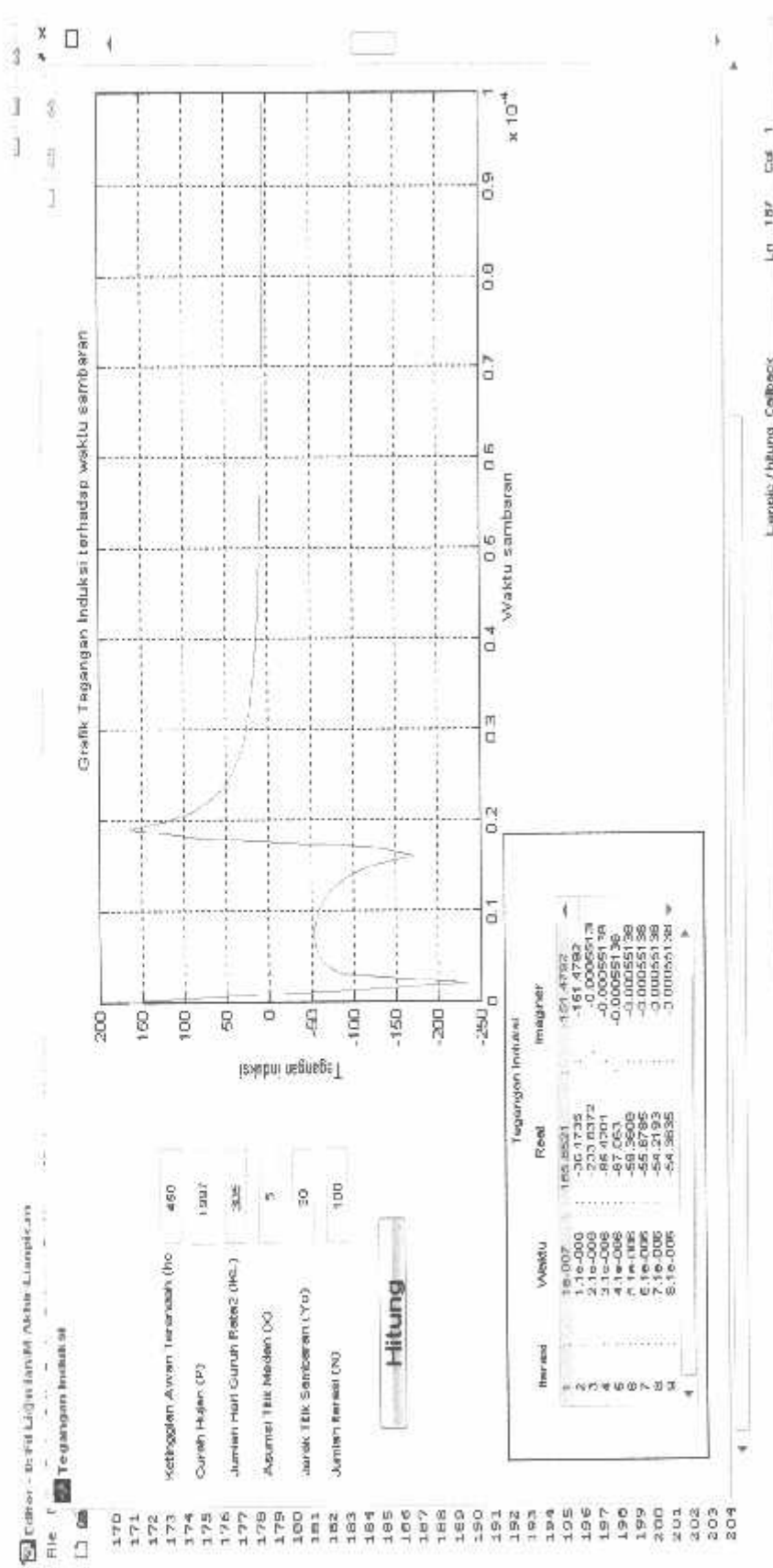


Grafik 4.1
Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu
Pada X = 0 m ; Yo = 30 m

Tabel 4.2

Tabel hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu
Pada X = 0 m dan Y = 30 m

| Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut | Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut |
|---------|-----------|------------------|--------|---------|-----------|------------------|-------|
| 1 | 1e-007 | 51.188 | 0 | 51 | 5.01e-005 | 2.5553 | 0 |
| 2 | 1.1e-006 | 40.075 | 3.1416 | 52 | 5.11e-005 | 2.5177 | 0 |
| 3 | 2.1e-006 | 91.654 | 3.1416 | 53 | 5.21e-005 | 2.4811 | 0 |
| 4 | 3.1e-006 | 1.6339 | 0 | 54 | 5.31e-005 | 2.4453 | 0 |
| 5 | 4.1e-006 | 4.1146 | 0 | 55 | 5.41e-005 | 2.4103 | 0 |
| 6 | 5.1e-006 | 4.5714 | 0 | 56 | 5.51e-005 | 2.3762 | 0 |
| 7 | 6.1e-006 | 4.7028 | 0 | 57 | 5.61e-005 | 2.3429 | 0 |
| 8 | 7.1e-006 | 4.7397 | 0 | 58 | 5.71e-005 | 2.3104 | 0 |
| 9 | 8.1e-006 | 4.7387 | 0 | 59 | 5.81e-005 | 2.2786 | 0 |
| 10 | 9.1e-006 | 4.7187 | 0 | 60 | 5.91e-005 | 2.2476 | 0 |
| 11 | 1.01e-005 | 4.6874 | 0 | 61 | 6.01e-005 | 2.2173 | 0 |
| 12 | 1.11e-005 | 4.6484 | 0 | 62 | 6.11e-005 | 2.1877 | 0 |
| 13 | 1.21e-005 | 4.6039 | 0 | 63 | 6.21e-005 | 2.1589 | 0 |
| 14 | 1.31e-005 | 4.555 | 0 | 64 | 6.31e-005 | 2.1306 | 0 |
| 15 | 1.41e-005 | 4.5026 | 0 | 65 | 6.41e-005 | 2.1031 | 0 |
| 16 | 1.51e-005 | 4.4475 | 0 | 66 | 6.51e-005 | 2.0761 | 0 |
| 17 | 1.61e-005 | 4.39 | 0 | 67 | 6.61e-005 | 2.0498 | 0 |
| 18 | 1.71e-005 | 4.3307 | 0 | 68 | 6.71e-005 | 2.024 | 0 |
| 19 | 1.81e-005 | 4.27 | 0 | 69 | 6.81e-005 | 1.9989 | 0 |
| 20 | 1.91e-005 | 4.2083 | 0 | 70 | 6.91e-005 | 1.9742 | 0 |
| 21 | 2.01e-005 | 4.1457 | 0 | 71 | 7.01e-005 | 1.9502 | 0 |
| 22 | 2.11e-005 | 4.0826 | 0 | 72 | 7.11e-005 | 1.9266 | 0 |
| 23 | 2.21e-005 | 4.0192 | 0 | 73 | 7.21e-005 | 1.9036 | 0 |
| 24 | 2.31e-005 | 3.9558 | 0 | 74 | 7.31e-005 | 1.8811 | 0 |
| 25 | 2.41e-005 | 3.8926 | 0 | 75 | 7.41e-005 | 1.859 | 0 |
| 26 | 2.51e-005 | 3.8296 | 0 | 76 | 7.51e-005 | 1.8375 | 0 |
| 27 | 2.61e-005 | 3.7671 | 0 | 77 | 7.61e-005 | 1.8163 | 0 |
| 28 | 2.71e-005 | 3.7052 | 0 | 78 | 7.71e-005 | 1.7956 | 0 |
| 29 | 2.81e-005 | 3.644 | 0 | 79 | 7.81e-005 | 1.7754 | 0 |
| 30 | 2.91e-005 | 3.5836 | 0 | 80 | 7.91e-005 | 1.7556 | 0 |
| 31 | 3.01e-005 | 3.524 | 0 | 81 | 8.01e-005 | 1.7361 | 0 |
| 32 | 3.11e-005 | 3.4654 | 0 | 82 | 8.11e-005 | 1.7171 | 0 |
| 33 | 3.21e-005 | 3.4077 | 0 | 83 | 8.21e-005 | 1.6985 | 0 |
| 34 | 3.31e-005 | 3.3511 | 0 | 84 | 8.31e-005 | 1.6802 | 0 |
| 35 | 3.41e-005 | 3.2956 | 0 | 85 | 8.41e-005 | 1.6623 | 0 |
| 36 | 3.51e-005 | 3.2412 | 0 | 86 | 8.51e-005 | 1.6447 | 0 |
| 37 | 3.61e-005 | 3.1878 | 0 | 87 | 8.61e-005 | 1.6275 | 0 |
| 38 | 3.71e-005 | 3.1356 | 0 | 88 | 8.71e-005 | 1.6107 | 0 |
| 39 | 3.81e-005 | 3.0845 | 0 | 89 | 8.81e-005 | 1.5941 | 0 |
| 40 | 3.91e-005 | 3.0345 | 0 | 90 | 8.91e-005 | 1.5779 | 0 |
| 41 | 4.01e-005 | 2.9856 | 0 | 91 | 9.01e-005 | 1.562 | 0 |
| 42 | 4.11e-005 | 2.9378 | 0 | 92 | 9.11e-005 | 1.5464 | 0 |
| 43 | 4.21e-005 | 2.8912 | 0 | 93 | 9.21e-005 | 1.531 | 0 |
| 44 | 4.31e-005 | 2.8456 | 0 | 94 | 9.31e-005 | 1.516 | 0 |
| 45 | 4.41e-005 | 2.8011 | 0 | 95 | 9.41e-005 | 1.5012 | 0 |
| 46 | 4.51e-005 | 2.7576 | 0 | 96 | 9.51e-005 | 1.4867 | 0 |
| 47 | 4.61e-005 | 2.7152 | 0 | 97 | 9.61e-005 | 1.4725 | 0 |
| 48 | 4.71e-005 | 2.6737 | 0 | 98 | 9.71e-005 | 1.4585 | 0 |
| 49 | 4.81e-005 | 2.6333 | 0 | 99 | 9.81e-005 | 1.4448 | 0 |
| 50 | 4.91e-005 | 2.5939 | 0 | 100 | 9.91e-005 | 1.4313 | 0 |

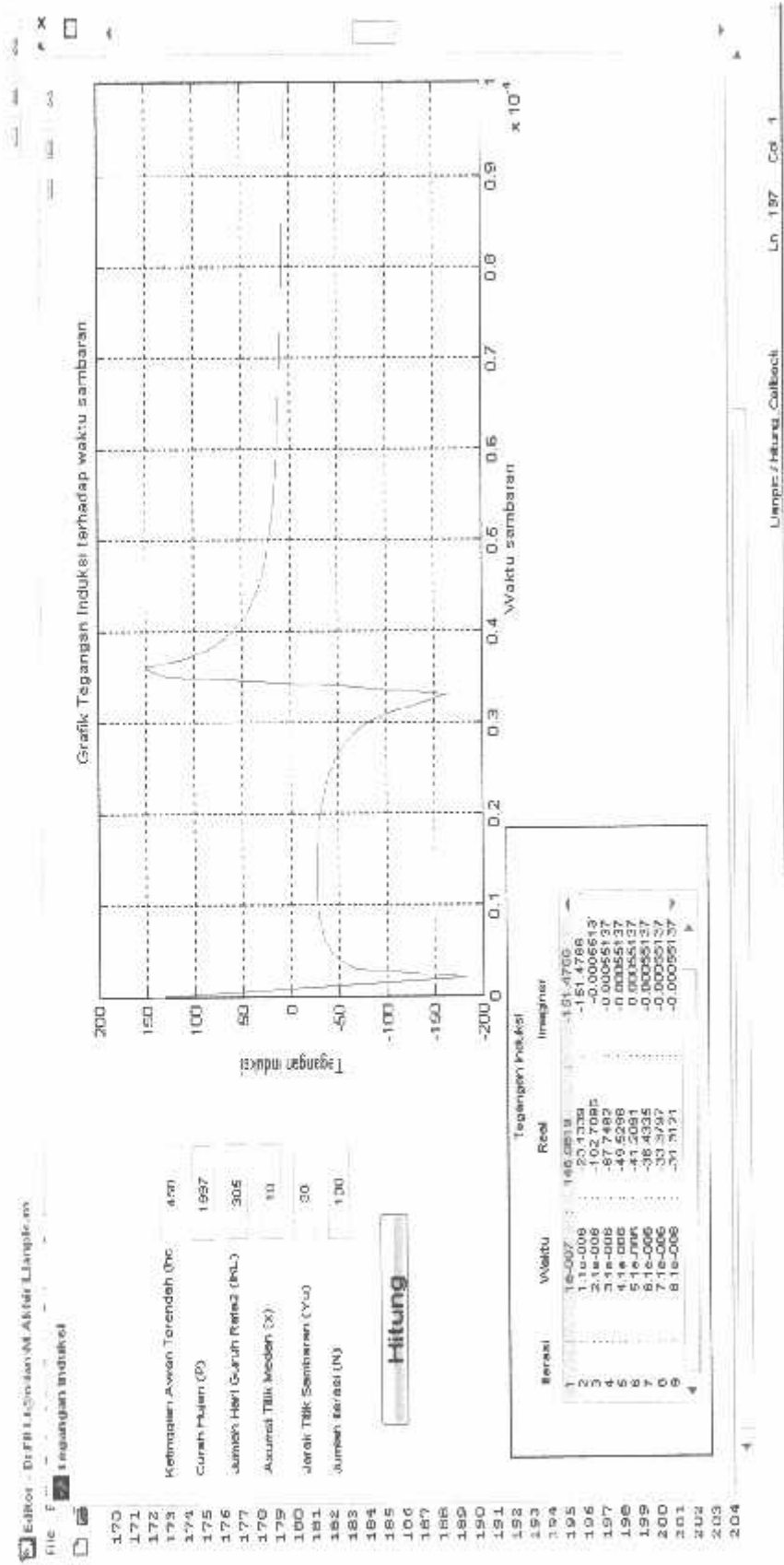


Grafik 4.2
Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu
Pada X = 5 m ; Yo = 30 m

Tabel 4.3

Tabel hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu
Pada X = 5 m dan Y = 30 m

| Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut | Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut |
|---------|-----------|------------------|-------------|---------|-----------|------------------|-------|
| 1 | 1e-007 | 5.8358 | -3.1416 | 51 | 5.01e-005 | 2.2228 | 0 |
| 2 | 1.1e-006 | 5.7006 | -3.1416 | 52 | 5.11e-005 | 2.1845 | 0 |
| 3 | 2.1e-006 | 5.6362 | -3.1416 | 53 | 5.21e-005 | 2.1478 | 0 |
| 4 | 3.1e-006 | 5.6169 | -3.1416 | 54 | 5.31e-005 | 2.1127 | 0 |
| 5 | 4.1e-006 | 5.6177 | -3.1416 | 55 | 5.41e-005 | 2.079 | 0 |
| 6 | 5.1e-006 | 5.6144 | -3.1416 | 56 | 5.51e-005 | 2.0466 | 0 |
| 7 | 6.1e-006 | 5.5811 | -3.1416 | 57 | 5.61e-005 | 2.0153 | 0 |
| 8 | 7.1e-006 | 5.4839 | -3.1416 | 58 | 5.71e-005 | 1.9851 | 0 |
| 9 | 8.1e-006 | 5.2689 | -3.1416 | 59 | 5.81e-005 | 1.9559 | 0 |
| 10 | 9.1e-006 | 4.8318 | -3.1416 | 60 | 5.91e-005 | 1.9276 | 0 |
| 11 | 1.01e-005 | 3.938 | -3.1416 | 61 | 6.01e-005 | 1.9001 | 0 |
| 12 | 1.11e-005 | 1.9458 | -3.1415 | 62 | 6.11e-005 | 1.8734 | 0 |
| 13 | 1.21e-005 | 3.6386 | -2.597e-005 | 63 | 6.21e-005 | 1.8475 | 0 |
| 14 | 1.31e-005 | 97.908 | -9.651e-007 | 64 | 6.31e-005 | 1.8222 | 0 |
| 15 | 1.41e-005 | 62.08 | -1.9523 | 65 | 6.41e-005 | 1.7976 | 0 |
| 16 | 1.51e-158 | 158.42 | -2.7694 | 66 | 6.51e-005 | 1.7736 | 0 |
| 17 | 1.61e-005 | 65.578 | -3.1416 | 67 | 6.61e-005 | 1.7502 | 0 |
| 18 | 1.71e-005 | 114.04 | 1.9746 | 68 | 6.71e-005 | 1.7273 | 0 |
| 19 | 1.81e-005 | 105.64 | 1.4497 | 69 | 6.81e-005 | 1.705 | 0 |
| 20 | 1.91e-005 | 36.042 | 0 | 70 | 6.91e-005 | 1.6832 | 0 |
| 21 | 2.01e-005 | 22.347 | 0 | 71 | 7.01e-005 | 1.6618 | 0 |
| 22 | 2.11e-005 | 15.16 | 0 | 72 | 7.11e-005 | 1.6409 | 0 |
| 23 | 2.21e-005 | 11.409 | 0 | 73 | 7.21e-005 | 1.6205 | 0 |
| 24 | 2.31e-005 | 9.1581 | 0 | 74 | 7.31e-005 | 1.6005 | 0 |
| 25 | 2.41e-005 | 7.6778 | 0 | 75 | 7.41e-005 | 1.5809 | 0 |
| 26 | 2.51e-005 | 6.6404 | 0 | 76 | 7.51e-005 | 1.5618 | 0 |
| 27 | 2.61e-005 | 5.8786 | 0 | 77 | 7.61e-005 | 1.5430 | 0 |
| 28 | 2.71e-005 | 5.2985 | 0 | 78 | 7.71e-005 | 1.5246 | 0 |
| 29 | 2.81e-005 | 4.8439 | 0 | 79 | 7.81e-005 | 1.5065 | 0 |
| 30 | 2.91e-005 | 4.4791 | 0 | 80 | 7.91e-005 | 1.4888 | 0 |
| 31 | 3.01e-005 | 4.1805 | 0 | 81 | 8.01e-005 | 1.4715 | 0 |
| 32 | 3.11e-005 | 3.9319 | 0 | 82 | 8.11e-005 | 1.4545 | 0 |
| 33 | 3.21e-005 | 3.7217 | 0 | 83 | 8.21e-005 | 1.4378 | 0 |
| 34 | 3.31e-005 | 3.5418 | 0 | 84 | 8.31e-005 | 1.4215 | 0 |
| 35 | 3.41e-005 | 3.386 | 0 | 85 | 8.41e-005 | 1.4055 | 0 |
| 36 | 3.51e-005 | 3.5418 | 0 | 86 | 8.51e-005 | 1.3897 | 0 |
| 37 | 3.61e-005 | 3.386 | 0 | 87 | 8.61e-005 | 1.3743 | 0 |
| 38 | 3.71e-005 | 3.2496 | 0 | 88 | 8.71e-005 | 1.3591 | 0 |
| 39 | 3.81e-005 | 2.9256 | 0 | 89 | 8.81e-005 | 1.3443 | 0 |
| 40 | 3.91e-005 | 2.8385 | 0 | 90 | 8.91e-005 | 1.3297 | 0 |
| 41 | 4.01e-005 | 2.7593 | 0 | 91 | 9.01e-005 | 1.3154 | 0 |
| 42 | 4.11e-005 | 2.6868 | 0 | 92 | 9.11e-005 | 1.3013 | 0 |
| 43 | 4.21e-005 | 2.62 | 0 | 93 | 9.21e-005 | 1.2875 | 0 |
| 44 | 4.31e-005 | 2.5583 | 0 | 94 | 9.31e-005 | 1.2740 | 0 |
| 45 | 4.41e-005 | 2.5009 | 0 | 95 | 9.41e-005 | 1.2607 | 0 |
| 46 | 4.51e-005 | 2.4474 | 0 | 96 | 9.51e-005 | 1.2477 | 0 |
| 47 | 4.61e-005 | 2.3971 | 0 | 97 | 9.61e-005 | 1.2348 | 0 |
| 48 | 4.71e-005 | 2.3499 | 0 | 98 | 9.71e-005 | 1.2222 | 0 |
| 49 | 4.81e-005 | 2.3053 | 0 | 99 | 9.81e-005 | 1.2099 | 0 |
| 50 | 4.91e-005 | 2.263 | 0 | 100 | 9.91e-005 | 1.1977 | 0 |



Grafik 4.3

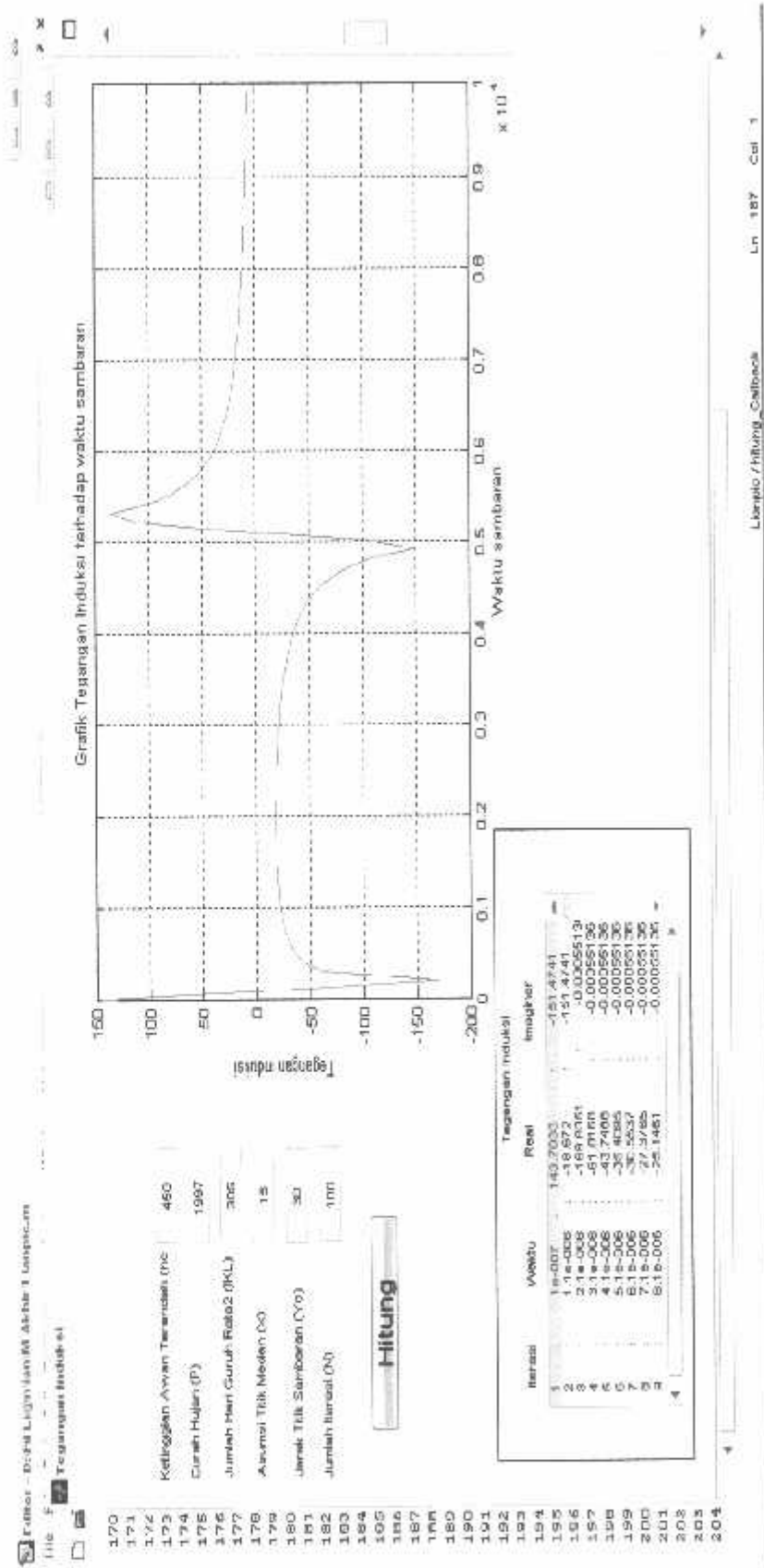
Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu

Pada X = 10 m ; Y₀ = 30 m

Tabel 4.4

Tabel hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu
Pada X = 10 m dan Y = 30 m

| Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut | Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut |
|---------|-----------|------------------|-------------|---------|-----------|------------------|-------|
| 1 | 1e-007 | 2.4868 | -3.799e-005 | 51 | 5.01e-005 | 5.1003 | 0 |
| 2 | 1.1e-006 | 4.4516 | -2.122e-005 | 52 | 5.11e-005 | 4.8424 | 0 |
| 3 | 2.1e-006 | 7.7715 | -1.215e-005 | 53 | 5.21e-005 | 4.6121 | 0 |
| 4 | 3.1e-006 | 14.983 | -6.306e-006 | 54 | 5.31e-005 | 4.405 | 0 |
| 5 | 4.1e-006 | 69.954 | -1.350e-006 | 55 | 5.41e-005 | 4.2176 | 0 |
| 6 | 5.1e-006 | 57.721 | -1.6309 | 56 | 5.51e-005 | 4.047 | 0 |
| 7 | 6.1e-006 | 97.628 | -2.5103 | 57 | 5.61e-005 | 3.891 | 0 |
| 8 | 7.1e-006 | 25.383 | -3.1416 | 58 | 5.71e-005 | 3.7477 | 0 |
| 9 | 8.1e-006 | 17.735 | -3.1416 | 59 | 5.81e-005 | 3.6155 | 0 |
| 10 | 9.1e-006 | 14.396 | -3.1416 | 60 | 5.91e-005 | 3.4932 | 0 |
| 11 | 1.01e-005 | 12.533 | -3.1416 | 61 | 6.01e-005 | 3.3796 | 0 |
| 12 | 1.11e-005 | 11.371 | -3.1416 | 62 | 6.11e-005 | 3.2738 | 0 |
| 13 | 1.21e-005 | 10.607 | -3.1416 | 63 | 6.21e-005 | 3.175 | 0 |
| 14 | 1.31e-005 | 10.096 | -3.1416 | 64 | 6.31e-005 | 3.0826 | 0 |
| 15 | 1.41e-005 | 9.757 | -3.1416 | 65 | 6.41e-005 | 2.9958 | 0 |
| 16 | 1.51e-158 | 9.5461 | -3.1416 | 66 | 6.51e-005 | 2.9143 | 0 |
| 17 | 1.61e-005 | 9.435 | -3.1416 | 67 | 6.61e-005 | 2.8375 | 0 |
| 18 | 1.71e-005 | 9.4065 | -3.1416 | 68 | 6.71e-005 | 2.765 | 0 |
| 19 | 1.81e-005 | 9.4505 | -3.1416 | 69 | 6.81e-005 | 2.6965 | 0 |
| 20 | 1.91e-005 | 9.5615 | -3.1416 | 70 | 6.91e-005 | 2.6316 | 0 |
| 21 | 2.01e-005 | 9.7386 | -3.1416 | 71 | 7.01e-005 | 2.5701 | 0 |
| 22 | 2.11e-005 | 9.9844 | -3.1416 | 72 | 7.11e-005 | 2.5117 | 0 |
| 23 | 2.21e-005 | 10.306 | -3.1416 | 73 | 7.21e-005 | 2.4562 | 0 |
| 24 | 2.31e-005 | 10.715 | -3.1416 | 74 | 7.31e-005 | 2.4033 | 0 |
| 25 | 2.41e-005 | 11.23 | -3.1416 | 75 | 7.41e-005 | 2.3529 | 0 |
| 26 | 2.51e-005 | 11.881 | -3.1416 | 76 | 7.51e-005 | 2.3529 | 0 |
| 27 | 2.61e-005 | 12.711 | -3.1416 | 77 | 7.61e-005 | 2.3047 | 0 |
| 28 | 2.71e-005 | 13.791 | -3.1416 | 78 | 7.71e-005 | 2.2587 | 0 |
| 29 | 2.81e-005 | 15.238 | -3.1416 | 79 | 7.81e-005 | 2.1321 | 0 |
| 30 | 2.91e-005 | 17.263 | -3.1416 | 80 | 7.91e-005 | 2.1321 | 0 |
| 31 | 3.01e-005 | 20.277 | -3.1416 | 81 | 8.01e-005 | 2.0933 | 0 |
| 32 | 3.11e-005 | 25.201 | -3.1416 | 82 | 8.11e-005 | 2.056 | 0 |
| 33 | 3.21e-005 | 34.521 | -3.1416 | 83 | 8.21e-005 | 2.0201 | 0 |
| 34 | 3.31e-005 | 43.364 | -3.1416 | 84 | 8.31e-005 | 1.9855 | 0 |
| 35 | 3.41e-005 | 105.91 | 1.7113 | 85 | 8.41e-005 | 1.9523 | 0 |
| 36 | 3.51e-005 | 109.57 | 1.2765 | 86 | 8.51e-005 | 1.9201 | 0 |
| 37 | 3.61e-005 | 38.279 | 0 | 87 | 8.61e-005 | 1.8891 | 0 |
| 38 | 3.71e-005 | 25.126 | 0 | 88 | 8.71e-005 | 1.8592 | 0 |
| 39 | 3.81e-005 | 18.626 | 0 | 89 | 8.81e-005 | 1.8302 | 0 |
| 40 | 3.91e-005 | 14.873 | 0 | 90 | 8.91e-005 | 1.8022 | 0 |
| 41 | 4.01e-005 | 12.437 | 0 | 91 | 9.01e-005 | 1.775 | 0 |
| 42 | 4.11e-005 | 10.727 | 0 | 92 | 9.11e-005 | 1.7487 | 0 |
| 43 | 4.21e-005 | 9.4609 | 0 | 93 | 9.21e-005 | 1.7232 | 0 |
| 44 | 4.31e-005 | 8.4848 | 0 | 94 | 9.31e-005 | 1.6985 | 0 |
| 45 | 4.41e-005 | 7.7087 | 0 | 95 | 9.41e-005 | 1.6744 | 0 |
| 46 | 4.51e-005 | 7.0761 | 0 | 96 | 9.51e-005 | 1.6511 | 0 |
| 47 | 4.61e-005 | 6.5499 | 0 | 97 | 9.61e-005 | 1.6284 | 0 |
| 48 | 4.71e-005 | 6.1049 | 0 | 98 | 9.71e-005 | 1.6063 | 0 |
| 49 | 4.81e-005 | 5.7231 | 0 | 99 | 9.81e-005 | 1.5848 | 0 |
| 50 | 4.91e-005 | 5.3914 | 0 | 100 | 9.91e-005 | 1.5639 | 0 |

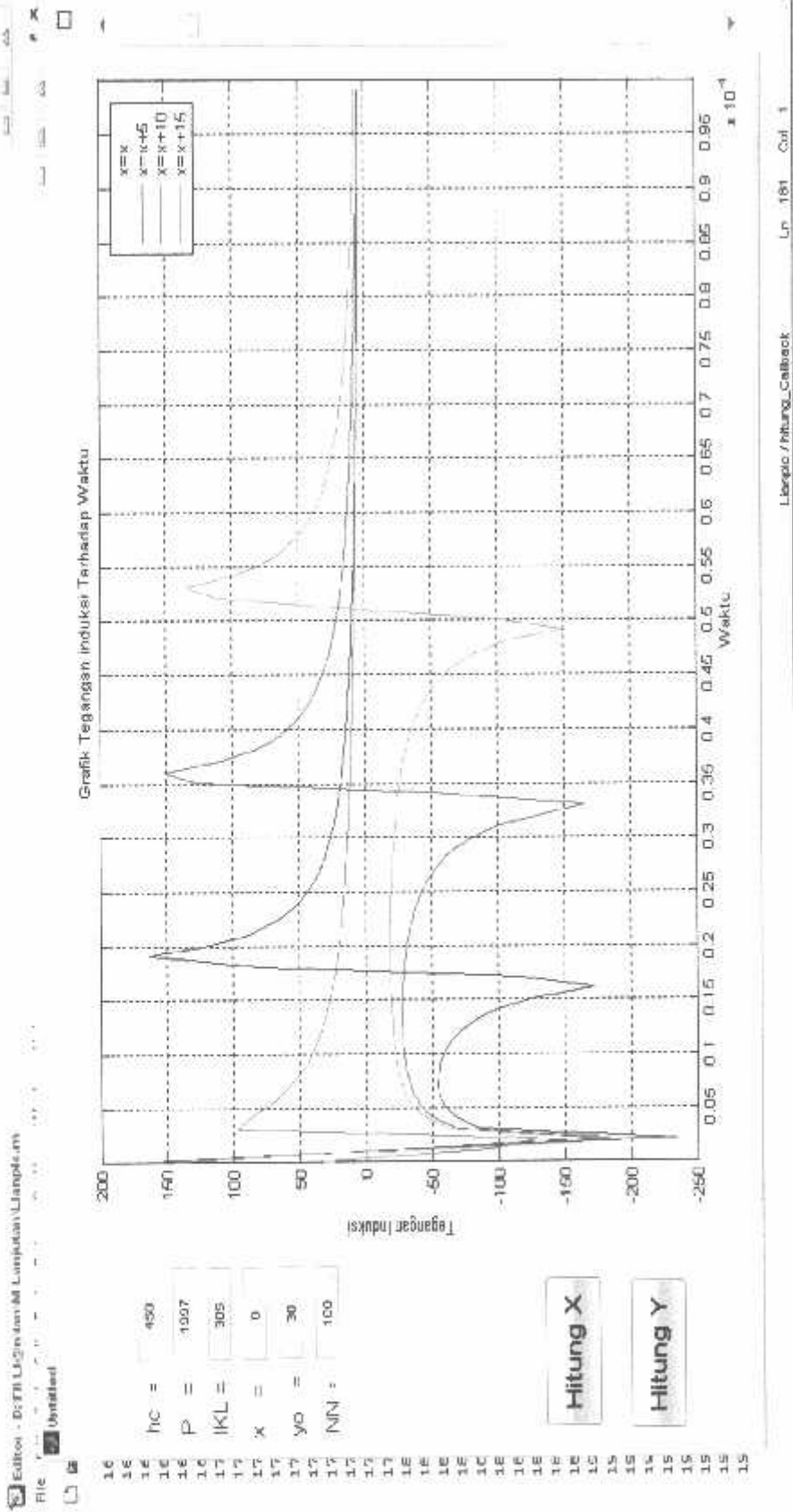


Grafik 4.4
Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu
Pada X = 15 m ; Y0 = 30 m

Tabel 4.5

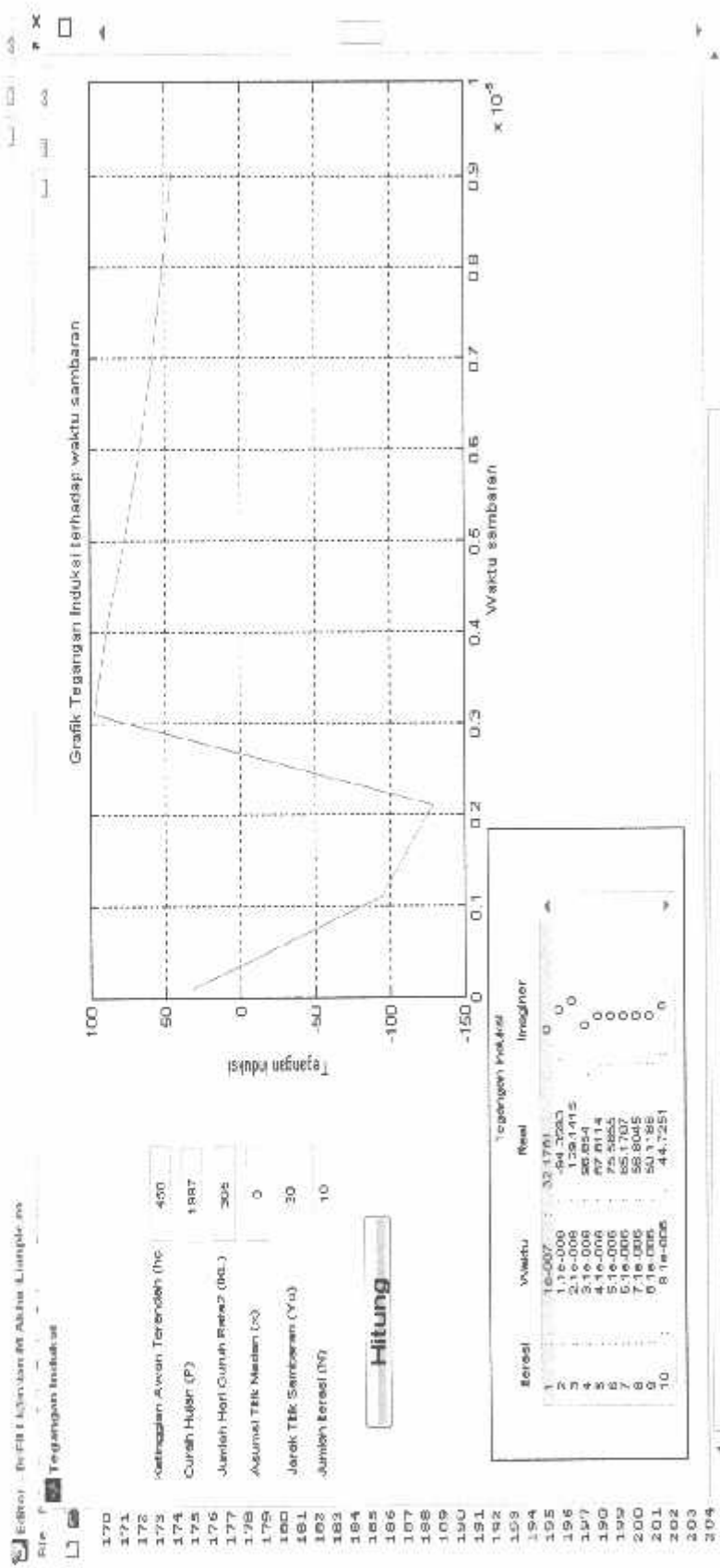
Tabel hasil Perhitungan Tegangan Induksi terhadap waktu
Pada X = 15 m dan Y = 30 m

| Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut | Iterasi | Waktu | Tegangan Induksi | Sudut |
|---------|-----------|------------------|--------------|---------|-----------|------------------|--------|
| 1 | 1e-007 | 7.6752 | -1.2311e-005 | 51 | 5.01e-005 | 106.64 | 1.7539 |
| 2 | 1.1e-006 | 13.168 | -2.9342e-006 | 52 | 5.11e-005 | 104.96 | 1.5273 |
| 3 | 2.1e-006 | 32.203 | -7.1757e-006 | 53 | 5.21e-005 | 20.767 | 0 |
| 4 | 3.1e-006 | 58.308 | -1.4166 | 54 | 5.31e-005 | 33.497 | 0 |
| 5 | 4.1e-006 | 66.566 | -2.0954 | 55 | 5.41e-005 | 23.184 | 0 |
| 6 | 5.1e-006 | 28.948 | -3.1416 | 56 | 5.51e-005 | 17.839 | 0 |
| 7 | 6.1e-006 | 18.023 | -3.1416 | 57 | 5.61e-005 | 14.602 | 0 |
| 8 | 7.1e-006 | 13.832 | -3.1416 | 58 | 5.71e-005 | 12.432 | 0 |
| 9 | 8.1e-006 | 11.556 | -3.1416 | 59 | 5.81e-005 | 10.873 | 0 |
| 10 | 9.1e-006 | 10.121 | -3.1416 | 60 | 5.91e-005 | 9.6978 | 0 |
| 11 | 1.01e-005 | 9.1344 | -3.1416 | 61 | 6.01e-005 | 8.7778 | 0 |
| 12 | 1.11e-005 | 8.4188 | -3.1416 | 62 | 6.11e-005 | 8.0366 | 0 |
| 13 | 1.21e-005 | 7.8804 | -3.1416 | 63 | 6.21e-005 | 7.4254 | 0 |
| 14 | 1.31e-005 | 7.4654 | -3.1416 | 64 | 6.31e-005 | 6.9117 | 0 |
| 15 | 1.41e-005 | 7.1406 | -3.1416 | 65 | 6.41e-005 | 6.4729 | 0 |
| 16 | 1.51e-005 | 6.8846 | -3.1416 | 66 | 6.51e-005 | 6.0929 | 0 |
| 17 | 1.61e-005 | 6.6826 | -3.1416 | 67 | 6.61e-005 | 5.76 | 0 |
| 18 | 1.71e-005 | 6.5247 | -3.1416 | 68 | 6.71e-005 | 5.4653 | 0 |
| 19 | 1.81e-005 | 6.4032 | -3.1416 | 69 | 6.81e-005 | 5.2023 | 0 |
| 20 | 1.91e-005 | 6.313 | -3.1416 | 70 | 6.91e-005 | 4.9656 | 0 |
| 21 | 2.01e-005 | 6.25 | -3.1416 | 71 | 7.01e-005 | 4.7511 | 0 |
| 22 | 2.11e-005 | 6.2111 | -3.1416 | 72 | 7.11e-005 | 4.5557 | 0 |
| 23 | 2.21e-005 | 6.1939 | -3.1416 | 73 | 7.21e-005 | 4.3767 | 0 |
| 24 | 2.31e-005 | 6.1969 | -3.1416 | 74 | 7.31e-005 | 4.2119 | 0 |
| 25 | 2.41e-005 | 6.2186 | -3.1416 | 75 | 7.41e-005 | 4.0596 | 0 |
| 26 | 2.51e-005 | 6.2582 | -3.1416 | 76 | 7.51e-005 | 3.9184 | 0 |
| 27 | 2.61e-005 | 6.3152 | -3.1416 | 77 | 7.61e-005 | 3.7869 | 0 |
| 28 | 2.71e-005 | 6.3893 | -3.1416 | 78 | 7.71e-005 | 3.6641 | 0 |
| 29 | 2.81e-005 | 6.4806 | -3.1416 | 79 | 7.81e-005 | 3.5492 | 0 |
| 30 | 2.91e-005 | 6.5896 | -3.1416 | 80 | 7.91e-005 | 3.4414 | 0 |
| 31 | 3.01e-005 | 6.7169 | -3.1416 | 81 | 8.01e-005 | 3.34 | 0 |
| 32 | 3.11e-005 | 6.8638 | -3.1416 | 82 | 8.11e-005 | 3.2445 | 0 |
| 33 | 3.21e-005 | 7.032 | -3.1416 | 83 | 8.21e-005 | 3.1543 | 0 |
| 34 | 3.31e-005 | 7.2236 | -3.1416 | 84 | 8.31e-005 | 3.0691 | 0 |
| 35 | 3.41e-005 | 7.4416 | -3.1416 | 85 | 8.41e-005 | 2.9883 | 0 |
| 36 | 3.51e-005 | 7.6898 | -3.1416 | 86 | 8.51e-005 | 2.9118 | 0 |
| 37 | 3.61e-005 | 7.9735 | -3.1416 | 87 | 8.61e-005 | 2.8391 | 0 |
| 38 | 3.71e-005 | 8.2994 | -3.1416 | 88 | 8.71e-005 | 2.7699 | 0 |
| 39 | 3.81e-005 | 8.6764 | -3.1416 | 89 | 8.81e-005 | 2.7041 | 0 |
| 40 | 3.91e-005 | 9.117 | -3.1416 | 90 | 8.91e-005 | 2.6414 | 0 |
| 41 | 4.01e-005 | 9.6379 | -3.1416 | 91 | 9.01e-005 | 2.5816 | 0 |
| 42 | 4.11e-005 | 10.263 | -3.1416 | 92 | 9.11e-005 | 2.5245 | 0 |
| 43 | 4.21e-005 | 11.028 | -3.1416 | 93 | 9.21e-005 | 2.4699 | 0 |
| 44 | 4.31e-005 | 11.986 | -3.1416 | 94 | 9.31e-005 | 2.4177 | 0 |
| 45 | 4.41e-005 | 13.22 | -3.1416 | 95 | 9.41e-005 | 2.3677 | 0 |
| 46 | 4.51e-005 | 14.873 | -3.1416 | 96 | 9.51e-005 | 2.3197 | 0 |
| 47 | 4.61e-005 | 17.206 | -3.1416 | 97 | 9.61e-005 | 2.2738 | 0 |
| 48 | 4.71e-005 | 20.747 | -3.1416 | 98 | 9.71e-005 | 2.2296 | 0 |
| 49 | 4.81e-005 | 26.754 | -3.1416 | 99 | 9.81e-005 | 2.1873 | 0 |
| 50 | 4.91e-005 | 38.722 | -3.1416 | 100 | 9.91e-005 | 2.1465 | 0 |

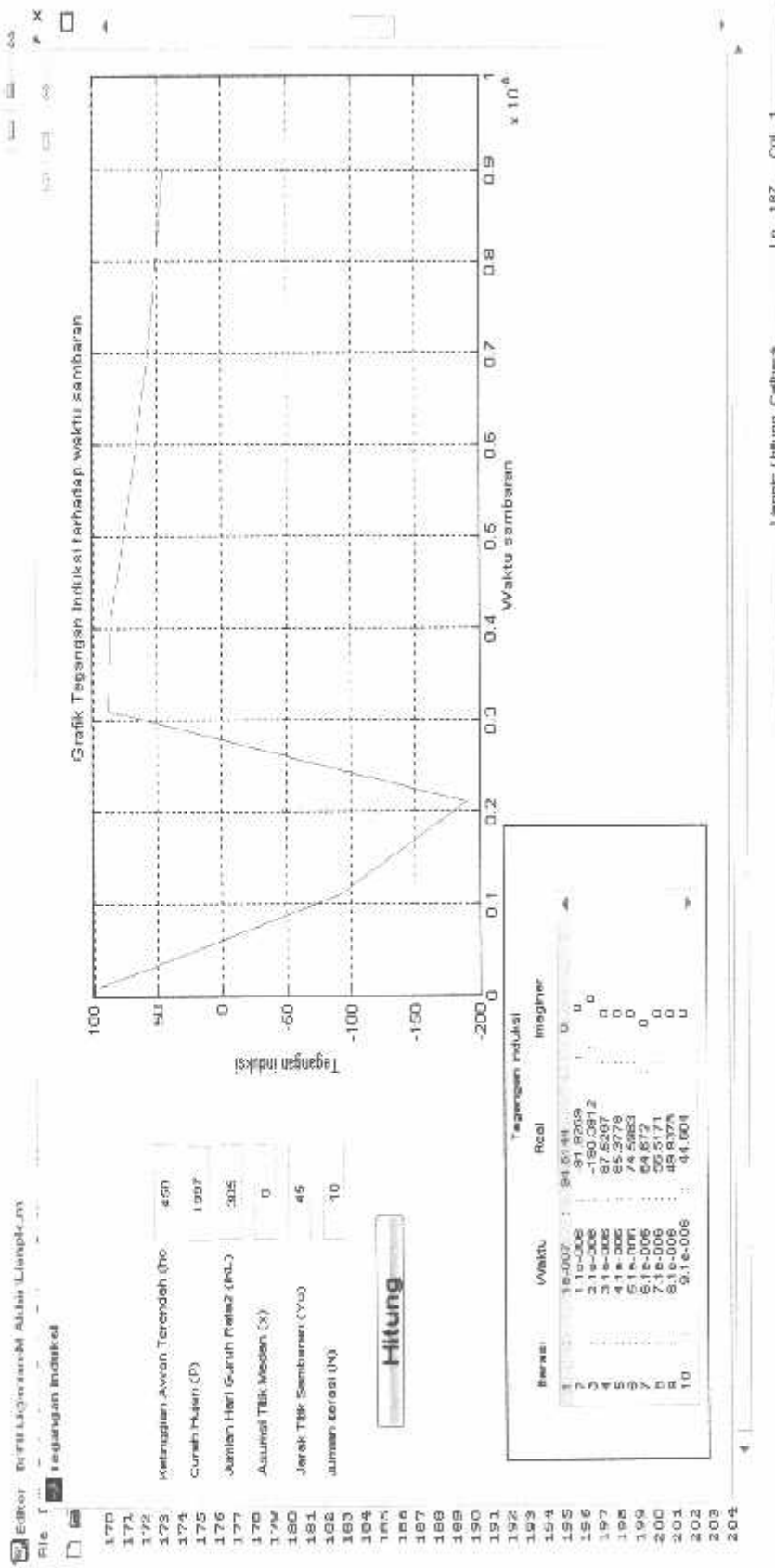


Grafik 4.5

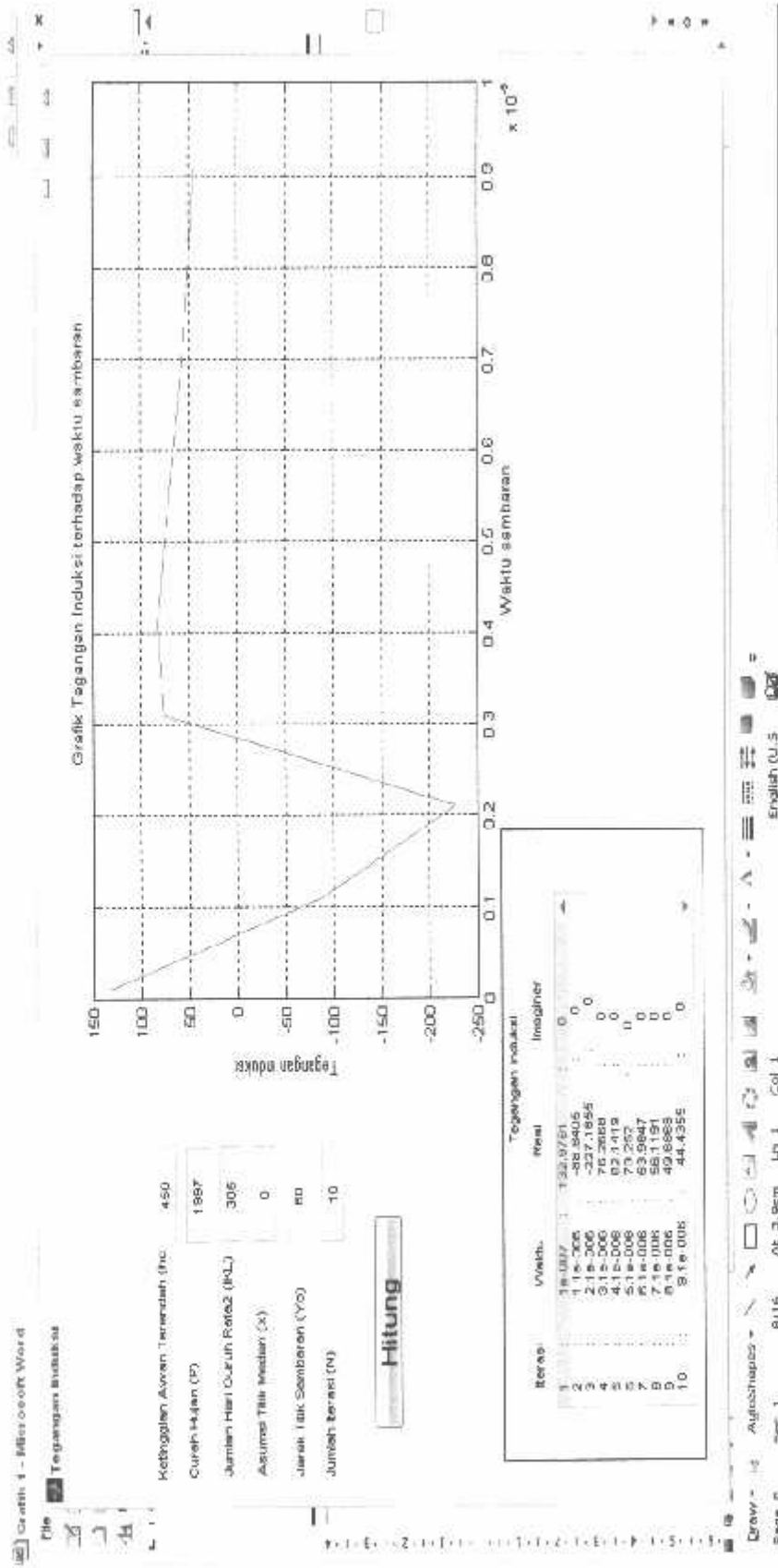
Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir, X terhadap waktu



Grafik 4.6
Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu
Pada X = 0 m ; Yo = 30 m



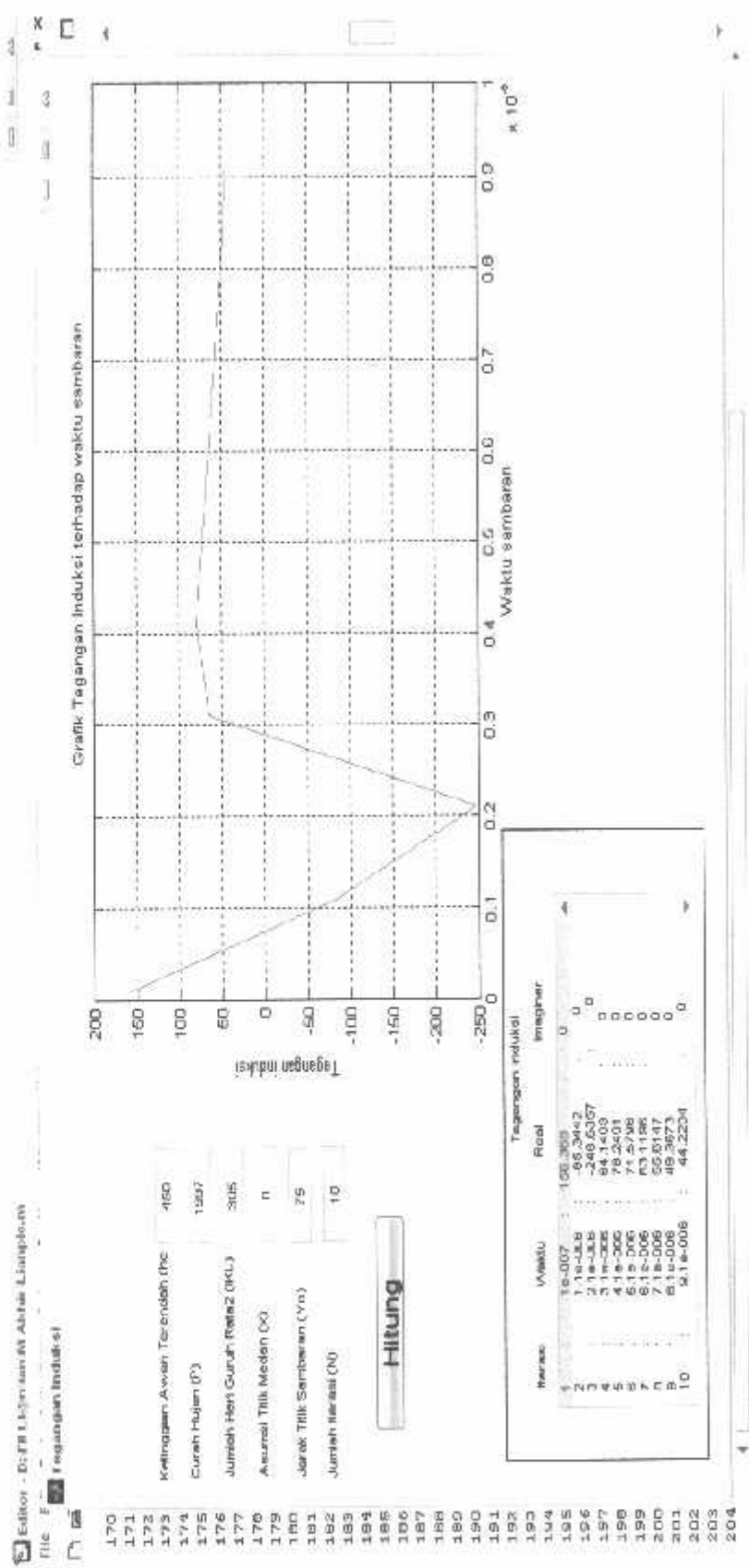
Grafik 4.7
Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu
Pada X = 0 m ; Y0 = 45 m



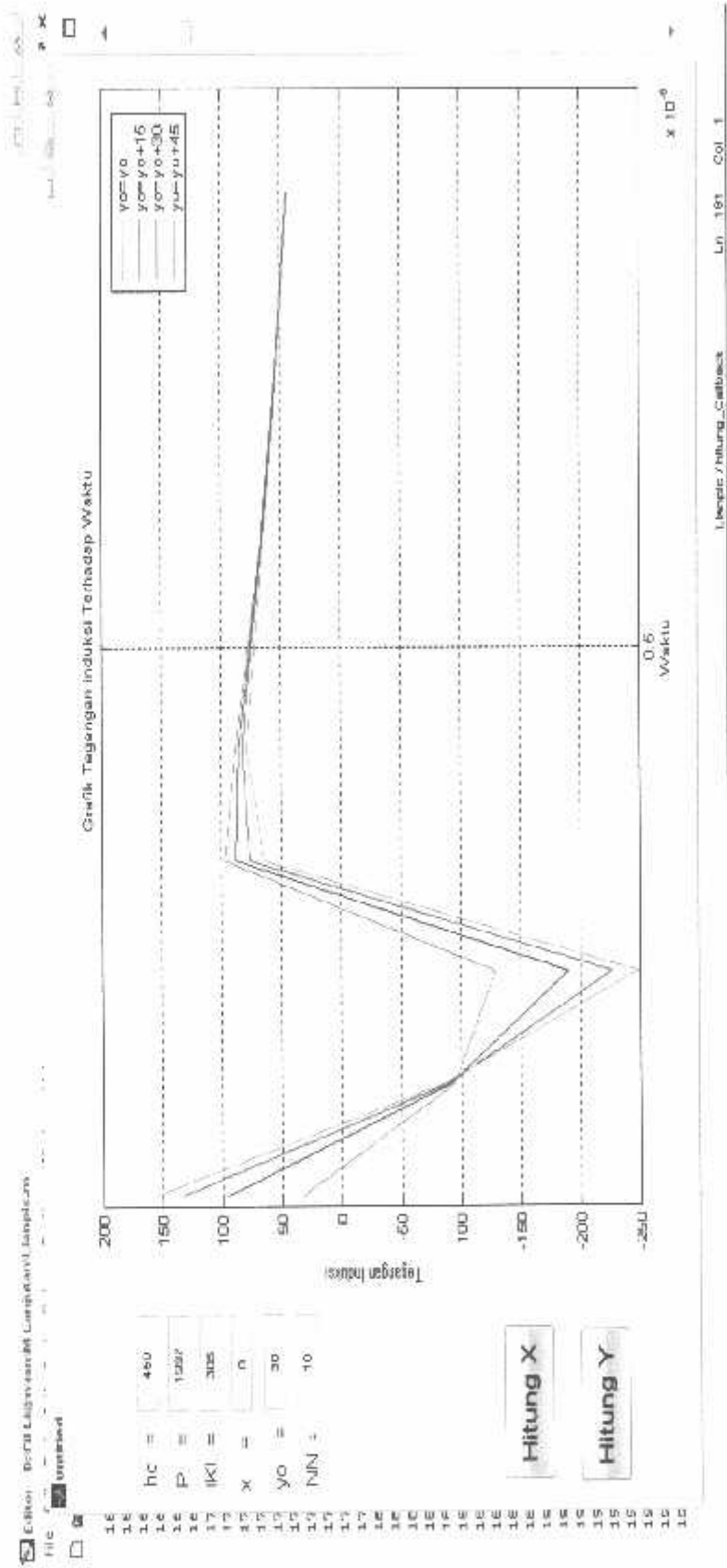
Grafik 4.8

Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu

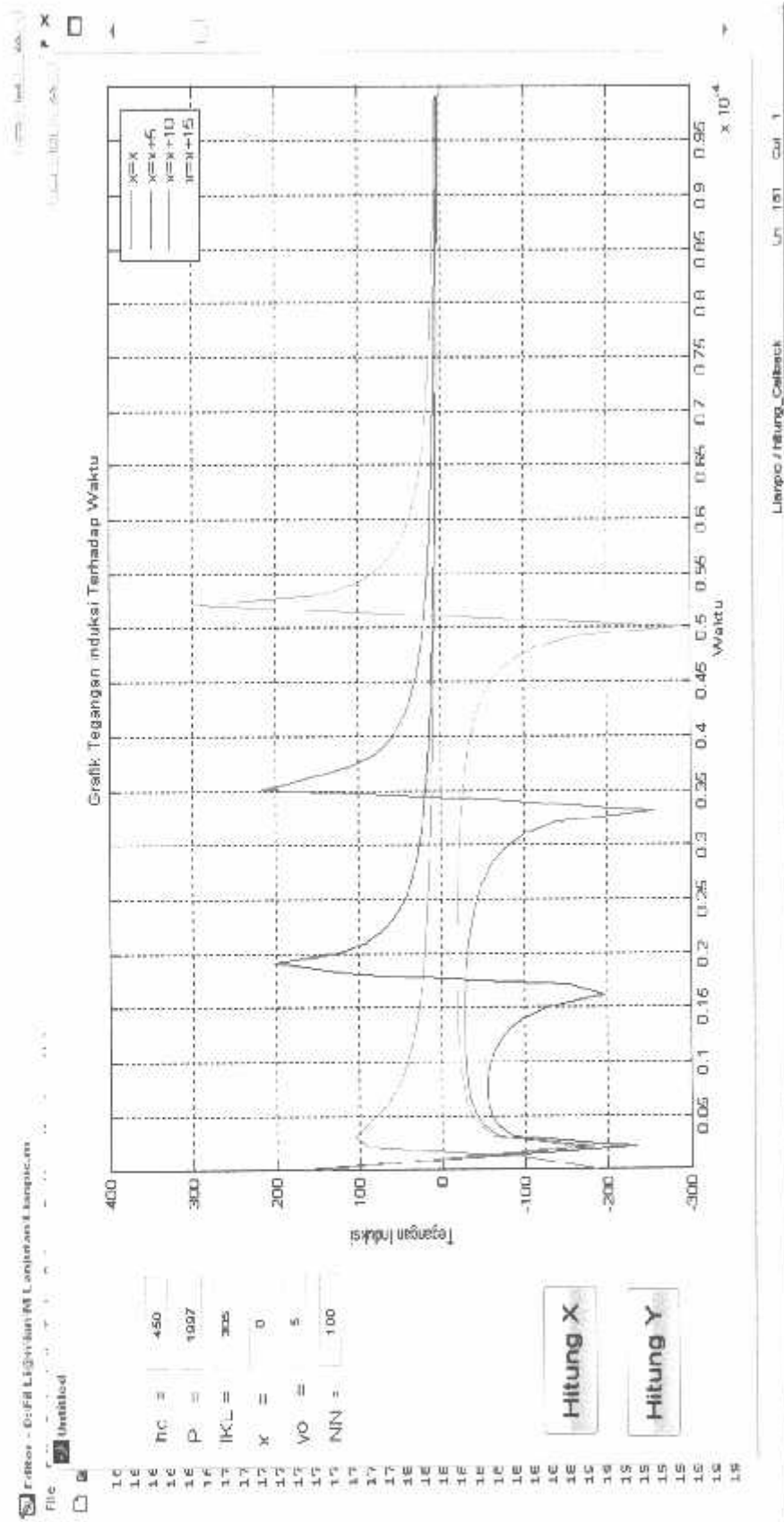
Pada $X = 0$ m ; $Y_0 = 60$ m



Grafik 4.9
Karakteristik Tegangan Induksi Petir terhadap waktu
Pada $X = 0$ m ; $Y_0 = 75$ m

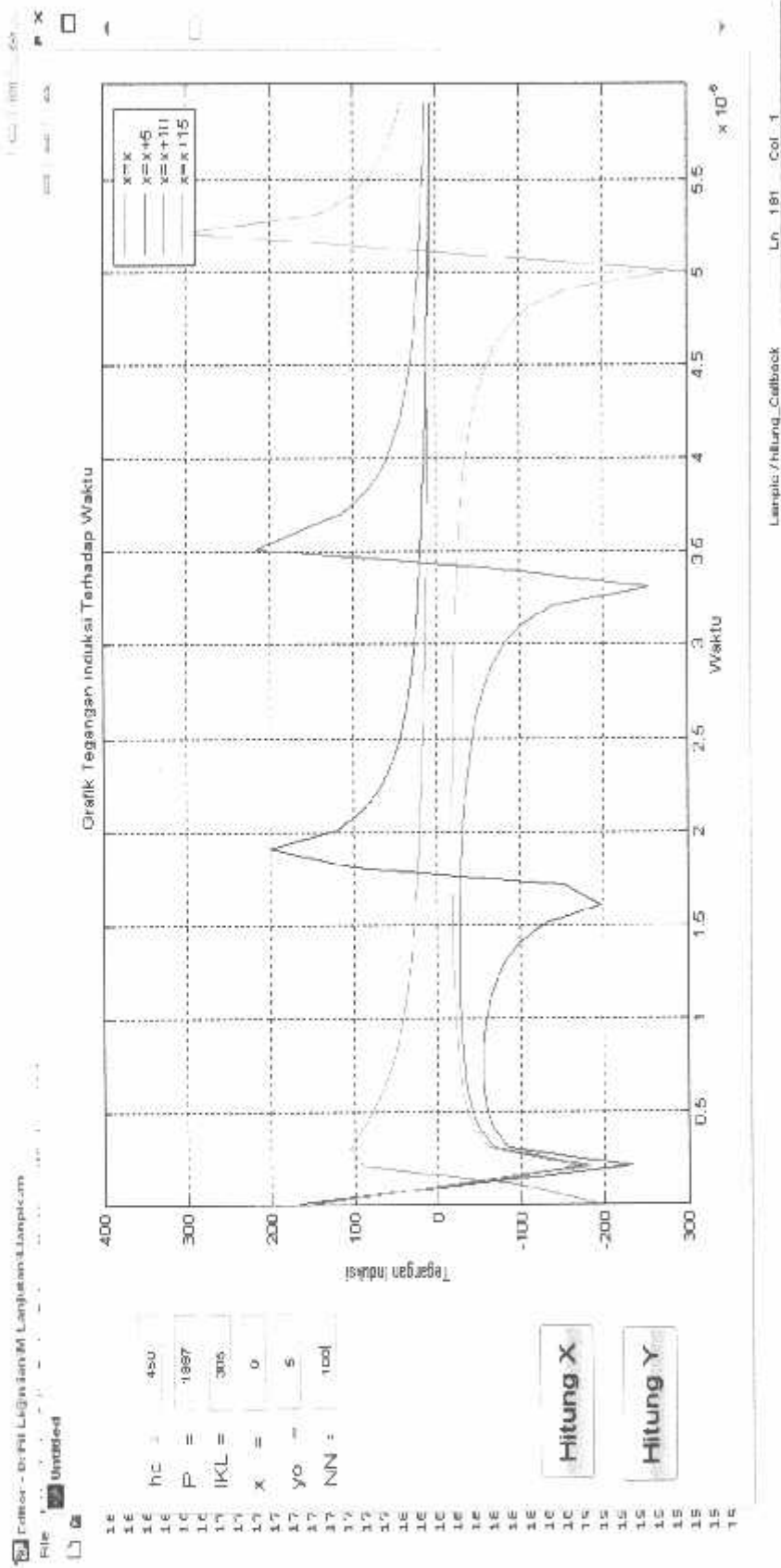


Grafik 4.10
Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir, Y terhadap waktu

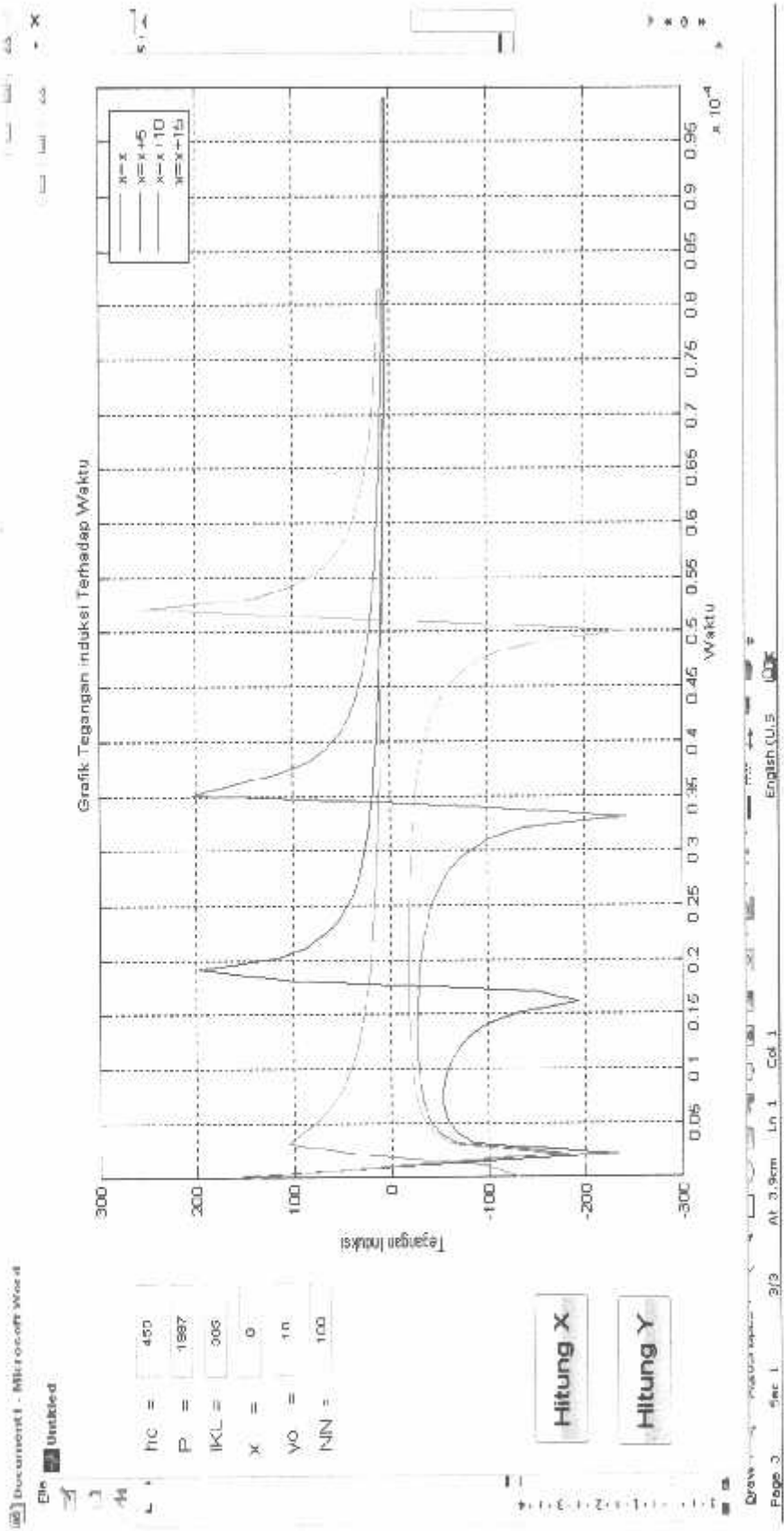


Grafik 4.11

Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir, $X_0 = 0$, $X_0 = 5$, $X_0 = 10$, $X_0 = 15$
 Dengan $Y_0 = 5$

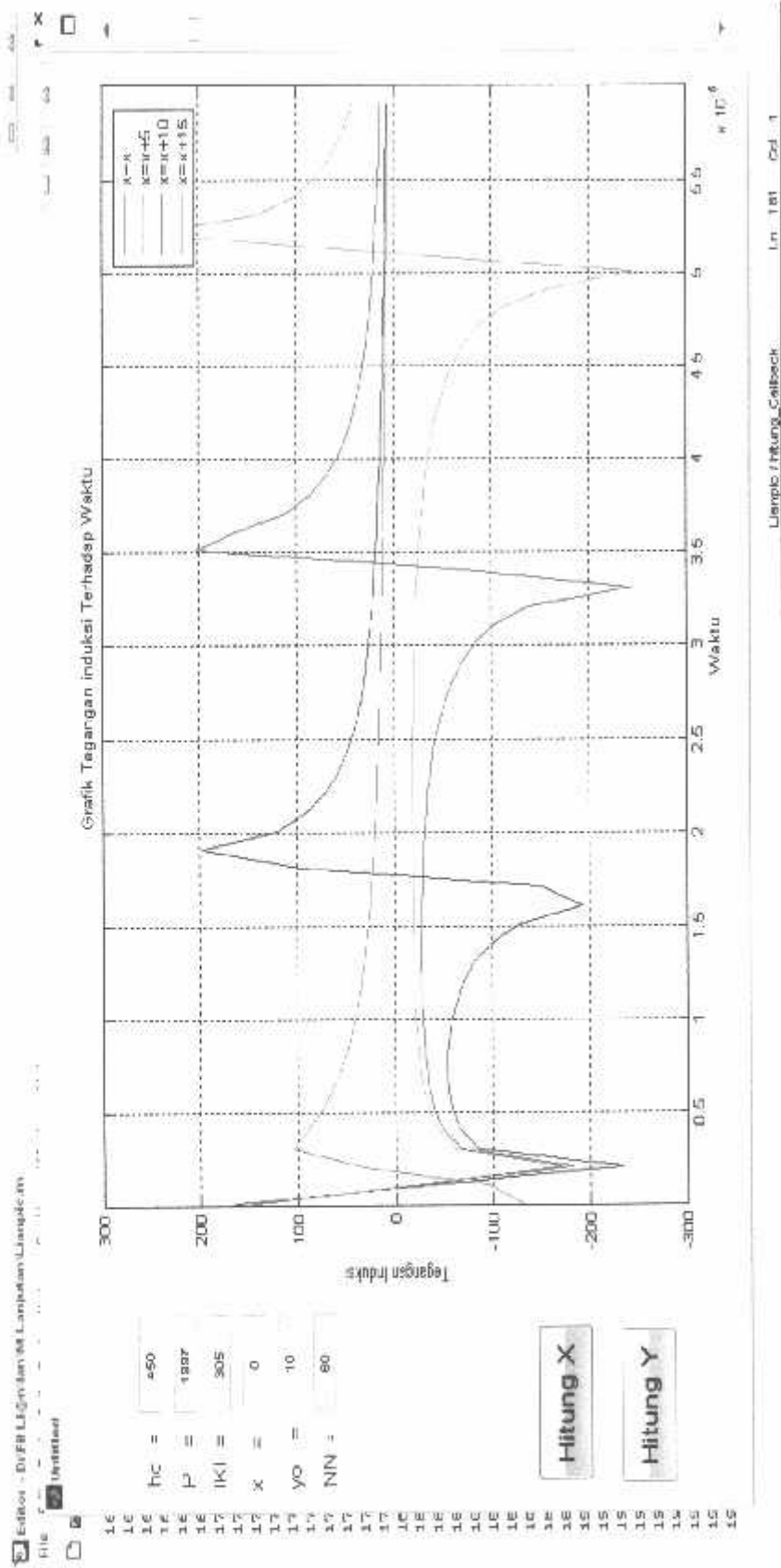


Grafik 4.12
Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir, X₀ = 0, X₀ = 5, X₀ = 10, X₀ = 15
Dengan Y₀ = 5



Grafik 4.13

Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Pctir, $X_0 = 0$, $X_0 = 5$, $X_0 = 10$, $X_0 = 15$
 Dengan $Y_0 = 10$



Grafik 4.14

Perbandingan Karakteristik Tegangan Induksi Petir, $X_0 = 0$, $X_0 = 5$, $X_0 = 10$, $X_0 = 15$
 Dengan $Y_0 = 10$

BAB V
KESIMPULAN

1. Semakin dekat jarak titik sambaran petir terhadap konduktor (Y_0), maka besarnya nilai tegangan induksi (V_i) yang terjadi pada konduktor semakin besar pula dan sebaliknya.
2. Semakin dekat titik medan (X), maka waktu t (μs) yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan puncak induksi petir semakin lama.
3. Tegangan Induksi dapat bernilai negatif, karena arus sambaran balik yang diasumsikan sebagai arus sambaran negatif menuju ke tanah.
4. Besarnya nilai tegangan induksi berkurang seiring dengan pertambahan waktu t (μs), secara eksponensial (e^{-t}) nilainya akan mengecil mendekati nol.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Chowdhuri, P.,” Analysis of Lightning-Induced Voltage on Overhead Lines,
IEEE Transactions on Power Delivery, Vol .4, No.1, Januari 1989
 - [2]. PT. PLN (PERSERO) Jasa Diklat, ” *Seminar Proteksi 2001* ”.
 - [3]. Ishii, Masaru; Mishishita, Koji; Hongo, Yasuji and Oguma, Syujiro.,”
Lightning Induced Voltage on an Overhead Wire Dependent on Ground
Conductivity ”, *IEEE Transactions on Power Delivery*,
Vol.9, No.1, january 1994.
 - [4]. Cooray, Vernon dan Scuka, Victor.,” Lightning Induced Voltage in Power
Lines : Validity of Various Approximations Made in Overvoltage
Calculations ”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. Vol.40,
No.4, November 1998.
 - [5]. Dr.Ing.KT.Sirait,Opl-Ing. Ir. R, Zoro, Perlindungan terhadap Tegangan Lebih
pada Sistem Tenaga, Lab. Tek. Teg. Tinggi dan Pengukuran Listrik, Teknik
Elcktro, ITB 1986.
-



LAMPIRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
Jl. Karanglo KM. 2 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

NAMA : Farida Erlin A
NIM : 02.12.097
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR PADA SALURAN
DISTRIBUSI 20 KV DENGAN METODE CORNFIELD

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Maret 2007
Nilai : 80,65 (A) *Yud*

Panitia Ujian Skripsi



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji



Ir. M. Abdul Hamid, MT
Penguji Pertama



Irrine Budi S, ST, MT
Penguji Kedua



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PERSEROJ MALANG
SI NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : IIN-1171.SKP/2/07
Lampiran : Satu Lembar
Perihal : **Bimbingan Skripsi** Malang, 01Maret 2007

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. TEGUH HERBASUKI, MT ***)
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang
Di - Malang

Dengan hormat
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam perpanjangan masa
bimbingan Skripsi yang telah dilakukan untuk Mahasiswa

Nama : FARIDA ERLIN A
Nim : 0112097
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Dengan ini pembimbingan Skripsi tersebut kami serahkan kembali sepenuhnya
kepada Saudara/I, selama waktu **6 (Enam) bulan** terhitung mulai tanggal:

20 Januari 2007 s/d 20 Juli 2007

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik, Jurusan Teknik Elektro, apabila lewat dari batas waktu tsb, maka Skripsinya
di gugurkan demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami ucapkan terima
kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1
Ir. F. Yudi L. Praptono, MT
NIP. Y 1039500274

Tembusan Kepada Yth:

1. Perpanjangan kontrak *
2. Mahasiswa Yang Bersangkutan
3. Arsip

Form S-4a

LEMBAR REVISI





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Maret 2007

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Farida Erlin A.
2. NIM : 02.12.097
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV DENGAN DENGAN METODE CORNFIELD

Perbaikan meliputi :

| No | Materi Perbaikan | Ket |
|-----|---|-----|
| 1. | Abstraksi Bahasa Inggris | |
| 2.. | Flowchart masih salah | |
| 3. | Hasil eksekusi program $y=5$ & $y=10$ ditampilkan | |
| 4. | Proses terjadinya petir dilengkapi | |

Anggota Penguji

Ir. Abdul Hamid, MT
Penguji Pertama

Irrine Budi S, ST, MT
Penguji Kedua

Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT




Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Farida Erlin A
 N I M : 02.12.097
 Perbaikan meliputi :

- Abstrak lebih lengkap
- flowchart lebih detail
- proses ko,adung - paku & benz kaji
- hasil eksperimen program $y=10$ & $y=5$ ditunjukkan. Aliran & benz kaji

acc
 29/03/07

Malang, 22 Maret 07

 Irine Kus S, ST, MT



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaiki Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Farida Erlin
NIM :
Perbaikan meliputi : 02.12.097

Malang, 22 Maret 07

Ir. M Abdul Hamid, MT



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : FARIDA ERLIN A.
Nim : 02.12.097
Masa Bimbingan : 20 Juli 2006 s/d 20 Januari 2007
Judul Skripsi : ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR PADA SALURAN
DISTRIBUSI 20 KV DENGAN METODE CORNFIELD

| No. | Tanggal | Uraian | Paraf Pembimbing |
|-----|----------|-------------------------|------------------|
| 1. | 10/08 06 | Konsultasi isi & tujuan | |
| 2. | 16/09 06 | Konsultasi bab I | |
| 3. | 25/11 06 | Revisi bab I | |
| 4. | 07/12 06 | Konsultasi bab II & III | |
| 5. | 20/12 06 | Revisi bab II & III | |
| 6. | 28/12 06 | Konsultasi program | |
| 7. | 08/01 07 | Pembuatan program. | |
| 8. | | | |
| 9. | | | |
| 10. | | | |

Malang,
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 103 890 0209

Form S-4b



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : FARIDA ERLIN A.
Nim : 02.12.097
Masa Bimbingan : 20 Januari 2007 s/d 20 Juli 2007
Judul Skripsi : ANALISIS TEGANGAN INDUKSI PETIR PADA SALURAN
DISTRIBUSI 20 KV DENGAN METODE CORNFIELD

| No. | Tanggal | Uraian | Paraf Pembimbing |
|-----|----------|-----------------------|------------------|
| 1. | 03/02/07 | Konsultasi bab vi | |
| 2. | 12/02/07 | Mencoba program. | |
| 3. | 09/02/07 | Revisi/hasil program. | |
| 4. | 22/02/07 | Lanjutkan bab v | |
| 5. | 02/03/07 | Acc seminar | |
| 6. | 12/03/07 | Acc Ujian | |
| 7. | | | |
| 8. | | | |
| 9. | | | |
| 10. | | | |

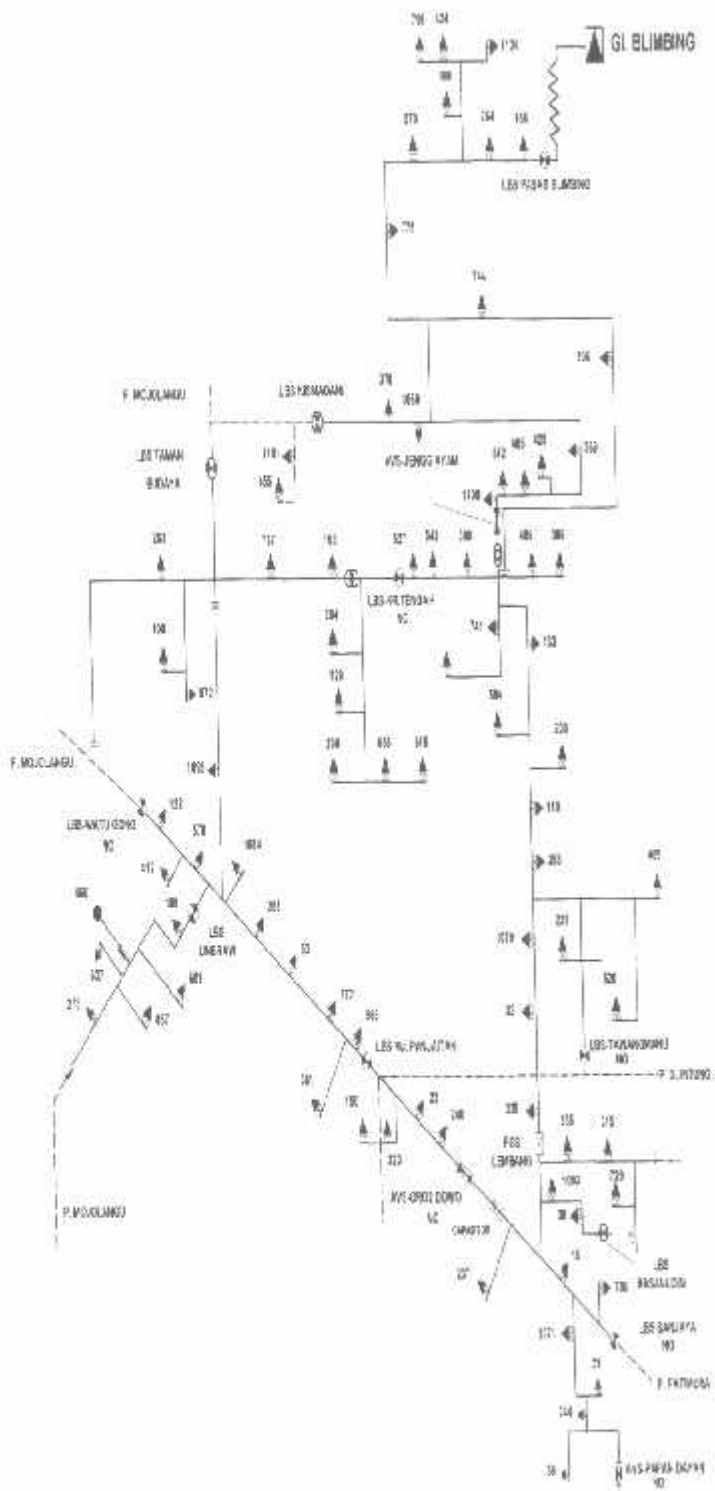
Malang,
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP: Y. 103 890 0209

Form S-4b

SINGLE LINE MARGAID E DIAGRAM





| | | |
|---|-----------|-----------|
|  PT. PERSERDI DISTRIBUSI LISTRIK APIJ MALANG | | |
| P. MANWAR GI. BLIMBING | | |
| KELAS | NO. RUMAH | NO. RUMAH |
| 0001 | 10000 | 10000 |

DATA
DATA





BADAN METEOROLOGI DAN GEOFISIKA
BALAI WILAYAH III
STASIUN KLIMATOLOGI KARANGPLOSO
Jl. Zuhriana No.33 Karangploso Malang
Telp : (0341) 464827, 461895 ; Fax : (0341) 464827

Garis Lintang : 07° 50'05" LS
Garis Bujur : 112° 35'48" BT
Tinggi di atas permukaan laut : 650 meter

Ketersediaan Data:

Pengamatan:

- Jam 07:00-wg - 21:00 WTB tiap jam
- di stasiun tiap jam kecuali pada 21:00 WTB

CuSc - awan, angin, hujan, awan kumulasi / cepat mengamati perubahan
menjadi lebih besar dan padat
- ukur perubahan hujan

Cb - awan pembawa hujan dan disertai badai guntur / thunderstorm

Thunderstorm (TS) = BADAI GUNTUR

Awan pembawa perubahan fenomena alam antara lain :

Awan Cumulonimbus disebut juga **awan Badai Guntur**, merupakan perkembangan dari awan Cumulus yang mencapai titik kulminasi (kejutan absolut) dalam proses kondensasi sehingga memungkinkan terbentuknya awan yang bermuatan listrik, apabila muatan tersebut bertabrakan/ berbenturan akibat pengaruh perbedaan tekanan udara di atmosfer akibatnya akan menimbulkan lompatan, ledakan muatan listrik yang sangat besar dan hal ini disebut **PETIR** atau **THUNDERSTORM**.





BADAN METEOROLOGI DAN GEOFIKA
STASIUN KLIMATOLOGI KARANGPLOSO

Jl. ZENTANA 33 KARANGPLOSO MALANG

Telp : (0341) 464827, 461595 ; Fax : (0341) 464827 ; Email : zentana33@yahoo.com , zentana33@hotmail.com

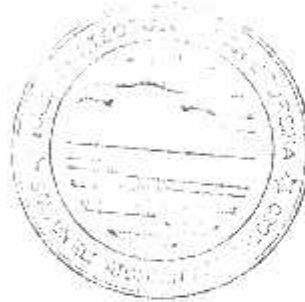
DATA HUJAN

NAMA POS : Ciliwung
NOMOR POS : 53
Elevasi : 455 M

| No. | TAHUN | | Jan | Peb | Mrt | Apr | Mei | Jun | Jul | Agt | Sep | Okt | Nop | Des | J M L |
|-----|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1 | 2005 | CH | 243 | 140 | 359 | 251 | 73 | 134 | 3 | 15 | 101 | 43 | 227 | 408 | 1997 |
| | | HH | 12 | 7 | 14 | 10 | 3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 4 | 8 | 22 | 92 |
| | | HM | 75 | 57 | 59 | 51 | 49 | 104 | 3 | 15 | 60 | 25 | 103 | 63 | 104 |

Keterangan

- CH : Jumlah curah hujan dlm 1 bulan (mm)
HH : Jumlah hari hujan dalam satu bulan (hari)
* : Alat rusak / data tidak masuk
- : Tidak ada hujan



**DATA PENYULANG
MAWAR SUTM 20 kV**

| No. | Keterangan | Unit | Penyulang Mawar |
|-----|--|-----------------|---|
| 1 | Sistem | | |
| | - Sirkuit | kms | 37.249 |
| | - V_{LL} | kV | 20 |
| | - Pentanahan | | Solidly grounded |
| | - Trafo | | Kapasitas : 100, 315, 400, 630 kVA Tegangan primer : 20 kV Tegangan sekunder : 400/231 V Frekuensi : 50 Hz |
| 2 | Isolator Piring (Suspension) | | |
| | - Kelas | | ANSI 52-3 |
| | - Material Isolator | | Keramik/Gelas |
| | - Low Frequency Flashover (Dry/Wet) | kV | 80/50 |
| | - Critical Impulse Flashover (Positive/Negative) | kV | 125/130 |
| | - Low Frequency Puncture | kV | 110 |
| 3 | Isolator Pln | | |
| | - Kelas | | ANSI 55-2, 3, 56-1, 2, 3 |
| | - Material Isolator | | Keramik/Gelas |
| | - Low Frequency Flashover (Dry/Wet) | kV | 65/35, 95/60, 110/70, 125/80 |
| | - Critical Impulse Flashover (Positive/Negative) | kV | 100/130, 150/190, 175/225, 200/265 |
| 4 | Tiang | | |
| | - Jenis Tiang | | Beton |
| | - Tinggi | m | 9 / 11 |
| | - Jari-jari | mm | 290/337/363 |
| | - Gawang (span) | m | 40 - 50 |
| 5 | Kawat Phasa Main Line | | |
| | - Tipe | | AAAC |
| | - Luas Penampang | mm ² | 240/150 |
| 6 | Kawat Phasa Sub Line | | |
| | - Tipe | | ACSR |
| | - Luas Penampang | mm ² | 150/95/70 |
| 7 | Kawat Tanah | | |
| | - Tipe | | ACSR |
| | - Luas Penampang | mm ² | 35 |
| 8 | Konfigurasi Kawat (rata-rata) | | |
| | - Plasa R | m | (1, 10) |
| | - Plasa S | m | (0, 10) |
| | - Plasa T | m | (-1, 10) |
| | - OHGW | m | (0, 11) |

LISTING PROGRAM

function varargout = Lianpic(varargin)

%% ANPIC M-file for Lianpic.fig

LIANPIC, by itself, creates a new LIANPIC or raises the existing singleton*.

h = LIANPIC returns the handle to a new LIANPIC or the handle to the existing singleton*.

LIANPIC('CALLBACK', hObject, eventData, handles,...) calls the local function named CALLBACK in LIANPIC.M with the given input arguments.

LIANPIC('Property','Value',...) creates a new LIANPIC or raises the existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are applied to the GUI before Lianpic_OpeningFcn gets called. An unrecognized property name or invalid value makes property application stop. All inputs are passed to Lianpic_OpeningFcn via varargin.

*See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one instance to run (singleton)".

See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

Edit the above text to modify the response to help Lianpic

%% Modified by GUIDE v2.5 08-Oct-2006 12:32:51

%% Begin initialization code - DO NOT EDIT

```

Singleton = 1;
State = struct('gui_Name',      mfilename, ...
              'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
              'gui_OpeningFcn', @Lianpic_OpeningFcn, ...
              'gui_OutputFcn',  @Lianpic_OutputFcn, ...
              'gui_LayoutFcn',  [], ...
              'gui_Callback',   []);

```

```

varargin & isstr(varargin{1})
gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});

```

```

varargout
[varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});

```

```

%
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});

```

%% End initialization code - DO NOT EDIT

-- Executes just before Lianpic is made visible.
function Lianpic_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
This function has no output args, see OutputFcn.
object handle to figure
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
varargin command line arguments to Lianpic (see VARARGIN)

```

% Choose default command line output for Lianpic
handles.output = hObject;

```

data handles structure
ata(hObject, handles);

WAIT makes Lianpic wait for user response (see UIRESUME)
wait(handles.figure1);

- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Lianpic_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
hObject handle to figure
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

-- Executes during object creation, after setting all properties.
function awan_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
hObject handle to awan (see GCBO)
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

function awan_Callback(hObject, eventdata, handles)
hObject handle to awan (see GCBO)
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

-- Executes during object creation, after setting all properties.
function curah_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
hObject handle to curah (see GCBO)
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

function curah_Callback(hObject, eventdata, handles)
hObject handle to curah (see GCBO)
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

-- Executes during object creation, after setting all properties.
function guruh_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
hObject handle to guruh (see GCBO)
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

function guruh_Callback(hObject, eventdata, handles)
hObject handle to guruh (see GCBO)
eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

-- Executes during object creation, after setting all properties.
function medan_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

bject handle to medan (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

 tion medan_Callback(hObject, eventdata, handles)
 bject handle to medan (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 ndles structure with handles and user data (see GUIDATA)

- Executes during object creation, after setting all properties.
 tion iterasi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
 bject handle to iterasi (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 ndles empty - handles not created until after all CreateFcns called

 tion iterasi_Callback(hObject, eventdata, handles)
 bject handle to iterasi (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 ndles structure with handles and user data (see GUIDATA)

- Executes during object creation, after setting all properties.
 tion waktu_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
 bject handle to waktu (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 ndles empty - handles not created until after all CreateFcns called

 tion waktu_Callback(hObject, eventdata, handles)
 bject handle to waktu (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 ndles structure with handles and user data (see GUIDATA)

- Executes during object creation, after setting all properties.
 tion sambaran_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
 bject handle to sambaran (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 ndles empty - handles not created until after all CreateFcns called

 tion sambaran_Callback(hObject, eventdata, handles)
 bject handle to sambaran (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 ndles structure with handles and user data (see GUIDATA)

- Executes on button press in hitung.

```
if
    tion hitung_Callback(hObject, eventdata, handles)

    = str2double(get(handles.f1_input, 'string'));

    str2num(get(handles.awan, 'string'));
```

```

r2num(get(handles.carah,'string'));
str2num(get(handles.guruh,'string'));
r2num(get(handles.medan,'string'));
tr2num(get(handles.sarbaran,'string'));
tr2num(get(handles.iterasi,'string'));

```

```

i5000;
x=10000;
x+15000;
4.01;
=10;
=3000000000;
f=0.000002;
x=0;
yo=30;
=0.3;
(' :

```

Tabel Perhitungan Tegangan Induksi
Terhadap Waktu

```

:');
(' :
(' :
(' :

```

Tegangan Induksi

```

:');
(' Iterasi Waktu :
(' :

```

| | x=x | x=x+b | sdt | x=x+10 | sdt |
|----|-----|-------|-----|--------|-----|
| 15 | sdt | | | | |

```

:');
format short g;

```

$$3.8371 \cdot 0.001 \cdot IKL^{(0.8179)} \cdot P^{(0.5139)}$$

$$29.5143 \cdot FG^{0.332737} \cdot \exp(-4.14107 \cdot 0.001 \cdot LI - 2.40752 \cdot 0.0001 \cdot hc)$$

$$= 1.2358 \cdot Io^{0.7042}$$

```

s=1;
t(s)=1.0e-7;
st(s)=5.0e-7
iter=0;

```

```

: = i: NN;
iter=iter+1;

```

```
rr(s)=t(s);
```

```
to=(sqrt(x^2+yo^2))/c;
```

```
to5=(sqrt(x5^2+yo^2))/c;
to10=(sqrt(x10^2+yo^2))/c;
```

```
bo=1-B^2;
```

```
tof=to+tf;
```

```
tof5=to5+tf;
tof10=to10+tf;
%Lof15=tol5+tf;
```

```
ttf(s)=t(s)-tf;
```

```
mo=((((c*to-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to-x)^2)^0.5;
ml(s)=((((c*t(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)-x)^2)^0.5;
mla(s)=((((c*ttf(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)-x)^2)^0.5;
```

```
mo5=((((c*to5-x5)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to5-x5)^2)^0.5;
ml5(s)=((((c*t(s)-x5)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)-x5)^2)^0.5;
mla5(s)=((((c*ttf(s)-x5)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)-x5)^2)^0.5;
```

```
mo10=((((c*to10-x10)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to10-x10)^2)^0.5;
```

```
ml10(s)=((((c*t(s)-x10)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)-x10)^2)^0.5;
```

```
mla10(s)=((((c*ttf(s)-x10)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)-x10)^2)^0.5;
```

```
no=((((c*to-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to+x)^2)^0.5;
nl(s)=((((c*t(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)+x)^2)^0.5;
nla(s)=((((c*ttf(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)+x)^2)^0.5;
```

```
no5=((((c*to5-x5)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to5+x5)^2)^0.5;
nl5(s)=((((c*t(s)-x5)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)+x5)^2)^0.5;
nla5(s)=((((c*ttf(s)-x5)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)+x5)^2)^0.5;
```

```
no10=((((c*to10-x10)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to10+x10)^2)^0.5;
```

```
nl10(s)=((((c*t(s)-x10)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)+x10)^2)^0.5;
```

```
nla10(s)=((((c*ttf(s)-x10)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)+x10)^2)^0.5;
```

```
f0=(30*I0*h)/(tf*B*c);
```

```
f1(s)=ml(s)-(c*t(s)-x)^2-yo^2;
f2(s)=ml(s)-(c*t(s)-x)^2+yo^2;
```

```
f15(s)=ml5(s)-(c*t(s)-x5)^2-yo^2;
f25(s)=ml5(s)-(c*t(s)-x5)^2+yo^2;
```

$$f110(s) = m110(s) + (c*t(s) - x10)^2 - yo^2;$$

$$f210(s) = m110(s) - (c*t(s) - x10)^2 + yo^2;$$

$$f3 = mo + yo^2 - (c*to - x)^2;$$

$$f4 = mo - yo^2 + (c*to - x)^2;$$

$$f35 = mo5 + yo^2 - (c*to5 - x5)^2;$$

$$f45 = mo5 - yo^2 + (c*to5 - x5)^2;$$

$$f310 = mo10 + yo^2 - (c*to10 - x10)^2;$$

$$f410 = mo10 - yo^2 + (c*to10 - x10)^2;$$

$$f5(s) = n1(s) + (c*t(s) + x)^2 - yo^2;$$

$$f6(s) = n1(s) - (c*t(s) + x)^2 + yo^2;$$

$$f55(s) = n15(s) + (c*t(s) + x5)^2 - yo^2;$$

$$f65(s) = n15(s) - (c*t(s) + x5)^2 + yo^2;$$

$$f510(s) = n110(s) + (c*t(s) + x10)^2 - yo^2;$$

$$f610(s) = n110(s) - (c*t(s) + x10)^2 + yo^2;$$

$$f7 = no + yo^2 - (c*to + x)^2;$$

$$f8 = no - yo^2 + (c*to + x)^2;$$

$$f75 = no5 + yo^2 - (c*to5 + x5)^2;$$

$$f85 = no5 - yo^2 + (c*to5 + x5)^2;$$

$$f710 = no10 + yo^2 - (c*to10 + x10)^2;$$

$$f810 = no10 - yo^2 + (c*to10 + x10)^2;$$

$$f9(s) = bo * (B^2 * x^2 + yo^2) + B^2 * c^2 * t(s)^2 * (1 + B^2);$$

$$f10(s) = 2 * B^2 * c * t(s) * (B^2 * c^2 * t(s)^2 + bo * (x^2 + yo^2))^{0.5};$$

$$f95(s) = bo * (B^2 * x5^2 + yo^2) + B^2 * c^2 * t(s)^2 * (1 + B^2);$$

$$f105(s) = 2 * B^2 * c * t(s) * (B^2 * c^2 * t(s)^2 + bo * (x5^2 + yo^2))^{0.5};$$

$$f910(s) = bo * (B^2 * x10^2 + yo^2) + B^2 * c^2 * t(s)^2 * (1 + B^2);$$

$$f1010(s) = 2 * B^2 * c * t(s) * (B^2 * c^2 * t(s)^2 + bo * (x10^2 + yo^2))^{0.5};$$

$$f11(s) = (c^2 * t(s)^2 - x^2) / yo^2;$$

$$f115(s) = (c^2 * t(s)^2 - x5^2) / yo^2;$$

$$f1110(s) = (c^2 * t(s)^2 - x10^2) / yo^2;$$

$$f12(s) = (f9(s) - f10(s)) / (bo^2 * yo^2);$$

$$f125(s) = (f95(s) - f105(s)) / (bo^2 * yo^2);$$

$$f1210(s) = (f910(s) - f1010(s)) / (bo^2 * yo^2);$$

$$f13(s) = (f1(s) * f3 * f5(s) * f7) / (f2(s) * f4 * f6(s) * f8);$$

$$f135(s) = (f15(s) * f35 * f55(s) * f75) / (f25(s) * f45 * f65(s) * f85);$$

$$f1310(s) = (f110(s) * f310 * f510(s) * f710) / (f210(s) * f410 * f610);$$


```

f810);

f1a(s)=m1a(s)+(c*ttf(s)-x)^2-yo^2;
f2a(s)=m1a(s)-(c*ttf(s)-x)^2+yo^2;

f1a5(s)=m1a5(s)+(c*ttf(s)-x5)^2-yo^2;
f2a5(s)=m1a5(s)-(c*ttf(s)-x5)^2+yo^2;

f1a10(s)=m1a10(s)+(c*ttf(s)-x10)^2-yo^2;
f2a10(s)=m1a10(s)-(c*ttf(s)-x10)^2+yo^2;

f3a=f3;
f4a=f4;

f3a5=f35;
f4a5=f45;
f3a10=f310;
f4a10=f410;

f5a(s)=n1a(s)+(c*ttf(s)+x)^2-yo^2;
f6a(s)=n1a(s)-(c*ttf(s)+x)^2+yo^2;

f5a5(s)=n1a5(s)+(c*ttf(s)+x5)^2-yo^2;
f6a5(s)=n1a5(s)-(c*ttf(s)+x5)^2+yo^2;

f5a10(s)=n1a10(s)+(c*ttf(s)+x10)^2-yo^2;
f6a10(s)=n1a10(s)-(c*ttf(s)+x10)^2+yo^2;

f7a=f7;
f8a=f8;

f7a5=f75;
f8a5=f85;
f7a10=f710;
f8a10=f810;

f9a(s)=bo*(B^2*x^2+yo^2) + B^2*c^2*ttf(s)^2*(1+B^2);
f10a(s)=2*B^2*c*ttf(s)*(B^2*c^2*ttf(s)^2+ bo*(x^2+yo^2))^0.5;

f9a5(s)=bo*(B^2*x5^2+yo^2) + B^2*c^2*ttf(s)^2*(1+B^2);
f10a5(s)=2*B^2*c*ttf(s)*(B^2*c^2*ttf(s)^2+ bo*(x5^2+yo^2))^0.5;

f9a10(s)=bo*(B^2*x10^2+yo^2) + B^2*c^2*ttf(s)^2*(1+B^2);
f10a10(s)=2*B^2*c*ttf(s)*(B^2*c^2*ttf(s)^2+ bo*(x10^2+yo^2))^0.5;

f9a15(s)=bo*(B^2*x15^2+yo^2) + B^2*c^2*ttf(s)^2*(1+B^2);
f10a15(s)=2*B^2*c*ttf(s)*(B^2*c^2*ttf(s)^2+ bo*(x15^2+yo^2))^0.5;

f11a(s)=(c^2*ttf(s)^2-x^2)/yo^2;
f12a(s)=(f9a(s)-f10a(s))/(bo^2*yo^2);

f11a5(s)=(c^2*ttf(s)^2-x5^2)/yo^2;

```

$$f12a5(s) = (f9a5(s) - f10a5(s)) / (bo^2 * yo^2);$$

$$f11a10(s) = (c^2 * ttf(s)^2 - x10^2) / yo^2;$$

$$f12a10(s) = (f9a10(s) - f10a10(s)) / (bo^2 * yo^2);$$

$$\% \quad f11a15(s) = (c^2 * ttf(s)^2 - x15^2) / yo^2;$$

$$\% \quad f12a15(s) = (f9a15(s) - f10a15(s)) / (bo^2 * yo^2);$$

$$f13a(s) = (f1a(s) * f3a * f5a(s) * f7a) / (f2a(s) * f4a * f6a(s) * f8a);$$

$$f13a5(s) = (f1a5(s) * f3a5 * f5a5(s) * f7a5) / (f2a5(s) * f4a5 * f6a5(s) * f8a5);$$

$$f13a10(s) = (f1a10(s) * f3a10 * f5a10(s) * f7a10) / (f2a10(s) * f4a10 * f6a10(s) * f8a10);$$

$$f13a15(s) = (f1a15(s) * f3a15 * f5a15(s) * f7a15) / (f2a15(s) * f4a15 * f6a15(s) * f8a15);$$

$$f14 = (bo * (x^2 + yo^2)) / (B^2 * c^2);$$

$$f145 = (bo * (x5^2 + yo^2)) / (B^2 * c^2);$$

$$f1410 = (bo * (x10^2 + yo^2)) / (B^2 * c^2);$$

$$\% \quad f1415 = (bo * (x15^2 + yo^2)) / (B^2 * c^2);$$

$$f15(s) = (t(s) + (t(s)^2 + f14)^{0.5}) / (to + (to^2 + f14)^{0.5});$$

$$f15a(s) = (ttf(s) + (ttf(s)^2 + f14)^{0.5}) / (to + (to^2 + f14)^{0.5});$$

$$f155(s) = (t5(s) + (t5(s)^2 + f145)^{0.5}) / (to5 + (to5^2 + f145)^{0.5});$$

$$f15a5(s) = (ttf5(s) + (ttf5(s)^2 + f145)^{0.5}) / (to5 + (to5^2 + f145)^{0.5});$$

$$f1510(s) = (t10(s) + (t10(s)^2 + f1410)^{0.5}) / (to10 + (to10^2 + f1410)^{0.5});$$

$$f15a10(s) = (ttf10(s) + (ttf10(s)^2 + f1410)^{0.5}) / (to10 + (to10^2 + f1410)^{0.5});$$

$$f15a15(s) = (ttf15(s) + (ttf15(s)^2 + f1415)^{0.5}) / (to15 + (to15^2 + f1415)^{0.5});$$

$$f1515(s) = (t15(s) + (t15(s)^2 + f1415)^{0.5}) / (to15 + (to15^2 + f1415)^{0.5});$$

$$f15a15(s) = (ttf15(s) + (ttf15(s)^2 + f1415)^{0.5}) / (to15 + (to15^2 + f1415)^{0.5});$$

$$f15a15(s) = (ttf15(s) + (ttf15(s)^2 + f1415)^{0.5}) / (to15 + (to15^2 + f1415)^{0.5});$$

$$v1(s) = f0 * (bo * logm(f12(s)) - bo * logm(f11(s)) + 0.5 * logm(f13(s)));$$

$$v2(s) = -f0 * (bo * logm(f12a(s)) - bo * logm(f11a(s)) + 0.5 * logm(f13a(s)));$$

$$v15(s) = f0 * (bo * logm(f125(s)) - bo * logm(f115(s)) + 0.5 * logm(f135(s)));$$

$$v25(s) = -f0 * (bo * logm(f12a5(s)) - bo * logm(f11a5(s)) + 0.5 * logm(f13a5(s)));$$

);

$$v110(s) = f0 * (bo * logm(f1210(s)) - bo * logm(f1110(s)) + 0.5 * logm(f1310(s)));$$

);

$$v210(s) = -f0 * (bo * logm(f12a10(s)) - bo * logm(f11a10(s)) + 0.5 * logm(f13a10(s)));$$

);

$$v115(s) = f0 * (bo * logm(f1215(s)) - bo * logm(f1115(s)) + 0.5 * logm(f1315(s)));$$

);

$$v215(s) = -f0 * (bo * logm(f12a15(s)) - bo * logm(f11a15(s)) + 0.5 * logm(f13a15(s)));$$

);

$$v1t(s) = v1(s) * exp(-to);$$

$$v2t(s) = v2(s) * exp(-tof);$$

```
v1t5(s)=v15(s)*exp(-to5);
v2t5(s)=v25(s)*exp(-tof5);
```

```
v1t10(s)=v110(s)*exp(-to10);
v2t10(s)=v210(s)*exp(-tof10);
```

```
%
% v1t15(s)=v115(s)*exp(-to15);
% v2t15(s)=v215(s)*exp(-tof15);
```

```
v(s)=v1t(s)+v2t(s);
v5(s)=v1t5(s)+v2t5(s);
v10(s)=v1t10(s)+v2t10(s);
% v15(s)=v1t15(s)+v2t15(s);
```

```
%penghitungan x=x+15
```

```
%%
%%
%%
```

```
tol5=(sqrt(x15^2+yo^2))/c;
```

```
%bo=1-B^2;
```

```
tof15=tol5+tf;
```

```
trf(s)=t(s)-L/c;
```

```
mol5=((((c*tol5-x15)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*tol5-x15)^2)^0.5;
ml15(s)=((((c*t(s)-x15)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)-x15)^2)^0.5;
mla15(s)=((((c*trf(s)-x15)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*trf(s)-x15)^2)^0.5;
```

```
no15=((((c*tol5-x15)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*tol5+x15)^2)^0.5;
nl15(s)=((((c*t(s)-x15)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)+x15)^2)^0.5;
nla15(s)=((((c*trf(s)-x15)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*trf(s)+x15)^2)^0.5;
```

```
%f0=(30*Io*h)/(tf*B*c);
```

```
f115(s)=ml15(s)+(c*t(s)-x15)^2-yo^2;
f215(s)=ml15(s)-(c*t(s)-x15)^2+yo^2;
```

```
f315=mo15-yo^2-(c*tol5-x15)^2;
f415=mo15-yo^2+(c*tol5-x15)^2;
```

```
f515(s)=nl15(s)+(c*t(s)+x15)^2-yo^2;
f615(s)=nl15(s)-(c*t(s)+x15)^2+yo^2;
```

```
f715=no15+yo^2-(c*tol5+x15)^2;
f815=no15-yo^2+(c*tol5+x15)^2;
```

```
f915(s)=bc*(B^2*x15^2+yo^2) + B^2*c^2*t(s)^2*(1+B^2);
f1015(s)=2*B^2*c*t(s)*(B^2*c^2*t(s)^2+bo*(x15^2+yo^2))^0.5;
```

```
f1115(s)=(c^2*t(s)^2-x15^2)/yo^2;
```

```

f1215(s)=(f915(s)-f1015(s))/(bo^2*yo^2);
f1315(s)=(f115(s)*f315+f515(s)*f715)/(f215(s)*f415*f615(s)*f815);
f1a15(s)=m1a15(s)+(c*ttf(s)-x15)^2-yo^2;
f2a15(s)=m1a15(s)-(c*ttf(s)-x15)^2+yo^2;
f3a15=f315;
f4a15=f415;
f5a15(s)=n1a15(s)+(c*ttf(s)+x15)^2-yo^2;
f6a15(s)=n1a15(s)-(c*ttf(s)+x15)^2+yo^2;
f7a15=f715;
f8a15=f815;
f9a15(s)=bo*(B^2*x15^2+yo^2) + B^2*c^2*ttf(s)^2*(1+B^2);
f10a15(s)=2*B^2*c*ttf(s)*(B^2*c^2*ttf(s)^2+ bo*(x15^2+yo^2))^0.5;
f11a15(s)=(c^2*ttf(s)^2-x15^2)/yo^2;
f12a15(s)=(f9a15(s)-f10a15(s))/(bo^2*yo^2);
f13a15(s)=(f1a15(s)*f3a15*f5a15(s)*f7a15)/(f2a15(s)*f4a15*f6a15(s)*f8a15);
f1415=(bo*(x15^2+yo^2))/(B^2*c^2);
f1515(s)=(t(s)+(t(s)^2+f1415)^0.5)/(to15+(to15^2+f1415)^0.5);
f15a15(s)=(ttf(s)+(ttf(s)^2+f1415)^0.5)/(to15+(to15^2-f1415)^0.5);
v115(s)=f0*(bo*logm(f1215(s))-bo*logm(f1115(s))+0.5*logm(f1315(s)));
v215(s)=-f0*(bo*logm(f12a15(s))-bo*logm(f11a15(s))+0.5*logm(f13a15(s)));
v1t15(s)=v115(s)*exp(-tol5);
v2t15(s)=v215(s)*exp(-tof15);

```

dut bilangan kompleks dan harga mutlaknya

```

%vs(s)=abs(v(s));
%s=angle(v(s));
v5s(s)=abs(v5(s));
s5(s)=angle(v5(s));
v10s(s)=abs(v10(s));
s10(s)=angle(v10(s));
v15(s)=v1t15(s)+v2t15(s);
v15s(s)=abs(v15(s));
s15s(s)=angle(v15(s));
fprintf('%i',iter),disp( [t(s), v(s),v5s(s),s5(s), v10s(s),s10(s),v15s(s),
(s) | );
s=s+1;
t(s)=t(s-1)+1.e-6;

```

```

and
disp(':');
-----:');

plot(rr,v,rr,v5,rr,v10,rr,v15);
grid on
set(gca,'xtick',[0.000005 0.000010 0.000015 0.000020 0.000025 0.000030
1035 0.000040 0.000045 0.000050 0.000055 0.000060 0.000065 0.000070 0.000075
2080 0.000085 0.000090 0.000095 0.000100])
title('Grafik Tegangan induksi Terhadap Waktu')
xlabel('Waktu')
ylabel('Tegangan Induksi')
legend('x=x', 'x=x+5', 'x=x+10', 'x=x+15')

object handle to hitung (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

- Executes during object creation, after setting all properties.
function tabel_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
object handle to tabel (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

Note: listbox controls usually have a white background on Windows.
See ISPC and COMPUTER.

spc
set(hObject,'BackgroundColor','white');

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));

- Executes on selection change in tabel.
function tabel_Callback(hObject, eventdata, handles)
object handle to tabel (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

Notes: contents = get(hObject,'String') returns tabel contents as cell array
contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from tabel

- Executes during object creation, after setting all properties.
function kepadatan_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
object handle to kepadatan (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

Note: edit controls usually have a white background on Windows.
See ISPC and COMPUTER.

spc
set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
```

```
function keypadatan_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
object    handle to keypadatan (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
tips: get(hObject,'String') returns contents of keypadatan as text
      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of keypadatan as a double
```

```
- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function puncakpetir_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
object    handle to puncakpetir (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
tips: edit controls usually have a white background on Windows.
      See ISPC and COMPUTER.
```

```
spc
set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
```

```
function puncakpetir_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
object    handle to puncakpetir (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
tips: get(hObject,'String') returns contents of puncakpetir as text
      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of puncakpetir as a double
```

```
le
```

```
- Executes on button press in pushbutton2.
```

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
object    handle to pushbutton2 (see GCBO)
 eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
 handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
tr2num(get(handles.awan,'string'));
```

```
r2num(get(handles.curah,'string'));
```

```
str2num(get(handles.guruh,'string'));
```

```
r2num(get(handles.medan,'string'));
```

```
tr2num(get(handles.sambaran,'string'));
```

```
tr2num(get(handles.iterasi,'string'));
```

```
+5000;
x+10000;
x+15000;
```

```

i=0.01;
s=10;
h=3000000000;
t=0.0000007;
r=0;
ro=30;
ho=0.3;
-----:');
':-----:');
':          Tabel Perhitungan Tegangan Induksi
':          Terhadap Waktu
':-----:');
':          Tegangan Induksi
':-----:');
('Iterasi Waktu      :
':-----:');
':          :
':          :      yc=yo+15      yc=yo+30      yc=yo+45
':          :-----:');
':-----:');
format short g;

k=8.8371*0.001*IKL^(0.8179)*P^(0.5139);
g=9.5143*FG^0.332737*exp(-4.14107*0.001*LI-2.40752*0.0001*hc);
l=1.2358*Io^0.7042;

s=1;
t(s)=1.0e-7;
%t(s)=0.000005;
iter=0;

i = 1: NN;

iter=iter+1;
rr(s)=t(s);

to=(sqrt(x^2+yo^2))/c;

bo=i-B^2;

tof=to+lf;

ttf(s)=t(s)-tf;

m0=((((c*to-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to-x)^2)^0.5;
m1(s)=((((c*t(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)-x)^2)^0.5;
m1a(s)=((((c*ttf(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)-x)^2)^0.5;

n0=((((c*to-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to+x)^2)^0.5;
n1(s)=((((c*t(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)+x)^2)^0.5;
n1a(s)=((((c*ttf(s)-x)^2)+(yo^2))^2) + (4*hc^2)*(c*ttf(s)+x)^2)^0.5;

f0=(30*Io*h)/(tf*B*c);

f1(s)=m1(s)-(c*t(s)-x)^2-yo^2;
f2(s)=m1(s)-(c*t(s)-x)^2+yo^2;

f3=m0+yo^2-(c*to-x)^2;
f4=m0-yo^2-(c*to-x)^2;

```

$$f5(s) = n1(s) + (c * t(s) + x)^2 - y0^2;$$

$$f6(s) = n1(s) - (c * t(s) + x)^2 + y0^2;$$

$$f7 = no + y0^2 - (c * to + x)^2;$$

$$f8 = no - y0^2 + (c * to + x)^2;$$

$$f9(s) = bc * (B^2 * x^2 + y0^2) + B^2 * c^2 * t(s)^2 * (1 + B^2);$$

$$f10(s) = 2 * B^2 * c * t(s) * (B^2 * c^2 * t(s)^2 + bo * (x^2 + y0^2))^{0.5};$$

$$f11(s) = (c^2 * t(s)^2 - x^2) / y0^2;$$

$$f12(s) = (f9(s) - f10(s)) / (bo^2 * y0^2);$$

$$f13(s) = (f1(s) * f3 * f5(s) * f7) / (f2(s) * f4 * f6(s) * f8);$$

$$f1a(s) = m1a(s) + (c * t1f(s) - x)^2 - y0^2;$$

$$f2a(s) = m1a(s) - (c * t1f(s) - x)^2 + y0^2;$$

$$f3a = f3;$$

$$f4a = f4;$$

$$f5a(s) = n1a(s) + (c * t1f(s) + x)^2 - y0^2;$$

$$f6a(s) = n1a(s) - (c * t1f(s) + x)^2 + y0^2;$$

$$f7a = f7;$$

$$f8a = f8;$$

$$f9a(s) = bo * (B^2 * x^2 + y0^2) + B^2 * c^2 * t1f(s)^2 * (1 + B^2);$$

$$f10a(s) = 2 * B^2 * c * t1f(s) * (B^2 * c^2 * t1f(s)^2 + bo * (x^2 + y0^2))^{0.5};$$

$$f11a(s) = (c^2 * t1f(s)^2 - x^2) / y0^2;$$

$$f12a(s) = (f9a(s) - f10a(s)) / (bo^2 * y0^2);$$

$$f13a(s) = (f1a(s) * f3a * f5a(s) * f7a) / (f2a(s) * f4a * f6a(s) * f8a);$$

$$f14 = (bo * (x^2 + y0^2)) / (B^2 * c^2);$$

$$f15(s) = (t(s) + (t(s)^2 + f14)^{0.5}) / (to + (to^2 + f14)^{0.5});$$

$$f15a(s) = (t1f(s) + (t1f(s)^2 + f14)^{0.5}) / (to + (to^2 + f14)^{0.5});$$

$$v1(s) = f0 * (bo * \logm(f12(s)) - bo * \logm(f11(s)) + 0.5 * \logm(f13(s)));$$

$$v2(s) = -f0 * (bo * \logm(f12a(s)) - bo * \logm(f11a(s)) + 0.5 * \logm(f13a(s)));$$

$$v1t(s) = v1(s) * \exp(-to);$$

$$v2t(s) = v2(s) * \exp(-tof);$$

$$vy(s) = v1t(s) - v2t(s);$$

↳ hitung y=y+15

$$15 = y0 + 15;$$

$$to15 = (\text{sqrt}(x^2 + y015^2)) / c;$$

$$bo = 1 - B^2;$$

tof15=to15+t5;

ttf(s)=t(s)-tf;

mo15=((((c*to15-x)^2)+(yo15^2))^2)^(4*hc^2)*(c*to15-x)^2)^0.5;
 ml15(s)=((((c*t(s)-x)^2)+(yo15^2))^2)^(4*hc^2)*(c*t(s)-x)^2)^0.5;
 mlal15(s)=((((c*ttf(s)-x)^2)+(yo15^2))^2)^(4*hc^2)*(c*ttf(s)-x)^2)^0.5;

no15=((((c*to15-x)^2)+(yo15^2))^2)^(4*hc^2)*(c*to15+x)^2)^0.5;
 nl15(s)=((((c*t(s)+x)^2)+(yo15^2))^2)^(4*hc^2)*(c*t(s)+x)^2)^0.5;
 nlal15(s)=((((c*ttf(s)+x)^2)+(yo15^2))^2)^(4*hc^2)*(c*ttf(s)+x)^2)^0.5;

f0=(30*to*h)/(tf*B*c);

f115(s)=ml15(s)+(c*t(s)-x)^2-yo15^2;
 f215(s)=ml(s)-(c*t(s)-x)^2-yo15^2;

f315=mo15+yo15^2-(c*to15-x)^2;
 f415=mo15-yo15^2+(c*to15-x)^2;

f515(s)=nl15(s)+(c*t(s)+x)^2-yo15^2;
 f615(s)=nl15(s)-(c*t(s)+x)^2+yo15^2;

f715=no15+yo15^2-(c*to15+x)^2;
 f815=no15-yo15^2+(c*to15+x)^2;

f915(s)=bo*(B^2*x^2+yo15^2) + B^2*c^2*t(s)^2*(1-B^2);
 f1015(s)=2*B^2*c*t(s)*(B^2*c^2*t(s)^2+ bo*(x^2+yo15^2))^0.5;

f1115(s)=(c^2*t(s)^2-x^2)/yo15^2;

f1215(s)=(f915(s)-f1015(s))/(bo^2*yo15^2);

f1315(s)=(f1115(s)*f315*f515(s)*f715)/(f215(s)*f415*f615(s)+f815);

f1al15(s)=mlal15(s)+(c*ttf(s)-x)^2-yo15^2;
 f2al15(s)=mlal15(s)-(c*ttf(s)-x)^2+yo15^2;

f3al15=f315;
 f4al15=f415;

f5al15(s)=nlal15(s)+(c*ttf(s)+x)^2-yo15^2;
 f6al15(s)=nlal15(s)-(c*ttf(s)+x)^2+yo15^2;

f7al15=f715;
 f8al15=f815;

f9al15(s)=bo*(B^2*x^2+yo15^2) + B^2*c^2*ttf(s)^2*(1+B^2);
 f10al15(s)=2*B^2*c*ttf(s)*(B^2*c^2*ttf(s)^2+ bo*(x^2+yo15^2))^0.5;

f11al15(s)=(c^2*ttf(s)^2-x^2)/yo15^2;
 f12al15(s)=(f9al15(s)-f10al15(s))/(bo^2*yo15^2);

f13al15(s)=(f1al15(s)*f3al15*f5al15(s)*f7al15)/(f2al15(s)*f4al15*f6al15(s)+f8al15);

$$z1415 = (bo * (x^2 + yo15^2)) / (B^2 * c^2);$$

$$f1515(s) = (t(s) + (t(s)^2 + f1415)^{0.5}) / (to13 + (to13^2 + f1415)^{0.5});$$

$$f15a15(s) = (ttf(s) + (ttf(s)^2 + f1415)^{0.5}) / (to15 + (to15^2 + f1415)^{0.5});$$

$$v115(s) = f0 * (bo * \logm(f1215(s)) - bo * \logm(f1115(s)) + 0.5 * \logm(f1315(s)));$$

$$v215(s) = -f0 * (bo * \logm(f12a15(s)) - bo * \logm(f11a15(s)) + 0.5 * \logm(f13a15(s)));$$

$$v1t15(s) = v115(s) * \exp(-to15);$$

$$v2t15(s) = v215(s) * \exp(-tof15);$$

$$vy15(s) = v1t15(s) + v2t15(s);$$

hitung y=y+30

$$yo30 = yo + 30;$$

$$to30 = (\text{sqrt}(x^2 + yo30^2)) / c;$$

$$bo = 1 - B^2;$$

$$tof30 = to30 + tf;$$

$$ttf(s) = t(s) - tf;$$

$$mo30 = (((((c * to30 - x)^2) + (yo30^2))^{0.5}) - (4 * hc^2) * (c * to30 - x)^2)^{0.5};$$

$$m130(s) = (((((c * t(s) - x)^2) + (yo30^2))^{0.5}) + (4 * hc^2) * (c * t(s) - x)^2)^{0.5};$$

$$m1a30(s) = (((((c * ttf(s) - x)^2) + (yo30^2))^{0.5}) + (4 * hc^2) * (c * ttf(s) - x)^2)^{0.5};$$

$$no30 = (((((c * to30 + x)^2) + (yo30^2))^{0.5}) + (4 * hc^2) * (c * to30 + x)^2)^{0.5};$$

$$n130(s) = (((((c * t(s) + x)^2) + (yo30^2))^{0.5}) + (4 * hc^2) * (c * t(s) + x)^2)^{0.5};$$

$$n1a30(s) = (((((c * ttf(s) + x)^2) + (yo30^2))^{0.5}) + (4 * hc^2) * (c * ttf(s) + x)^2)^{0.5};$$

$$f0 = (30 * ic * h) / (tf * B * c);$$

$$f130(s) = m130(s) + (c * t(s) - x)^2 - yo30^2;$$

$$f230(s) = m130(s) - (c * t(s) - x)^2 + yo30^2;$$

$$f330 = mo30 + yo30^2 - (c * to30 - x)^2;$$

$$f430 = mo30 - yo30^2 + (c * to30 - x)^2;$$

$$f530(s) = n130(s) + (c * t(s) + x)^2 - yo30^2;$$

$$f630(s) = n130(s) - (c * t(s) + x)^2 + yo30^2;$$

$$f730 = no30 + yo30^2 - (c * to30 + x)^2;$$

$$f830 = no30 - yo30^2 + (c * to30 + x)^2;$$

$$f930(s) = bo * (B^2 * x^2 + yo30^2) + B^2 * c^2 * t(s)^2 * (1 + B^2);$$

$$f1030(s) = 2 * B^2 * c * t(s) * (B^2 * c^2 * t(s)^2 + bo * (x^2 + yo30^2))^{0.5};$$

$$f1130(s) = (c^2 * t(s)^2 - x^2) / yo30^2;$$

$$f1230(s) = (f930(s) - f1030(s)) / (bo^2 * yo30^2);$$

$$f1330(s) = (f130(s) * f330 * f530(s) * f730) / (f230(s) * f430 * f630(s) * f830);$$

```

f1a30(s)=m1a30(s)+(c*t1f(s)-x)^2-yo30^2;
f2a30(s)=n1a30(s)-(c*t1f(s)-x)^2+yo30^2;

f3a30=f330;
f4a30=f430;

f5a30(s)=n1a30(s)+(c*t1f(s)+x)^2-yo30^2;
f6a30(s)=n1a30(s)-(c*t1f(s)+x)^2+yo30^2;

f7a30=f730;
f8a30=f830;

f9a30(s)=bo*(B^2*x^2+yo30^2) + B^2*c^2*t1f(s)^2*(1+B^2);
f10a30(s)=2*B^2*c*t1f(s)*(B^2*c^2*t1f(s)^2+ bo*(x^2+yo30^2))^0.5;

f11a30(s)=(c^2*t1f(s)^2-x^2)/yo30^2;
f12a30(s)=(f9a30(s)-f10a30(s))/(bo^2*yo30^2);

f13a30(s)=(f1a30(s)*f3a30*f5a30(s)*f7a30)/(f2a30(s)*f4a30*f6a30(s)*f8a30);

f1430=(bo*(x^2+yo30^2))/(B^2*c^2);

f1530(s)=(t(s)+(t(s)^2+f1430)^0.5)/(to30+(to30^2+f1430)^0.5);
f15a30(s)=(t1f(s)+(t1f(s)^2-f1430)^0.5)/(to30+(to30^2+f1430)^0.5);

v130(s)=f0*(bo*logm(f1230(s))-bo*logm(f1130(s))+0.5*logm(f1330(s)));
v230(s)=-f0*(bo*logm(f12a30(s))-bo*logm(f11a30(s))+0.5*logm(f13a30(s)));

v1t30(s)=v130(s)*exp(-to30);
v2t30(s)=v230(s)*exp(-tof30);

vy30(s)=v1t30(s)+v2t30(s);

y=y+45
yo45=yo+45;
to45=(sqrt(x^2+yo45^2))/c;
bo=1-B^2;

tof45=to45+tf;

t1f(s)=t(s)-tf;

m045=((((c*to45-x)^2)+(yo45^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to45-x)^2)^0.5;
m145(s)=((((c*t(s)-x)^2)+(yo45^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)-x)^2)^0.5;
m1a45(s)=((((c*t1f(s)-x)^2)+(yo45^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t1f(s)-x)^2)^0.5;

n045=((((c*to45-x)^2)+(yo45^2))^2) + (4*hc^2)*(c*to45+x)^2)^0.5;
n145(s)=((((c*t(s)+x)^2)+(yo45^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t(s)+x)^2)^0.5;
n1a45(s)=((((c*t1f(s)+x)^2)+(yo45^2))^2) + (4*hc^2)*(c*t1f(s)+x)^2)^0.5;

```

$$f0=(30*10^n)/(tf*B*c);$$

$$f145(s)=m145(s)+(c*t(s)-x)^2-yo45^2;$$

$$f245(s)=m145(s)-(c*t(s)-x)^2+yo45^2;$$

$$f345=mo45+yo45^2-(c*to45-x)^2;$$

$$f445=mo45-yo45^2+(c*to45-x)^2;$$

$$f545(s)=n145(s)+(c*t(s)-x)^2-yo45^2;$$

$$f645(s)=n145(s)-(c*t(s)+x)^2+yo45^2;$$

$$f745=no45+yo45^2-(c*to45+x)^2;$$

$$f845=no45-yo45^2+(c*to45+x)^2;$$

$$f945(s)=bo*(B^2*x^2+yo45^2) + B^2*c^2*t(s)^2*(1+B^2);$$

$$f1045(s)=2*B^2*c*t(s)*(B^2*c^2*t(s)^2+ bo*(x^2+yo45^2))^0.5;$$

$$f1145(s)=(c^2*t(s)^2-x^2)/yo45^2;$$

$$f1245(s)=(f945(s)-f1045(s))/(bo^2*yo45^2);$$

$$f1345(s)=(f145(s)*f345*f545(s)*f745)/(f245(s)*f445*f645(s)*f845);$$

$$f1a45(s)=m1a45(s)+(c*ttf(s)-x)^2-yo45^2;$$

$$f2a45(s)=m1a45(s)-(c*ttf(s)-x)^2+yo45^2;$$

$$f3a45=f345;$$

$$f4a45=f445;$$

$$f5a45(s)=n1a45(s)+(c*ttf(s)+x)^2-yo45^2;$$

$$f6a45(s)=n1a45(s)-(c*ttf(s)+x)^2+yo45^2;$$

$$f7a45=f745;$$

$$f8a45=f845;$$

$$f9a45(s)=bo*(B^2*x^2+yo45^2) + B^2*c^2*ttf(s)^2*(1+B^2);$$

$$f10a45(s)=2*B^2*c*ttf(s)*(B^2*c^2*ttf(s)^2+ bo*(x^2-yo45^2))^0.5;$$

$$f11a45(s)=(c^2*ttf(s)^2-x^2)/yo45^2;$$

$$f12a45(s)=(f9a45(s)-f10a45(s))/(bo^2*yo45^2);$$

$$f13a45(s)=(f1a45(s)*f3a45*f5a45(s)*f7a45)/(f2a45(s)*f4a45*f6a45(s)*f8a45);$$

$$f1445=(bo*(x^2+yo45^2))/(B^2*c^2);$$

$$f1545(s)=(t(s)+(t(s)^2+f1445)^0.5)/(to45+(to45^2+f1445)^0.5);$$

$$f15a45(s)=(ttf(s)+(ttf(s)^2+f1445)^0.5)/(to+(to^2+f1445)^0.5);$$

$$v145(s)=f0*(bo*logm(f1245(s))-bo*logm(f1145(s))+0.5*logm(f1345(s)));$$

$$v245(s)=-f0*(bo*logm(f12a45(s))-bo*logm(f11a45(s))+0.5*logm(f13a45(s)));$$

$$v1t45(s)=v145(s)*exp(-to45);$$

$$v2t45(s)=v245(s)*exp(-tof45);$$

$$vy45(s)=v1t45(s)+v2t45(s);$$

```
if('i',iter),disp( [t(s), vy(s),vy15(s), vy30(s), vy45(s) ] );
```

```
s=s+1;
```

```
t(s)=t(s-1)+1.e-6;
```

```
end
```

```
disp('-----<
```

```
plot(rr,vy,rr,vy15,rr,vy30,rr,vy45);
```

```
grid on
```

```
set(gca,'xtick',[0.000005 0.000010 0.000015 0.000020 0.000025 0.000030<  
0035 0.000040 0.000045 0.000050 0.000055 0.000060 0.000065 0.000070 0.000075<  
0080 0.000085 0.000090 0.000095 0.000100])
```

```
%set(gca,'ytick',[0.000005 0.000010 0.000015 0.000020 0.000025 0.000030<  
0035 0.000040 0.000045 0.000050 0.000055 0.000060 0.000065 0.000070 0.000075<  
0080 0.000085 0.000090 0.000095 0.000100])
```

```
title('Grafik Tegangan induksi Terhadap Waktu')
```

```
xlabel('Waktu')
```

```
ylabel('Tegangan Induksi')
```

```
legend('yo=yo', 'yo=yo+15', 'yo=yo+30', 'yo=yo+45')
```

```
%set(gca,'ytick',[2 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5])
```