PENGARUH PENYISIPAN KOMBINASI KAPASITOR DAN INDUKTOR PADA SAMBUNGAN SALURAN UDARA DAN KABEL BAWAH TANAH PADA SALURAN DISTRIBUSI PRIMER 20 kV TERHADAP PEREDAMAN GELOMBANG SURJA

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

HARI WICAKSONO
NIM. 0110630060-63

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2007

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah, puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **" PENGARUH PENYISIPAN KOMBINASI KAPASITOR DAN INDUKTOR PADA SAMBUNGAN SALURAN UDARA DAN KABEL TANAH PADA SALURAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TERHADAP PEREDAMAN GELOMBANG SURJA"** dapat diselesikan.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Skripsi ini dapat diselesaikan atas bantuan dari beberapa pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Heru Nurwasito, M.Kom. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak Rudi Yuwono, ST. Msc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Ir. Drs. Moch Dhofir, MT atas ide, bimbingan, arahan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Ir. H. Choiri yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan staf karyawan di lingkungan Fakultas Teknik, khususnya Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Semua pihak yang telah membantu selama pengerjaan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Disadari sepenuhnya bahwa skripsi ini banyak kekurangan dan perlu terus disempurnakan, untuk itu saran dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, Juli 2007

Penyusun

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PERSETUJUAN ii
KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI.....iv
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR TABEL.....xiv
RINGKASAN.....xviii

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 RumusanMasalah.....1
1.3. Batasan Masalah 1
1.4 Ruang Lingkup…….. 2
1.5 Tujuan ……... 2
1.6 Sistematika Pembahasan…… 2

BAB II DASAR TEORI ……4
2.1. Umum…… 4
2.2. Impedansi Surja…… 4
2.3. Kecepatan Rambat Gelombang……..6
2.4. Bentuk Gelombang Surja Yang Dianalisis…… 6
2.5 Tegangan Lebih Akibat Sambaran Tidak Langsung pada Saluran Distribusi Primer 20 KV …… 8
2.6 Perambatan Surja Pada Saluran Tanpa Sisipan 9
2.7 Perambatan Gelombang Pada Saluran Dengan Sisipan..... 11
2.7.1 Pengaruh Sisipan Kombinasi Seri Kapasitor Dan Induktor Secara Seri.....11
2.7.2 Pengaruh Sisipan Kombinasi Paralel Kapasitor Dan Induktor Secara Seri.....16
2.7.3 Pengaruh Sisipan Kombinasi Seri Kapasitor Dan Induktor

Secara Pararel.....22
2.7.4 Pengaruh Sisipan Kombinasi Paralel Kapasitor Dan Induktor Secara Paralel.....26
2.7.5 Pengaruh Sisipan Kombinasi Induktor Paralel Di Belakang Kapasitor Seri.....29
2.7.6 Pengaruh Sisipan Kombinasi Induktor Paralel Di Depan Kapasitor Seri.....33
2.7.7 Pengaruh Sisipan Kombinasi Induktor Seri Di Belakang Kapasitor Paralel.....37
2.7.8 Pengaruh Sisipan Kombinasi Induktor Seri Di Depan Kapasitor Paralel.....40

BAB III METODOLOGI PEMBAHASAN 46
3.1. Kajian Pustaka 46
3.2. Tempat Penelitian 46
3.3. Obyek Yang Diteliti 46
3.4. Langkah- langkah Penelitian 46

BAB IV DATA DAN ANALISIS 49
4.1. Impedansi Surja 49
4.2. Cepat Rambat Gelombang.....50
4.3. Dua Saluran Berbeda Tanpa Sisipan Kombinasi Induktor Dan Kapasitor..... 51
4.4. Pengaruh Sisipan Seri 52
4.4.1. Sisipan Seri Dari Rangkaian LC Seri 52
4.4.2. Sisipan Seri Dari Rangkaian LC Paralel 71
4.5. Pengaruh Sisipan Paralel.....90
4.5.1. Sisipan Paralel Dari Rangkaian LC Seri 90
4.5.2. Sisipan Pararel Dari Rangkaian LC Paralel 109
4.6. Pengaruh Sisipan Induktor Paralel Dan Kapasitor Seri.....129
4.6.1. Sisipan Rangkaian L Paralel Di Belakang Kapasitor Seri 129

4.6.2. Sisipan Rangkaian L Paralel Di Depan Kapasitor Seri.....149
4.7. Pengaruh Sisipan Induktor Seri Dan Kapasitor Paralel 169
4.7.1. Sisipan Rangkaian L Seri Di Belakang Kapasitor Paralel 169
4.7.2. Sisipan Rangkaian L Seri Di Depan Kapasitor Paralel 190

BAB V KESIMPULAN 211
5.1 Kesimpulan 211

DAFTAR PUSTAKA 213

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Gelombang *Double* Eksponensial.....7
Gambar 2.2. Gelombang *Double* Eksponensial tipe 1,2µs/50 Hz.....7
Gambar 2.3. Dua Saluran Berbeda Tanpa Sisipan.....10
Gambar 2.4. Sisipan Seri Kombinasi Seri.....12
Gambar 2.5. Sisipan Seri Kombinasi Paralel.....16
Gambar 2.6. Sisipan Pararel Kombinasi Seri.....22
Gambar 2.7. Sisipan Pararel Kombinasi Paralel.....26
Gambar 2.8. Sisipan Induktor Paralel Di Belakang Kapasitor Seri.....29
Gambar 2.9. Sisipan Induktor Paralel Di Depan Kapasitor Seri.....33
Gambar 2.10. Sisipan Induktor Seri Di Belakang Kapasitor Paralel.....37
Gambar 2.11. Sisipan Induktor Seri Di Depan Kapasitor Paralel.....41
Gambar3.1. Diagram Alir Perhitungan.....47
Gambar 4.1. Gelombang Surja Pada Saluran Tanpa Sisipan.....52
Gambar 4.2. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan Seri LC Seri.....53
Gambar 4.3. a Dan ß Fungsi L Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....54
Gambar 4.4. a Dan ß Fungsi C Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....55
Gambar 4.5. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Seri LC Seri Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda...57
Gambar 4.6. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Seri LC Seri Untuk L 0,4 H Dan C 25,31µF.....59
Gambar 4.7. a Fungsi L Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a = ß.....60
Gambar 4.8. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Seri LC Seri Pada Kondisi a = ß.....62
Gambar 4.9. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Seri LC Seri Untuk L 825,682 mH Dan C 12,261 µF.....64
Gambar 4.10. ? Dan ? Fungsi L Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....65

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 4.11. ? Fungsi C Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....66
Gambar 4.12. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Seri LC Seri Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek 68
Gambar 4.13. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Seri LC Seri Untuk L 100 H Dan C 101,23967 nF 70
Gambar 4.14. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan Seri LC Paralel 72
Gambar 4.15. a Dan ß Fungsi L Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....73
Gambar 4.16. a Dan ß Fungsi C Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....74
Gambar 4.17. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Seri LC Paralel Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....76
Gambar 4.18. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai L 1µH Dan C 0,1 pF 78
Gambar 4.19. a Fungsi C Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a = ß 80
Gambar 4.20. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Seri LC Paralel Pada Kondisi a = ß 82
Gambar 4.21. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai L 992016 nH dan C 1 µF 83
Gambar 4.22. ? Dan ? Fungsi C Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....85
Gambar 4.23. ? Fungsi L Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....86
Gambar 4.24. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Seri LC Paralel Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek.....88
Gambar 4.25. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai L 1 H Dan C 1000 F.....89
Gambar 4.26. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan Paralel LC Seri 91

Gambar 4.27. a Dan ß Fungsi L Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 92
Gambar 4.28. a Dan ß Fungsi C Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 93
Gambar 4.29. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Paralel LC Seri Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....95
Gambar 4.30. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai L=1 µH dan C=10 nF 96
Gambar 4.31. a Fungsi L Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a = ß 98
Gambar 4.32. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Paralel LC Seri Pada Kondisi a = ß..... 101
Gambar 4.33. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Paralel LC Seri Untuk L=1 µH Dan C =3,5862 nF 102
Gambar 4.34. ? Dan ? Fungsi L Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek..... 105
Gambar 4.35. ? Fungsi C Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek... 106
Gambar 4.36. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Paralel LC Seri Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek.....107
Gambar 4.37. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Paralel LC Seri Untuk L=100 H Dan C=1 nF 108
Gambar 4.38. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan Paralel LC Paralel.....111
Gambar 4.39. a Dan ß Fungsi C Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... 112
Gambar 4.40. a Dan ß Fungsi L Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... .113
Gambar 4.41. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Paralel LC Paralel Pada Kondisi a Dan ß

Nyata Dan Berbeda 115
Gambar 4.42. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai L=1,012397 H dan C=10 µF 116
Gambar 4.43. a Fungsi C Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a = ß 118
Gambar 4.44. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Paralel LC Paralel Pada Kondisi a = ß.....120
Gambar 4.45. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Paralel LC Paralel Untuk L=212,5303 mH Dan C =47,6355 µF 121
Gambar 4.46. ? Dan ? Fungsi C Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek..... 123
Gambar 4.47. ? Fungsi L Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek..... ..124
Gambar 4.48. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan Paralel LC Paralel Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek.....126
Gambar 4.49. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan Paralel LC Paralel Untuk L=1,012396695 µH dan C=10 F.....127
Gambar 4.50. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri..... 130
Gambar 4.51. a Dan ß Fungsi L Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... 131
Gambar 4.52. a Dan ß Fungsi C Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... ...132
Gambar 4.53. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda 134
Gambar 4.54. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai L=100 H dan C=1 F.....136
Gambar 4.55. a Fungsi L Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a = ß. 138
Gambar 4.56. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Pada Kondisi a = ß Untuk

C/L=10,4346 µF/mH 140
Gambar 4.57. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Pada Kondisi a = ß Untuk C/L=0,034645 mH/µF 141
Gambar 4.58. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai L=100 H dan C=1,04346 mF 142
Gambar 4.59. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek 147
Gambar 4.60. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk L= 10 H Dan C=0,6 mF 148
Gambar 4.61. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan L Paralel Di Depan C Seri..... 150
Gambar 4.62. a Dan ß Fungsi L Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... 151
Gambar 4.63. a Dan ß Fungsi C Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... 152
Gambar 4.64. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda 154
Gambar 4.65. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai L=10 mH dan C=0,1 mF 155
Gambar 4.66. a Fungsi L Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a = ß 157
Gambar 4.67. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Pada Kondisi a = ß Untuk C/L=0,32055 µF/mH 160
Gambar 4.68. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Pada Kondisi a = ß Untuk C/L=1,2774 nF/mH 160
Gambar 4.69. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai L=10 H dan C=0,0321 F 162

Gambar 4.70. ? Dan ? Fungsi L Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 164
Gambar 4.71. ? dan ? Fungsi C Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek..... 165
Gambar 4.72. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek..... 167
Gambar 4.73. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk L=10 H Dan C=0,3 mF 168
Gambar 4.74. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel.....170
Gambar 4.75. a Dan ß Fungsi L Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 171
Gambar 4.76. a Dan ß Fungsi C Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 172
Gambar 4.77. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda 174
Gambar 4.78. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai L=10 mH dan C=1 nF 175
Gambar 4.79. a Fungsi L Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a = ß 177
Gambar 4.80. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Pada Kondisi a = ß Untuk C/L=3,2055 µF/mH 180
Gambar 4.81. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Pada Kondisi a = ß Untuk C/L=1,12774 nF/mH 181
Gambar 4.82. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai L=0,1 mH dan C=0,32055 µF 182
Gambar 4.83. ? Dan ? Fungsi LSisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 184

Gambar 4.84. ? Dan ? Fungsi C Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 185
Gambar 4.85. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek..... 188
Gambar 4.86. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk L=0,1 mH Dan C=1 pF 189
Gambar 4.87. Pengaruh L Dan C Terhadap Jenis Akar Pada Sisipan L Seri Di Depan C Paralel..... 191
Gambar 4.88. a Dan ß Fungsi L Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... 192
Gambar 4.89. a Dan ß Fungsi C Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... ..193
Gambar 4.90. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda 195
Gambar 4.91. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai L=10 mH dan C=1 pF 197
Gambar 4.92. a Fungsi L Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a = ß 199
Gambar 4.93. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Pada Kondisi a = ß Untuk C/L=0,104346 µF/mH 202
Gambar 4.94. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Pada Kondisi a = ß Untuk C/L=0,0346447 µF/mH 202
Gambar 4.95. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai L=10 mH dan C=346,447 nF … 204
Gambar 4.96. Perubahan Gelombang Yang Diakibatkan Oleh Perubahan L dan C Untuk Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Pada Kondisi a dan ß Bilangan Komplek..... 208

Gambar 4.97. Gelombang Yang Dihasilkan Untuk Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk L=1 mH Dan C=0,05 µF 209

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4.1. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 56

Tabel 4.2. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....57

Tabel 4.3. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a = ß.....61

Tabel 4.4. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a = ß 62

Tabel 4.5. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 67

Tabel 4.6. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Seri LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....68

Tabel 4.7. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 75

Tabel 4.8. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Seri LC Pararel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 76

Tabel 4.9. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a = ß.....80

Tabel 4.10. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a = ß.....81

Tabel 4.11. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 86

Tabel 4.12. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Seri LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 87

Tabel 4.13. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 93

Tabel 4.14. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....94

Tabel 4.15. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Paralel LC Seri Untuk

Nilai a = ß.....99
Tabel 4.16. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a = ß 100
Tabel 4.17. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 105
Tabel 4.18. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Paralel LC Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....106
Tabel 4.19. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Pararel LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 113
Tabel 4.20. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Paralel LC Pararel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....114
Tabel 4.21. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a = ß.....118
Tabel 4.22. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a = ß 119
Tabel 4.23. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 125
Tabel 4.24. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan Paralel LC Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 125
Tabel 4.25. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... 133
Tabel 4.26. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... ..134
Tabel 4.27. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a = ß 138
Tabel 4.28. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a = ß.....139
Tabel 4.29. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Paralel Di Belakang C Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 145
Tabel 4.30. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Paralel Di Belakang C Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....146

Tabel 4.31. Sisipan L Paralel Di Belakang C Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek Untuk Nilai L dan C Yang Lain.....149
Tabel 4.32. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 153
Tabel 4.33. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.....153
Tabel 4.34. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a = ß.....157
Tabel 4.35. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a = ß.....158
Tabel 4.36. Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Pada Kondisi a=ß Untuk Beberapa Nilai L Dan C 162
Tabel 4.37. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a dan ß bilangan komplek 165
Tabel 4.38. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Paralel Di Depan C Seri Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 166
Tabel 4.39. Sisipan L Paralel Di Depan C Pada Kondisi a Dan ß Bilangan Komplek Untuk Beberapa Nilai L Dan C 168
Tabel 4.40. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda..... 173
Tabel 4.41. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 173
Tabel 4.42. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a = ß 178
Tabel 4.43. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a= ß..... 179
Tabel 4.44. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....186
Tabel 4.45. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Seri Di Belakang C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek.....187
Tabel 4.46. Sisipan L Seri Di Belakang C Pararel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan

Komplek Untuk Beberapa Nilai L dan C.....190
Tabel 4.47. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 194
Tabel 4.48. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda 195
Tabel 4.49. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a = ß 199
Tabel 4.50. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a= ß.....200
Tabel 4.51. Nilai L dan C Yang Disisipkan Pada Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek 206
Tabel 4.52. Nilai Konstanta Gelombang Yang Dihasilkan Pada Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek 207
Tabel 4.53. Sisipan L Seri Di Depan C Paralel Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek Untuk Beberapa Nilai L dan C.....210

RINGKASAN

HARI WICAKSONO, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. **Pengaruh Penyisipan Kombinasi Kapasitor Dan Induktor Pada Sambungan Saluran Udara Dan Kabel Tanah Pada Saluran Distribusi Primer 20 Kv Terhadap Peredaman Gelombang Surja,** Dosen Pembimbing : Ir. Drs. Moch Dhofir, MT dan Ir. H. Choiri.

Skripsi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penyisipan kombinasi induktor dan kapasitor pada sambungan saluran udara dan saluran kabel distribusi 20 kV terhadap redaman gelombang surja. Model kombinasi penyisipan yang akan dianalisis adalah penyisipan kapasitor dan induktor secara seri dan atau paralel. Karena saluran udara sangat dipengaruhi oleh keberadaan petir, maka diasumsikan bahwa gelombang surja datang dari saluran udara menuju saluran kabel. Analisis dilakukan terhadap bentuk gelombang datang berupa gelombang double eksponensial dengan tipe 1,2/50 µs.

Metode pendekatan untuk analisis menggunakan pendekatan gelombang berjalan dengan menganggap bahwa gelombang surja berasal dari saluran udara menuju saluran kabel. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa, adanya kombinasi induktor dan kapasitor pada sambungan diantara dua saluran berbeda memberikan pengaruh pada perubahan bentuk gelombang pantul maupun gelombang terusan. Pada beberapa kombinasi untuk nilai yang aman terhadap sistem adanya kombinasi tidak dapat meredam gelombang surja. Sedangkan kombinasi yang dapat digunakan pada sistem adalah kombinasi seri secara seri dengan menggunakan nilai induktansi sebesar 100 H dan kapasitansi sebesar 101,23967 nF yang menghasilkan peredaman sehingga amplitudo gelombang terusan teredam menjadi -0.005% dan pada sistem hanya mengakibatkan jatuh tegangan sebesar 0,17959 mV untuk setiap arus yang mengalir pada saluran.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyaluran sistem distribusi 20 kV dilakukan melalui saluran udara dan saluran kabel tanah. Persoalan yang timbul dari penyambungan ini adalah adanya perbedaan impedansi surja antara saluran udara dan saluran kabel tanah. Akibat adanya perbedaan surja antara saluran udara dan saluran kabel tanah tersebut bila terjadi sambaran petir baik secara langsung maupun induksi akan terjadi perambatan gelombang yang bila mencapai titik sambungan akan terjadi pemantulan serta penerusan terhadap gelombang yang datang. Gelombang terusan dapat merusak isolasi kabel tanah sehingga cukup berbahaya bagi sistem.

Berdasarkan sifat dari induktor yang menyimpan energi dalam bentuk medan magnet dan sifat dari kapasitor yang menyimpan energi dalam bentuk medan listrik, sehingga diharapkan dengan adanya penyisipan induktor dan kapasitor pada sambungan saluran udara dan saluran kabel tanah, peredaman gelombang surja dapat dilakukan. Oleh karena itu, pada skripsi ini akan dianalisis pengaruh penyisipan kombinasi induktor dan kapasitor pada titik sambungan terhadap perubahan bentuk gelombang datang. Sehingga nantinya diharapkan didapatkan nilai kapasitansi dan induktansi yang tepat pada sambungan untuk mereduksi gelombang terusan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas rumusan masalah dalam skripsi ini adalah

1. Bagaimana pengaruh penyisipan kombinasi kapasitor dan induktor secara umum terhadap peredaman gelombang surja.
2. Bagaimana pengaruh masing-masing kombinasi dengan nilai kapasitansi dan induktansi yang dapat disisipkan terhadap sistem.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam skripsi ini adalah

a. Obyek studi adalah saluran distribusi primer 20 kV yang terdapat sambungan antara saluran udara dan kabel bawah tanah di penyulang Bentoel.

b. Bentuk gelombang surja yang dianalis adalah gelombang tegangan *double* eksponensial tipe 1,2 /50 µs.

c. Kombinasi yang disipkan adalah

- Kombinasi seri dari LC seri
- Kombinasi seri dari LC paralel
- Kombinasi paralel dari LC seri
- Kombinasi paralel dari LC paralel
- Kombinasi L seri di belakang C paralel
- Kombinasi L seri di depan C paralel
- Kombinasi L paralel di belakang C seri
- Kombinasi L paralel di depan C seri

d. Gelombang yang dianalisis adalah gelombang tegangan.

e. Gelombang datang berasal dari saluran udara.

f. Tidak membahas konstruksi induktor dan kapasitor.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang Lingkup dalam skripsi ini adalah

a. Menghitung impedansi surja saluran udara dan kabel tanah.

b. Menghitung nilai L dan C yang paling berpengaruh pada perubahan gelombang

c. Menganalisis pengaruh adanya sisipan terhadap amplitudo gelombang pantul dan gelombang terusan.

d. Menghitung amplitudo gelombang terusan dan pengaruh penyisipan terhadap sistem pada nilai L dan C yang digunakan pada sistem.

1.5 Tujuan

Tujuan dari pembahasan dalam skripsi ini adalah menganalisis pengaruh nilai sisipan dengan nilai induktansi dan kapasitansi antara saluran udara dan saluran kabel bawah tanah pada saluran distribusi primer 20 kV.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penulisan skripsi di susun sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan, berisikan yang menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka, berisikan tentang : impedansi surja, kecepatan merambat gelombang surja, gelombang surja yang diujikan, pengaruh sisipan terhadap gelombang terusan dan gelombang pantul untuk berbagai macam jenis kombinasi.

BAB III Metode Penelitian, menguraikan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi ini.

BAB IV Data Dan Analisis, membahas gelombang pantul dan gelombang terusan pada sambungan saluran distribusi 20 kV tanpa sisipan dan dengan sisipan kombinasi induktor dan kapasitor.

BAB V Kesimpulan, membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis pada skripsi ini.

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Umum

Pada saluran distribusi, gelombang surja (tegangan dan arus) dapat terjadi karena beberapa sebab. Salah satunya adalah disebabkan oleh petir (langsung atau tidak langsung). Gelombang surja dapat merambat sepanjang saluran hingga menempuh jarak yang jauh. Oleh karena itu kerusakan peralatan listrik dapat terjadi di tempat yang jauh dari titik sambaran.

Sepanjang perambatan gelombang surja tegangan dapat menemui saluran dengan impedansi yang berbeda dengan saluran sebelumnya. Dua saluran berbeda yang dihubungkan tersebut dapat terjadi di lapangan seperti sambungan antara saluran udara dan saluran kabel bawah tanah. Apabila terdapat saluran yang tidak homogen seperti ini, maka ketika gelombang sampai pada titik sambungan terjadi pemantulan gelombang dan terusan gelombang. Gelombang yang diteruskan amplitudonya lebih besar dari gelombang yang datang, atau sebaliknya.

Sedangkan sampai saat ini yang diketahui menjadi penyebab gelombang surja adalah [Hutauruk, 1989 : 1]

- Sambaran kilat langsung pada kawat
- Sambaran tidak langsung pada kawat (induksi)
- Operasi pemutusan (switching operations)
- Busur tanah (arcing grounds)
- Gangguan- gangguan pada sistem oleh berbagai kesalahan, dan
- Tegangan mantap sistem

2.2 Impedansi Surja

Besarnya amplitudo gelombang surja pada saluran dipengaruhi oleh impedansi surja pada saluran tersebut . Impedansi surja pada saluran dinyatakan oleh persamaan [Hutauruk, 1989 : 4] :

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad (2\text{-}1)$$

Dengan :

Z : impedansi surja saluran udara (ohm)

L : induktansi saluran (H)

C : kapasitansi saluran (F)

Dasar dari Persamaan (2-1) maka didapatkan persamaan untuk induktor dan kapasitor pada saluran udara sebesar [Hutauruk,1989 :3]:

$$L = 2\left\{\ln\frac{2h}{r}\right\}x10^{-9}\ H/km \qquad (2\text{-}2)$$

$$C = \frac{10^{-11}}{18\ln\left(\frac{2h}{r}\right)}\ F/km \qquad (2\text{-}3)$$

Dari Persamaan (2-1) maka dapat dicari impedansi surja untuk saluran udara seperti persamaan di bawah ini [Hutauruk,1989 : 4]:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60\ln\left(\frac{2h}{r}\right)\ \text{ohm}$$

(2-4)

Dengan :

r : jari- jari saluran udara (m)

h : tinggi saluran udara dari atas tanah (m)

Sedangkan untuk induktor dan kapasitor pada kabel tanah didapatkan seperti persamaan [Hutauruk,1989 : 4]:

$$L = 2.\ (\ln\frac{R}{r} + 0{,}5).10^{-9}\ \text{H / km} \qquad (2\text{-}5.a)$$

(2-22)

$$C = \frac{e}{(18.\ln(\frac{R}{r}).10^{-11}}\ \text{F /km} \qquad (2\text{-}5.b)$$

Maka didapatkan persamaan untuk impedansi surja kabel tanah seperti persamaan [Hutauruk,1989 : 4]:

$$Z = \frac{60}{\sqrt{e.\ln\frac{R}{r}}}\ \text{ohm} \qquad (2\text{-}6)$$

Dengan :

R : besar jari- jari isolasi pembungkus (m)

r : besar jari- jari kabel (m)

e : permitivitas dengan nilai 2,5 – 4

2.3 Kecepatan Merambat Gelombang Berjalan

Kecepatan merambat gelombang berjalan pada saluran dapat dirumuskan sebagai berikut [Hutauruk, 1989: 3] :

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (2\text{-}7)$$

Untuk kecepatan merambat gelombang berjalan pada saluran udara dengan jari-jari (r) dan tinggi (h) dari atas tanah, maka kita dapat menghitung : [Hutauruk, 1989 : 3] :

$$L = 2\left\{\ln\frac{2h}{r}\right\}x10^{-9}\,H/cm \qquad (2\text{-}8)$$

$$C = \frac{10^{-11}}{18\ln\left(\frac{2h}{r}\right)}\,F/cm \qquad (2\text{-}9)$$

Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut pada Persamaan (2-4) maka kita bisa mengetahui besar kecepatan gelombang berjalan pada saluran udara :

$$v = \sqrt{\frac{18\ln(2h/r).10^{11}}{2\ln(2h/r).10^{-9}}} \qquad (2\text{-}10)$$

$v = 3 \times 10^{10}$ cm/detik

Jadi kecepatan gelombang berjalan pada saluran udara sama nilainya dengan kecepatan udara yaitu 3×10^{8} m/detik.

2.4 Bentuk Gelombang Surja Yang Dianalisis

Gelombang surja yang dianalisis dalam skripsi adalah gelombang surja *double* eksponensial dengan tipe 1,2/50 µs. Bentuk umum gelombang *double* eksponensial diperlihatkan pada Gambar 2.4. Persamaan gelombang surja *double* eksponensial secara umum adalah sebagai berikut [Hutauruk :1989,5]:

$$e_i = A_p E_m (e^{-at} - e^{-bt}) \qquad (2\text{-}11)$$

Dengan

e_i : gelombang datang (kV)

a : konstanta (1/µs)

b : konstanta (1/µs)

A_p : konstanta gelombang

E_m : amplitudo gelombang (kV)

Konstanta untuk gelombang surja *double* eksponensial dengan tipe 1,2/50µs adalah

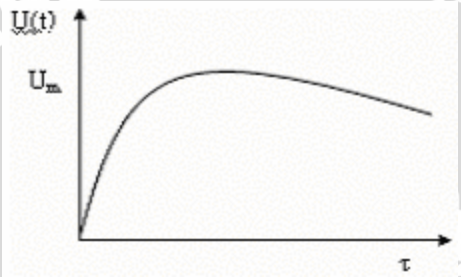
a=14.658,5 1/s E_m=100%

b=2.485.624,6 1/s A_p=1,037

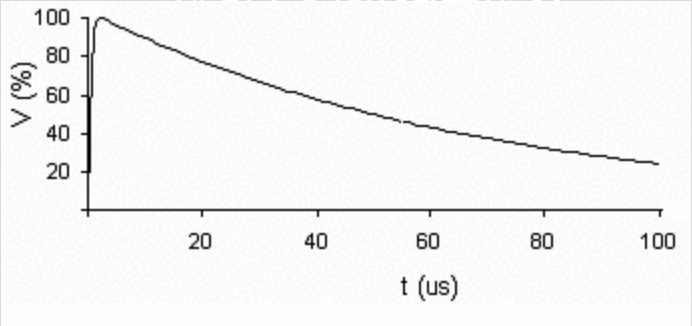
Dengan mensubstitusikan konstanta di atas ke dalam Persamaan (2-11) di dapatkan persamaan gelombang surja *double* eksponensial dengan tipe 1,2/50µs sebagai berikut

$$e_i = 103{,}7\,(e^{-14.658{,}5t} - e^{-2.485.624{,}6t}) \qquad (2\text{-}12)$$

Bentuk gambar untuk gelombang surja dengan tipe 1,2/50µs diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Gelombang datang double eksponensial
Sumber : [Hutauruk, 1989: 5]



Gambar 2.2 Gelombang datang double eksponensial tipe 1,2/50 µs
Sumber : Penulis

2.5 Tegangan Lebih Akibat Sambaran Tidak Langsung pada Saluran Distribusi Primer 20 KV

Pada saluran udara Distribusi sambaran kilat yang sering terjadi adalah sambaran tidak langsung (induksi) dikarenakan pada saluran ini tegangan sistem rendah sehingga tiangnya pun rendah yang mana mengakibatkan sambaran langsung pada saluran inipun rendah.

Tegangan induksi pada saluran Distribusi dapat diuraikan sesuai persamaan berikut [Hutauruk, 1989: 174]:

$$V_{ind} = 2Z_0 I_0 h(c_0/c)\left[\frac{1}{\sqrt{(L^2 + r_0^2)\sqrt{(ct)^2 + \{1-(c/c_0)^2\}}\, r_0}}\right] \qquad (2\text{-}13)$$

dengan

$$\text{Zo} = \frac{1}{4p}(m_0/e_0)^{1/2} = \frac{1}{4p}\left(\frac{1{,}26x10^{-6}}{8{,}84x10^{-12}}\right)^{1/2} \qquad (2\text{-}14)$$

= 30 Ohm

m_o = Permeabilitas vacum (1,257 x 10^{-6} H/m)

e_o = Konstanta dielektrik (8,885 x 10^{-12} F/m)

h = tinggi kawat di atas tanah (meter)

c_0 = kecepatan merambat sinar (meter/detik)

c = kecepatan merambat sambaran balik (m/dt^2)

L = panjang total panjang kilat (meter)

r_0 = jarak antara kawat dengan sambaran kilat (meter)

t = waktu (detik)

dengan menentukan vektor penginduksi sebagai berikut :

$$h\frac{\partial A_{ind}}{\partial t} = 2Z_0 I_0 (c/c_0) h \frac{1}{\sqrt{(ct)^2 + \left[1-(c/c_0)^2\right]}\, r_0} \qquad (2\text{-}15)$$

Dan dengan menjumlahkan Persamaan (2-13) dan (2-15) akan diperoleh harga gelombang tegangan induksi untuk masing -masing komponen,yaitu :

$$V_1 = Z_0 I_0 h(c/c_0)\left\{\frac{c_0 t - x}{y^2 + (c/c_0)^2 (c_0 t - x)^2}\right\} x$$

$$\left\{1 + \frac{x + (c/c_0)^2 [c_0 t - x]}{\sqrt{(c/c_0)^2 (c_0 t)^2 + \left(1 - (c/c_0)^2\right)\left(x^2 + y^2\right)}}\right\} \qquad (2\text{-}16)$$

$$V_2 = V_1(-x)$$

Dalam Persamaan (2-16)

x = koordinat sepanjang kawat

x = 0 adalah titik yang terdekat dengan sambaran kilat

y = jarak kawat dengan sambaran kilat vertikal

dengan menganggap x = ± ~ dan memasukkannya pada Persamaan (2-16) maka akan diperoleh tegangan induksi maksimum pada titik terjauh yaitu [Hutauruk, 1989: 175] :

$$V_i = V_{\infty maks} = \frac{Z_o I_o h}{y} = \frac{30 I_o h}{y} \qquad (2\text{-}17)$$

Dimana :

V_i = tegangan induksi pada kawat, kV

I_o = besar arus kilat, kA

h = tinggi rata-rata kawat di atas tanah

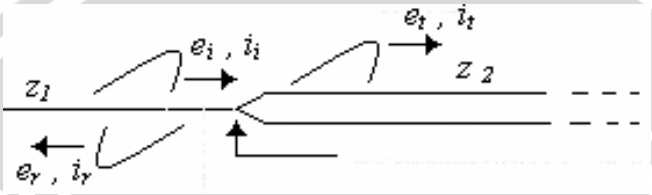
y = jarak horizontal antara sambaran kilat dengan kawat

dengan memasukkan nilai besar arus kilat (I_o) dan jarak horizontal antara sambaran kilat dengan kawat (y) yang bervariasi akan diperoleh nilai tegangan induksi maksimal terdekat dengan ketahanan implus isolasi ($V_{50\%}$) selanjutnya nilai tegangan induksi ini digunakan sebagai tegangan masukan e_i yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan - persamaan tegangan terusan e_t dan tegangan balik e_r.

2.6 Perambatan Gelombang Surja Pada Saluran Tanpa Sisipan

Gambar dua saluran yang berbeda tanpa adanya dua saluran yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.3. Gelombang yang datang diantara dua saluran berbeda dinamakan gelombang datang e_i dan gelombang yang timbul karena titik sambungan yang arahnya berlawanan dengan gelombang datang dinamakan gelombang pantul e_r, sedangkan

gelombang yang diteruskan setelah menemui titik peralihan dinamakan gelombang terusan e_t.



Gambar 2.3 Dua saluran yang berbeda tanpa sisipan
Sumber : [Hutauruk, 1989: 26]

Keterangan :

e_i : gelombang datang

e_r : gelombang pantul

e_t : gelombang terusan

Z_1 : impedansi saluran udara

Z_2 : impedansi saluran kabel

i_1 : arus datang

Pada dua saluran yang berbeda tanpa kombinasi sisipan berlaku persamaan sebagai berikut [Hutauruk, 1989: 27]

$$i_1 = i_i + i_r = i_t \qquad (2\text{-}18)$$

$$e_i + e_r = e_t \qquad (2\text{-}19)$$

dengan

$$i_i = \frac{e_i}{Z_1} \qquad (2\text{-}20)$$

$$i_r = -\frac{e_r}{Z_1} \qquad (2\text{-}21)$$

$$i_t = \frac{e_t}{Z_2} \tag{2-22}$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2-20), (2-21) dan (2-22) ke dalam Persamaan (2-18) didapatkan persamaan sebagai berikut

$$e_i - e_r = \frac{Z_1}{Z_2} e_t \tag{2-23}$$

Eliminasi Persamaan (2-23) dengan Persamaan (2-19) kemudian mensubstitusikan persamaan gelombang datang pada Persamaan (2-11) ke dalam parsamaan hasil

eliminasi tersebut didapatkan persamaan gelombang terusan pada dua saluran tanpa sisipan sebagai berikut

$$e_t = \frac{2Z_2 E_m A_p}{Z_1 + Z_2}\left(e^{-at} - e^{-bt}\right) \tag{2-24.a}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul didapatkan dengan mensubstitusikan Persamaan (2-24) ke dalam Persamaan (2-19) yaitu

$$e_r = \frac{(Z_2 - Z_1)E_m A_P}{Z_1 + Z_2}\left(e^{-at} - e^{-bt}\right) \tag{2-24.b}$$

Karena besarnya impedansi surja pada saluran udara Z_1 lebih besar dari impedansi surja saluran kabel Z_2, maka besarnya gelombang pantul akan bernilai negatif.

2.7 Perambatan Gelombang karena Pengaruh Sisipan

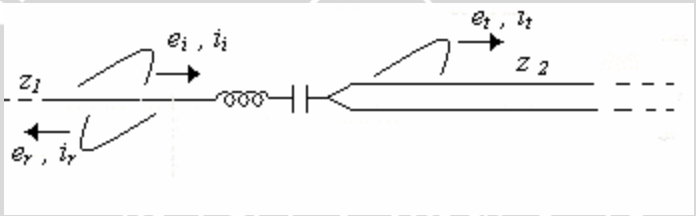
Selanjutnya akan dianalisis perambatan gelombang pada saluran dengan sisipan kombinasi kapasitor dan induktor baik secara seri maupun paralel. Penyisipan yang dipasang diantara dua saluran pada titik sambungan mempunyai fungsi :

1. Membatasi besarnya surja yang masuk pada kabel
2. Mengamankan titik sambungan dan peralatan udara lainnya dari kerusakan akibat proses pantulan berulang yang terjadi dalam kabel.
3. Menaikkan faktor daya saluran untuk sisipan dengan kapasitor secara paralel.

Selanjutnya dijelaskan persamaan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagai akibat adanya kombinasi sisipan.

2.7.1 Pengaruh Sisipan Kombinasi Seri Kapasitor Dan Induktor Secara Seri

Pada penyisipan seri ini arus pada saluran satu sama dengan arus pada kapasitor, induktor maupun saluran dua. sehingga dari karakteristik hubungan seri ini nantinya dapat dicari rumusan tegangan pantul maupun tegangan terusannya. Pada Gambar 2.4 menggambarkan kombinasi seri induktor kapasitor yang disisipkan secara seri di antara dua saluran yang berbeda.



Gambar 2.4 Penyisipan kombinasi seri secara seri
Sumber : Penulis

Keterangan :

e_L : tegangan induktor
e_C : tegangan kapasitor
i_t : arus terusan
i_c : arus kapasitor

Pada titik sambungan A antara saluran udara dan saluran kabel yang disisipkan kombinasi seri kapasitor dan induktor secara seri, seperti terlihat pada Gambar 2.4 diatas berlaku persamaan arus dan tegangan sebagai berikut :

$$i_1 = i_i + i_r = i_t = i_C = i_L \qquad (2\text{-}25)$$

$$e_i + e_r = e_C + e_L + e_t \qquad (2\text{-}26)$$

dengan

$$e_C = \frac{1}{C}\int i_C dt \tag{2-27}$$

$$e_L = L\frac{di_L}{dt} \tag{2-28}$$

Penurunan dari persamaan di atas didapatkan persamaan berikut :

$$e_i + e_r = \frac{1}{Z_2 C}\int e_t dt + \frac{L}{Z_2}\frac{de_t}{dt} + e_t \tag{2-29}$$

$$e_i - e_r = \frac{Z_1}{Z_2}e_t \tag{2-30}$$

Eliminasi e_r dari Persamaan (2-29) dan (2-30) didapat hubungan antara e_t dan e_i, yaitu :

$$2e_i = \frac{1}{Z_2 C}\int e_t dt + \frac{L}{Z_2}\frac{de_t}{dt} + \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}e_t \tag{2-31}$$

Transformasi laplace dari Persamaan (2-31) adalah

$$2E_i(s) = \left(\frac{z_1 + z_2}{z_2}\right)E_t(s) + \frac{1}{Z_2 C}\left(\frac{E_t(s)}{s} - \frac{e_t(0)}{s}\right) + \frac{L}{Z_2}\left(sE_t(s) - e_t(0)\right) \tag{2-32}$$

Dengan menganggap e_t (0) = 0 maka didapatkan persamaan tegangan terusan dalam kawasan frekuensi sebagai berikut

$$E_t(s) = 2E_i(s)\left(\frac{sZ_2}{L\left(\frac{1}{LC} + s\frac{(z_1 + z_2)}{L} + s^2\right)}\right) \tag{2-33}$$

Dan dengan memisalkan akar-akar dari persamaan kuadrat di atas adalah a dan ß maka persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_t(s) = \frac{2Z_2 s}{L(s-a)(s-b)}E_i(s) \tag{2-34}$$

dengan

$$a = \frac{1}{2}\left(-\frac{(Z_2 + Z_1)}{L} + \sqrt{\left(\frac{(Z_2 + Z_1)}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}}\right) \tag{2-35.a}$$

$$b = \frac{1}{2}\left(-\frac{(Z_2 + Z_1)}{L} - \sqrt{\left(\frac{(Z_2 + Z_1)}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}} \right) \qquad (2\text{-}35.b)$$

Gelombang masukan adalah gelombang *double* eksponensial yang ditunjukkan pada Persamaan (2-11). Transformasi laplace dari Persamaan (2-11) didapat

$$E_i(s) = A_P . E_m \left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b} \right) \qquad (2\text{-}36)$$

Dengan memasukkan Persamaan (2-36) ke dalam Persamaan (2-34) didapat

$$E_t(s) = 2.Z_2 . A_P . E_m \left(\left(\frac{s}{(s-a)(s-b)} \right) \left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b} \right) \right) \qquad (2\text{-}37)$$

Persamaan gelombang tersebut ditentukan oleh kondisi nilai a dan ß yakni :

a. Untuk nilai a dan ß nyata dan berbeda
b. Untuk nilai a = ß
c. Untuk nilai a dan ß berupa bilangan komplek

2.7.1.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Dengan Transformasi laplace balik Persamaan (2-37) ke fungsi waktu didapat

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad (2\text{-}38.a)$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-38.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-30) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6 e^{bt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad (2\text{-}38.b)$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P a(b-a)}{L(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P b(b-a)}{L(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 A_P E_m a}{L(a+a)(b+a)}$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P b}{L(b+b)(a+b)}$$

$$k_5 = \frac{2Z_1 E_m A_P a\,(b-a)}{L(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_6 = \frac{2Z_1 E_m A_P b\,(b-a)}{L(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_7 = E_m A_P \left(\frac{2Z_1 a}{L(a+a)(b+a)} - 1 \right)$$

$$k_8 = E_m A_P \left(\frac{2Z_1 b}{L(a+b)(a+b)} - 1 \right)$$

$$a = \frac{1}{2}\left(-\frac{(Z_2+Z_1)}{L} + \sqrt{\left(\frac{(Z_2+Z_1)}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}} \right)$$

$$b = \frac{1}{2}\left(-\frac{(Z_2+Z_1)}{L} - \sqrt{\left(\frac{(Z_2+Z_1)}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}} \right)$$

a = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

2.7.1.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-39.a)}$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-39.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-30) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} - k_6 t e^{at} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-39.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{L} \cdot \left(\frac{a}{(a+a)^2} - \frac{b}{(a+b)^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P a}{L} \cdot \left(\frac{a-b}{(a+a)(a+b)} \right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{L} \frac{a}{(a+a)^2}$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{L} \frac{b}{(a+b)^2}$$

$$k_5 = \frac{2Z_1 E_m A_P}{L} . \left(\frac{a}{(a+a)^2} - \frac{b}{(a+b)^2} \right)$$

$$k_6 = \frac{2Z_1 E_m A_P a}{L} . \left(\frac{a-b}{(a+a)(a+b)} \right)$$

$$k_7 = E_m A_P \left(\frac{2Z_1}{L} \frac{a}{(a+a)^2} - 1 \right)$$

$$k_8 = E_m A_P \left(\frac{2Z_1}{L} \frac{b}{(a+b)^2} - 1 \right)$$

$$a = -\frac{(Z_2 + Z_1)}{2L}$$

2.7.1.3 Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang untuk nilai $a = g + jw$ dan $b = g - jw$ adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad (2\text{-}40.a)$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-40.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-30) yaitu

$$e_t(t) = -k_5 e^{gt} Cos(wt) - k_6 e^{gt} Sin(wt) + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \qquad (2\text{-}40.b)$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{L} \left(\frac{a}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{b}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{L} \left(\frac{w^2 + g(g+a)}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{w^2 + g(g+b)}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{L} \left(\frac{a}{(g+a)^2 + w^2} \right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{L}\left(\frac{b}{(g+b)^2 + w^2}\right)$$

$$k_5 = \frac{2Z_1 E_m A_P}{L}\left(\frac{a}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{b}{(g+b)^2 + w^2}\right)$$

$$k_6 = \frac{2Z_1 E_m A_P}{L}\left(\frac{w^2 + g(g+a)}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{w^2 + g(g+b)}{(g+b)^2 + w^2}\right)$$

$$k_7 = E_m A_P\left(\frac{2Z_1}{L}\left(\frac{a}{(g+a)^2 + w^2}\right) - 1\right)$$

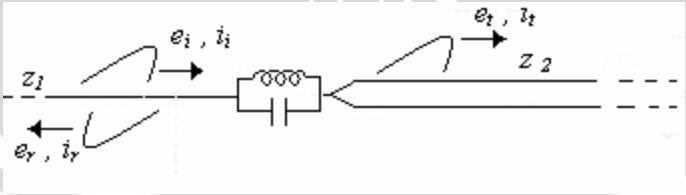
$$k_8 = E_m A_P\left(\frac{2Z_1}{L}\left(\frac{b}{(g+b)^2 + w^2}\right) - 1\right)$$

$$g = -\frac{Z_2 + Z_1}{2.L} \qquad \text{(2-41.a)}$$

$$w = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{Z_2 + Z_1}{2L}\right)^2} \qquad \text{(2-41.b)}$$

2.7.2 Pengaruh Sisipan Kombinasi Paralel Kapasitor Dan Induktor Secara Seri

Seperti halnya pada penyisipan secara seri kombinasi seri, arus terusan pada saluran ini sama dengan arus yang datang. Gambar kombinasi seri kapasitor dan induktor yang disisipkan secara paralel di antara dua saluran yang berbeda ditunjukan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Dua saluran berbeda dengan sisipan kombinasi paralel
Sumber : Penulis

Pada titik sambungan A antara saluran udara dan saluran kabel yang disisipi kombinasi paralel induktor dan kapasitor secara paralel seperti terlihat pada Gambar 2.5 diatas berlaku persamaan arus dan tegangan sebagai berikut :

$$e_i + e_r = e_c + e_t \tag{2-42}$$

$$e_C = e_L \tag{2-43}$$

$$i_i + i_r = i_t \tag{2-44}$$

$$i_C + i_L = i_t \tag{2-45}$$

Penurunan dari persamaan di atas didapatkan persamaan sebagai berikut

$$e_i - e_r = \frac{Z_1}{Z_2} e_t \tag{2-46}$$

$$E_t(s) = \frac{2Z_2}{(Z_2 + Z_1)} \frac{(s^2 + \frac{1}{LC})}{(s-a)(s-b)} E_i(s) \tag{2-47}$$

$$a = -\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C} + \sqrt{\left(\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \tag{2-48.a}$$

$$b = -\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C} - \sqrt{\left(\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \tag{2-48.b}$$

Substitusi Persamaan (2.36) ke dalam Persamaan (2.47) didapatkan persamaan tegangan terusan sebagai berikut

$$E_t(s) = \frac{2A_P E_m Z_2}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{(s^2 + \frac{1}{LC})}{(s-a)(s-b)} \left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b} \right) \right) \tag{2-49}$$

2.7.2.1 Persamaan Tegangan terusan Untuk Nilai a Dan ß Nyata dan Berbeda.

Transformasi laplace balik Persamaan (2-49) ke fungsi waktu didapat persamaan tegangan terusan untuk nilai a dan ß nyata dan berbeda sebagai berikut

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \tag{2-50.a}$$

Sedangkan persamaan tegangan gelombang pantul adalah

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6 e^{bt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \tag{2-50.b}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2E_mA_p}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{\left(a^2+\frac{1}{LC}\right)(b-a)}{(a-b)(a+a)(a+b)}\right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2E_mA_p}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{\left(b^2+\frac{1}{LC}\right)(b-a)}{(a-b)(b+a)(b+b)}\right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2E_mA_p}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{a^2+\frac{1}{LC}}{(a+a)(b+a)}\right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2E_mA_p}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{b^2+\frac{1}{LC}}{(a+b)(b+b)}\right)$$

$$k_5 = \frac{2Z_1E_mA_p}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{\left(a^2+\frac{1}{LC}\right)(b-a)}{(a-b)(a+a)(a+b)}\right)$$

$$k_6 = \frac{2Z_1E_mA_p}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{\left(b^2+\frac{1}{LC}\right)(b-a)}{(a-b)(b+a)(b+b)}\right)$$

$$k_7 = E_mA_p\left(\frac{2Z_2}{(Z_2+Z_1)}\frac{a^2+\frac{1}{LC}}{(a+a)(b+a)}-1\right)$$

$$k_8 = E_mA_p\left(\frac{2Z_2E_mA_p}{(Z_2+Z_1)}\frac{b^2+\frac{1}{LC}}{(a+b)(b+b)}-1\right)$$

$$a = -\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C} + \sqrt{\left(\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

$$b = -\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C} - \sqrt{\left(\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

a = konstanta waktu pada gelombang dobel eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang dobel eksponensial

2.7.2.2 Persamaan Tegangan terusan Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-51.a)}$$

Sedangkan persamaan tegangan gelombang tegangan pantul

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} - k_6 t e^{at} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-51.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2 + 2aa - \frac{1}{LC}}{(a + a)^2} - \frac{a^2 + 2ab - \frac{1}{LC}}{(a + b)^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{(b - a)\left(a^2 + \frac{1}{LC}\right)}{(a + a)(a + b)} \right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 A_P E_m}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2 + \frac{1}{LC}}{(a + a)^2} \right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{b^2 + \frac{1}{LC}}{(a+b)^2} \right)$$

$$k_5 = \frac{2Z_1 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2 + 2aa - \frac{1}{LC}}{(a+a)^2} - \frac{a^2 + 2ab - \frac{1}{LC}}{(a+b)^2} \right)$$

$$k_6 = \frac{2Z_1 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{(b-a)\left(a^2 + \frac{1}{LC}\right)}{(a+a)(a+b)} \right)$$

$$k_7 = E_m A_P \left(\frac{2Z_2}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2 + \frac{1}{LC}}{(a+a)^2} \right) - 1 \right)$$

$$k_8 = E_m A_P \left(\frac{2Z_2}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{b^2 + \frac{1}{LC}}{(a+b)^2} \right) - 1 \right)$$

$$a = -\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C}$$

2.7.2.3 Untuk Nilai a Dan ß Berupa Bilangan Komplek

Untuk nilai a dan ß berupa bilangan komplek persamaan tegangan terusan yang dihasilkan adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-52.a)}$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-52.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-46) yaitu

$$e_t(t) = -k_5 e^{gt} Cos(wt) - k_6 e^{gt} Sin(wt) + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-52.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{g^2+w^2+\frac{1}{LC}(2g-1)}{(g+a)^2+w^2} - \frac{g^2+w^2+\frac{1}{LC}(2g-1)}{(g+b)^2+w^2}\right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{g^2(g+a)+w^2(g-a)+\frac{1}{LC}(g+a)}{(g+a)^2+w^2} - \frac{g^2(g+b)+w^2(g-b)+\frac{1}{LC}(g+b)}{(g+b)^2+w^2}\right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{a^2+\frac{1}{LC}}{(g+a)^2+w^2}\right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{b^2+\frac{1}{LC}}{(g+b)^2+w^2}\right)$$

$$k_5 = \frac{2Z_1E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{g^2+w^2+\frac{1}{LC}(2g-1)}{(g+a)^2+w^2} - \frac{g^2+w^2+\frac{1}{LC}(2g-1)}{(g+b)^2+w^2}\right)$$

$$k_6 = \frac{2Z_1E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{g^2(g+a)+w^2(g-a)+\frac{1}{LC}(g+a)}{(g+a)^2+w^2} - \frac{g^2(g+b)+w^2(g-b)+\frac{1}{LC}(g+b)}{(g+b)^2+w^2}\right)$$

$$k_7 = E_mA_P\left(\frac{2Z_2}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{a^2+\frac{1}{LC}}{(g+a)^2+w^2}\right)-1\right)$$

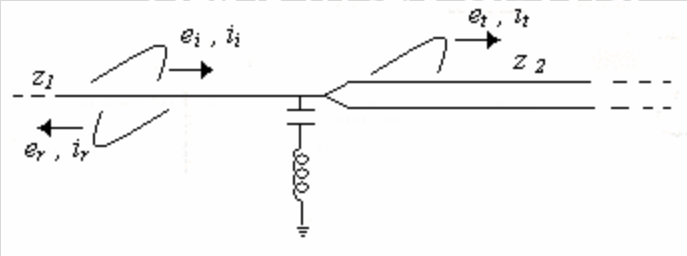
$$k_8 = E_mA_P\left(\frac{2Z_2}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{b^2+\frac{1}{LC}}{(g+b)^2+w^2}\right)-1\right)$$

$$g = -\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C} \tag{2-53.a}$$

$$w = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{1}{2(Z_2 + Z_1)C}\right)^2} \tag{2-53.b}$$

2.7.3 Pengaruh Sisipan Kombinasi Seri SecaraParalel

Pada penyisipan ini tegangan terusan e_t nilainya sama dengan jumlah tegangan induktor ditambah dengan kapasitor. Gambar kombinasi seri kapasitor dan induktor yang disisipkan secara pararel diantara dua saluran yang berbeda ditunjukan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penyisipan dengan kombinasi seri secara pararel
Sumber : Penulis

Keterangan :

i_g = arus yang mengalir menuju kombinasi

Penurunan persamaan untuk kombinasi penyisipan seri secara pararel didapatkan

$$e_i + e_r = e_t \tag{2-54}$$

$$E_t(s) = \frac{2E_m Z_2}{(Z_1 + Z_2)}\left(\frac{(s^2 + \frac{1}{LC})}{(s-a)(s-b)}\left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b}\right)\right) \tag{2-55}$$

$$a = -\frac{z_1 z_2}{2(Z_2 + Z_1)L} + \sqrt{\left(\frac{z_1 z_2}{2(Z_2 + Z_1)L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \tag{2-56.a}$$

$$b = -\frac{z_1 z_2}{2(Z_2 + Z_1)L} - \sqrt{\left(\frac{z_1 z_2}{2(Z_2 + Z_1)L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \qquad (2\text{-}56.b)$$

2.7.3.1 Persamaan Tegangan terusan Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda.

Transformasi laplace balik Persamaan (2-55) didapat persamaan tegangan terusan untuk nilai a dan ß nyata dan berbeda sebagai berikut

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad (2\text{-}57.a)$$

Sedangkan persamaan tegangan gelombang pantul adalah

$$e_r(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_5 e^{-at} - k_6 e^{-bt} \qquad (2\text{-}57.b)$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_p}{(Z_2 + Z_1)}\left(\frac{\left(a^2 + \frac{1}{LC}\right)(b-a)}{(a-b)(a+a)(a+b)}\right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_p}{(Z_2 + Z_1)}\left(\frac{\left(b^2 + \frac{1}{LC}\right)(b-a)}{(a-b)(b+a)(b+b)}\right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 E_m A_p}{(Z_2 + Z_1)}\left(\frac{a^2 + \frac{1}{LC}}{(a+a)(b+a)}\right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_p}{(Z_2 + Z_1)}\left(\frac{b^2 + \frac{1}{LC}}{(a+b)(b+b)}\right)$$

$$k_5 = E_m A_p\left(\frac{2Z_2}{(Z_2 + Z_1)}\frac{a^2 + \frac{1}{LC}}{(a+a)(b+a)} - 1\right)$$

$$k_6 = E_m A_p \left(\frac{2Z_2 E_m A_p}{(Z_2 + Z_1)} \frac{b^2 + \frac{1}{LC}}{(a+b)(b+b)} - 1 \right)$$

$$a = -\frac{Z_1 Z_2}{2(Z_2 + Z_1)C} + \sqrt{\left(\frac{Z_1 Z_2}{2(Z_2 + Z_1)C} \right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

$$b = -\frac{Z_1 Z_2}{2(Z_2 + Z_1)C} - \sqrt{\left(\frac{Z_1 Z_2}{2(Z_2 + Z_1)C} \right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

a = konstanta waktu pada gelombang dobel eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang dobel eksponensial

2.7.3.2 Persamaan Tegangan terusan Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-58.a)}$$

Sedangkan persamaan tegangan gelombang tegangan pantul

$$e_r(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_5 e^{-at} - k_6 e^{-bt} \qquad \text{(2-58.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2 + 2aa - \frac{1}{LC}}{(a+a)^2} - \frac{a^2 + 2ab - \frac{1}{LC}}{(a+b)^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{(b-a)\left(a^2 + \frac{1}{LC}\right)}{(a+a)(a+b)} \right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 A_P E_m}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2 + \frac{1}{LC}}{(a + a)^2} \right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{b^2 + \frac{1}{LC}}{(a + b)^2} \right)$$

$$k_5 = E_m A_P \left(\frac{2Z_2}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2 + \frac{1}{LC}}{(a + a)^2} \right) - 1 \right)$$

$$k_6 = E_m A_P \left(\frac{2Z_2}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{b^2 + \frac{1}{LC}}{(a + b)^2} \right) - 1 \right)$$

$$a = -\frac{Z_1 Z_2}{2(Z_2 + Z_1)C}$$

2.7.3.3 Untuk Nilai a Dan ß Berupa Bilangan Komplek

Untuk nilai a dan ß berupa bilangan komplek persamaan tegangan terusan yang dihasilkan adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-59.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang patulnya adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt} \qquad \text{(2-59.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_2 + Z_1)} \left(\frac{g^2 + w^2 + \frac{1}{LC}(2g - 1)}{(g + a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + \frac{1}{LC}(2g - 1)}{(g + b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{g^2(g+a)+w^2(g-a)+\frac{1}{LC}(g+a)}{(g+a)^2+w^2}\right.$$

$$\left.-\frac{g^2(g+b)+w^2(g-b)+\frac{1}{LC}(g+b)}{(g+b)^2+w^2}\right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{a^2+\frac{1}{LC}}{(g+a)^2+w^2}\right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{b^2+\frac{1}{LC}}{(g+b)^2+w^2}\right)$$

$$k_5 = E_mA_P\left(\frac{2Z_2}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{a^2+\frac{1}{LC}}{(g+a)^2+w^2}\right)-1\right)$$

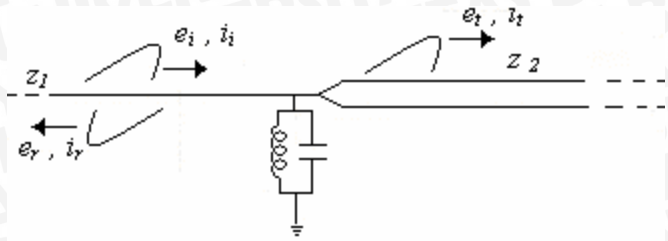
$$k_6 = E_mA_P\left(\frac{2Z_2}{(Z_2+Z_1)}\left(\frac{b^2+\frac{1}{LC}}{(g+b)^2+w^2}\right)-1\right)$$

$$g = -\frac{Z_1Z_2}{2(Z_2+Z_1)C} \qquad \text{(2-60.a)}$$

$$w = \sqrt{\frac{1}{LC}-\left(\frac{Z_1Z_2}{2(Z_2+Z_1)C}\right)^2} \qquad \text{(2-60.b)}$$

2.7.4 Pengaruh Sisipan Kombinasi Paralel Secara Paralel

Pada penyisipan ini gelombang tegangan yang datang sama dengan jumlah tegangan yang diteruskan. Sedangkan gelombang arus yang datang merupakan penjumlahan dari gelombang arus yang diteruskan dengan gelombang arus yang mengalir menuju kombinasi pararel. Gambar penyisipan kombinasi paralel secara paralel ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Dua saluran berbeda dengan sisipan kombinasi pararel secara paralel
Sumber : Penulis

Penurunan persamaan untuk penyisipan kombinasi paralel secara pararel didapatkan

$$e_i + e_r = e_t \tag{2-61}$$

$$E_t(s) = \frac{2A_P E_m}{Z_1 C}\left(\left(\frac{s}{(s-a)(s-b)}\right)\left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b}\right)\right) \tag{2-62}$$

dengan

$$a = -\frac{(Z_2 + Z_1)}{2Z_1 Z_2 C} + \sqrt{\left(\frac{(Z_2 + Z_1)}{2Z_1 Z_2 C}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \tag{2-63.a}$$

$$b = -\frac{(Z_2 + Z_1)}{2Z_1 Z_2 C} - \sqrt{\left(\frac{(Z_2 + Z_1)}{2Z_1 Z_2 C}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \tag{2-63.b}$$

2.7.4.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Dengan Transformasi laplace balik Persamaan (2-62) ke fungsi waktu didapat

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \tag{2-64.a}$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-64.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-61) yaitu

$$e_r(t) = k_1 e^{at} + k_2 e^{bt} - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt} \tag{2-64.b}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P a(b-a)}{Z_1 C(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P b(b-a)}{Z_1 C(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_3 = \frac{2A_P E_m a}{Z_1 C(a+a)(b+a)}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P b}{Z_1 C(b+b)(a+b)}$$

$$k_5 = E_m A_P \left(\frac{2}{Z_1 C} \frac{a}{(a+a)(b+a)} - 1 \right)$$

$$k_6 = E_m A_P \left(\frac{2b}{Z_1 C(a+b)(a+b)} - 1 \right)$$

$$a = -\frac{(Z_2+Z_1)}{2Z_1 Z_2 C} + \sqrt{\left(\frac{(Z_2+Z_1)}{2Z_1 Z_2 C} \right)^2 - 4\frac{1}{LC}}$$

$$b = -\frac{(Z_2+Z_1)}{2Z_1 Z_2 C} - \sqrt{\left(\frac{(Z_2+Z_1)}{2Z_1 Z_2 C} \right)^2 - 4\frac{1}{LC}}$$

a = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

2.7.4.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-65.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah

$$e_r(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt} \qquad \text{(2-65.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P}{Z_1 C} . \left(\frac{a}{(a+a)^2} - \frac{b}{(a+b)^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P}{Z_1 C} . \left(\frac{a-b}{(a+a)(a+b)} \right)$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P}{Z_1 C} \frac{a}{(a+a)^2}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P}{Z_1 C} \frac{b}{(a+b)^2}$$

$$k_5 = E_m A_P \left(\frac{2}{Z_1 C} \frac{a}{(a+a)^2} - 1 \right)$$

$$k_6 = E_m A_P \left(\frac{2}{Z_1 C} \frac{b}{(a+b)^2} - 1 \right)$$

$$a = -\frac{(Z_2 + Z_1)}{2 Z_1 Z_2 C}$$

2.6.4.3 Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang untuk nilai $a = g + jw$ dan $b = g - jw$ adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-66.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah sebagai berikut

$$e_r(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt} \qquad \text{(2-66.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2 E_m A_P}{Z_1 C} \left(\frac{a}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{b}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2 E_m A_P}{Z_1 C} \left(\frac{w^2 + g(g+a)}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{w^2 + g(g+b)}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_3 = \frac{2 E_m A_P}{Z_1 C} \left(\frac{a}{(g+a)^2 + w^2} \right)$$

$$k_4 = \frac{2 E_m A_P}{Z_1 C} \left(\frac{b}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_5 = E_m A_P \left(\frac{2}{Z_1 C} \left(\frac{a}{(g+a)^2 + w^2} \right) - 1 \right)$$

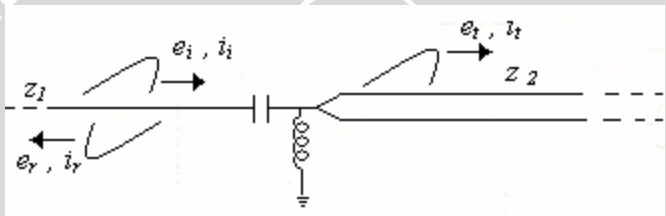
$$k_6 = E_m A_P \left(\frac{2}{Z_1 C} \left(\frac{b}{(g+b)^2 + w^2} \right) - 1 \right)$$

$$g = -\frac{(Z_2 + Z_1)}{2 Z_1 Z_2 C} \qquad \text{(2-67.a)}$$

$$w = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{(Z_2 + Z_1)}{2Z_1Z_2C}\right)^2} \qquad (2\text{-}67.b)$$

2.7.5 Pengaruh Sisipan Induktor Secara Paralel Di Belakang Kapasitor Seri

Gambar kombinasi induktor yang disisipkan secara paralel di belakang kapasitor secara seri di antara dua saluran yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa arus yang mengalir pada kapasitor merupakan arus yang mengalir pada saluran kabel. Sedangkan arus yang mengalir pada induktor merupakan selisih antara arus yang mengalir pada saluran udara dikurangi arus yang mengalir pada saluran kabel.



Gambar 2.7 Dua saluran berbeda dengan sisipan induktor secara paralel di belakang kapasitor secara seri

Sumber : Penulis

Penurun persamaan untuk kombinasi induktor secara paralel di belakang kapasitor secara seri adalah sebagai berikut

$$e_i - e_r = \frac{Z_1}{L}\int e_t dt + \frac{Z_1}{Z_2} e_t \qquad (2\text{-}68)$$

$$E_t(s) = \frac{2Z_2 A_P E_m}{(Z_1 + Z_2)}\left(\left(\frac{s}{(s-a)(s-b)}\right)\left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b}\right)\right) \qquad (2\text{-}69)$$

dengan

$$a = -\frac{(Z_1Z_2C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1Z_2C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_2}{LC(Z_1 + Z_2)}} \qquad (2\text{-}70.a)$$

$$b = -\frac{(Z_1Z_2C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1Z_2C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_2}{LC(Z_1 + Z_2)}} \qquad (2\text{-}70.b)$$

2.7.5.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Dengan Transformasi laplace balik Persamaan (2-87) ke fungsi waktu didapat

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad (2\text{-}71.a)$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-71.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-68) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6 e^{bt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad (2\text{-}71.b)$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2 (a-b)}{(Z_1+Z_2)(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P Z_2 b^2 (a-b)}{(Z_1+Z_2)(a-b)(b+a)(b+b)}$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2}{(Z_1+Z_2)(a+a)(b+a)}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P Z_2 b^2}{(Z_1+Z_2)(a+b)(b+b)}$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P Z_2 a(a-b)}{(Z_1+Z_2)(a-b)(a+a)(a+b)}\left(\frac{Z_1}{L}+\frac{Z_1 a}{Z_2}\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P Z_2 b(a-b)}{(Z_1+Z_2)(a-b)(b+a)(b+b)}\left(\frac{Z_1}{L}+\frac{Z_1 b}{Z_2}\right)$$

$$k_7 = E_m A_P\left(\left(\frac{2Z_2 a}{(Z_1+Z_2)(a+a)(b+a)}\left(-\frac{Z_1}{L}+\frac{Z_1 a}{Z_2}\right)\right)-1\right)$$

$$k_8 = E_m A_P\left(\left(\frac{2Z_2 b}{(Z_1+Z_2)(a+b)(b+b)}\left(-\frac{Z_1}{L}+\frac{Z_1 b}{Z_2}\right)\right)-1\right)$$

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1+Z_2)LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1+Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_2}{LC(Z_1+Z_2)}}$$

$$b = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1+Z_2)LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1+Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_2}{LC(Z_1+Z_2)}}$$

a = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

2.7.5.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-72.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} - k_6 t e^{at} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-72.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P Z_2 a}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{(a+2a)}{(a+a)^2} - \frac{(a+2b)}{(a+b)^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{(b-a)}{(a+a)(a+b)} \right)$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2}{(Z_1 + Z_2)(a+a)^2}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P Z_2 b^2}{(Z_1 + Z_2)(a+b)^2}$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P Z_2}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{Z_1 a}{Z_2} \left(\frac{(a+2a)}{(a+a)^2} - \frac{(a+2b)}{(a+b)^2} \right) + \frac{Z_1}{L} \left(\frac{(a+2a)}{(a+a)^2} - \frac{(a+2b)}{(a+b)^2} - \frac{1}{(a+b)(a+b)} \right) \right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P Z_2 a\,(b-a)}{(Z_1 + Z_2)(a+a)(a+b)} \left(\frac{Z_1 a}{Z_2} + \frac{Z_1}{L} \right)$$

$$k_7 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 a}{(Z_1 + Z_2)(a+a)(b+a)} \left(-\frac{Z_1}{L} + \frac{Z_1 a}{Z_2} \right) \right) - 1 \right)$$

$$k_8 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 b}{(Z_1 + Z_2)(a+b)(b+b)} \left(-\frac{Z_1}{L} + \frac{Z_1 b}{Z_2} \right) \right) - 1 \right)$$

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}$$

2.7.5.3 Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang untuk nilai $a = g + jw$ dan $b = g - jw$ adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad (2\text{-}73.a)$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah sebagai berikut

$$e_r(t) = k_5 e^{gt} Cos(wt) + k_6 e^{gt} Sin(wt) - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad (2\text{-}73.b)$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{g^2 + w^2 + 2ga}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + 2gb}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{g^2(g+a) + w^2(g-a)}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2(g+b) + w^2(g-b)}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2}{(g+a)^2 + w^2} \right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{b^2}{(g+b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_5 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{Z_1}{Z_2} \left(\frac{g^2 + w^2 + 2ga}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + 2gb}{(g+b)^2 + w^2} \right) - \frac{Z_1}{L(g^2 + w^2)} \right. \\ \left. \left(g \left(\frac{g^2 + w^2 + 2ga}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + 2gb}{(g+b)^2 + w^2} \right) + w \left(\frac{g^2(g+a) + w^2(g-a)}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2(g+b) + w^2(g-b)}{(g+b)^2 + w^2} \right) \right) \right] \end{array} \right\}$$

$$k_6 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{Z_1}{Z_2} \left(\frac{g^2(g+a) + w^2(g-a)}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2(g+b) + w^2(g-b)}{(g+b)^2 + w^2} \right) \right. \\ \left. + \frac{Z_1}{L(g^2 + w^2)} \left(w \left(\frac{g^2 + w^2 + 2ga}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + 2gb}{(g+b)^2 + w^2} \right) + g \left(\frac{g^2(g+a) + w^2(g-a)}{(g+a)^2 + w^2} - \frac{g^2(g+b) + w^2(g-b)}{(g+b)^2 + w^2} \right) \right) \right] \end{array} \right\}$$

$$k_7 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 a}{(Z_1 + Z_2)\left((g+a)^2 + w^2\right)} \left(\frac{Z_1 a}{Z_2} - \frac{Z_1}{L} \right) \right) - 1 \right)$$

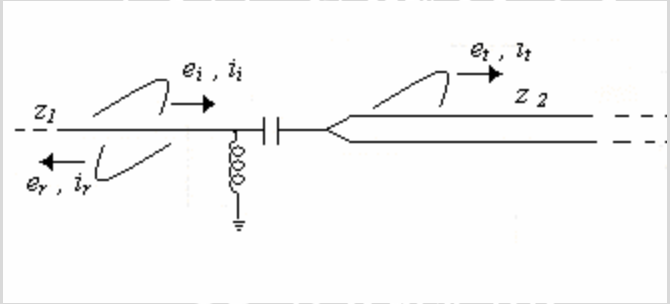
$$k_8 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 b}{(Z_1 + Z_2)\left((g+b)^2 + w^2\right)} \right) \left(\frac{Z_1 b}{Z_2} - \frac{Z_1}{L} \right) \right) - 1 \right)$$

$$g = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} \qquad \text{(2-74.a)}$$

$$w = \sqrt{\frac{Z_2}{LC(Z_1 + Z_2)} - \left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} \right)^2} \qquad \text{(2-74.b)}$$

2.7.6 Pengaruh Sisipan Induktor Secara Paralel Di Depan Kapasitor Seri

Gambar kombinasi sisipan induktor secara paralel di depan kapasitor secara seri dapat dilihat pada Gambar 2.9. Tampak pada gambar bahwa arus yang mengalir pada kapasitor merupakan arus yang mengalir pada saluran kabel. Sedangkan arus yang mengalir pada induktor merupakan jumlah arus yang berkurang yang seharusnya mengalir pada saluran kabel.



Gambar 2.9 Dua saluran berbeda dengan sisipan induktor secara pararel di depan kapasitor secara seri

Sumber : Penulis

Penurun persamaan untk kombinasi induktor secara paralel di belakang kapasitor secara seri adalah sebagai berikut

$$e_i + e_r = \frac{1}{Z_2 C} \int e_t \, dt + e_t \qquad \text{(2-75)}$$

$$E_t(s) = \frac{2 Z_2 A_P E_m}{(Z_1 + Z_2)} \left(\left(\frac{s}{(s-a)(s-b)} \right) \left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b} \right) \right) \qquad \text{(2-76)}$$

dengan

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_1}{LC(Z_1 + Z_2)}} \qquad (2\text{-}77.a)$$

$$b = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_1}{LC(Z_1 + Z_2)}} \qquad (2\text{-}77.b)$$

2.7.6.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Dengan Transformasi laplace balik Persamaan (2-76) ke fungsi waktu didapat

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad (2\text{-}78.a)$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-78.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-77) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{at} - k_6 e^{bt} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \qquad (2\text{-}78.b)$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2 (a-b)}{(Z_1 + Z_2)(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P Z_2 b^2 (a-b)}{(Z_1 + Z_2)(a-b)(b+a)(b+b)}$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2}{(Z_1 + Z_2)(a+a)(b+a)}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P Z_2 b^2}{(Z_1 + Z_2)(a+b)(b+b)}$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P Z_2 a(a-b)}{(Z_1 + Z_2)(a-b)(a+a)(a+b)}\left(\frac{1}{Z_2 C} + a\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P Z_2 b(a-b)}{(Z_1 + Z_2)(a-b)(b+a)(b+b)}\left(\frac{1}{Z_2 C} + b\right)$$

$$k_7 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 a}{(Z_1 + Z_2)(a+a)(b+a)}\left(-\frac{1}{Z_2 C} + a\right)\right) - 1\right)$$

$$k_8 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 b}{(Z_1 + Z_2)(a+b)(b+b)}\left(-\frac{1}{Z_2 C} + b\right)\right) - 1\right)$$

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_1}{LC(Z_1 + Z_2)}}$$

$$b = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}\right)^2 - \frac{Z_1}{LC(Z_1 + Z_2)}}$$

a = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

2.6.6.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-79.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} - k_6 t e^{at} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-79.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P Z_2 a}{(Z_1 + Z_2)}\left(\frac{(a + 2a)}{(a + a)^2} - \frac{(a + 2b)}{(a + b)^2}\right)$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2}{(Z_1 + Z_2)}\left(\frac{(b - a)}{(a + a)(a + b)}\right)$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P Z_2 a^2}{(Z_1 + Z_2)(a + a)^2}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P Z_2 b^2}{(Z_1 + Z_2)(a + b)^2}$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P Z_2}{(Z_1 + Z_2)}\left(a\left(\frac{(a + 2a)}{(a + a)^2} - \frac{(a + 2b)}{(a + b)^2}\right) + \frac{1}{Z_2 C}\left(\frac{(a + 2a)}{(a + a)^2} - \frac{(a + 2b)}{(a + b)^2} - \frac{1}{(a + b)(a + b)}\right)\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P Z_2 a\,(b - a)}{(Z_1 + Z_2)(a + a)(a + b)}\left(a + \frac{1}{Z_2 C}\right)$$

$$k_7 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 a}{(Z_1 + Z_2)(a + a)(b + a)} \left(a - \frac{1}{Z_2 C} \right) \right) - 1 \right)$$

$$k_8 = E_m A_P \left(\left(\frac{2Z_2 b}{(Z_1 + Z_2)(a + b)(b + b)} \left(b - \frac{1}{Z_2 C} \right) \right) - 1 \right)$$

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2(Z_1 + Z_2)LC}$$

2.7.6.3 Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang untuk nilai $a = g + jw$ dan $b = g - jw$ adalah

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-80.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah sebagai berikut

$$e_r(t) = k_5 e^{gt} Cos(wt) + k_6 e^{gt} Sin(wt) - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-80.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{g^2 + w^2 + 2ga}{(g + a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + 2gb}{(g + b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{g^2 (g + a) + w^2 (g - a)}{(g + a)^2 + w^2} - \frac{g^2 (g + b) + w^2 (g - b)}{(g + b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{a^2}{(g + a)^2 + w^2} \right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left(\frac{b^2}{(g + b)^2 + w^2} \right)$$

$$k_5 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{(Z_1 + Z_2)} \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{g^2 + w^2 + 2ga}{(g + a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + 2gb}{(g + b)^2 + w^2} \right) - \frac{1}{Z_2 C (g^2 + w^2)} \\ \left(g \left(\frac{g^2 + w^2 + 2ga}{(g + a)^2 + w^2} - \frac{g^2 + w^2 + 2gb}{(g + b)^2 + w^2} \right) \right. \\ \left. + w \left(\frac{g^2 (g + a) + w^2 (g - a)}{(g + a)^2 + w^2} - \frac{g^2 (g + b) + w^2 (g - b)}{(g + b)^2 + w^2} \right) \right) \end{array} \right\}$$

$$k_6 = \frac{2Z_2E_mA_P}{(Z_1+Z_2)}\left\{\begin{array}{l}\left(\dfrac{g^2(g+a)+w^2(g-a)}{(g+a)^2+w^2}-\dfrac{g^2(g+b)+w^2(g-b)}{(g+b)^2+w^2}\right)\\ +\dfrac{1}{Z_2C(g^2+w^2)}\left(\begin{array}{l}w\left(\dfrac{g^2+w^2+2ga}{(g+a)^2+w^2}-\dfrac{g^2+w^2+2gb}{(g+b)^2+w^2}\right)\\ +g\left(\dfrac{g^2(g+a)+w^2(g-a)}{(g+a)^2+w^2}-\dfrac{g^2(g+b)+w^2(g-b)}{(g+b)^2+w^2}\right)\end{array}\right)\end{array}\right\}$$

$$k_7 = E_mA_P\left(\left(\frac{2Z_2a}{(Z_1+Z_2)\left((g+a)^2+w^2\right)}\left(a-\frac{1}{Z_2C}\right)\right)-1\right)$$

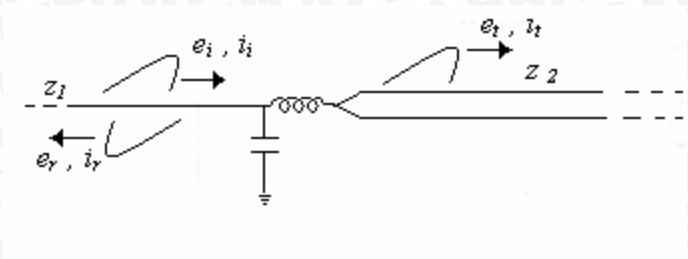
$$k_8 = E_mA_P\left(\left(\frac{2Z_2b}{(Z_1+Z_2)\left((g+b)^2+w^2\right)}\left(b-\frac{1}{Z_2C}\right)\right)-1\right)$$

$$g = -\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2(Z_1+Z_2)LC} \qquad \text{(2-81.a)}$$

$$w = \sqrt{\frac{Z_1}{LC(Z_1+Z_2)}-\left(\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2(Z_1+Z_2)LC}\right)^2} \qquad \text{(2-81.b)}$$

2.7.7 Pengaruh Sisipan Induktor Secara Seri Di Belakang Kapasitor Paralel

Pada Gambar 2.10 berikut menggambarkan kombinasi induktor yang disisipkan secara pararel di belakang kapasitor secara seri di antara dua saluran yang berbeda. Pada gambar dapat dilihat bahwa arus yang mengalir pada induktor sama dengan arus yang mengalir pada saluran kabel. Sedangkan arus yang mengalir pada kapasitor merupakan selisih antara arus yang datang dari saluran udara dengan arus yang mengalir pada saluran kabel.



Gambar 2.10 Dua Saluran Berbeda Dengan Sisipan Induktor Secara Seri Di Belakang Kapasitor Secara Paralel

Sumber : Penulis

Penurun persamaan untk kombinasi induktor secara pararel di belakang kapasitor secara seri adalah sebagai berikut

$$e_i + e_r = \frac{L}{Z_2}\frac{de_t}{dt} + e_t \qquad (2\text{-}82)$$

$$E_t(s) = \frac{2Z_2 A_P E_m}{Z_1 LC}\left(\left(\frac{s}{(s-a)(s-b)}\right)\left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b}\right)\right) \qquad (2\text{-}83)$$

dengan

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC}\right)^2 - \frac{(Z_1 + Z_2)}{LCZ_1}} \qquad (2\text{-}84.a)$$

$$b = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC}\right)^2 - \frac{(Z_1 + Z_2)}{LCZ_1}} \qquad (2\text{-}84.b)$$

2.7.7.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Dengan Transformasi laplace balik Persamaan (2-83) ke fungsi waktu didapat

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad (2\text{-}85.a)$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-85.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-82) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{at} - k_6 e^{bt} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \qquad (2\text{-}85.b)$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P Z_2 (b-a)}{Z_1 LC(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P Z_2 (b-a)}{Z_1 LC(a-b)(b+a)(b+b)}$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC(a+a)(a+b)}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC(b+a)(b+b)}$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P Z_2 (b-a)}{Z_1 LC(a-b)(a+a)(a+b)}\left(1 + a\frac{L}{Z_2}\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P Z_2 (b-a)}{Z_1 LC(a-b)(b+a)(b+b)}\left(1 + b\frac{L}{Z_2}\right)$$

$$k_7 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC(a+a)(a+b)}\left(1 - a\frac{L}{Z_2}\right)$$

$$k_8 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC(a+a)(a+b)}\left(1 - b\frac{L}{Z_2}\right)$$

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC}\right)^2 - \frac{(Z_1 + Z_2)}{LCZ_1}}$$

$$b = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC}\right)^2 - \frac{(Z_1 + Z_2)}{LCZ_1}}$$

a = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

2.7.7.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = -k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-86.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6 t e^{at} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-86.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC}\left(\frac{1}{(a+a)^2} - \frac{1}{(a+b)^2}\right)$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC}\left(\frac{b-a}{(a+a)(a+b)}\right)$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC(a+a)^2}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC(a+b)^2}$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P Z_2}{Z_1 LC}\left(\left(\frac{1}{(a+a)^2} - \frac{1}{(a+b)^2}\right) + \frac{L}{Z_2}\left(\frac{a}{(a+a)^2} - \frac{a}{(a+b)^2}\right)\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P Z_2 (b-a)}{Z_1 LC(a+a)(a+b)}\left(1 + a\frac{L}{Z_2}\right)$$

$$k_7 = E_m A_P\left(\left(\frac{2Z_2}{Z_1 LC(a+a)^2}\left(1 - a\frac{L}{Z_2}\right)\right) - 1\right)$$

$$k_8 = E_m A_P\left(\left(\frac{2Z_2}{Z_1 LC(a+b)^2}\left(1 - b\frac{L}{Z_2}\right)\right) - 1\right)$$

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_1 LC}$$

2.7.7.3 Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang untuk nilai $a = g + jw$ dan $b = g - jw$ adalah

$$e_t(t) = -k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-87.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah sebagai berikut

$$e_r(t) = -k_5 e^{gt} Cos(wt) + k_6 e^{gt} Sin(wt) + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-87.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{Z_1 LC}\left(\frac{1}{((g+a)^2 + w^2)} - \frac{1}{((g+a)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_2 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{Z_1 LC}\left(\frac{(g+a)}{w((g+a)^2 + w^2)} - \frac{(g+b)}{w((g+b)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_3 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{Z_1 LC}\left(\frac{1}{((g+a)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_4 = \frac{2Z_2 E_m A_P}{Z_1 LC}\left(\frac{1}{((g+b)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_5 = \frac{2Z_2E_mA_P}{Z_1LC}\left(\left(\frac{1}{((g+a)^2+w^2)} - \frac{1}{((g+a)^2+w^2)}\right) + \frac{L}{Z_2}\left(\frac{a}{((g+a)^2+w^2)} - \frac{b}{((g+a)^2+w^2)}\right)\right)$$

$$k_6 = \frac{2Z_2E_mA_P}{Z_1LC}\left(\left(\frac{(g+a)}{w((g+a)^2+w^2)} - \frac{(g+b)}{w((g+b)^2+w^2)}\right) + \frac{L}{Z_2}\left(\frac{(g^2+w^2+ga)}{((g+a)^2+w^2)} - \frac{(g^2+w^2+gb)}{((g+b)^2+w^2)}\right)\right)$$

$$k_7 = E_mA_P\left(\left(\frac{2Z_2}{Z_1LC((g+a)^2+w^2)}(1-a)\right)-1\right)$$

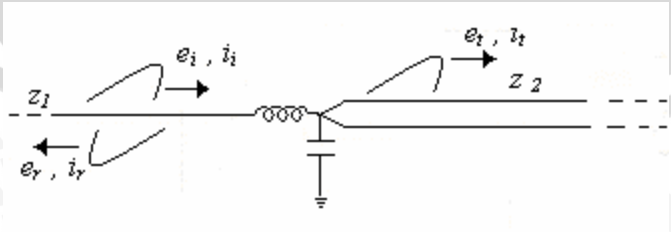
$$k_8 = E_mA_P\left(\left(\frac{2Z_2}{Z_1LC((g+b)^2+w^2)}(1-b)\right)-1\right)$$

$$g = -\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2Z_1LC} \qquad \text{(2-88.a)}$$

$$w = \sqrt{-\frac{(Z_1+Z_2)}{LCZ_1} - \left(\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2Z_1LC}\right)^2} \qquad \text{(2-88.b)}$$

2.7.8 Pengaruh Sisipan Induktor Secara Seri Di Depan Kapasitor Paralel

Pada Gambar 2.11 di bawah menggambarkan kombinasi induktor yang disisipkan secara seri di depan kapasitor secara paralel di antara dua saluran yang berbeda. Pada gambar dapat dilihat bahwa besarnya arus yang mengalir ke kapasitor merupan selisih dari arus pada saluran udara dengan arus pada saluran kabel.



Gambar 2.11 Dua saluran berbeda dengan sisipan induktor secara paralel di depan kapasitor secara seri

Sumber : Penulis

Penurunan persamaan untuk kombinasi induktor secara paralel di belakang kapasitor secara seri adalah sebagai berikut

$$e_i - e_r = Z_1 C \frac{de_t}{dt} + \frac{Z_1}{Z_2} e_t \tag{2-89}$$

$$E_t(s) = \frac{2 A_P E_m}{LC}\left(\left(\frac{s}{(s-a)(s-b)}\right)\left(\frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b}\right)\right) \tag{2-90}$$

dengan

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2 Z_2 LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2 Z_2 LC}\right)^2 - \frac{(Z_1 + Z_2)}{LCZ_2}} \tag{2-91.a}$$

$$b = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2 Z_2 LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2 Z_2 LC}\right)^2 - \frac{(Z_1 + Z_2)}{LCZ_2}} \tag{2-91.b}$$

2.7.8.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Dengan Transformasi laplace balik Persamaan (2-90) ke fungsi waktu didapat

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \tag{2-92.a}$$

Gelombang tegangan pantul dapat ditentukan dengan memasukkan Persamaan (2-92.a) dan Persamaan (2-11) ke dalam Persamaan (2-90) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{at} - k_6 e^{bt} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt} \tag{2-92.b}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2 E_m A_P (b-a)}{LC(a-b)(a+a)(a+b)}$$

$$k_2 = \frac{2 E_m A_P (b-a)}{LC(a-b)(b+a)(b+b)}$$

$$k_3 = \frac{2 E_m A_P}{LC(a+a)(a+b)}$$

$$k_4 = \frac{2 E_m A_P}{LC(b+a)(b+b)}$$

$$k_5 = \frac{2 E_m A_P (b-a)}{LC(a-b)(a+a)(a+b)}\left(\frac{Z_1}{Z_2} + a Z_1 C\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P (b-a)}{LC(a-b)(a+a)(a+b)}\left(\frac{Z_1}{Z_2} + bZ_1C\right)$$

$$k_7 = \frac{2E_m A_P}{LC(a+a)(a+b)}\left(\frac{Z_1}{Z_2} - aZ_1C\right)$$

$$k_8 = \frac{2E_m A_P}{LC(a+a)(a+b)}\left(\frac{Z_1}{Z_2} - bZ_1C\right)$$

$$a = -\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2Z_2LC} + \sqrt{\left(\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2Z_2LC}\right)^2 - \frac{(Z_1+Z_2)}{LCZ_2}}$$

$$b = -\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2Z_2LC} - \sqrt{\left(\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2Z_2LC}\right)^2 - \frac{(Z_1+Z_2)}{LCZ_2}}$$

a = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

b = konstanta waktu pada gelombang *double* eksponensial

2.7.8.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang tegangan terusan untuk nilai a = ß adalah

$$e_t(t) = -k_1e^{at} + k_2te^{at} + k_3e^{-at} - k_4e^{-bt} \qquad \text{(2-93.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah

$$e_r(t) = k_5e^{at} - k_6te^{at} - k_7e^{-at} + k_8e^{-bt} \qquad \text{(2-93.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\frac{1}{(a+a)^2} - \frac{1}{(a+b)^2}\right)$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\frac{b-a}{(a+a)(a+b)}\right)$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P}{LC(a+a)^2}$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P}{LC(a+b)^2}$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\left(\frac{Z_1}{Z_2}\left(\frac{1}{(a+a)^2} - \frac{1}{(a+b)^2}\right)\right) + Z_1 C\left(\frac{a}{(a+a)^2} - \frac{a}{(a+b)^2}\right)\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P (b-a)}{LC(a+a)(a+b)}\left(\frac{Z_1}{Z_2} + aZ_1 C\right)$$

$$k_7 = E_m A_P\left(\left(\frac{2}{LC(a+a)^2}\left(\frac{Z_1}{Z_2} - aZ_1 C\right)\right) - 1\right)$$

$$k_7 = E_m A_P\left(\left(\frac{2}{LC(a+b)^2}\left(\frac{Z_1}{Z_2} - bZ_1 C\right)\right) - 1\right)$$

$$a = -\frac{(Z_1 Z_2 C + L)}{2Z_2 LC}$$

2.7.8.3 Untuk Nilai a Dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang untuk nilai $a = g + jw$ dan $b = g - jw$ adalah

$$e_t(t) = -k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt} \qquad \text{(2-94.a)}$$

Sedangkan persamaan gelombang pantul adalah sebagai berikut

$$e_r(t) = -k_5 e^{gt} Cos(wt) + k_6 e^{gt} Sin(wt) + k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt} \qquad \text{(2-94.b)}$$

dengan

$$k_1 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\frac{1}{((g+a)^2 + w^2)} - \frac{1}{((g+a)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_2 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\frac{(g+a)}{w((g+a)^2 + w^2)} - \frac{(g+b)}{w((g+b)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_3 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\frac{1}{((g+a)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_4 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\frac{1}{((g+b)^2 + w^2)}\right)$$

$$k_5 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\begin{array}{l}\left(\frac{Z_1}{Z_2}\left(\frac{1}{((g+a)^2+w^2)} - \frac{1}{((g+a)^2+w^2)}\right)\right) \\ +Z_1C\left(\frac{a}{((g+a)^2+w^2)} - \frac{b}{((g+a)^2+w^2)}\right)\end{array}\right)$$

$$k_6 = \frac{2E_m A_P}{LC}\left(\begin{array}{l}\left(\frac{Z_1}{Z_2}\left(\frac{(g+a)}{w((g+a)^2+w^2)} - \frac{(g+b)}{w((g+b)^2+w^2)}\right)\right) \\ +\left(Z_1C\left(\frac{(g^2+w^2+ga)}{((g+a)^2+w^2)} - \frac{(g^2+w^2+gb)}{((g+b)^2+w^2)}\right)\right)\end{array}\right)$$

$$k_7 = E_m A_P\left(\left(\frac{2}{LC((g+a)^2+w^2)}\left(\frac{Z_1}{Z_2} - aZ_1C\right)\right) - 1\right)$$

$$k_8 = E_m A_P\left(\left(\frac{2}{LC((g+b)^2+w^2)}\left(\frac{Z_1}{Z_2} - bZ_1C\right)\right) - 1\right)$$

$$g = -\frac{(Z_1Z_2C + L)}{2Z_2LC} \qquad \text{(2-95.a)}$$

$$w = \sqrt{\frac{(Z_1+Z_2)}{LCZ_2} - \left(\frac{(Z_1Z_2C+L)}{2Z_2LC}\right)^2} \qquad \text{(2-95.b)}$$

BAB III
METODOLOGI PEMBAHASAN

Dalam penyusunan skripsi ini, ada beberapa metode yang digunakan untuk mendapatkan hasil analisis yang diperlukan, yaitu:

3.1 Kajian Pustaka

Mempelajari hal- hal yang berkaitan tentang impedansi surja, gelombang surja dan proses terjadinya pemantulan dan gelombang terusan tegangan akibat adanya terminasi antara kabel dan saluran udara.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. PLN (Persero) Malang pada penyulang Bentoel.

3.3 Obyek Yang Diteliti

Gelombang yang akan dianalisis adalah gelombang yang datang dari saluran udara menuju saluran kabel. Kemudian macam-macam kombinasi yang digunakan adalah :

- Kombinasi seri dari LC seri
- Kombinasi seri dari LC paralel
- Kombinasi paralel dari LC seri
- Kombinasi paralel dari LC paralel
- Kombinasi L seri di belakang C paralel
- Kombinasi L seri di depan C paralel
- Kombinasi L paralel di belakang C seri
- Kombinasi L paralel di depan C seri

3.4 Langkah- Langkah Penelitian

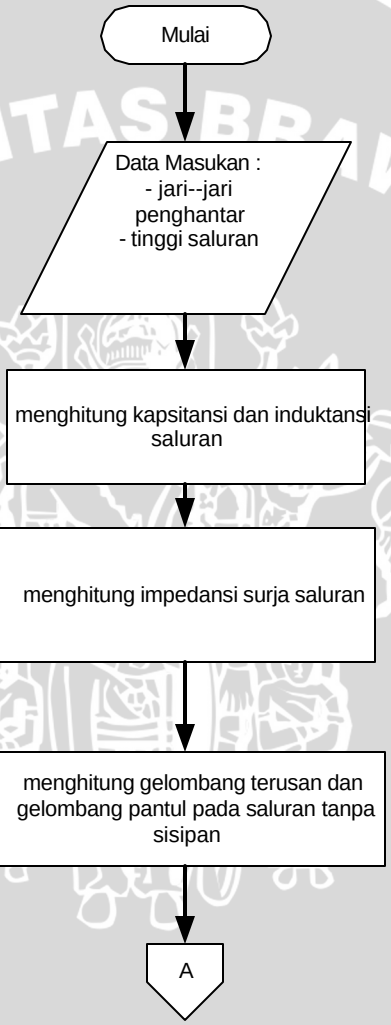
a. Menghitung impedansi surja pada saluran udara dan saluran kabel tanah. Kemudian menghitung kecepatan penjalaran gelombang pada saluran kabel dan saluran udara.

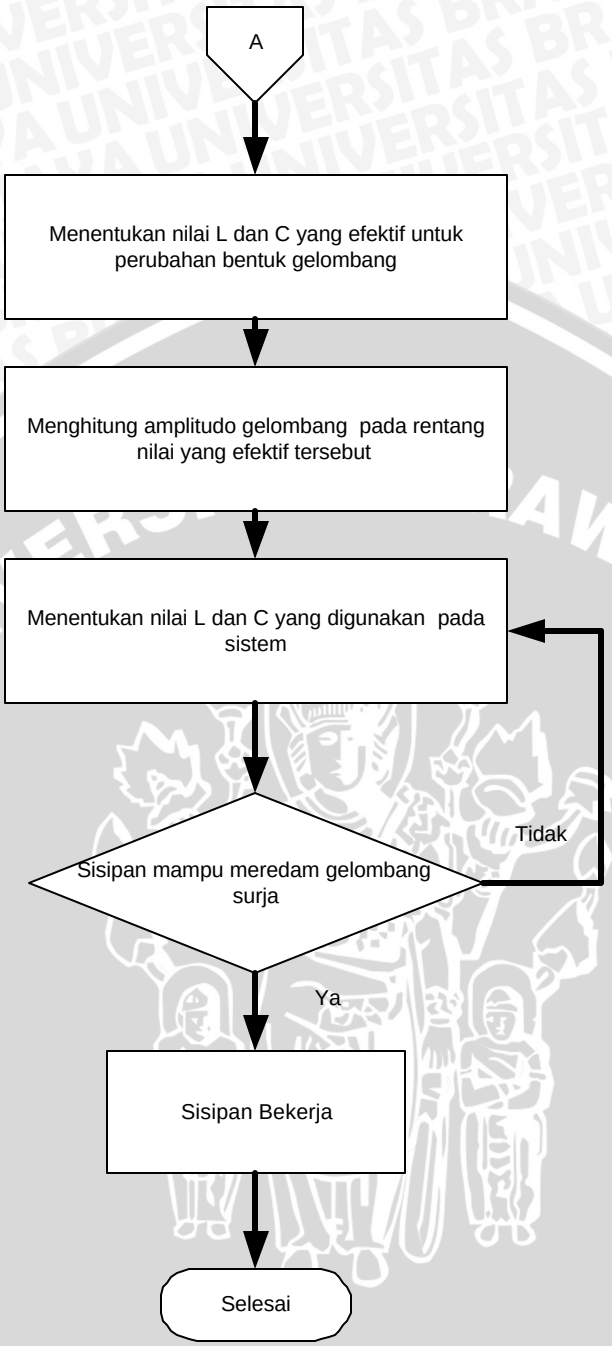
b. Menghitung tegangan pantul (e_r) dan tegangan terusan (e_t) diantara dua saluran berbeda pada gelombang surja yang diujikan yang datang dari saluran udara menuju saluran kabel.

c. Menghitung nilai L dan C yang paling efektif untuk perubahan bentuk gelombang pada masing- masing kombinasi. Kemudian menganalisis pengaruh perubahan L dan C tersebut terhadap gelombang

d. Menentukan nilai L dan C yang optimal pada sistem.

Untuk lebih jelasnya diagram alir langkah- langkah dalam menganalisis redaman gelombang surja pada saluran distribusi 20 kV ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini :





Gambar 3.1 : Diagram alir perhitungan

Sumber : Penulis

BAB IV
DATA DAN ANALISIS

Dalam analisis ini akan dihitung peredaman yang diakibatkan oleh adanya penyisipan dengan kombinasi induktor dan kapasitor di antara saluran udara dan saluran kabel. Perhitungan yang dilakukan adalah dengan menghitung amplitudo gelombang terusan e_t dan amplitudo gelombang pantul e_r.

Analisis tersebut untuk mengetahui pengaruh induktansi dan kapasitansi terhadap bentuk gelombang. Selanjutnya akan ditentukan nilai induktansi dan kapasitansi yang dapat digunakan untuk disisipkan pada sistem.

Gelombang yang diujikan untuk analisis ini adalah gelombang surja tegangan *double* eksponensial tipe 1,2 /50 µs sebagaimana pada Persamaan (2-12) dan bentuk kombinasi penyisipan menggunakan delapan macam kombinasi sebagai mana dijelaskan pada bab II.

4.1 Impedansi Surja

Dalam analisis, diperlukan nilai dari impedansi surja dari saluran udara dan saluran kabel tanah. Sehingga perlu dihitung besarnya impedansi surja dari saluran udara dan saluran kabel tanah.

Untuk saluran kabel tanah, berdasarkan data kabel yang terlampir diketahui

L=0,33 mH/km

C=0,26 µf/km

Dengan memasukkan nilai dari L dan C dari kabel tanah tersebut ke dalam persamaan (2-1) dapat diperoleh data tentang impedansi surja saluran kabel tanah Z_2 yaitu

$$Z_2 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Z_2 = \sqrt{\frac{0,33\ x10^{-3}}{0,26\ x10^{-6}}}$$

$$Z_2 = 35,626 \quad ?$$

$$Z_2 \approx 36\Omega$$

Sedangkan untuk saluran udara diperoleh data sebagai berikut

h= 9 m

r=8,125 mm

Dengan memasukkan kedua nilai tersebut pada Persamaan (2-2) dan (2-3) dapat diketahui nilai induktansi dan kapasitansi dari saluran udara yakni

$$L = 2\left\{\ln\left(\frac{(2x9)}{8{,}125x10^{-3}}\right)\right\}x10^{-9}\ H/km$$

$$L = 1{,}541x10^{-8}\ H/km$$

$$C = \frac{10^{-11}}{18\ln\left(\frac{(2x9)}{8{,}125x10^{-3}}\right)}\ F/km$$

$$C = 7{,}212x10^{-14}\ F/km$$

Jadi besarnya impedansi surja untuk saluran udara adalah sebesar

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Z_1 = 462{,}191$$

$$Z_1 \approx 462\ \Omega$$

4.2 Cepat Rambat Gelombang

Cepat rambat gelombang baik untuk saluran udara maupun untuk saluran kabel tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Untuk saluran udara cepat rambat gelombang akan sama dengan cepat rambat cahaya pada hampa udara dalam hal ini sebesar $3x10^8$ m/s

Sedangkan untuk saluran kabel tanah cepat rambat gelombang dapat dihitung dengan memasukkan nilai induktansi dan kapasitansi yang diperoleh dari data ke dalam persamaan di atas yakni

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\left(0.33x10^{-3}\right)\left(0.26x10^{-6}\right)}}$$

$$v = 107958.379 \text{ km/s}$$

$$v \approx 1{,}08x10^{8} \quad \text{m/s}$$

Nilai tersebut hampir sepertiga dari nilai cepat rambat gelombang pada saluran udara. Sehingga apabila ditinjau dari cepat rambat maka tekanan listrik pada kabel tanah kurang lebih tiga kali lebih lama dari pada tekanan listrik pada saluran udara. Namun demikian gelombang yang datang dari saluran udara ke kabel, amplitudonya diperkecil tergantung pada nilai impedansi surja dari saluran udara Z_1 dan impedansi surja dari kabel Z_2.

4.3 Dua Saluran Tanpa Sisipan Kombinasi Kapasitor Dan Induktor

Dalam sub bab ini akan dianalisis perambatan gelombang surja pada saluran tanpa adanya penyisipan. Persamaan gelombang terusan dan gelombang pantul untuk dua saluran berbeda tanpa adanya sisipan dinyatakan pada Persamaan (2-24). Selanjutnya dengan mensubsubtitusikan nilai

Z_1 = 462 O	a=14658,5 1/s	E_m=100%
Z_2 = 36 O	b=2485624,6 1/s	A_p=1,037

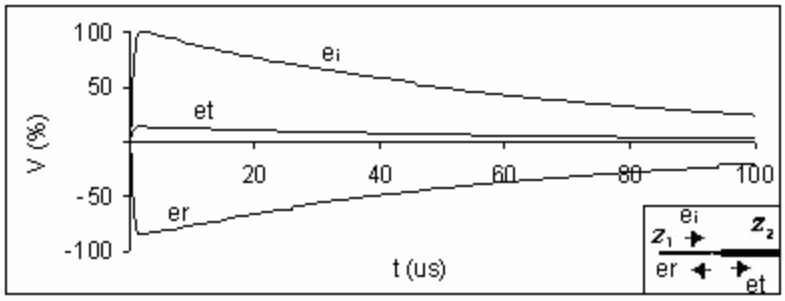
Ke dalam Persamaan (2-24.a) dan Persamaan (2.24.b) didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$e_t = 13{,}993(e^{-14658{,}5t} - e^{-2485624{,}6t})$$

$$e_r = -88{,}707(e^{-14658{,}5t} - e^{-2485624{,}6t})$$

Gambar gelombang terusan dan gelombang pantul pada dua saluran dengan impedansi surja yang berbeda tanpa adanya kombinasi sisipan ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Ketika gelombang surja dengan amplitudo sebesar 100 % masuk ke titik sambungan

maka gelombang tersebut diteruskan dengan amplitudo sebesar 14,456% sedangkan gelombang yang dipantulkan memiliki amplitudo sebesar -85,529%. Kedua macam gelombang baik gelombang pantul maupun gelombang terusan memiliki muka gelombang yang curam sedangkan ekor gelombang jauh lebih landai bila dibandingkan dengan muka gelombang.



Gambar 4.1 Gelombang datang e_i, gelombang pantul e_r dan gelombang terusan e_t pada saluran tanpa sisipan kombinasi L dan C.

4.4 Pengaruh Penyisipan Secara Seri

Ada dua kombinasi rangkaian yang disisipkan secara seri seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5, yaitu yang pertama sisipan seri dari rangkaian LC seri dan sisipan seri dari rangkaian LC paralel.

4.7.1 Sisipan Seri Rangkaian LC Seri

Persamaan a dan ß dinyatakan dalam Persamaan (2-35). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 ke dalam Persamaan (2-35) didapat

$$a = \frac{1}{L}\left(-249 + \sqrt{62001 - \frac{L}{C}}\right)$$

$$b = \frac{1}{L}\left(-249 - \sqrt{62001 - \frac{L}{C}}\right)$$

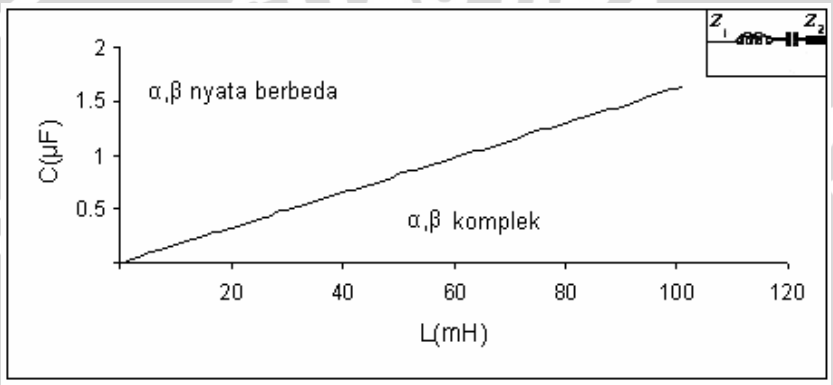
Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

$$\frac{L}{C} > 62001.10^3 \frac{mH}{mF}$$ (akar nyata dan berbeda)

$$\frac{L}{C} = 62001.10^3 \frac{mH}{mF}$$ (akar nyata sama)

$$\frac{L}{C} > 62001.10^3 \frac{mH}{mF}$$ (akar komplek)

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

4.4.1.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-38.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada persamaan (2-38.b).

4.4.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.38). Sedangkan nilai a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.34).

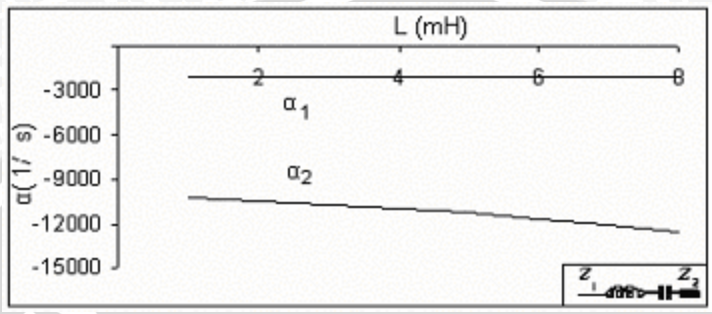
4.4.1.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.3. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a dan ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß

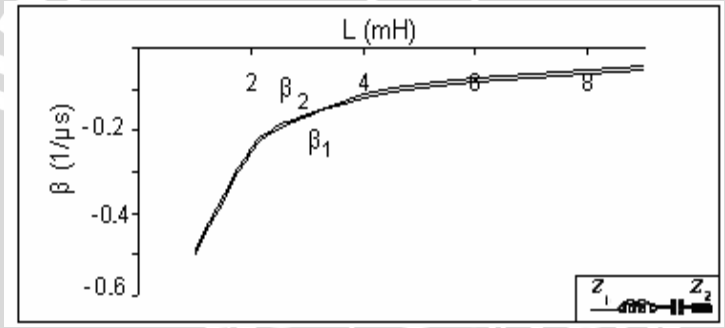
yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai a. Sedangkan semakin kecil nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin bertambah dan ß yang semakin kecil dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < L < 4 mH

a)



b)



Gambar 4.2. a dan ß a terhadap fungsi L

a) a

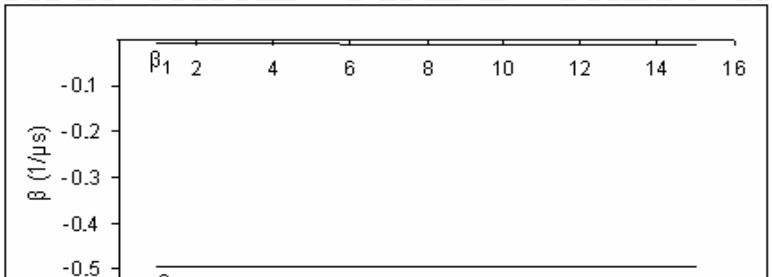
b) ß)

(1) C = 1 µF (2) C = 0,2 µF

4.4.1.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

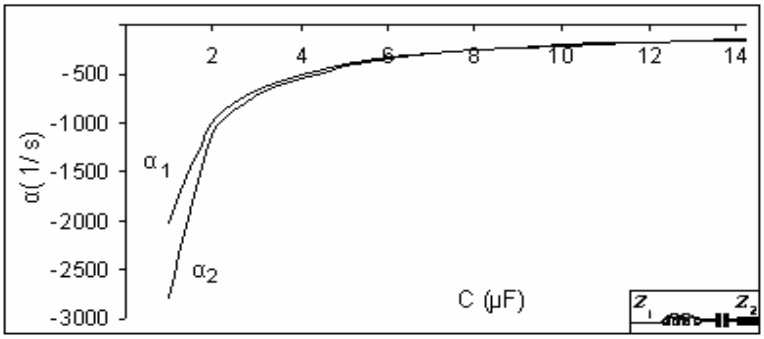
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.4. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a dan ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai a yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < C < 2 µF



a)

b)



Gambar 4.4. a dan ß a terhadap fungsi C

a) a

b) ß

(1) L= 1 mH (2) C = 50 mH

4.4.1.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

L (mH)	C (μF)	L/C (mH/μF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_C (kO)	$\lvert X_L - X_C \rvert$ (kO)
1	2	0,5	0,31429	1,591	1,591
2	1,5	1,333	0,62857	2,121	2,121
4	1	4	1,25714	3,182	3,182

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.38.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-38.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6 e^{bt} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-38) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Tabel 4.2.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/µF)	k_1	k_2	k_3	k_4	a(1/s)	ß(1/s)
0,5	-1,0771	3,656	3,137	-18,841	-1008,081	-495991,92
1,333	-1,488	1,630	1,609	-17,335	-1348,702	-247151,298
4	-2,437	0,781	0,849	-17,747	-2045,755	-122204,245

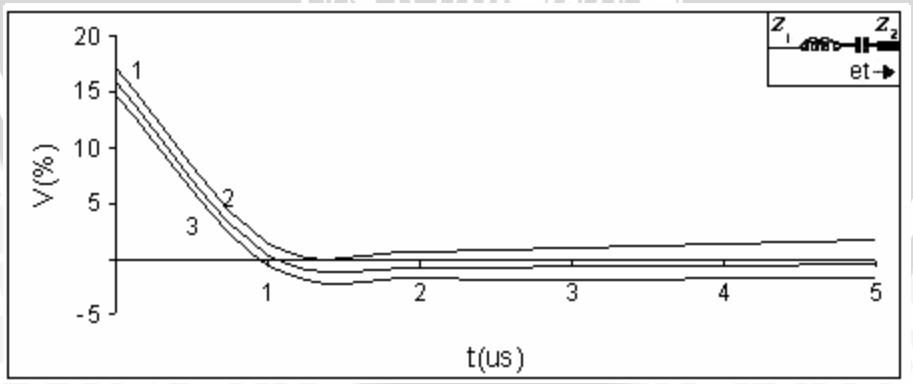
Sumber : Hasi perhitungan

Tabel 4.2.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

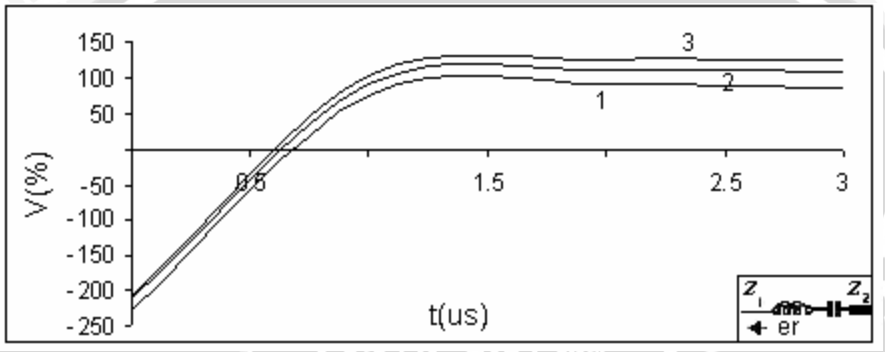
L/C (mH/µF)	k_5	k_6	k_7	k_8
0,5	-14,217	48,2572	62,287	352,395
1,333	-19,645	21,520	82,461	332,520
4	-32,171	10,308	92,490	337,957

Sumber : Hasi perhitungan

a)



b)



Gambar 4.5. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH dan C=2µF 2) L=2 mH dan C=1,5µF 3) L=4 mH dan C=1µF

Pada gelombang terusan dengan bertambahnya nilai L/C maka amplitudo gelombang terusan dan gelombang pantul akan semakin berkurang. Nilai amplitudo gelombang terusan untuk L/C 0,5, 1,333 dan 4 mH/µF, berturut-turut adalah 17,245%, 15,825% dan 15,738%. Sedangkan nilai amplitudo gelombang pantulnya berturut adalah -227,633%, -208,895% dan -202,967%

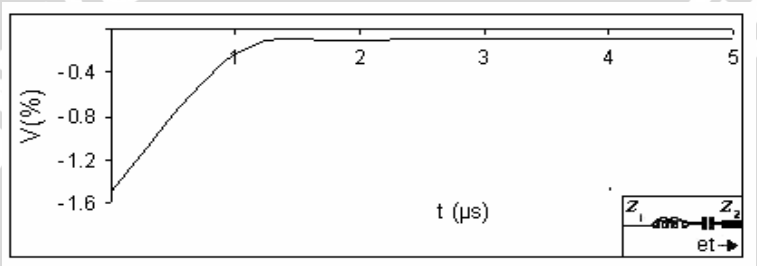
4.4.1.1.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Syarat nilai L dan C yang dapat digunakan adalah nilai L dan C yang disisipkan tersebut dapat meredam gelombang surja dan nilai reaktansi keduanya tidak menggangu sistem. Berdasarkan kedua hal di atas nilai L dan C yang digunakan adalah sebagai berikut

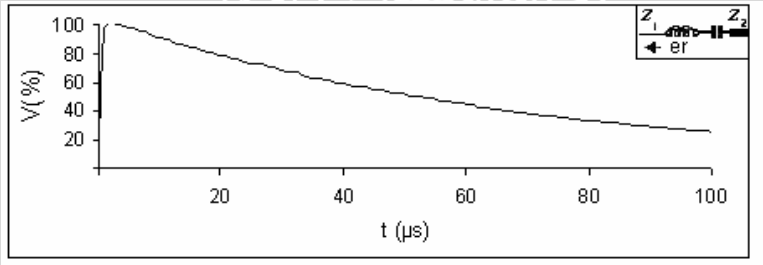
L = 0,4 H C = 25,31 µF

X_L = 125,714286O X_C = 125,713875O $|X_L - X_C|$ =0,41 mO

a)



b)



Gambar 4.6. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=0,4 H dan C=25,31 µF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Adanya penyisipan menyebabkan hampir seluruh gelomabng yang datang akan dipantulkan. Amplitudo gelombang terusan hanya sebesar -1,485% dan nilainya turun secara curam hingga menjadi -0,217 pada saat t=2µs. setelah mencapai waktu tersebut nilainya akan turun dengan landai. Jadi adanya penyisipan sangat menguntungkan terhadap peredaman gelombang surja.

Pengaruh penyisipan dengan nilai L dan C seperti di atas akan menyebabkan jatuh tegangan pada sistem. Besarnya reaktansi pada sistem adalah sebesar

$$Z_{seri} = j(X_L - X_C)$$

$$Z_{seri} = 0{,}41 m\Omega$$

Jadi untuk tiap ampere arus yang mengalir besarnya jatuh tegangan adalah sebesar 0,41 mV.

4.4.1.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-39.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-39.b).

4.4.1.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

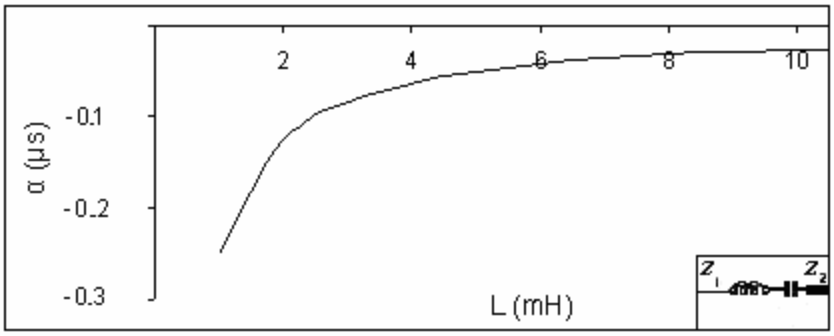
Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-35). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh L sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

$$a = \frac{-249}{L}$$

4.4.1.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dianalisis melalui Gambar 4.7. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH



Gambar 4.7 a terhadap fungsi L

Kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.3. Tampak pada tabel dengan asumsi bahwa nilai dari frekuensi merupakan frekuensi jala-jala yakni 50 Hz, bertambahnya nilai L dan C maka reaktansi induktansi terus meningkat sedangkan reaktansi kapasitansinya akan terus menurun.

Tabel 4.3 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L	C	f=50Hz		
(mH)	(µF)	X_L (O)	X_C (kO)	$\lvert X_L - X_C \rvert$ (kO)
1	16,129	0,314	197,276	197,276
1,5	24,193	0.4714	131,517	131,517
2	32,258	0.6286	98,638	98,638

Sumber : Hasil perhitungan

4.4.1.2.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.4

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.39.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1.e^{at} - k_2.t.e^{at} - k_3.e^{-at} + k_4.e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-39.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6.t.e^{at} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-39.a) dan (2-39.b) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Tabel 4.4.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda

L (mH)	C (nF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a(1/s)
1	16,129	-1,717	8,765	1,993	3,710	-249000
1,5	24,193	0,886	5,816	3,186	2,299	-166000
2	32,258	2,871	4,428	4,536	1,664	-124500

Sumber : Hasil perhitungan

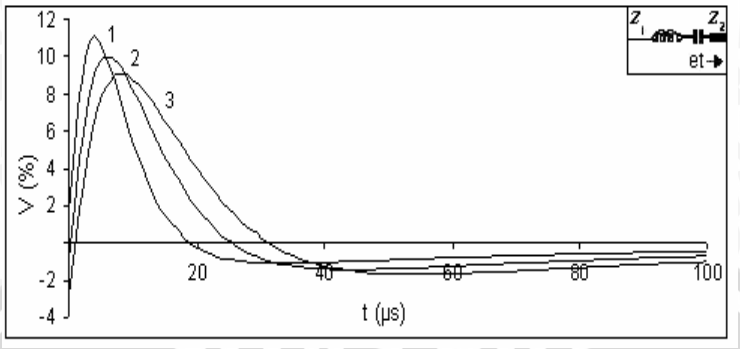
Tabel 4.4.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L (mH)	C (nF)	k_5	k_6 (10^6)	k_7	k_8
1	16,129	-11,373	-74,638	62,818	74,191
1,5	24,193	-8,024	-78,122	64,742	72,598

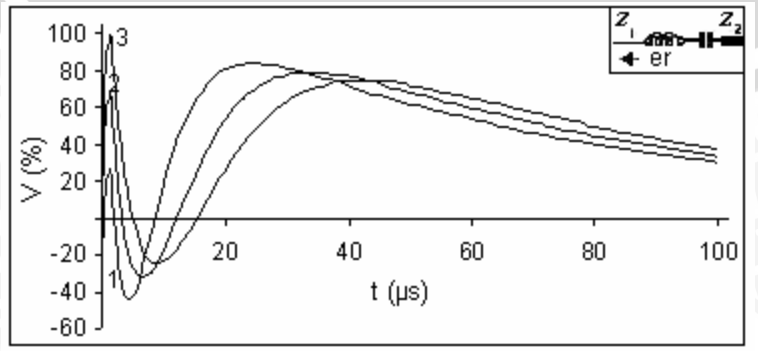
2	32,258	-36,846	-56,829	45,493	82,339

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.8. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5 mH 3) L=2 mH

Untuk gelombang terusan, dengan bertambahnya nilai L maka amplitudo gelombang akan semakin kecil. Amplitudo gelombang untuk nilai L 1, 1,5 dan 2 mH berturut-turut adalah 11,07%, 9,971% dan 9,051%. Sedangkan untuk gelombang pantul nilainya berturut-turut adalah 84,081%, 68,167% dan 98,964%

4.4.1.2.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a=ß

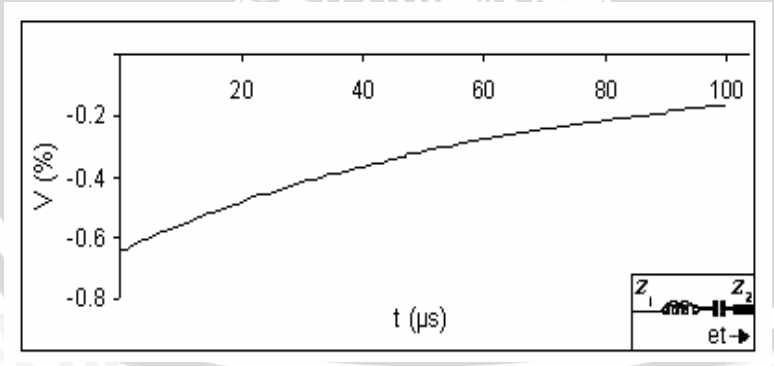
Nilai L dan C yang dipilih untuk kondisi ini adalah

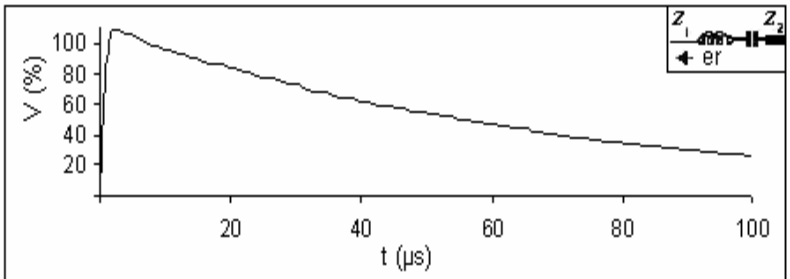
L=825,68182 mH C=12,261342 µF

X_L = 259,5000006 O X_C = 259,4999945 O

Bentuk peredaman gelombang terusan pada nilai tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.9.

a)





b)

Gambar 4.9. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=825,68182 mH dan C=12,261342 µF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka gelombang yang datang hampir seluruhnya dipantulkan gelombang yang diteruskan amplitudonya hanya sebesar -0,639%. Setelah mencapai amplitudo ini selanjutnya nilai tegangan surja akan turun secara landai. Penyisipan pada nilai ini sangat menguntungkan terhadap sistem.

Pengaruh penyisipan dengan nilai L dan C seperti di atas akan menyebabkan jatuh tegangan pada sistem karena adanya nilai reaktansi seri. Sehingga besarnya reaktansi seri pada saluran karena pengaruh sisipan adalah

$$Z_{seri} = j(X_L - X_C)$$

$$Z_{seri} = j6{,}0506 m\Omega$$

4.4.1.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-40.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-40.b).

4.4.1.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ? seperti dinyatakan pada Persamaan (2-41). Dengan mensubtitusikan impedansi surja z_1 dan z_2 didapatkan

$$g = \frac{-249}{L}$$

$$w = \frac{1}{L}\left(\sqrt{\frac{L}{C} - 62001}\right)$$

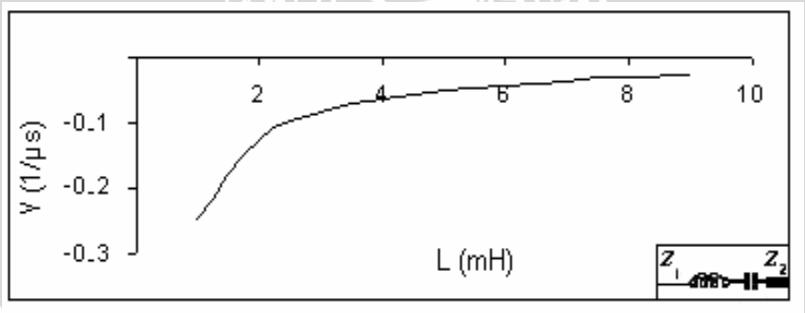
Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa nilai ? hanya dipengaruhi oleh nilai L sedangkan nilai ? dipengaruhi oleh kedua nilai L dan C.

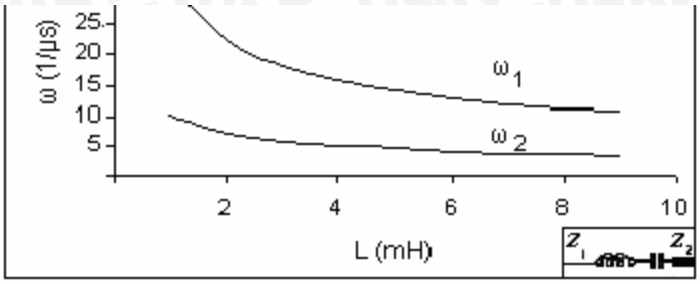
4.4.1.3.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap ? Dan ?

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai ? dan ? yang semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai ? akan mengakibatkan ekor gelombang semakin landai. Sedangkan dengan berkurangnya nilai ? akan mengakibatkan semakin berkurangnya osilasi gelombang. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? terjadi pada

0 < L < 2 mH

a)





b)

Gambar 4.10. ? dan ? terhadap fungsi L

a) ?

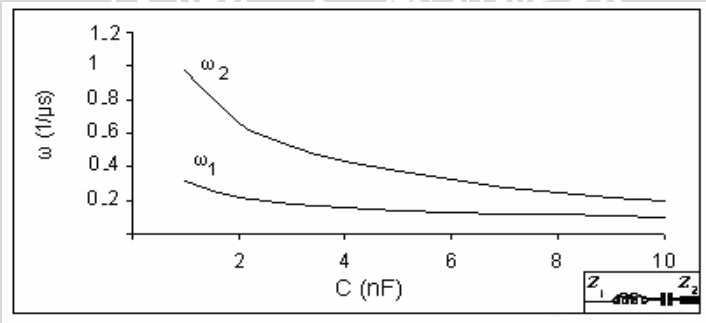
b) ?

(1) C=1 nF (2) C=0,1 nF

4.4.1.3.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap ?

Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dapat dilihat pada Gambar 4.11. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai ? yang semakin kecil.. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? terjadi pada

0 < C < 2 nF



Gambar 4.11. ? terhadap fungsi C

(1) L= 1 mH (2) L= 10 mH

4.4.1.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? selanjutnya dilakukan analisis perubahan bentuk gelombang pada nilai-nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut

Tabel 4.5 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

L (mH)	C (μF)	L/C (mH/μF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_C (kO)	$\lvert X_L - X_C \rvert$ (kO)
1	2	0,5	0,31429	1,591	1,591
2	1,5	1,333	0,62857	2,121	2,121
4	1	4	1,25714	3,182	3,182

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.40.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 Cos(wt)e^{gt} + k_2 \sin(wt)e^{gt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-40.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 Cos(wt)e^{gt} - k_6 \sin(wt)e^{gt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.6. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-40) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Tabel 4.6.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/nF)	k_1	k_2	k_3	k_4	?(1/s)	? (1/s)
0,5	1,7169	10,331	1,993	3,71	-249000	661814,929
1	-0,886	7,161	3,186	2,299	-166000	645668,99
1,75	-1,908	5,224	3,839	1,931	-142285,714	742417,232

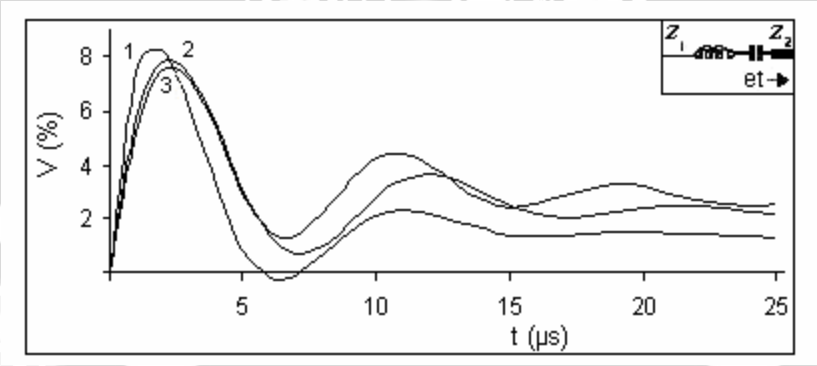
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.6.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

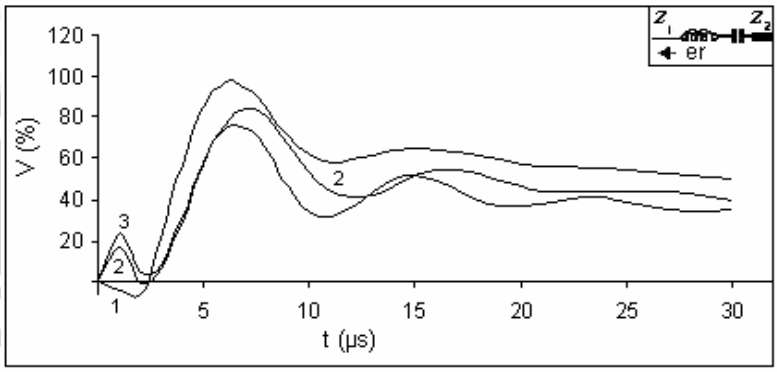
L/C (mH/nF)	k_5	k_6	k_7	k_8
0,5	-22,034	-132,582	78,124	56,09
1	11,372	-91,891	62,819	74,191
1,75	24,487	-67,044	54,428	78,916

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.12. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH C=2 nF 2) L=1,5mH C=1,5 nF 3) L=1,75 mH C=1 nF

Penyisipan kombinasi seri secara seri pada kondisi akar imajiner mengakibatkan adanya osilasi baik untuk gelombang terusan maupun untuk gelombang pantul. Dengan semakin kecilnya nilai L/C maka akan mengakibatkan a,plitudo gelombang baik terusan maupun gelombang pantul menjadi semakin kecil. Untuk nilai L/C 0,5, 1 dan 1,75 mH/nF amplitudo gelombang terusan berturut-turut sebesar 8,253%, 7,84% dan 7,508%. Sedangkan amplitudo gelombang pantul berturut-turut adalah 96,834%, 84,228% dan 74,792%

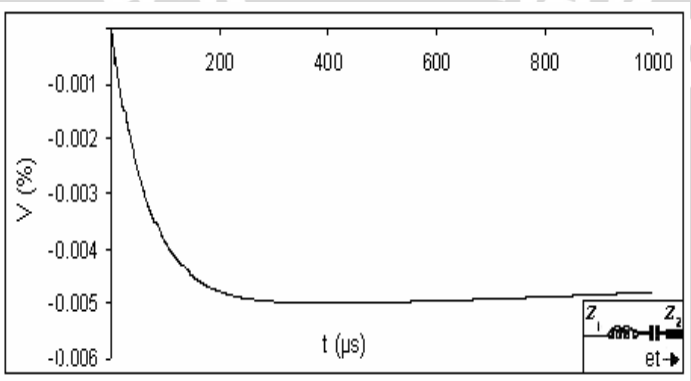
4.4.1.3.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Imajiner

Berdasarkan analisis pengaruh nilai L dan C di atas terhadap peredaman gelombang surja dipilih nilai

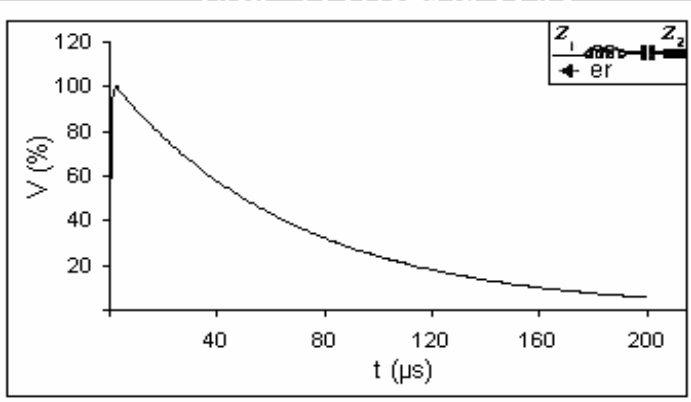
L= 100 H C=101,23967 nF $|X_L - X_C|$ =0,1796 mO

Gambar gelombang terusan dan pantul yang diakibatkan oleh nilai L dan C di atas ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut

a)



b)



Gambar 4.6. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan
untuk nilai L=100 H dan C=101,23967 nF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Adanya penyisipan menyebabkan hampir seluruh gelomabang yang datang akan dipantulkan. Amplitudo gelombang terusan hanya sebesar -0,005%. Jadi adanya penyisipan sangat menguntungkan terhadap peredaman gelombang surja.

Pengaruh penyisipan dengan nilai L dan C seperti di atas akan menyebabkan jatuh tegangan pada sistem karena adanya nilai reaktansi seri. Besarnya reaktansi seri pada sisipan dengan nilai di atas dapat dihitung sesuai persamaan berikut

$$Z_{seri} = j(X_L - X_C)$$

$$Z_{seri} = -j0{,}17959\ \text{m}\Omega$$

Jadi pada kondisi ini besarnya jatuh tegangan untuk setiap ampere arus saluran yang mengalir adalah adalah sebesar 0,17959 mV .

4.4.2 Sisipan Rangkaian LC Paralel Secara Seri

Persamaan a dan ß untuk kombinasi penyisipan L dan C paralel secara seri dinyatakan dalam Persamaan (2-48). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 ke dalam Persamaan (2-48) didapat

$$a = \frac{1}{C}\left(-(1{,}006x10^{-3}) + \sqrt{(1{,}012x10^{-6}) - \frac{C}{L}}\right)$$

$$b = \frac{1}{C}\left(-(1{,}006x10^{-3}) - \sqrt{(1{,}012x10^{-6}) - \frac{C}{L}}\right)$$

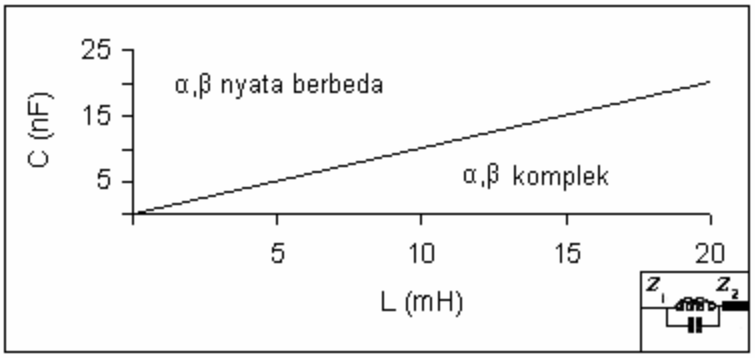
Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

$$\frac{C}{L} < (1{,}012x10^{-3})\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata dan berbeda)}$$

$$\frac{C}{L} = (1{,}012x10^{-3})\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata sama)}$$

$$\frac{C}{L} > (1{,}012x10^{-3})\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar komplek)}$$

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

4.4.2.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-50.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-50.b).

4.4.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

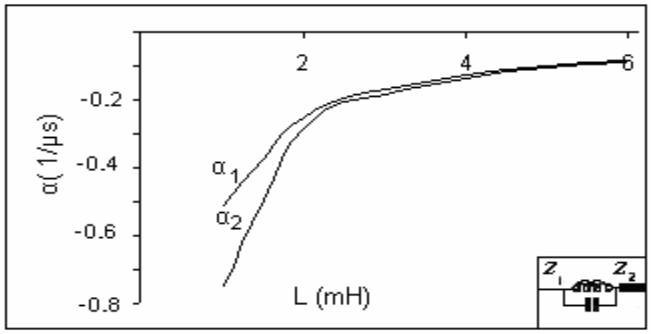
Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.50). Sedangkan nilai a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.48).

4.4.2.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

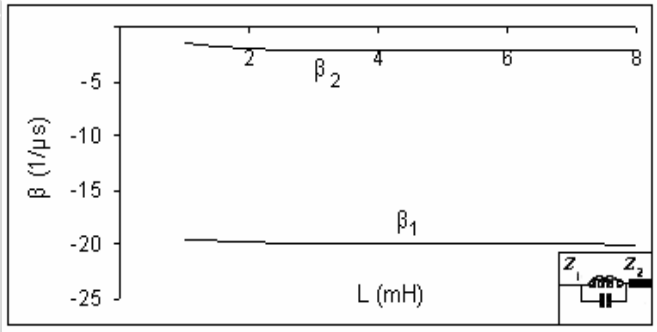
Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dilihat pada Gambar 4.15. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil dan nilai ß yang semakin besar. Sedangkan semakin besar nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin berkurang dan ß yang semakin bertambah dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH

a)



b)



Gambar 4.15. a dan ß terhadap fungsi L

a) a

b) ß

(1) C=0,1 nF (2) C = 0,9 nF

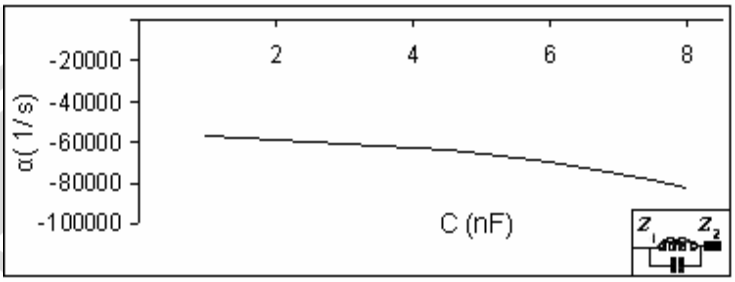
4.4.2.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.16. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar sedangkan nilai ß akan semakin kecil dalam polaritas negatif. Perubahan terhadap nilai ß lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai a. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

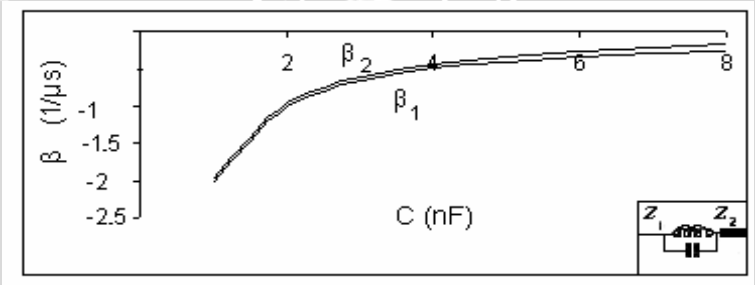
0 < C < 2 nF

a.1)

a.2)



b)



Gambar 4.4. a dan ß terhadap fungsi C

a) a

b) ß

(1) L= 0,015 mH (2) L= 1 mH

4.4.2.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut

Tabel 4.7 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

L (mH)	C (nF)	L/C (mH/nF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_C (O)	X_P (O)
1	2	0,5	0,314	1,591x10^6	0,314285714
1,5	1,5	1	0,471	2,12 x10^6	0,471428572
2	1	2	0,629	3,182 x10^6	0,628571429

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.50.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-50.b) yaitu

$$e_t(t) = -k_5 e^{at} + k_6 e^{bt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-50) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.17.

Tabel 4.8.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/nF)	k_1	k_2	k_3	k_4	a(1/ms)	ß(1/s)
0,5	-6,674	0,013	5,363	-1,324	-498,247	-10,035 $x10^8$
1	-6,251	0,010	5,445	-0,815	-332,082	-1.338 $x10^9$
2	-6,111	0,006	5.53039	-0,587	-249,031	-2,008 $x10^9$

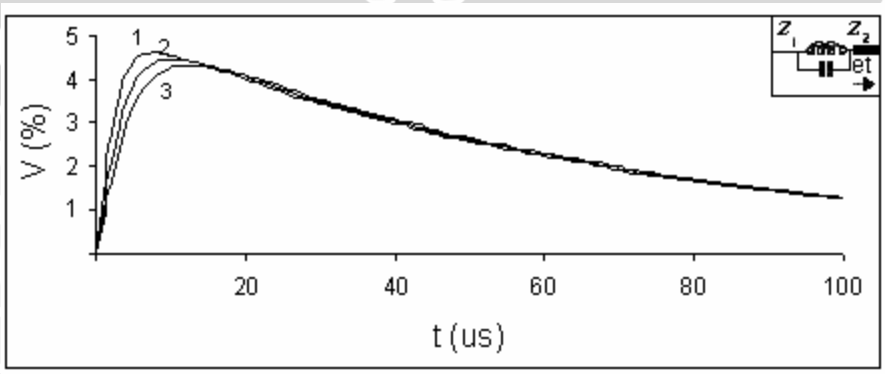
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.8.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

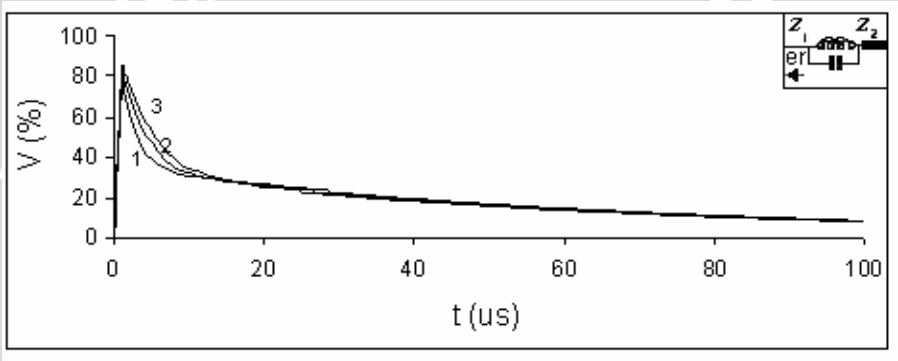
L/C (mH/pF)	k_5	k_6	k_7	k_8
0,5	-84,506	0,168	67,177	-17,497
1	-80,22	0,124	69,881	-10,463
2	-78,429	0,082	70,973	-7,538

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.17. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH dan C=2 pF 2) L=1,5 mH dan C=1,5 pF 3) L=2mH dan C=1 pF

Penyisipan rangkaian LC paralel secara seri akan menyebabkan peredaman pada gelombang terusan. Pertambahan nilai L/C, akan menyebabkan amplitudo gelombang semakin kecil. Besar amplitudo gelombang untuk nilai L/C 0,5, 1 dan 2 mH/pF berturut-turut adalah 4,645%, 4,477% dan 4,331%. Sedangkan pada gelombang pantul, pertambahan nilai L/C akan mengakibatkan amplitudo gelombang pantul dan tingkat kelandaian ekor gelombang semakin bertambah. Amplitudo gelombang pantul untuk nilai

L/C 0,5 mH/pF, 1 mH/pF dan 2 mH/pF berturut-turut adalah 76,362%, 81,372% dan 84,127%.

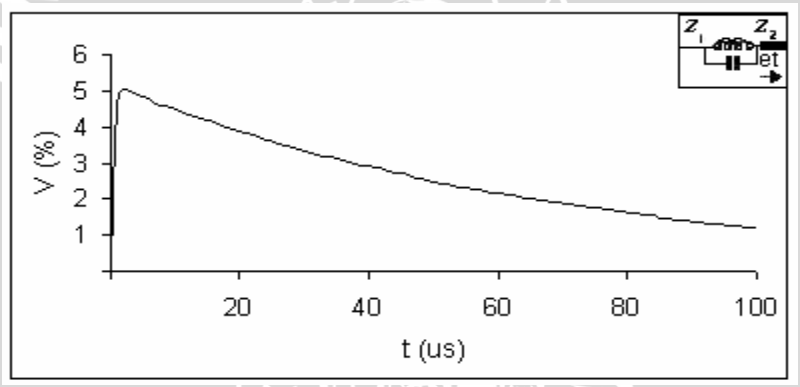
4.4.2.1.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Pemilihan pada nilai L dan C selain didasarkan pada pengaruh kedua nilai tersebut terhadap peredaman gelombang surja juga didasarkan pada reaktansi paralel (X_p) yang kecil sehingga tidak mengakibatkan jatuh tegangan yang besar pada sistem. Berdasarkan pertimbangan di atas maka nilai L dan C yang dipilih adalah sebagai berikut

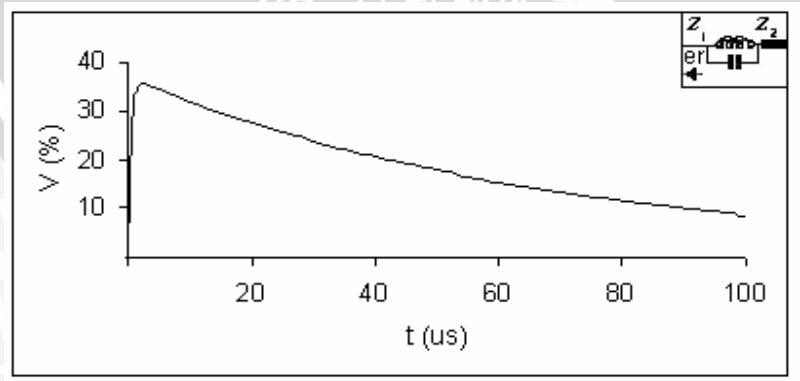
L = 1 µH C = 0,1 pF

X_L = 0,314 mO X_C = 31,818.10^{12} O X_p=0,314 mO

a)



b)



Gambar 4.18. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan
untuk nilai L=1 μH dan C=0,1 pF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Kombinasi paralel yang disipkan secara seri menyebabkan amplitudo gelombang terusan akan teredam menjadi 5,018% dan amplitudo gelombang pantul menjadi 35,583% . Dalam hal ini amplitudo gelombang pantul karena adanya panyisipan nilainya lebih rendah 50,066% bila dibandingkan dengan saluran tanpa sisipan yakni 85,529%. Sedangkan terhadap sistem penyisipan ini akan mengakibatkan adanya reaktansi sebesar

$$X_p = 0{,}314 m\Omega$$

Hal ini berarti untuk tiap ampere arus yang mengalir jatuh tegangan yang disisipkan sebesar 0,314 mV.

4.4.2.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-51.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-51.b).

4.4.2.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-48). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh C sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

$$a = -\frac{1{,}006x10^{-3}}{C}$$

Sedangkan nilai induktansi yang menyebabkan nilai a=ß adalah

$$L = \frac{C}{1{,}012x10^{-3}} mH$$

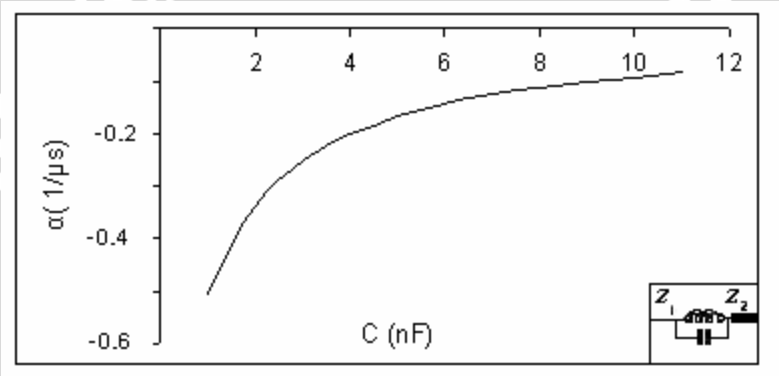
dengan C= kapasitansi (µF)

4.4.2.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dilihat pada Gambar 4.19. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < C < 4 nF

Sedangkan kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.9.



Gambar 4.19 a terhadap fungsi C

Tabel 4.9 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

C (nF)	L (mH)	f=50Hz		
		X_L (O)	X_C (MO)	X_P (O)
1	0,992	0,3178	-3,182	0,3178
2	1,984	0,677	-1,591	0,6236
4	3,968	1,2471	-7,955	1,2471

Sumber : Hasil perhitungan

4.4.2.2. 2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui kombinasi nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a, selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai tersebut.

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi yang terdapat pada Tabel 4.9 dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.51.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-51.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} - k_6 t e^{at} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

akan didapatkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.10. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-51.a) dan (2-51.b) didapatkan grafik tegangan gelombang terusan dan gelombang pantul yang ditunjukkan pada Gambar 4.20.

Tabel 4.10.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda

C (nF)	L (mH)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a(1/µs)
1	0,992	11,678	-17,689	-98,339	17,039	-1,004
2	1,984	2,979	-6,705	-98,173	8,506	-0,502
4	3,968	0,615	-3,068	-97,810	6,505	-0,251

Sumber : Hasil perhitungan

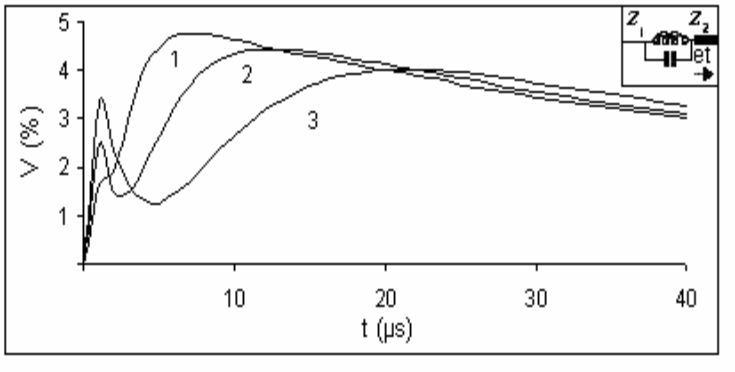
Tabel 4.10.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

C (nF)	L (mH)	k_5	k_6 (10^8)	k_7	k_8

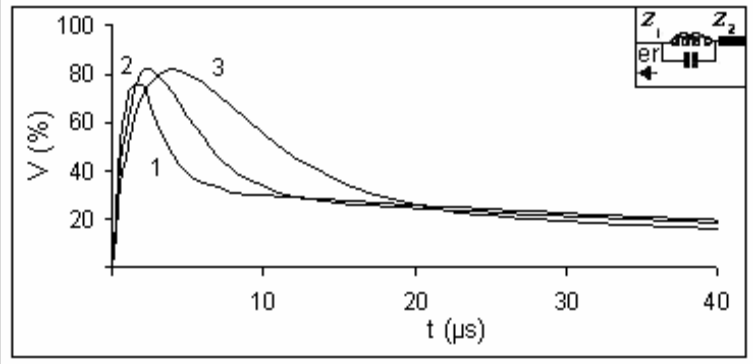
1	0,992	149,866	-2,271	68,804	218,670
2	1,984	38,226	-0,861	70,934	109,160
4	3,968	7,892	-0,394	75,595	83,486

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.20. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) C=4 nF 2) C=2 nF 3) C=1 nF

Perubahan nilai C yang semakin besar menyebabkan amplitudo gelombang yang semakin kecil. Amplitudo gelombang terusan untuk C=1nF, C=2nF, C=4nF berturut-turut

adalah 4,739%, 4,448% dan 4,002%. Berkebalikan dengan gelombang terusan, pada gelombang pantul pertambahan nilai C akan memperbesar amplitudo gelombang dan memperlandai ekor gelombang. Amplitudo gelombang untuk nilai C=1pF, C=2pF, C=4pF berturut-turut adalah 75,518%, 80,911% dan 81,325%.

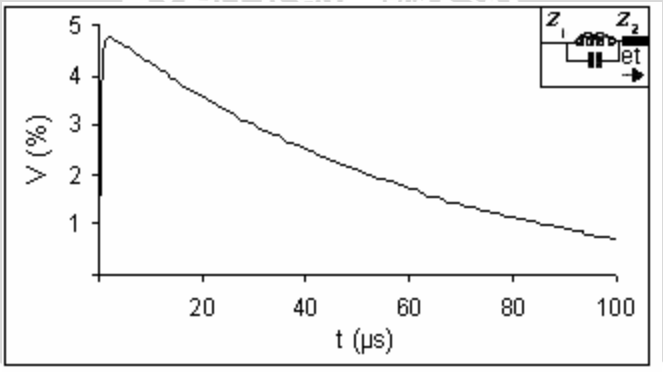
4.5.1.2.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai a=ß

Nilai L dan C yang digunakan untuk sisipan kombinasi seri secara paralel pada kondisi a=ß adalah sebagai berikut

L = 0,992016 H C =1 µF

X_L= 339,931 O X_C=0,314 mO X_P=0,314 mO

a)



b)

Gambar 4.21. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=1,0816 H dan C=1 μF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Kombinasi paralel yang disisipkan untuk nilai L=1,0816 H dan C=1 μF secara seri menyebabkan amplitudo gelombang terusan akan teredam menjadi 4,791% dan amplitudo gelombang pantul menjadi 35,573% . Dalam hal ini amplitudo gelombang pantul karena adanya panyisipan nilainya lebih rendah 49,956% bila dibandingkan dengan saluran tanpa sisipan yakni 85,529%. Sedangkan terhadap sistem penyisipan ini akan mengakibatkan adanya reaktansi sebesar

$$X_p = 0{,}314 m\Omega$$

Hal ini berarti untuk tiap ampere arus yang mengalir jatuh tegangan yang disisipkan sebesar

$$V_D = 0{,}314 mV / A.$$

4.4.2.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-52.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-52.b).

4.4.2.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ? seperti dinyatakan pada Persamaan (2-53). Dengan mensubtitusikan impedansi surja Z_1 dan Z_2 didapatkan

$$g = -\frac{1{,}006x10^{-3}}{C}$$

$$w = \frac{1}{C}\left(\sqrt{\frac{C}{L} - 1{,}012x10^{-6}}\right)$$

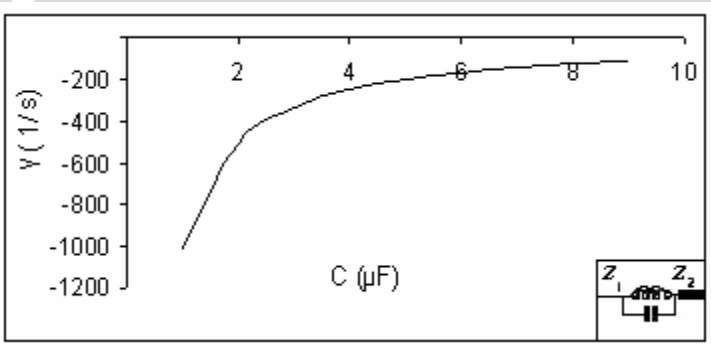
Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa nilai ? hanya dipengaruhi oleh nilai C sedangkan nilai ? dipengaruhi oleh kedua nilai L dan C.

4.4.2.3.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap ? Dan ?

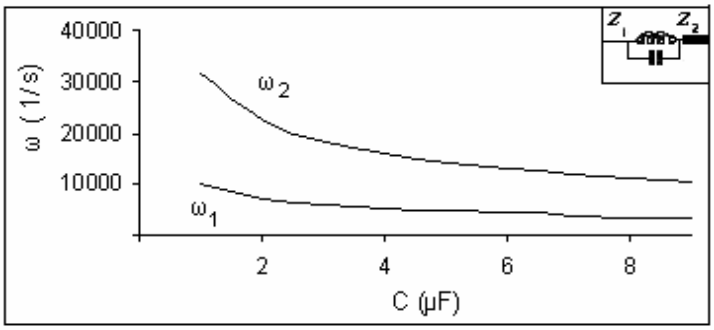
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? dapat dilihat pada Gambar 4.22. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai ? dan ? yang semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai ? akan mengakibatkan ekor gelombang semakin landai. Sedangkan dengan berkurangnya nilai ? akan mengakibatkan semakin bertambahnya osilasi gelombang. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? terjadi pada

0 < C < 2 µF

a)



b)



Gambar 4.22. ? dan ? terhadap fungsi C

a) ?

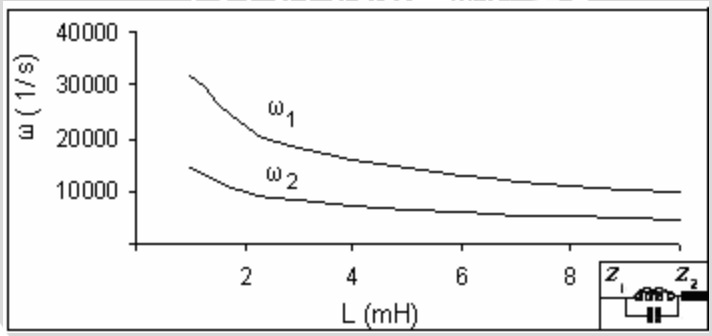
b) ?

(1) L= 1 mH (2) L= 10 mH

4.4.2.3.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap ?

Nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dapat dilihat pada Gambar 4.23. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai ? yang semakin kecil. Nilai ? yang semakin kecil menyebabkan osilasi semakin bertambah. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? terjadi pada

$0 < L < 4$ mH



Gambar 4.23 ? fungsi L
1) C=1 μF 2) C=5μF

4.4.2.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? selanjutnya dilakukan analisis perubahan bentuk gelombang pada nilai-nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut

Tabel 4.11 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

C	L	L/C	f=50Hz		
(μF)	(mH)	(mH/μF)	X_L (O)	X_C (O)	X_P (O)
2	1	0,5	0,314	1590,909	0,314
1,5	1,5	1	0,471	2121,212	0,471
1	4	4	1,257	3181,818	1,258

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.50.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-50.b) yaitu

$$e_t(t) = -k_5 e^{gt} Cos(wt) - k_6 e^{gt} Sin(wt) + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.12. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-39) dan (2-40) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.24.

Tabel 4.12.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/µF)	k_1	k_2	k_3	k_4	? (1/ms)	? (1/ms)
0,5	-0,817	27,095	19,954	5,209	-1,004	22,338
1	-0,519	23,119	17,534	5,208	-0,669	21,071
4	-0,817	13,139	12,976	5,209	-1,005	15,779

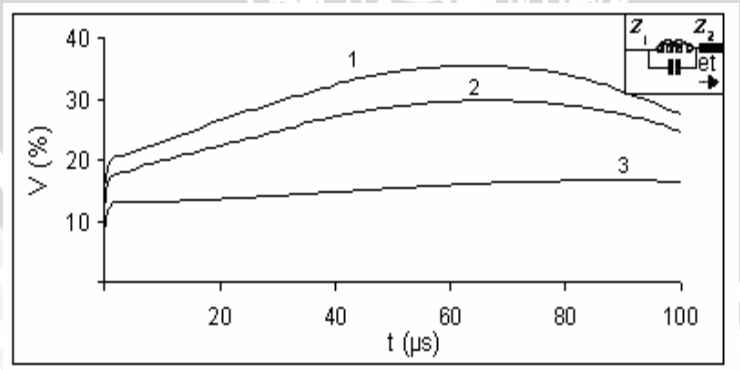
Sumber : Hasil perhitungan

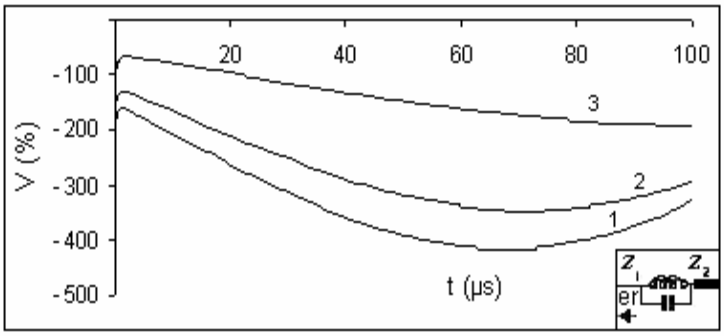
Tabel 4.12.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/µF)	k_5	k_6	k_7	k_8
0,5	-10,490	347,713	-152,377	36,845
1	-6,661	296,692	225,014	66,836
4	-10,490	168,618	166,529	66,852

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b) 

Gambar 4.24. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH C=2 µF 2) L=1,5 mH C=1,5 µF 3) L=4 mH C=1 µF

Nilai L/C yang semakin besar akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan yang semakin teredam. Untuk nilai L=1mH dan C=2µF amplitudo gelombang sebesar 35,551 %. Untuk nilai L=1,5mH dan C=1,5µF amplitudo gelombang sebesar 29,902 %. Untuk nilai L=4mH dan C=1µF amplitudo gelombang sebesar 16,809%.

Pada gelombang pantul untuk nilai L=1mH dan C=2µF amplitudo gelombang sebesar -416,804 %. Untuk nilai L=1,5mH dan C=1,5µF amplitudo gelombang sebesar -346,145 %. Sedangkan untuk nilai L=4mH dan C=1µF amplitudo gelombang sebesar -189,366 %.

4.4.2.3.3. Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Imajiner

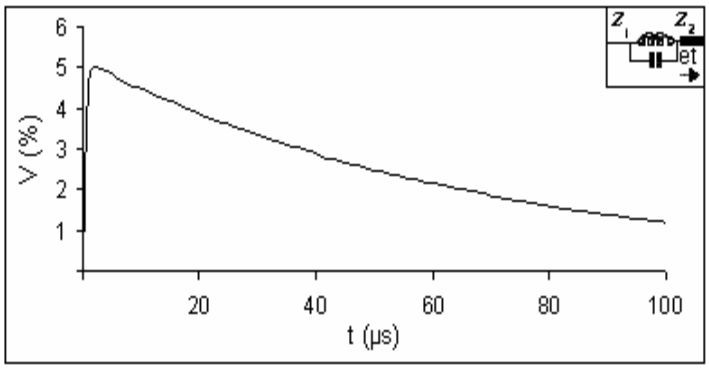
Nilai L dan C yang dipilih adalah sebagai berikut

L= 1 H C =1000 F

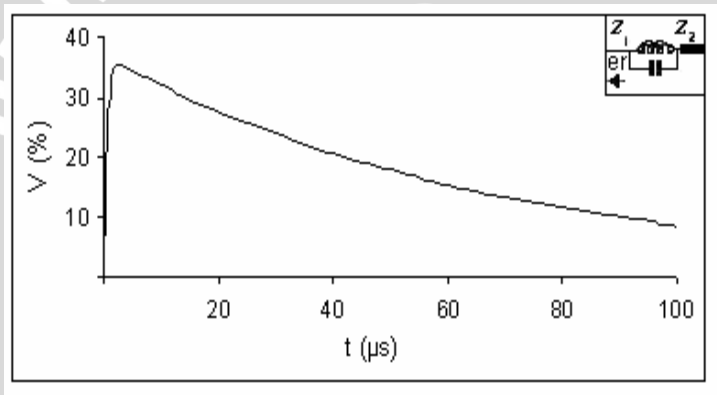
X_L = 314,286 O X_C= 3,182 µO X_P = 3,182 µO

Gambar gelombang terusan dan pantul yang diakibatkan oleh nilai L dan C di atas ditunjukkan pada Gambar 4.25 berikut

a)



b)



Gambar 4.25. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=1 H dan C=1000 μF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka amplitudo gelombang yang diteruskan teredam hingga mencapai 5,018%. Sedangkan terhadap sistem penyisipan ini akan mengakibatkan adanya reaktansi sebesar

$$X_p = 3{,}182 m\Omega$$

Hal ini berarti untuk tiap ampere arus yang mengalir jatuh tegangan yang disisipkan sebesar

$$V_D = 3{,}182 mV / A$$

4.5 Pengaruh Penyisipan Secara Paralel

Ada dua kombinasi rangkaian yang disisipkan secara paralel seperti yang telah diperlihatkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7, yaitu yang pertama sisipan paralel dari rangkaian LC seri dan sisipan seri dari rangkaian LC paralel.

4.7.1 Sisipan Rangkaian LC Seri

Persamaan a dan ß untuk kombinasi penyisipan L dan C paralel secara seri dinyatakan dalam Persamaan (2-56). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 ke dalam Persamaan (2-56) didapat

$$a = \frac{1}{L}\left(-16{,}699 + \sqrt{278{,}850 - \frac{L}{C}}\right)$$

$$b = \frac{1}{L}\left(-16{,}699 - \sqrt{278{,}850 - \frac{L}{C}}\right)$$

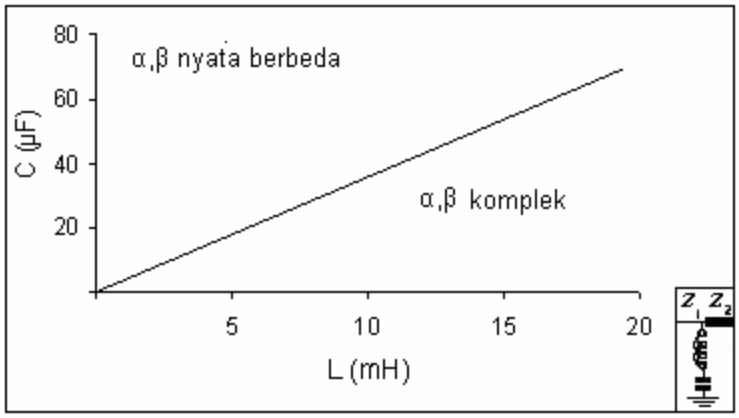
Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

$$\frac{L}{C} < 278{,}850.10^3 \frac{mH}{mF} \qquad \text{(akar nyata dan berbeda)}$$

$$\frac{L}{C} = 278{,}850.10^3 \frac{mH}{mF} \qquad \text{(akar nyata sama)}$$

$$\frac{L}{C} > 278{,}850.10^3 \frac{mH}{mF} \qquad \text{(akar komplek)}$$

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

4.5.1.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-50.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada persamaan (2-50.b).

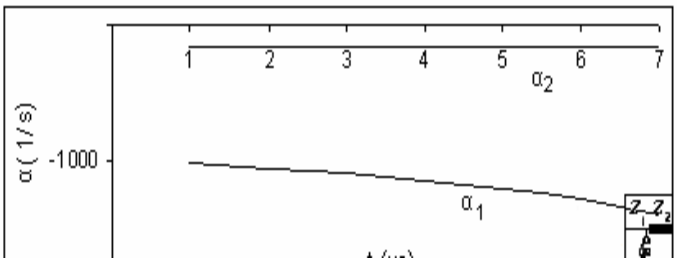
4.5.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.57). Sedangkan nilai a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.56).

4.5.1.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

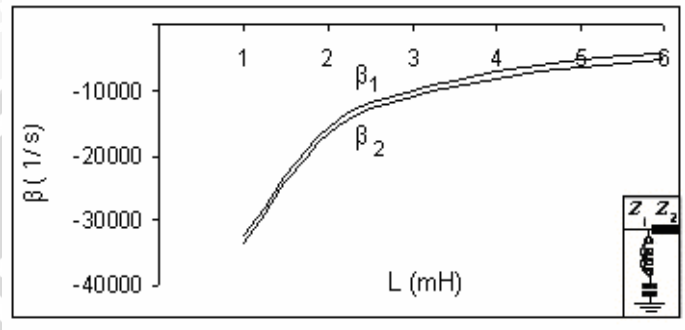
Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dilihat Gambar 4.27. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar dan nilai ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai a. Sedangkan semakin besar nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin bertambah dan ß yang semakin kecil dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH



a)

b)



Gambar 4.27. a dan ß terhadap fungsi L

a) a

b) ß

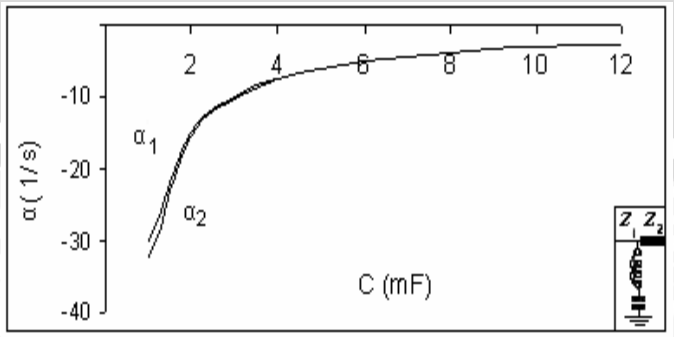
(1) C = 30 µF (2) C = 200 µF

4.5.1.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

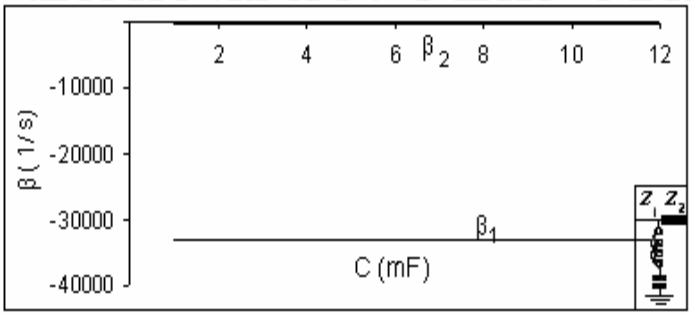
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.28. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil sedangkan nilai ß relatif tidak mengalami perubahan. Perubahan terhadap nilai a lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai ß. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < C < 2$ mF

a)



b)



Gambar 4.28. a dan ß terhadap fungsi C

a) a

b) ß

(1) L= 1 mH (2) L= 75 mH

4.5.1.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut

Tabel 4.13 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

L (mH)	C (mF)	L/C (mH/mF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_C (O)	$\lvert X_L - X_C \rvert$ (O)
1	2	0,5	0,314	1,591	1,591
1,5	1,5	1	0,471	2,121	2,121
2	1	2	0,629	3,182	3,181

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.57.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-57.b) yaitu

$$e_r(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_5 e^{-at} - k_6 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.14. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-57) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.29.

Tabel 4.14.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/mF)	k_1	k_2	k_3	k_4	a(1/s)	ß(1/ms)
0,5	0,005	-9,359	-4,088	5,276	-14,978	-33,382
1	-2,349 $x10^{-6}$	-15,282	-10,030	5,252	0,007	-22,265
2	0,011	-43,348	-38,118	5,240	-29,996	-16,668

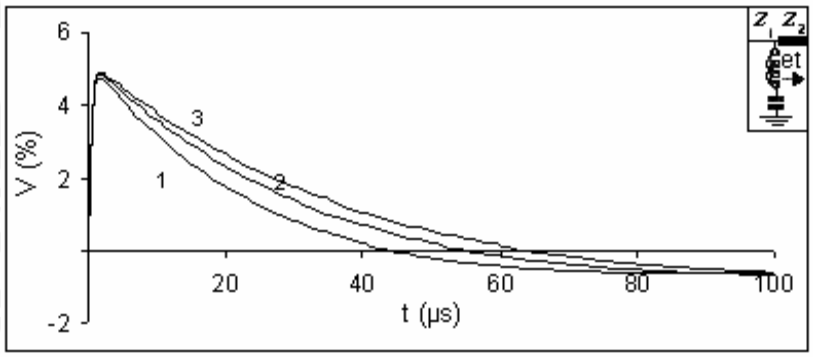
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.14.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

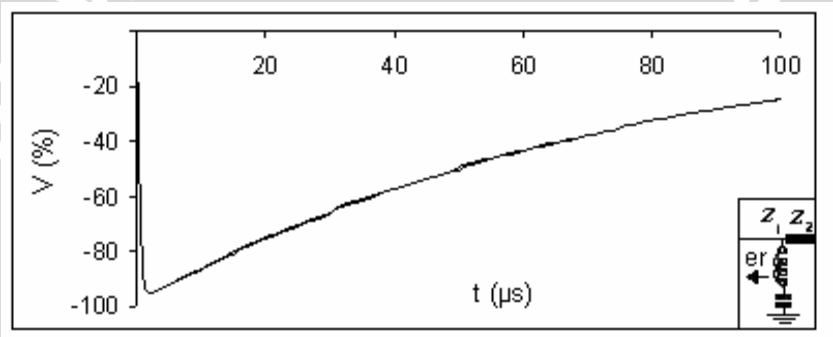
L/C (mH/mF)	k_1	k_2	k_5	k_6
0,5	0,005	-9,359	-107,788	-98,424
1	-2,349 $x10^{-6}$	-15,282	-113,730	-98,448
2	0,011	-43,348	-141,818	-98,460

Sumber : Hasil perhitungan

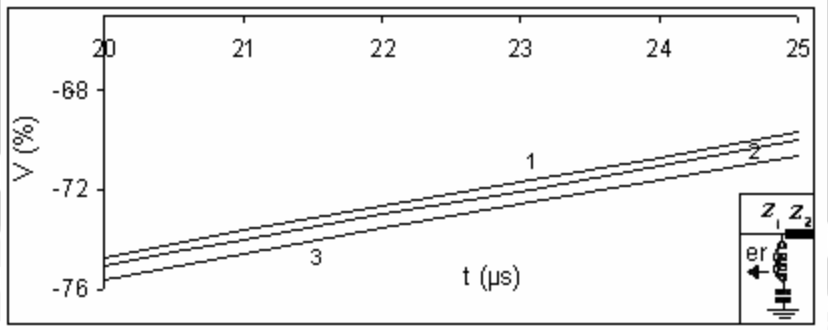
a)



b.1)



b.2)



Gambar 4.29. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan

***oleh perubahan induktansi dan kapasitansi*.**

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH dan C=2 mF 2) L=1,5 mH dan C=1,5mF 3) L=2 mH dan C=1 mF

Penyisipan rangkaian LC seri secara paralel akan menyebabkan peredaman pada gelombang terusan. Pertambahan nilai L/C, akan menyebabkan amplitudo gelombang semakin besar. Besar amplitudo gelombang untuk nilai L/C 0,5, 1 dan 2 mH/mF berturut-turut adalah 4,753%, 4,840% dan 4,884%.

Pertambahan nilai L/C akan mengakibatkan amplitudo gelombang pantul semakin kecil. Amplitudo gelombang pantul untuk nilai L/C 0,5 , 1 dan 2 mH/mF berturut-turut adalah 95,232%, 95,145% dan 95,101%. Penurunan nilai amplitudo pada gelombang terusan tersebut cukup menguntungkan terhadap sistem.

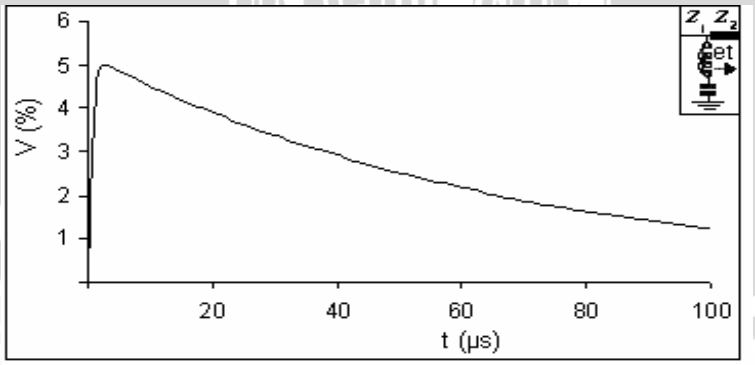
4.5.1.1.3Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Nilai L dan C yang dipilih adalah nilai yang selain dapat mengakibatkan peredaman juga yang tidak menyebabkan arus bocor yang besar. Nilai L dan C yang dipilih adalah

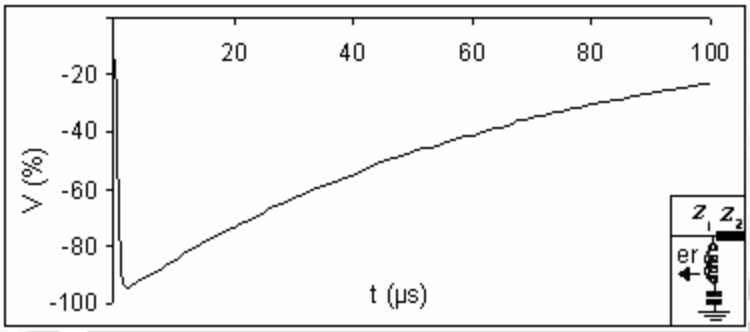
L = 1 µH C = 10 nF

X_L = 31,429 µO X_C = 318,182kO Z_p=-j318,182kO

a)



b)



Gambar 4.30. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=1 µH dan C=10 nF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka terjadi peredaman gelombang untuk gelombang terusan. Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar 4,993%.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya penurunan daya reaktif beban sedangkan dampak negatif yang timbul adalah berkurangnya arus beban. Dengan asumsi bahwa tegangan pada sisipan (V_S) sama dengan tegangan fasa pada saluran distribusi 20 kV yakni sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$, besarnya daya reaktif pada sisipan seri (Q_S) adalah

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{X_L - X_C} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{-318.182{,}182} = -419{,}048\,\text{var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan (I_S) adalah sebesar

$$I_s = \frac{V_s}{\left|X_L - X_C\right|} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{318182{,}183} = 36{,}291\,\text{mA}$$

Jadi akibat adanya penyisipan akan menyebabkan amplitudo gelombang surja teredam hingga sebesar 4,993%. Sedangkan pengaruh terhadap sistem menyebabkan

penurunan daya reaktif sebesar 419,048 var dan berkurangnya arus beban sebesar 36,291 mA. Berkurangnya daya reaktif menyebabkan faktor daya pada sistem akan bertambah. Penyisipan pada kondisi ini relatif menguntungkan terhadap sistem.

4.5.1.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-58.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-58.b).

4.5.1.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-55). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh L sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

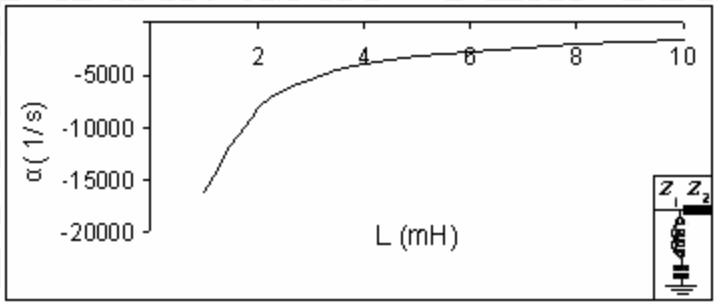
$$a = \frac{-16{,}699}{L}$$

4.5.1.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dianalisis melalui Gambar 4.31. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai a akan mengakibatkan ekor gelombang yang lebih landai. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH

Sedangkan kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.15.



Gambar 4.31 a terhadap fungsi L

Tabel 4.15 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C (μF)	f=50Hz		
		X_L (O)	X_C (O)	$\lvert X_L - X_C \rvert$ (O)
1	3,5862	0,314	887,249	886,935
1,5	5,3792	0,4714	591,499	591,028
2	7,1723	0,629	443,625	442,996

Sumber : Hasil perhitungan

4.5.1.2.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui kombinasi nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a, selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai tersebut. Dengan

mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi yang terdapat pada Tabel 4.15 dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.58.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-58.b) yaitu

$$e_r(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_5 e^{-at} - k_6 e^{-bt}$$

akan didapatkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.16. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-58.) didapatkan grafik tegangan gelombang terusan dan gelombang pantul yang ditunjukkan pada Gambar 4.32.

Tabel 4.16.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda

L (mH)	C (µF)	k_1	k_2	k_3	k_4	a(1/ms)
1	3,5862	-393,022	719125,674	294,302	4,980	-12,514
1,5	5,3792	-6,684	21190,164	11,632	4,948	-4,648
2	7,1723	-2,734	6037,017	7,675	4,940	-2,711

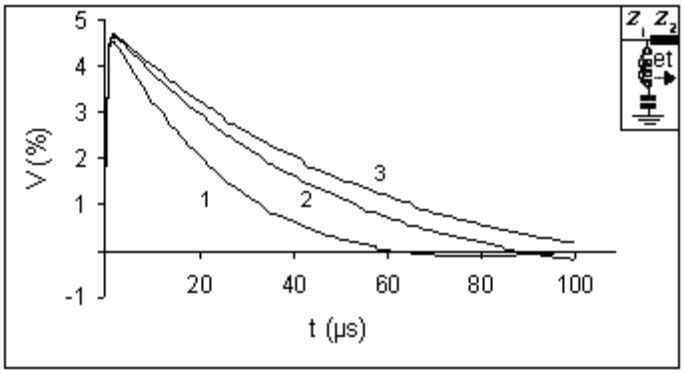
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.16.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

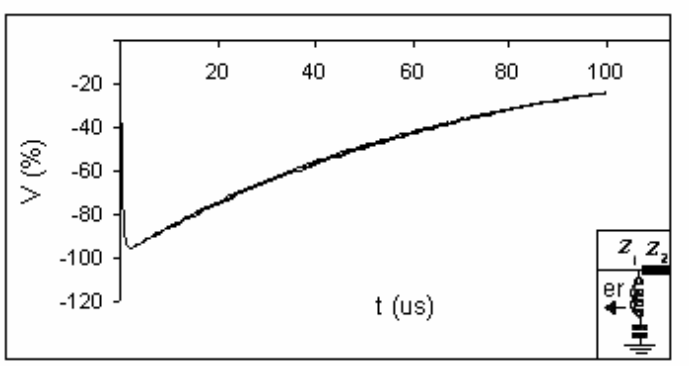
L (mH)	C (µF)	k_1	k_2	k_5	k_6
1	3,5862	-393,022	719125,674	190,602	-98,720
1,5	5,3792	-6,684	21190,164	-92,068	-98,752
2	7,1723	-2,734	6037,017	-96,025	-98,760

Sumber : Hasil Perhitungan

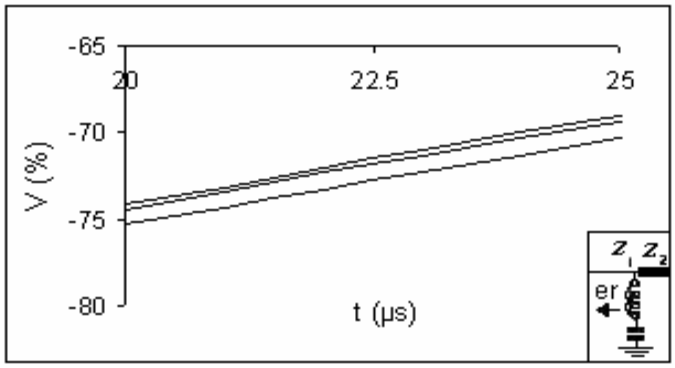
a)



b.1)



b.2)



Gambar 4.32. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5 mH 3) L=2 mH

Penambahan nilai L akan menyebabkan amplitudo gelombang terusan yang semakin. Amplitudo gelombang terusan untuk L=1mH, L=3,5mH, L=6mH berturut-turut adalah 4,563%, 4,682% dan 4,711%. Sedangkan amplitudo gelombang pantul berturut-turut adalah -95,422, -95,303% dan -95,274%.

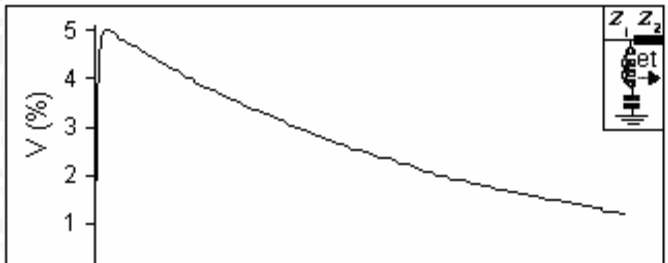
4.5.1.2.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai a=ß

Nilai L dan C yang digunakan untuk sisipan kombinasi seri secara paralel pada kondisi a=ß adalah sebagai berikut

L=1 µH C=3,5862 nF

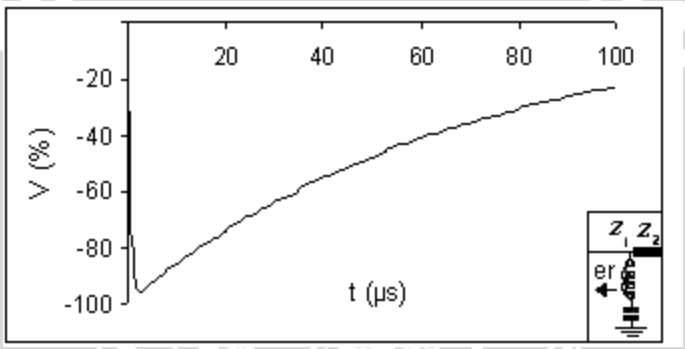
X_L= 0,314 mO X_C=887,849 kO Z_S=-j887,849 kO

Tanda negatif pada Z_S menunjukkan bahwa reaktansi yang dominan adalah reaktansi kapasitif. Gambar peredaman gelombang surja untuk nilai di atas dapat dilihat pada Gambar 4.33 berikut.



a)

b)



Gambar 4.33. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=1 µH dan C=3,755 nF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka terjadi peredaman gelombang untuk gelombang terusan. Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar 5,012%.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya penurunan daya reaktif beban sedangkan dampak negatif yang timbul adalah berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s)

adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian LC seri (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{X_L - X_C} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{-887{,}849.10^3} = -150{,}277\,\text{var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan (I_S) adalah sebesar

$$I_s = \frac{V_s}{\left|X_L - X_C\right|} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{887{,}849.10^3} = 13{,}014\,mA$$

Jadi dengan adanya penyisipan ini maka akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan sebesar 4,546%. Selain itu juga akan berakibat penurunan daya reaktif beban sebesar 157,352 kvar sedangkan arus saluran akan berkurang sebesar 13,627 mA.

4.5.1.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-59.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-59.b).

4.5.1.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ? seperti dinyatakan pada Persamaan (2-60). Dengan mensubtitusikan impedansi surja z_1 dan z_2 didapatkan

$$g = \frac{-16{,}699}{L}$$

$$w = \frac{1}{L}\sqrt{\frac{L}{C} - 278{,}850}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa nilai ? hanya dipengaruhi oleh nilai L sedangkan nilai ? dipengaruhi oleh kedua nilai L dan C.

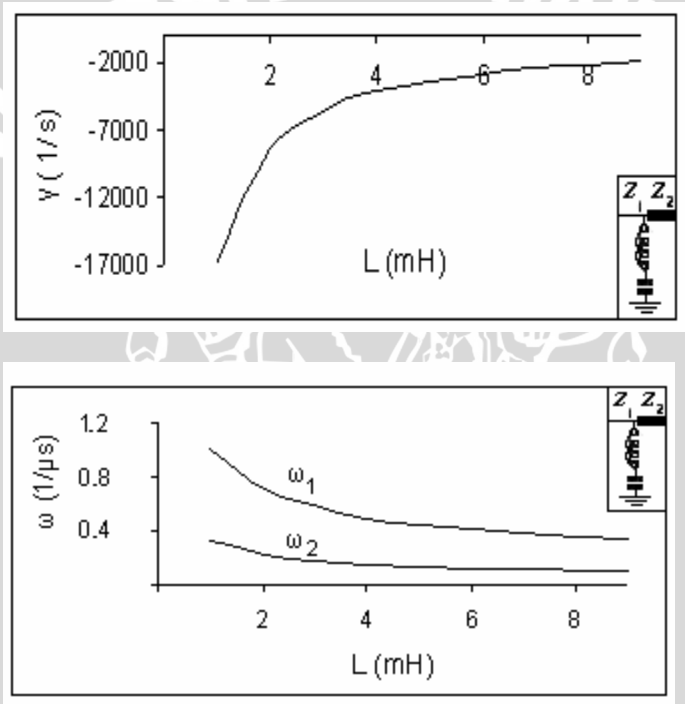
4.5.1.3.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap ? Dan ?

Nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? ditunjukkan pada Gambar 4.34. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai ? dan ? yang semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai ? akan mengakibatkan ekor gelombang semakin landai. Sedangkan dengan berkurangnya nilai ? akan mengakibatkan semakin berkurangnya osilasi gelombang. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? terjadi pada

0 < L < 4 mH

a)

b)



Gambar 4.34. ? dan ? terhadap fungsi L

a) ?

b) ?

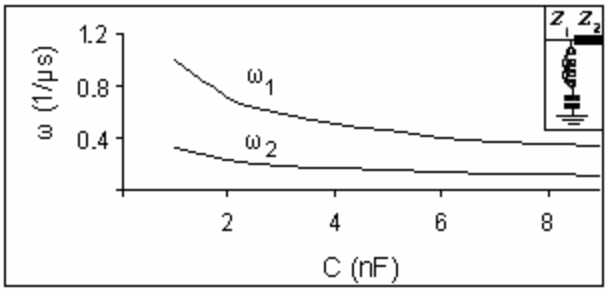
1) C=1 nF 2) C=10 nF

4.5.1.3.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap ?

Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? ditunjukkan pada Gambar 4.35. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai ? yang semakin kecil. Sedangkan dengan bertambahnya nilai L akan

mengakibatkan nilai ? yang semakin kecil. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? terjadi pada

0 < C < 2 nF



Gambar 4.35 ? terhadap fungsi L
1) L=1 mH 2) L=10 mH

4.5.1.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? selanjutnya dilakukan analisis perubahan bentuk gelombang pada nilai-nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.18 berikut

Tabel 4.17 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C (nF)	L/C (mH/nF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_C (MO)	$\lvert X_L - X_C \rvert$ (MO)
1	2	0,5	0.31429	1,591	1,591
1,5	1,5	1	0.47143	2,121	2,121
2	1	2	0.62857	3,182	3,182

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.59.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-59.b) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.18. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-59) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.36.

Tabel 4.18.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/nF)	k_1	k_2 (10^3)	k_3 (10^3)	k_4	? (1/ms)	? (1/ms)
0,5	-651,388	1.360,938	681,087	5,17	-16,32	706,918
1	-100,713	280,679	140,458	5,105	-10,88	666,577
2	-26,269	109,911	54,993	5,136	-8,16	707,06

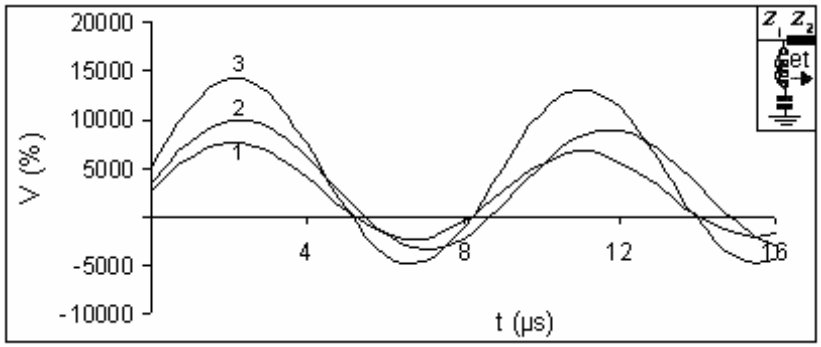
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.18.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

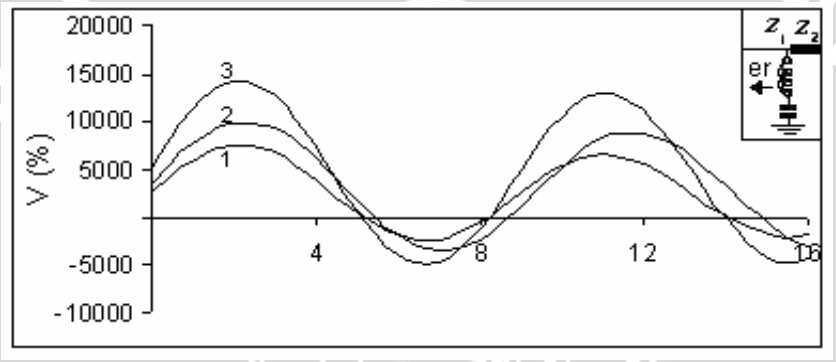
L/C (mH/nF)	k_1	k_2 (10^3)	k_5 (10^3)	k_6
0,5	-651,388	1.360,938	680,983	-98,53
1	-100,713	280,679	140,354	-98,595
2	-26,269	109,912	54,889	-98,564

Sumber : Hasil Perhitungan

a)



b)



Gambar 4.36. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH C=2 nF 2) L=1,5 mH C=1,5 nF 3) L=2 mH C=1 nF

Penyisipan kombinasi seri secara paralel pada kondisi akar imajiner mengakibatkan adanya osilasi baik untuk gelombang terusan maupun untuk gelombang pantul. Dengan semakin besarnya nilai L/C maka akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan dan gelombang pantul yang semakin besar. Untuk nilai L/C 0,5, 1, dan 2 mH/nF amplitudo gelombang terusan berturut sebesar 7.626,316%, 7.675,989% dan 14.311,727%. Sedangkan

untuk amplitudo gelombang pantul berturut-turut adalah sebesar 7.526,331%, 7.582,433% dan 14.211,742%.

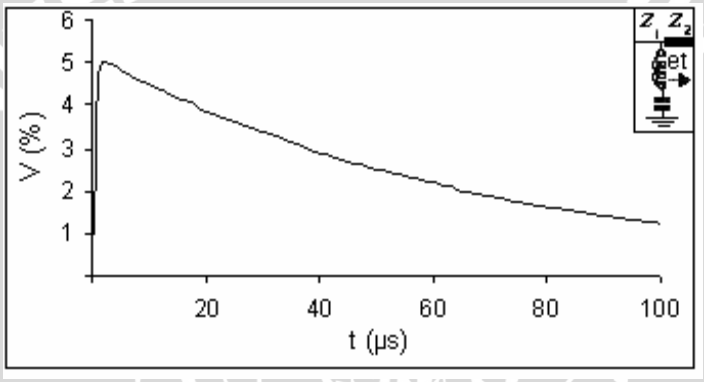
4.5.1.3.3 Nilai induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Komplek

Nilai L dan C yang dipilih adalah nilai yang selain dapat mengakibatkan peredaman juga yang tidak menyebabkan arus bocor yang besar. Nilai L dan C yang dipilih adalah

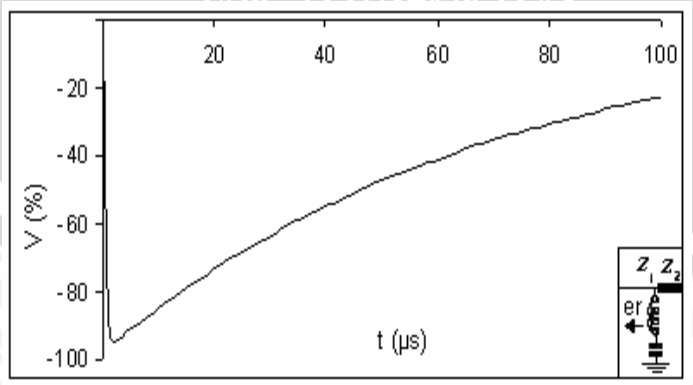
L = 100 H C = 1 nF

X_L = 31,4286kO X_C = 3,182MO Z_p=-j3,15MO

a)



b)



Gambar 4.37. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=100 H dan C=1 nF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka terjadi peredaman gelombang untuk gelombang terusan. Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar 5,018%.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya penurunan daya semu beban dan berkurangnya arus beban. Dengan asumsi bahwa tegangan pada sisipan (V_S) sama dengan tegangan fasa pada saluran distribusi 20 kV yakni sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$, besarnya daya reaktif pada sisipan seri (Q_S) adalah

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{X_L - X_C} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{-3.150.389{,}61} = -42{,}323\,\text{var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan (I_S) adalah sebesar

$$I_s = \frac{V_s}{\left|X_L - X_C\right|} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{-3.150.389{,}61} = 3{,}6291\,\text{mA}$$

Jadi akibat adanya penyisipan akan menyebabkan amplitudo gelombang surja teredam hingga sebesar 4,767%. Sedangkan pengaruh terhadap sistem menyebabkan penurunan daya reaktif sebesar 42,323 var dan berkurangnya arus beban sebesar 3,6291 mA. Penyisipan pada kondisi ini relatif menguntungkan terhadap sistem.

4.7.2 Sisipan Rangkaian LC Paralel

Persamaan a dan ß dinyatakan dalam Persamaan (2-43). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 ke dalam Persamaan (2-43) didapat

$$a = \frac{1}{C}\left(-0{,}015 + \sqrt{0{,}000224 - \frac{C}{L}}\right)$$

$$b = \frac{1}{C}\left(-0{,}015 - \sqrt{0{,}000224 - \frac{C}{L}}\right)$$

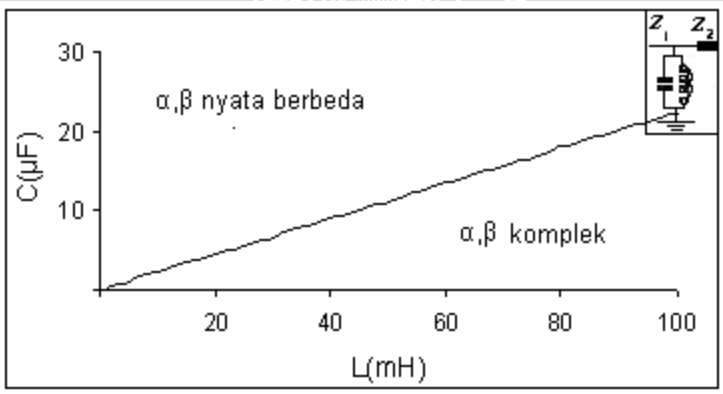
Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

$$\frac{C}{L} < 2{,}24.10^{-7}\ \frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata dan berbeda)}$$

$$\frac{C}{L} = 2{,}24.10^{-7}\ \frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata sama)}$$

$$\frac{C}{L} > 2{,}24.10^{-7}\ \frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar komplek)}$$

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 38.



Gambar 4.38 Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

4.5.2.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-44.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada persamaan (2-44.b).

4.5.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

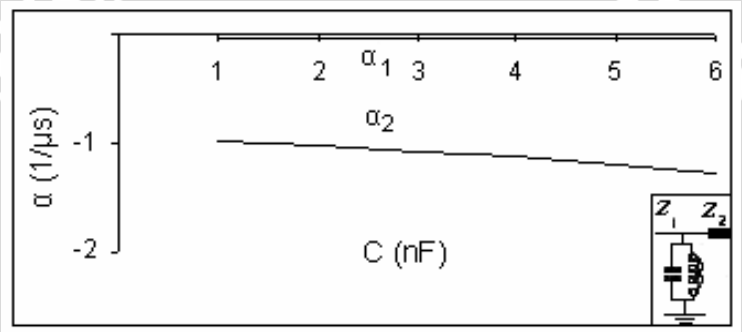
Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.42). Sedangkan nilai a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.43).

4.5.2.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

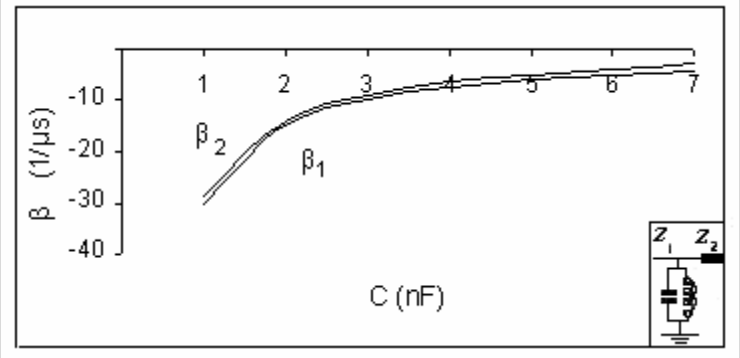
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 39. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar dan ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai a dalam hal ini perubahan nilai C lebih dominan terhadap muka gelombang. Sedangkan semakin kecil nilai induktansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin bertambah dan ß yang semakin kecil dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < C < 2 nF

a)



b)



Gambar 4.39. a dan ß terhadap fungsi C

a) a

b) ß

(1) L= 1 mH (2) L=0,035mH

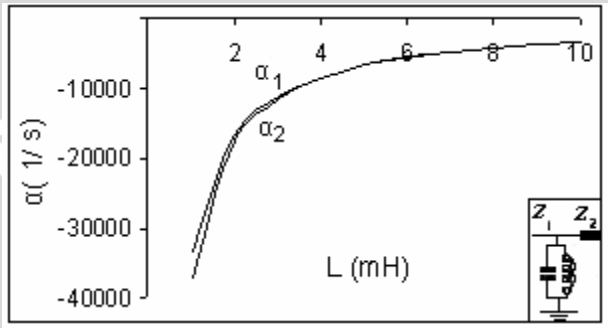
4.5.2.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dilihat pada Gambar 4.40. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan

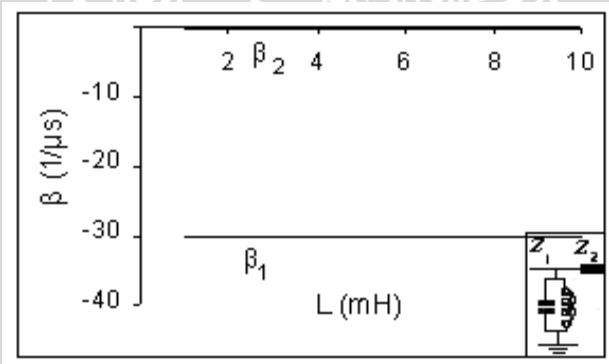
mengakibatkan nilai a yang semakin kecil sedangkan nilai ß relatif konstan. Perubahan terhadap nilai a lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai ß. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < L < 2 mH

a)



b)



Gambar 4.40. a dan ß terhadap fungsi L

a) a

b) ß

(1) C = 1 nF (2) C=80 nF

4.5.2.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut

Tabel 4.19 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

L (mH)	C (nF)	L/C (mH/nF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_C (MO)	$\lvert X_P \rvert$ (O)
1	2	0,5	0,3143	1,5909	0,3143
1,5	1,5	1	0,4714	2,1212	0,4714
2	1	2	0,6286	3,1818	0,6286

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.64.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-64.b) yaitu

$$e_r(t) = k_1 e^{at} + k_2 e^{bt} - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.20. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-64) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.41.

Tabel 4.20.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/nF)	k_1	k_2	k_3	k_4	a(1/µs)	ß(1µ/s)
0,5	26,999	-18,066	11,719	-18,272	-0,335	-14,938
1	44,025	-17,166	28,852	-17,302	-0,2229	-19,939
2	122,456	-16,369	107,338	-16,471	-0,167	-29,926

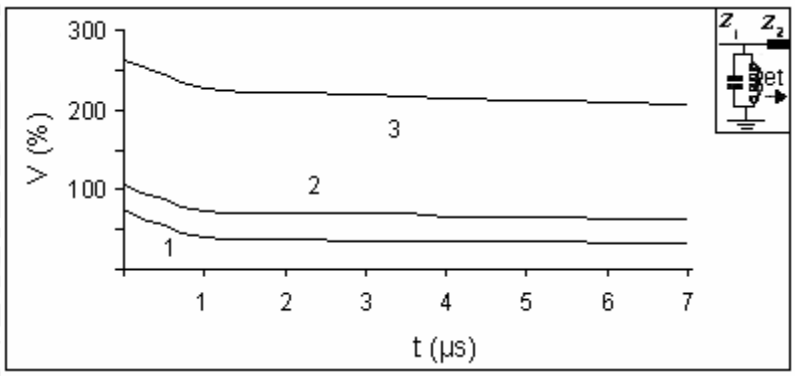
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.20.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

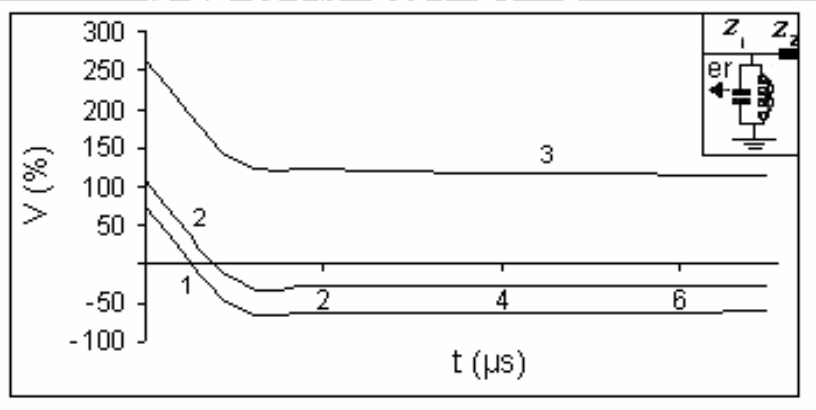
L/C (mH/nF)	k_1	k_2	k_5	k_6
0,5	26,999	-18,066	-91,981	-121,972
1	44,025	-17,166	-74,848	-121,002
2	122,456	-16,369	3,638	-120,171

Sumber : Hasil Perhitungan

a)



b)



Gambar 4.41. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH dan C=2 nF 2) L=1,5 mH dan C=1,5 nF 3) L=2 mH dan C=1 nF

Pada gelombang terusan dan gelombang pantul dengan bertambahnya nilai L/C, amplitudo gelombang pantul dan gelombang terusan akan bertambah. Amplitudo gelombang terusan untuk nilai L/C 0,5, 1 dan 2 mH/nF berturut-turut adalah 75,057%, 107,345% dan 262,364%. Amplitudo gelombang pantul untuk polaritas positif besarnya sama dengan amplitudo gelombang terusan. Sedangkan pada nilai L/C 1 dan 2 mH/nF terdapat amplitudo pada polaritas negatif dengan nilai berturut-turut adalah -63,533% dan -30,381%.

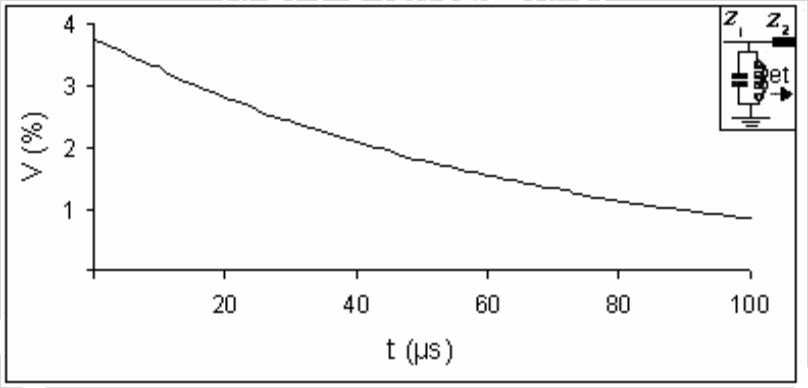
4.5.2.1.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Nilai L dan C yang dipilih untuk kombinasi ini adalah

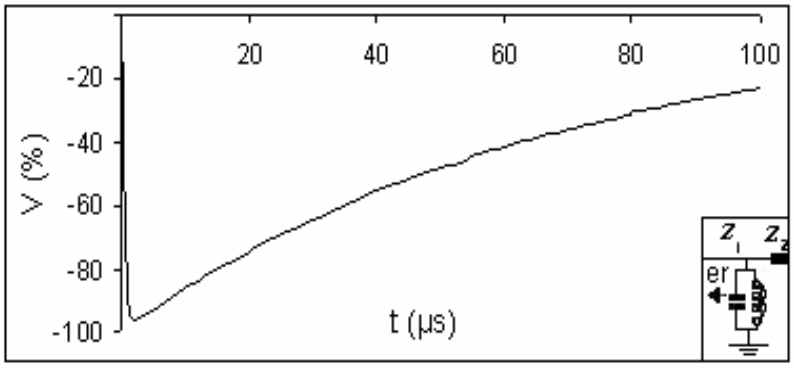
L = 1,012397 H C=10µF

X_L = 318,1819143 O X_C = 318,1818182O Z_P= -j1,05344.10^9?

a)



b)



Gambar 4.42. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=1,012397 H dan C=10 µF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka amplitudo gelombang yang diteruskan teredam hingga mencapai 3,775%. Sedangkan pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya kenaikan pada daya semu beban dan adanya arus yang mengalir melalui kombinasi penyisipan (I_S) . Dengan asumsi bahwa tegangan pada kombinasi (V_S) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian LC pararel (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_S = \frac{V_S^{\,2}}{X_p} = \frac{\left(20.10^{-3}/\sqrt{3}\right)^2}{1{,}05344.10^9} = -0{,}126 \text{ var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan (I_S) adalah sebesar

$$I_S = \frac{V_S}{|X_P|} = \frac{\left(20.10^{-3}/\sqrt{3}\right)}{1{,}05344.10^9} = 10{,}961 \ \mu\text{A}$$

Penyisipan ini mengakibatkan penurunan dari daya reaktif sistem sebesar 0,126 var dan adanya arus beban yang berkurang sebesar 10,961 µA. Sehingga penyisipan pada kondisi ini relatif aman untuk sistem tersebut.

4.5.2.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-65.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-65.b).

4.5.2.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-62). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh C sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

$$a = \frac{-0{,}015}{C}$$

Sedangkan nilai induktansi yang menyebabkan nilai a=ß adalah

$$L = \frac{C}{0{,}224}\ \text{mH}$$

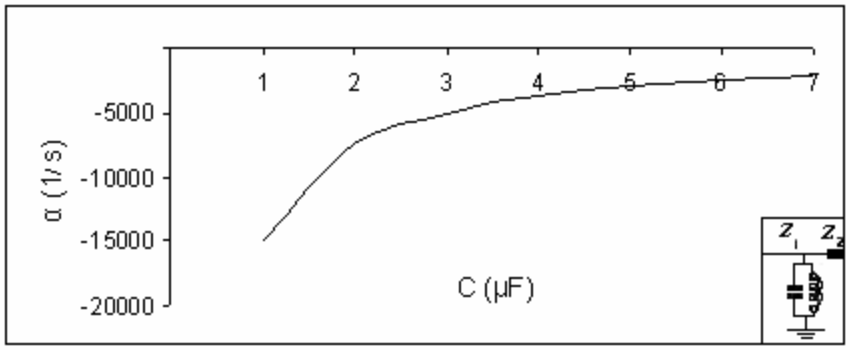
dengan C= kapasitansi (µF)

4.5.2.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dilihat pada Gambar 4.43. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai a akan mengakibatkan ekor gelombang menjadi lebih landai. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < C < 2\mu F$

Sedangkan kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.21.



Gambar 4.43 a terhadap fungsi L

Tabel 4.21 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

C (μF)	L (mH)	f=50Hz		
		X_L (O)	X_C (O)	X_P (O)
1	4,4616	1,40222	3.181,818	1,4028
1,5	6,6924	2,10332	2.121,212	2,1054
2	8,9232	2,80443	1.590,909	2,8094

Sumber : Hasil perhitungan

4.5.2.2.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui kombinasi nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a, selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai tersebut. Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi yang terdapat pada Tabel 4.22 dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.65.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-65.b) yaitu

$$e_r(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt}$$

akan didapatkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.22. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-65.a) dan (2-65.b) didapatkan grafik tegangan gelombang terusan dan gelombang pantul yang ditunjukkan pada Gambar 4.44.

Tabel 4.22.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda

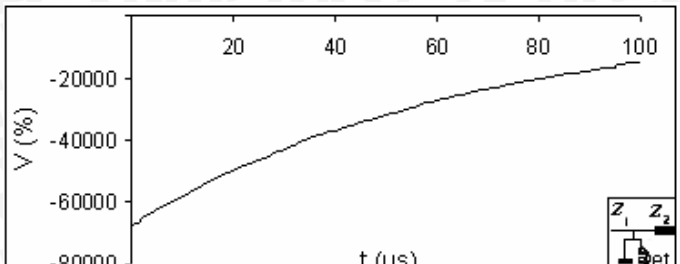
C (μF)	L (mH)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a(1/s)
1	4,4616	4,593	21,499	67323,596	0,183	-14971,140
1,5	6,6924	0,014	-0,637	200,490	0,121	-9980,760
2	8,9232	0,004	-0,234	63,949	0,091	-7485,570

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.22.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

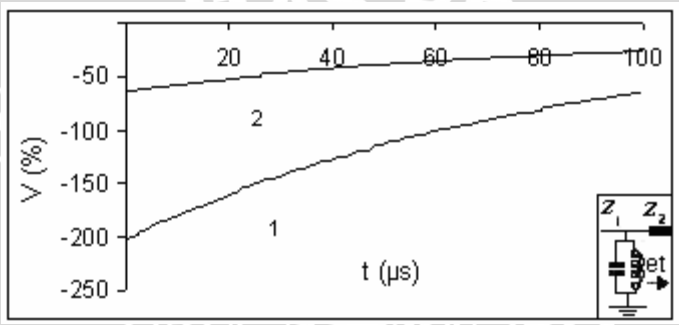
C (μF)	L (mH)	k_1	k_2 (10^6)	k_5	k_6
1	4,4616	4,593	21,499	67219,896	-103,517
1,5	6,6924	0,014	-0,637	96,790	-103,579
2	8,9232	0,004	-0,234	-39,751	-103,609

Sumber : Hasil Perhitungan

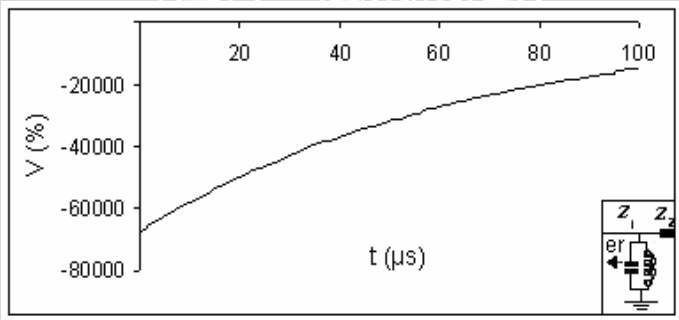


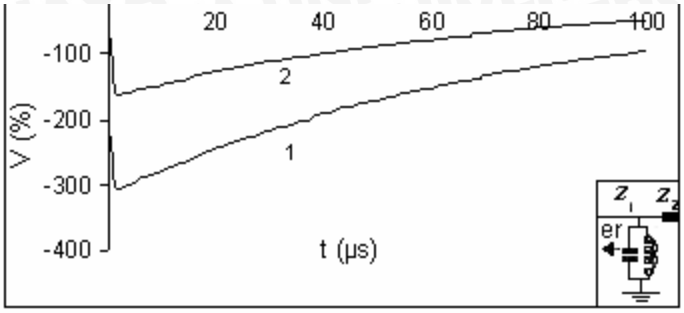
a.1)

a.2)


20
40
60
80
100
-50
-100
-150
-200
-250
V (%)
2
1
t (µs)
Z1
Z2
et

b.1)


20
40
60
80
100
-20000
-40000
-60000
-80000
V (%)
t (µs)
Z1
Z2
er


20
40
60
80
100
-100
-200
-300
-400
V (%)
2
1
t (µs)
Z1
Z2
er

b.2)

Gambar 4.44. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a.1) gelombang terusan (e_t) untuk L=1 mH dan C=2µF

a.2) gelombang terusan (e_t) untuk 1) L=2 mH dan C=1,5µF 2) L=4 mH dan C=1µF

b.1) gelombang pantul (e_r) untuk L=1 mH dan C=2µF

b.2) gelombang pantul (e_r) untuk 1) L=2 mH dan C=1,5µF 2) L=4 mH dan C=1µF

Penambahan nilai C menyebabkan amplitudo gelombang terusan dan gelombang pantul yang semakin kecil. Amplitudo gelombang terusan untuk C=1µF, C=1,5µF, C=2µF berturut-turut adalah -67328,006%, -200,382% dan -63,862%. Sedangkan amplitudo gelombang pantul untuk nilai C=1µF, C=1,5µF, C=2µF berturut-turut adalah -67328,006%, -295,945% dan -161,066%.

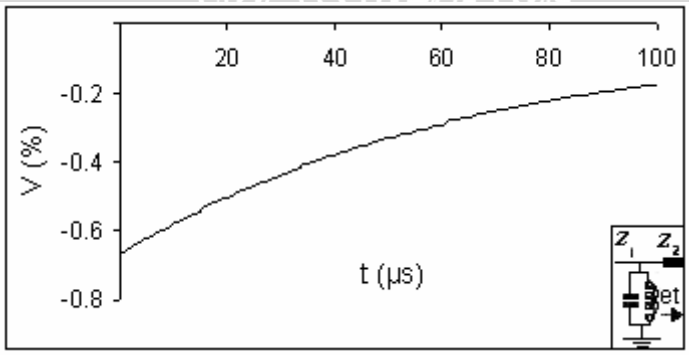
4.5.2.2.3 Nilai induktansi dan kapasitansi yang digunakan pada nilai a=ß

Nilai L dan C yang digunakan untuk sisipan kombinasi paralel secara paralel pada kondisi a=ß adalah sebagai berikut

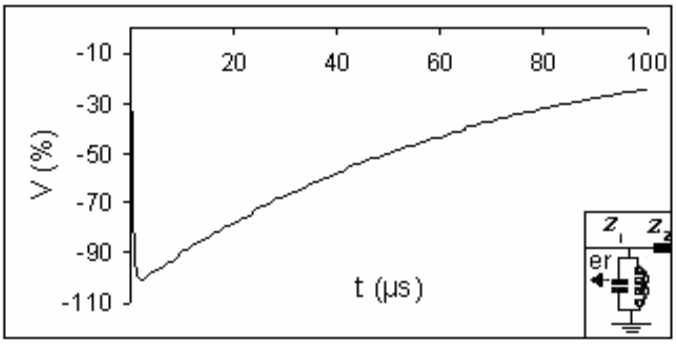
L= 212,5303 mH C =47,6355 µF

X_L= 66,795104 O X_C=66,795257 O Z_P=-j29117663,76O

a)



b)



Gambar 4.45. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=212,5303 mH Dan C =47,6355 µF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka terjadi peredaman gelombang untuk gelombang terusan. Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar -0,668%. Hal ini berarti hampir seluruh gelombang yang datang akan dipantulkan.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya penurunan pada daya reaktif beban dan berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian LC paralel (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_S = \frac{V_S{}^2}{X_p} = \frac{\left(20x10^3/\sqrt{3}\right)^2}{29117663{,}76} = -4{,}579 \text{ var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan (I_S) adalah sebesar

$$I_S = \frac{V_S}{|X_P|} = \frac{\left(20x10^3/\sqrt{3}\right)}{29117663{,}76} = 0{,}3965 \text{ mA}$$

Penyisipan ini berkurangnya daya reaktif sebesar 4,579 var dan berkurangnya arus beban sebesar 0,3965 mA.

4.5.2.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-42.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-42.b).

4.5.2.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ? seperti dinyatakan pada Persamaan (2-42). Dengan mensubtitusikan impedansi surja z_1 dan z_2 didapatkan

$$g = -\frac{0,015}{C}$$

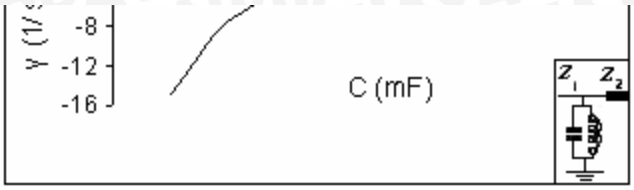
$$w = \frac{1}{C}\left(\sqrt{\frac{C}{L} - 2,24x10^{-4}}\right)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa nilai ? hanya dipengaruhi oleh nilai C sedangkan nilai ? dipengaruhi oleh kedua nilai L dan C.

4.5.2.3.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap ? Dan ?

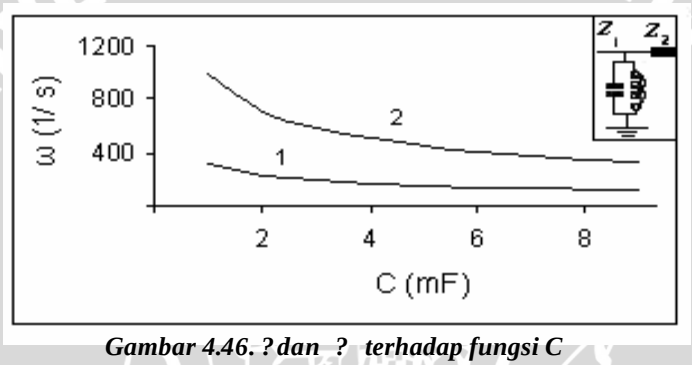
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? dapat dilihat pada Gambar 4.46. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai ? dan ? yang semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai ? akan mengakibatkan ekor gelombang semakin landai. Sedangkan dengan berkurangnya nilai ? akan mengakibatkan semakin bertambahnya osilasi gelombang. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? terjadi pada

0 < C < 2 mF



a)

b)



Gambar 4.46. ? dan ? terhadap fungsi C

a) ?

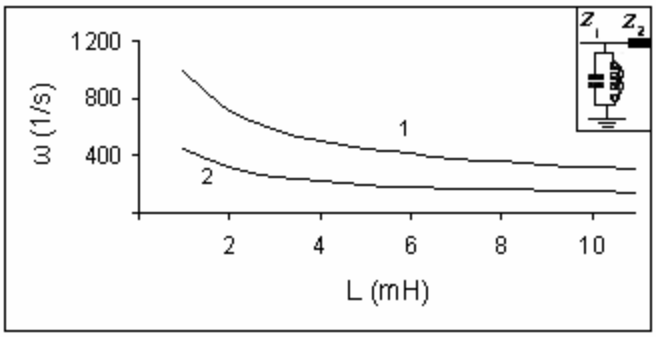
b) ?

(1) L= 1 mH (2) L= 50 mH

4.5.2.3.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap ?

Nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dapat dilihat pada Gambar 4.47. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai ? yang semakin kecil. Nilai ? yang semakin kecil menyebabkan osilasi semakin bertambah. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? terjadi pada

$0 < L < 2$ mH



Gambar 4.47 ? fungsi L
1) C=1 µF 2) C=5µF

4.5.2.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? selanjutnya dilakukan analisis perubahan bentuk gelombang pada nilai-nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada tabel 4.23 berikut

Tabel 4.23 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

C (mF)	L (mH)	C/L (mH/mF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_C (O)	X_P (O)
1	2	0,5	0.3143	1,5909	0,3917
1,5	1,5	1	0,4714	2,1212	0,6061
2	1	2	1,25714	3,1818	2,0783

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.39) yaitu

$$e_t(t) = k_1 Cos(wt)e^{gt} + k_2 \sin(wt)e^{gt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-40) yaitu

$$e_r(t) = k_1 Cos(wt)e^{gt} + k_2 \sin(wt)e^{gt} - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.24. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-39) dan (2-40) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.48.

Tabel 4.24.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/mF)	k_1	k_2 (10^{-5})	k_3	k_4 (10^{-5})	? (1/s)	? (1/s)
0,5	0,030	10,345	0,0306	-1,206	-14,971	313,928
1	0,0203	3,3496	0,0204	-1,206	-9,981	666,592
2	0,01522	3,451	0,0153	-1,2064	-7,4856	499,944

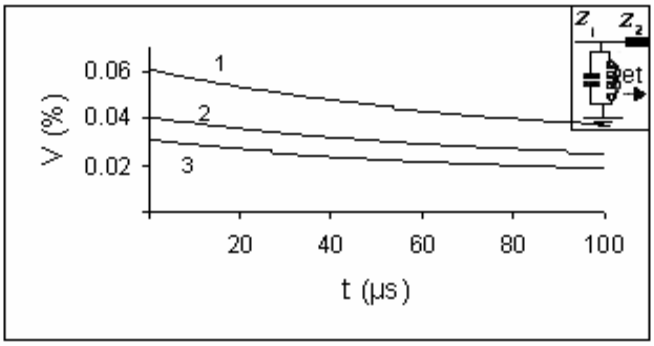
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.24.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

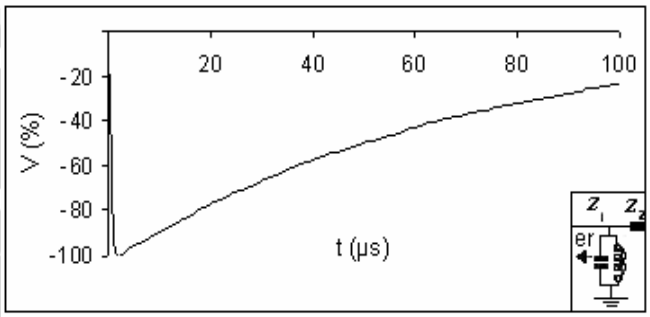
L/C (mH/mF)	k_1	k_2 (10^{-5})	k_5	k_6
0,5	0,030	10,345	-103,669	-103,7001
1	0,0203	3,3496	-103,679	-103,700
2	0,01522	3,451	-103,685	-103,700

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.48. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1mH C=2mF 2) L=1,5mH C=1,5mF 3) L=2mH C=1mF

Nilai L/C yang semakin besar akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan yang semakin kecil. Untuk nilai L=1mH dan C=2mF amplitudo gelombang sebesar 0,061 %. Untuk nilai L=1,5mH dan C=1,5mF amplitudo gelombang sebesar 0,041 %. Untuk nilai L=2mH dan C=1mF amplitudo gelombang sebesar 0,031 %.

Pada gelombang pantul untuk nilai L=1mH dan C=2mF, L=1,5mH dan C=1,5mF dan L=2mH dan C=1µF, menghasilkan gelombang pantul yang hampir sama untuk ketiganya. Pada gelombang pantul untuk nilai L=1mH dan C=2mF amplitudo gelombang

sebesar -99,925 %. Untuk nilai L=1,5mH dan C=1,5mF amplitudo gelombang sebesar -99,945 %. Sedangkan untuk nilai L=2mH dan C=1mF amplitudo gelombang sebesar -99,955%.

4.5.2.3.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Imajiner

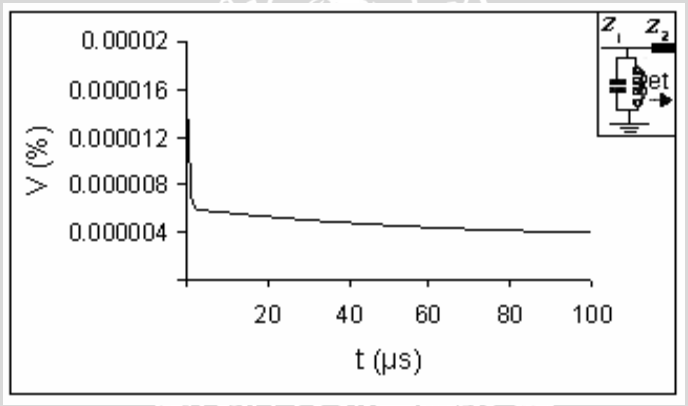
Berdasarkan analisis pengaruh nilai L dan C di atas terhadap peredaman gelombang surja dipilih nilai

L= 1,012396695 µH C=10 F

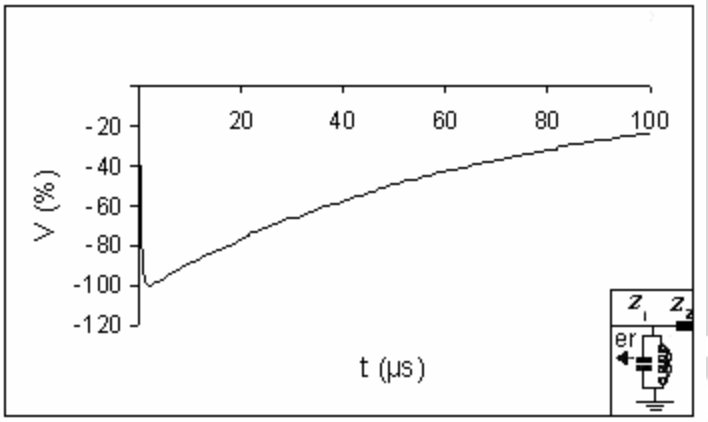
Z_P =- j410.287,081O

Gambar gelombang terusan dan pantul yang diakibatkan oleh nilai L dan C di atas ditunjukkan pada Gambar 4.49 berikut

a)



b)



Gambar 4.49. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=1,012396695 µH dan C=10 F

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka amplitudo gelombang yang diteruskan teredam hingga mencapai 18,168 µ%. Hal ini berarti hampir seluruh gelombang yang datang akan dipantulkan.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya penurunan pada daya reaktif beban dan adanya arus yang mengalir melalui saluran kabel. Dengan asumsi bahwa tegangan pada kombinasi (V_S) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian LC pararel (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_S = \frac{V_S^{\,2}}{X_p} = \frac{\left(20.10^{-3}/\sqrt{3}\right)}{-410287{,}081} = -324{,}976 \text{ var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan (I_S) adalah sebesar

$$I_S = \frac{V_S}{|Z_P|} = \frac{\left(20.10^{-3}/\sqrt{3}\right)}{410287{,}081} = 28{,}144 \text{ mA}$$

Penyisipan ini mengakibatkan penurunan dari daya reaktif sistem sebesar 324,976 var dan arus beban akan berkurang sebesar 28,144 mA. Jadi penyisipan ini aman terhadap sistem.

4.6 Pengaruh Penyisipan Induktor Secara Paralel Dan Kapasitor Secara Seri.

Ada dua macam kombinasi rangkaian induktor seri dan kapasitor paralel yang disisipkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.7, yaitu yang pertama induktor secara seri yang dipasang di depan kapasitor secara paralel dan induktor secara seri yang disisipkan di belakang kapasitor secara paralel.

4.6.1 Sisipan Rangkaian L Paralel Di Belakang C Seri

Persamaan a dan ß dinyatakan dalam Persamaan (2-70). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 didapat

$$a = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{996}\right)+\sqrt{\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{996}\right)^2 - 0{,}072289LC}\right)$$

$$b = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{L+16632C}{996}\right)-\sqrt{\left(\frac{L+16632C}{996}\right)^2-0{,}072289LC}\right)$$

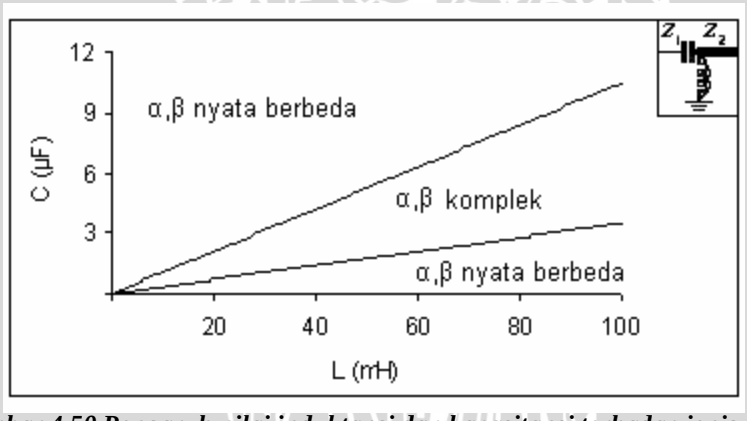
Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

$$\frac{C}{L} > 0{,}104346\frac{mF}{mH} \quad \text{atau} \quad \frac{C}{L} < 0{,}034645\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata dan berbeda)}$$

$$\frac{C}{L} = 0{,}104346\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 0{,}034645\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata sama)}$$

$$0{,}034645\frac{mF}{mH} < \frac{C}{L} < 0{,}104346\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar komplek)}$$

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 4.50.



Gambar 4.50 Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

4.6.1.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-71.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada persamaan (2-71.b).

4.6.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.39). Sedangkan nilai

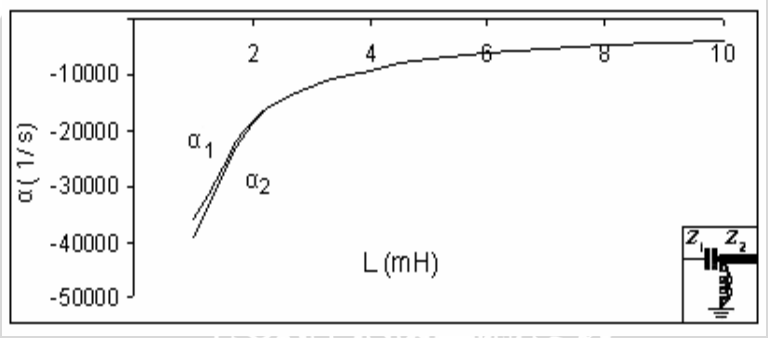
a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.34).

4.6.1.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

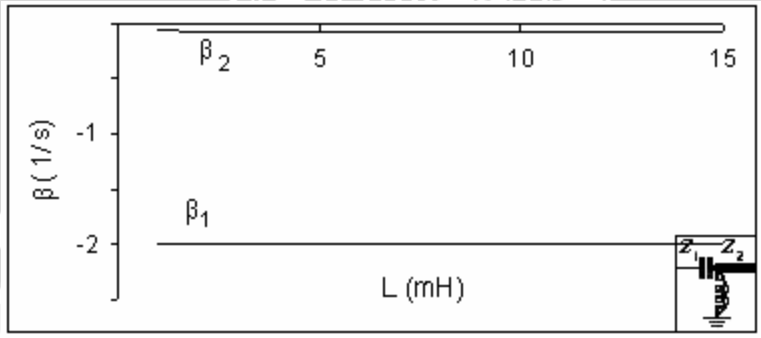
Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dilihat pada Gambar 4.51. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a dan ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai a yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai ß. Sedangkan semakin besar nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin bertambah dan ß yang semakin kecil dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH

a)



b)



Gambar 4.51. a dan ß terhadap fungsi L

a) a

b) ß

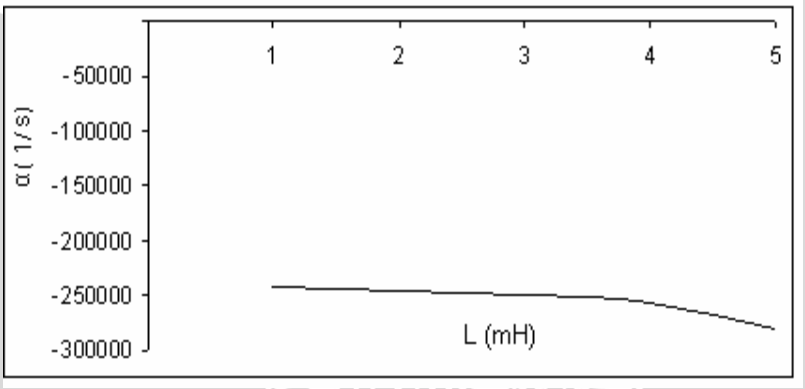
(1) C = C=1 nF (2) C=28 nF

4.6.1.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

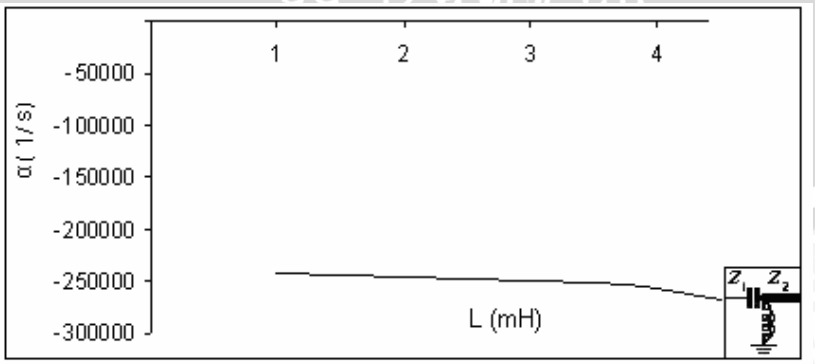
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.52. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar dan nilai ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap a. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ß terjadi pada

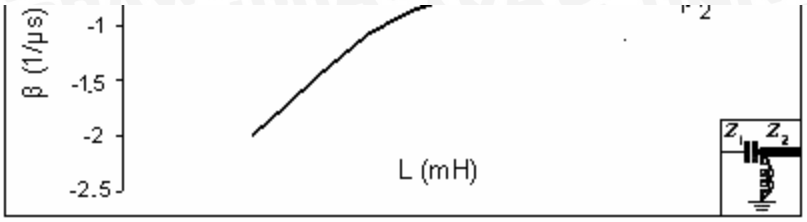
0 < C< 2 nF

a.1)



a.2)





b)

Gambar 4.52. a dan ß terhadap fungsi C

a.1) a untuk L=1 mH

a.2) a untuk L=50 mH

b) ß

(1) L= 1 mH (2) L= 50 mH

4.6.1.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut

Tabel 4.25 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

L (mH)	C (nF)	L/C (mH/nF)	f=50Hz	
			X_L (O)	X_C (MO)
1	2	0,5	0,31429	3,1818
1,5	1,5	1	0,47143	2,1212
2	1	2	0,62857	1,5909

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.71.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-71.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6 e^{bt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.26. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-39) dan (2-40) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.53.

Tabel 4.26.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/nF)	k_1	k_2	k_3	k_4	a(1/ms)	ß(1/µs)
0,5	-0,952	-26,277	0,152	25,477	-36,097	-1,001317
1	-0,706	-33,205	0,260	32,759	-24,032	-1,3369
2	-0,730	-78,632	0,482	78,384	-18,012	-2,0067

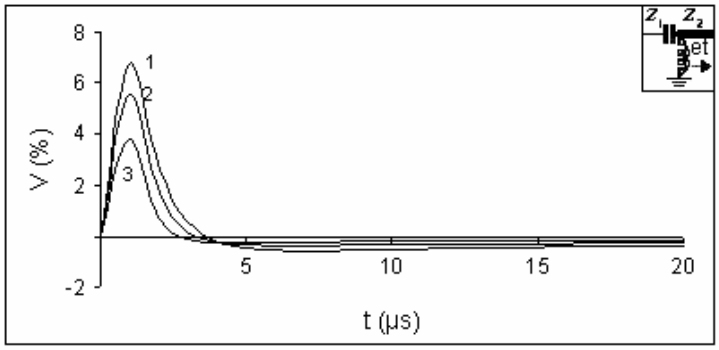
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.26.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

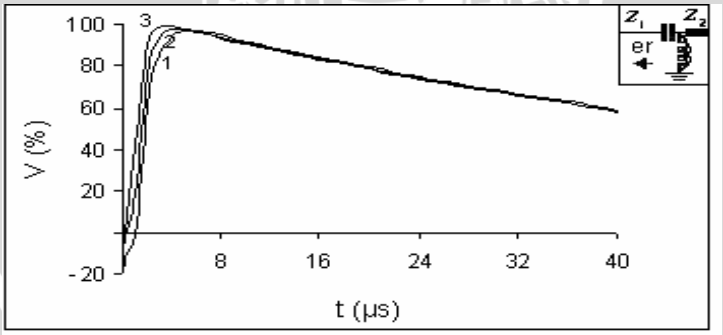
L/C (mH/nF)	k_5	k_6	k_7	k_8
0,5	0,033	325,097	96,946	-227,989
1	0,012	418,484	94,903	-320,765
2	0,006	1000,058	89,913	-909,510

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.53. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH dan C=2 nF 2) L=1,5 mH dan C=1,5 nF 3) L=2 mH dan C=1 nF

Pada gelombang terusan, dangan bertambahnya nilai L/C, maka amplitudo gelombang pada polaritas positif dan negatif akan semakin bertambah. Amplitudo gelombang terusan pada polaritas positif untuk L/C 0,5, 1 dan 2 mH/pF nilainya berturut-turut adalah 6,764%, 5,561%dan 3,801%. Untuk amplitudo pada polaritas negatif nilainya berturut-turut adalah -0,579%, -0,359% dan-0,216%.

Pada gelombang pantul, amplitudo gelombang pantul pada polaritas positif untuk pertambahan nilai L/C akan menyebabkan amplitudo pada polaritas positif dan negatif. Untuk polaritas positif nilai amplitudo berturut-turut adalah 96,784%, 97,826% dan 98,6597%Sedangkan untuk amplitudo pada polaritas negatif dengan bertambahnya nilai L/C maka nilai amplitudo pada polaritas negatif berturut-turut adalah – 12,585%, -7,880% dan –9,617%.

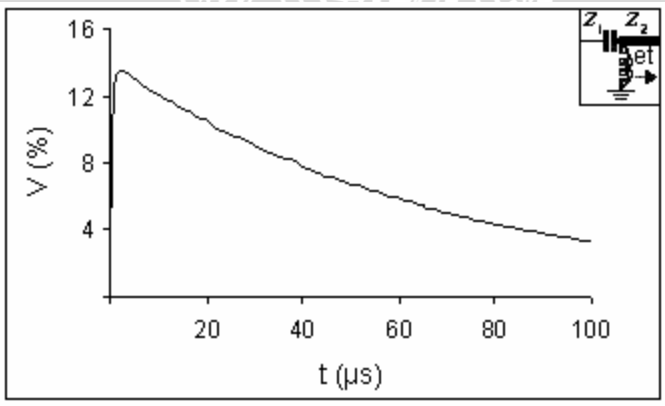
4.6.1.1.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Nilai L dan C yang mungkin digunakan untuk kondisi ini adalah sebagai berikut

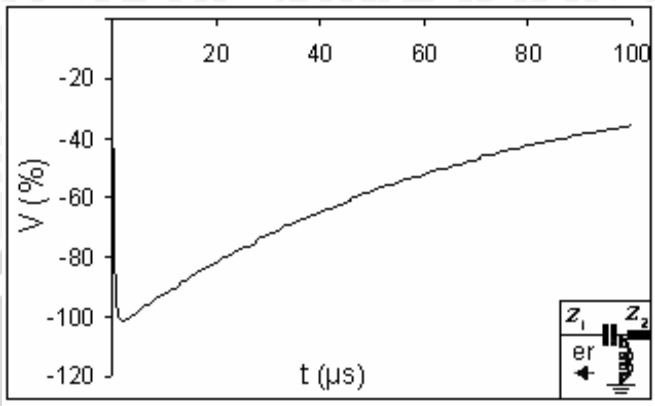
L = 100 H C = 1 F

X_L = 31428,571 O X_C = 0,00318 O

a)



b)



Gambar 4.54. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=100 H dan C=1 F

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Adanya penyisipan menyebabkan amplitudo gelombang terusan sebesar 14,433%. Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya perubahan pada daya semu beban ,berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel dan adanya jatuh tegangan yang disebabkan sisipan secara seri. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian dengan induktor paralel di belakang kapasitor seri (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{X_p} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{31428{,}571} = 4{,}2242 \text{ kvar}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke L (I_S) adalah sebesar

$$I_g = \frac{V_s}{X_L} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{31428{,}571} = 0{,}3674 ampere$$

Sedangkan besarnya reaktansi yang akan menyebabkan adanya jatuh tegangan adalah sebesar

$$X_C = 0{,}00318\,\mathrm{O}$$

Jadi dengan adanya penyisipan ini menyebabkan amplitudo gelombang terusan sebesar 14,433%.Selain itu juga akan berakibat peningkatan daya reaktif beban sebesar 4,2424 kvar, berkurangnya arus saluran sebesar 0,3674 A dan adanya nilai reaktansi seri sebesar 0,318 m? .

Peredaman yang besar dapat dicapai apabila nilai induktansi kecil seperti pada nilai yang ditulis pada Tabel 4.25. Namun penyisipan pada nilai ini akan mengakibatkan adanya reaktansi pararel yang kecil sehingga akan mengakibatkan arus bocor yang besar.

4.6.1.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-71.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-71.b).

4.6.1.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-69). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh C sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

$$a = -\frac{1}{LC}\left(\frac{\mathrm{L} + 16632\mathrm{C}}{996}\right)$$

Sedangkan syarat nilai kapasitansi dan induktansi yang menyebabkan nilai a=ß adalah

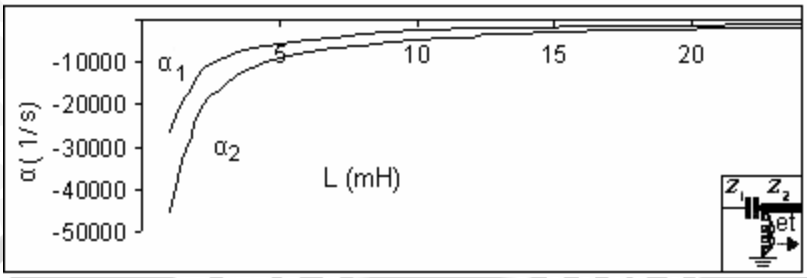
$$\frac{C}{L} = 0{,}104346\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 0{,}034645\frac{mF}{mH}$$

4.6.1.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dilihat pada Gambar 4.55. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil.. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < L < 2 mH

Sedangkan kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.27.



Gambar 4.55 a terhadap fungsi L
1. Untuk C/L=0,104346 µF/mH 2. Untuk C/L=0,034645 µF/mH

Tabel 4.27 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C_1 (µF)	C_2 (µF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_{C1} (O)	X_{C2} (O)
1	10,4346	34,644	0,3143	30493,351	91841,103
1,5	15,6519	51,967	0,4714	20328,901	61227,6736
2	20,8691	69,289	0,6286	15246,176	45920.7552

Sumber : Hasil perhitungan

Sumber : Hasil perhitungan

4.6.1.2.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui kombinasi nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a, selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai tersebut.

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi yang terdapat pada Tabel 4.27 dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

$Z_2 = 36\ \Omega$ b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.71.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-71.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} + k_6 e^{bt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

akan didapatkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.28.a untuk C/L=0,098378 µF/mH dan Tabel 4.28.b untuk nilai C/L=0,0334816 µF/mH . Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-71.a) dan (2-71.b) didapatkan grafik tegangan gelombang terusan dan gelombang pantul yang ditunjukkan pada Gambar 4.56 dan Gambar 4.57.

Tabel 4.28.a.1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=0,104346 µF/mH

L (mH)	C (µF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a (1/s)
1	10,4346	-8,3677	-0,8906	23,6831	15,1532	-26320,809
1,5	15,6519	-370,7249	-1,5978	385,932	15,0994	-17547,2057
2	20,8691	-1420,965	1,7338	1436,12	15,0726	-13160,4043

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.28.b.1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda untuk nilai C/L=0,104346 µF/mH

L (mH)	C (µF)	k_5	k_6 (10^6)	k_7	k_8
1	10,4346	-39,490	-4,277143	641,4028	300,983
1,5	15,6519	-1749,57	-7,5736	-9366,6512	299,346
2	20,8691	-6705,987	8,16388	-45190,951	298,532

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.28.a.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=0,034645 µF/mH

L (mH)	C (nF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a(1/s)
1	34,644	12,2119	-1,0085	3,3476	15,2735	-45679,1914
1,5	51,967	2,4544	-0,8803	12,9126	15,1787	-30452,7943
2	69,289	-32,853	-0,9559	48,1251233	15,1318	-22839,595

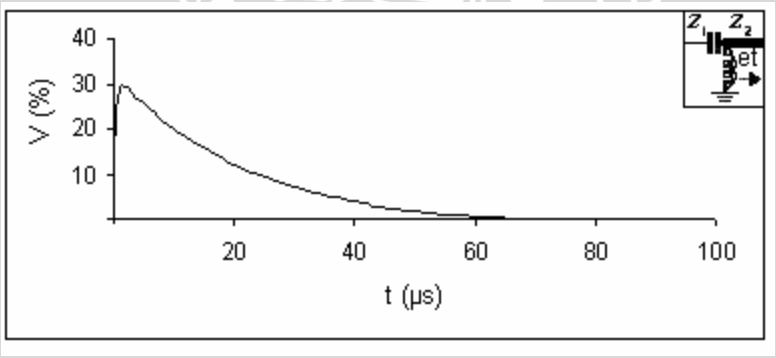
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.28.b.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda untuk nilai C/L=0,034645 µF/mH

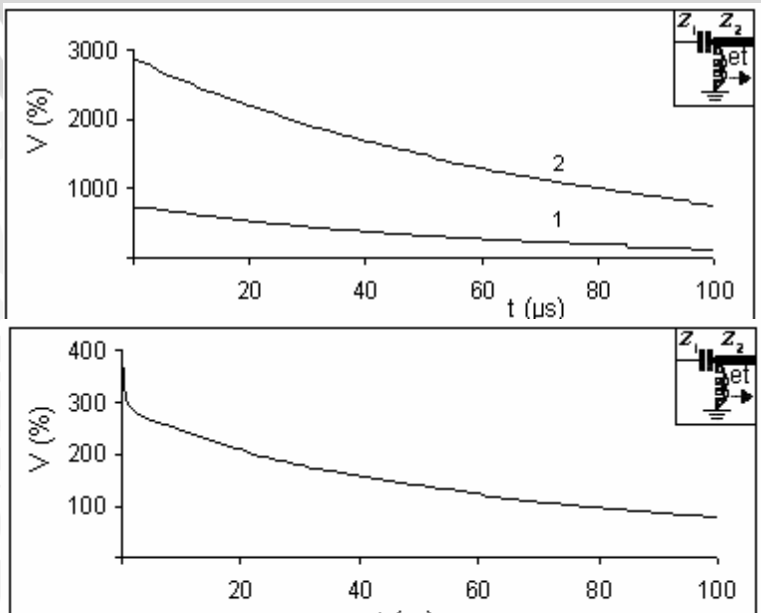
L (mH)	C (µF)	k_5	k_6 (10^6)	k_7	k_8
1	34,644	-33,2081	26,1266	252,168	302,548
1,5	51,967	-6,674	2,337	540,736	300,375
2	69,289	89,3376	2,5674	1479,719	299,298

Sumber : Hasil perhitungan

a.1.1)

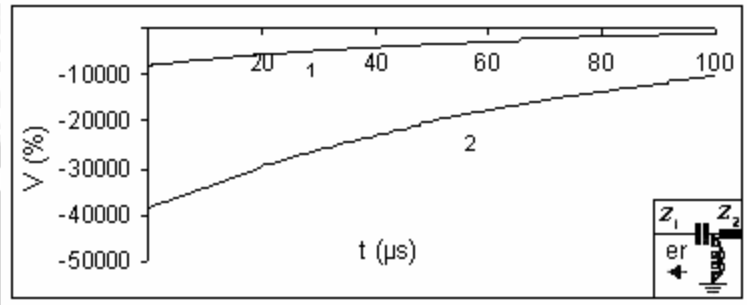


a.1.2)



b.1.1)

b.1.2)

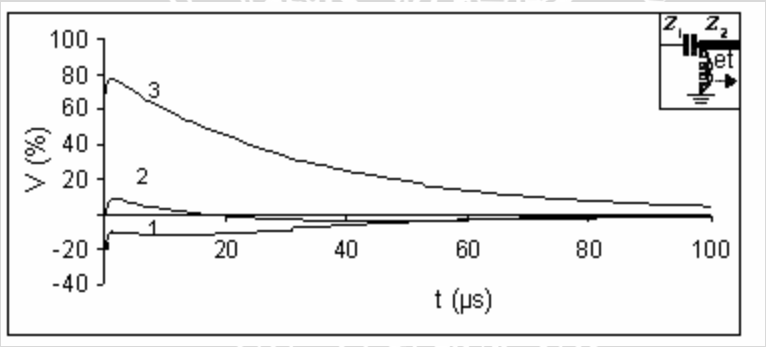


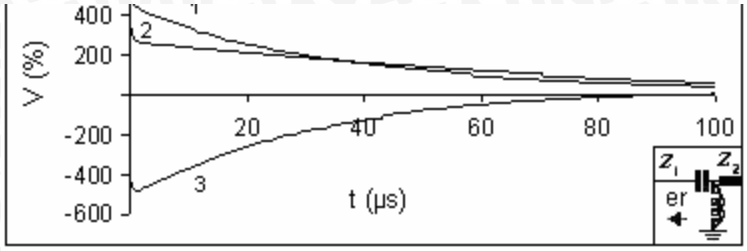
Gambar 4.56. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi untuk C/L=10,4346 µF/mH.

a.1.1) gelombang terusan (e_t) dengan L=1 mH

a.1.2) gelombang terusan (e_t) dengan 1) L=1,5 mH 2) L=2 mH
b.1.1) gelombang pantul (e_r) dengan L=1 mH
b.1.2) gelombang pantul (e_r) dengan 1) L=1,5 mH 2) L=2 mH

a.1)





b.1)

Gambar 4.57. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi untuk C/L=0,034645 µF/mH.

a.1) gelombang terusan (e_t)

b.1) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5mH 3) L=2 mH

Untuk C/L=0,104346 µF/mH, penambahan nilai L akan menyebabkan amplitudo gelombang terusan dan gelombang pantul semakin bertambah. Amplitudo gelombang terusan untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2mH berturut-turut adalah 30,605%, 850,074% dan 2045,084%. Sedangkan pada gelombang pantul nilainya berturut-turut adalah 340,953%, 10028,29% dan 30267,124%.

Untuk C/L=0,034645 µF/mH amplitudo gelombang terusan untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2 mH berturut-turut adalah -21,797%, 11,343% dan 92,155%. Sedangkan untuk gelombang pantul nilainya beturut-turut adalah 534,248%, 319,121% dan -733,307%.

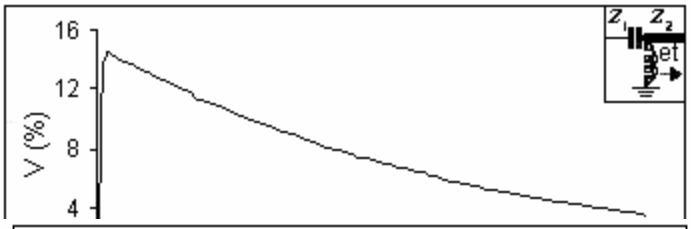
4.6.1.2.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai a=ß

Nilai L dan C yang digunakan untuk sisipan kombinasi induktor paralel di belakang kapasitor seri pada kondisi a=ß adalah sebagai berikut

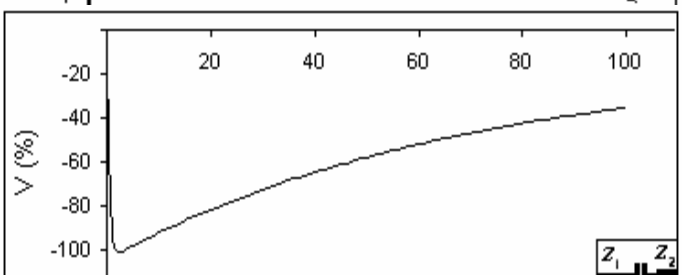
L = 100 H C =1,043457 mF

X_L= 31.428,571 O X_C=3,0493 O

a)



b)



Gambar 4.58. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan
untuk nilai L=100 H dan C=1,04346 mF

a) ***gelombang terusan (e_t)***

b) ***gelombang pantul (e_r)***

Dengan adanya penyisipan tersebut maka amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar 14,149%. Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya perubahan pada daya reaktif beban ,berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel dan adanya jatuh tegangan yang disebabkan sisipan secara seri. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{X_L} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{31.428{,}571} = 4{,}242\,\text{kvar}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan paralel (I_S) adalah sebesar

$$I_g = \frac{V_s}{X_L} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{31.428{,}571} = 0{,}367\ \text{A}$$

Sedangkan besarnya reaktansi seri dalam hal ini rektansi yang diakibatkan oleh kapasitor adalah sebesar

$$X_C = 3{,}0493\Omega$$

Jadi dengan adanya penyisipan maka akan mengakibatkan amplitudo gelombang surja turun hingga mencapai 14,149%. Sedangkan dampak yang timbul pada sistem adalah akan berakibat daya reaktif pada sistem naik sebesar 4,242 kvar, berkurangnya arus sebesar 0,367 A dan adanya reaktansi seri sebesar 32,343 ? .

Peredaman yang maksimum dapat dicapai ketika nilai L yang disisipkan kecil yakni mulai 1 µH yang akan menghasilkan amplitudo gelombang terusan sebesar 1,331 %. Tetapi penyisipan ini menyebabkan adanya reaktansi paralel yang kecil sehingga tidak dapat digunakan pada sistem.

4.6.1.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-42.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-42.b).

4.6.1.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ? seperti dinyatakan pada Persamaan (2-74). Dengan mensubtitusikan impedansi surja z_1 dan z_2 didapatkan

$$g = -\frac{1}{LC}\left(\frac{L + 17424C}{1040}\right)$$

$$w = \frac{1}{LC}\sqrt{\left(\frac{L + 17424C}{1040}\right)^2 - 0{,}069LC}$$

4.6.1.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Sebagaimana dinyatakan pada sub bab 4.2.1 syarat untuk akar imajiner adalah

$$0{,}034645\frac{mF}{mH} < \frac{C}{L} < 0{,}104346\frac{mF}{mH}$$

sehingga dipilih nilai L dan C yang memenuhi syarat di atas. Nilai L dan C tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.29 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan *untuk akar imajiner*

L	C	L/C	f=50Hz	
(mH)	(µF)	(mH/µF)	X_L (O)	X_C (O)
1	0,1	10	0,62857	31818,182
1,5	0,075	20	0,94286	42424,242
2	0,07	28,571	1,25714	45454,545

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.73.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) - k_3 e^{-at} + k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-73.b) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{gt} Cos(wt) + k_6 e^{gt} Sin(wt) - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-73) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.59.

Tabel 4.30.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/µF)	k_1 (10^5)	k_2	k_3	k_4	? (1/s)	? (1/s)
10	-8,363	-9,127	23,410	0,016	-25953,757	881,068
20	-7,692	-11,044	25,302	0,002	-23725,112	6046,686
28,571	-9,196	-41,552	55,789	0,014	-21922,653	1045,387

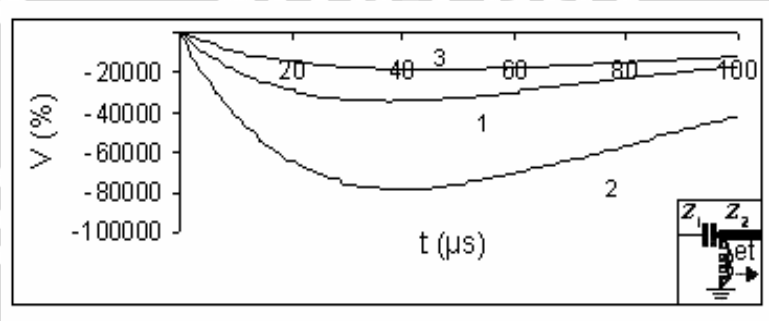
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.30.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

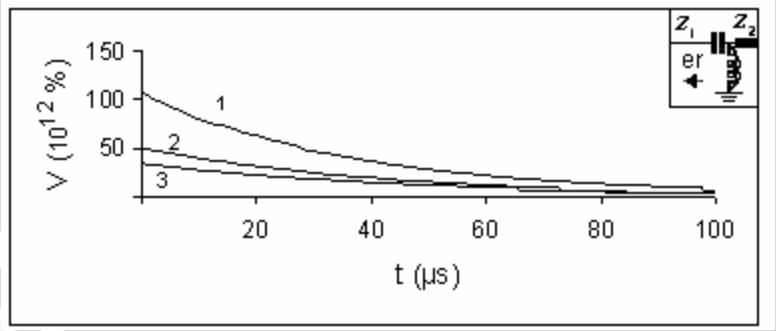
LC (mH/μF)	k_5 (10^6)	k_6 (10^7)	k_7	k_8
10	11,035	1,561	-164,764	103,477
20	7,786	1,119	-206,363	103,668
28,571	12,233	1,018	-601,924	103,512

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.59. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH C=0,1 µF 2) L=1,5 mH C=0,075 µF 3) L=2 mH C=0,07 µF

Pada gelombang terusan penambahan nilai L/C dari nilai 10 mH/µF ke nilai 20 mH/µF akan menyebabkan amplitudo gelombang terusan mengalami kenaikan dari nilai $3{,}3917.10^4$% menjadi $7{,}8232.10^4$% .Dan ketika nilai L/C 28,715 mH/µF nilai amplitudo gelombang akan turun kembali menjadi sebesar $1{,}8322.10^4$%. Sedangkan untuk gelombang pantul dengan bertambahnya nilai L/C maka amplitudo gelombang pantul menjadi semakin kecil. Nilai amplitudo gelombang terusan untuk nilai L/C 10, 20 dan 28,715 mH/µF berturut-turut adalah $106{,}243.10^{12}$% $51{,}077.10^{12}$% dan $33{,}779.10^{12}$%.

4.6.1.3.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Imajiner

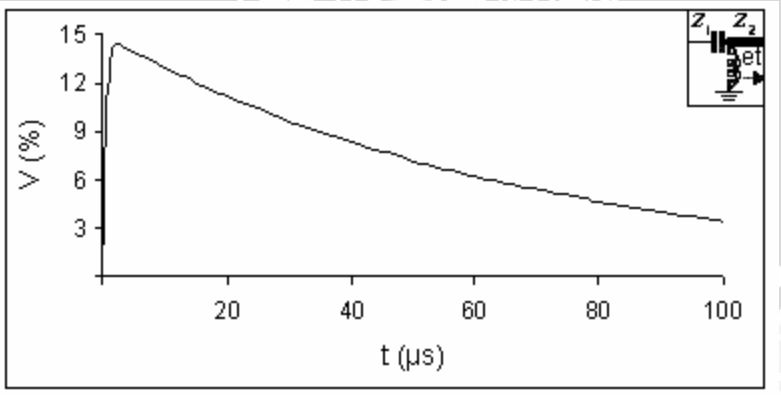
Nilai L dan C yang dipilih adalah sebagai berikut

L = 10 H C = 0,6 mF

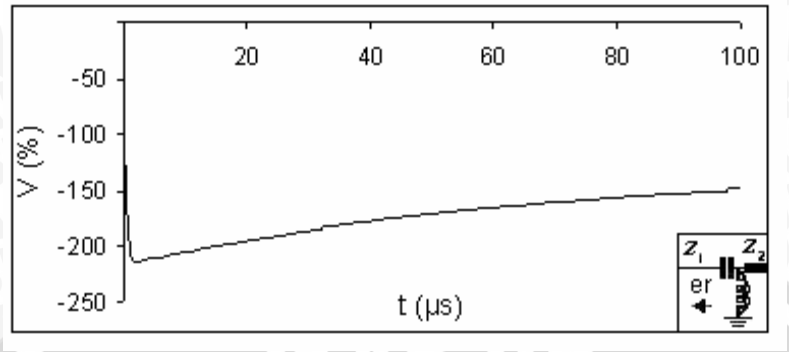
X_L= 3142,8571 O X_C = 5,303 O

Gambar gelombang terusan dan pantul yang diakibatkan oleh nilai L dan C di atas ditunjukkan pada Gambar 4.60 berikut

a)



b)



Gambar 4.60. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=10 H dan C=0,6 mF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar 14,448%. Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya perubahan pada daya reaktif beban ,berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel dan adanya jatuh tegangan yang disebabkan sisipan secara seri. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada L paralel (Q_s) adalah

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{X_L} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{3.142{,}86} = 42{,}424 \text{ kvar}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan paralel (I_S) adalah sebesar

$$I_g = \frac{V_s}{X_L} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{3.142{,}86} = 3{,}674 \text{ A}$$

Sedangkan besarnya reaktansi seri dalam hal ini rektansi yang diakibatkan oleh kapasitor adalah sebesar

$$X_C = 5{,}303\Omega$$

Penyisipan pada nilai yang lain dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.31 Penyisipan induktor secara pararel di belakang kapasitor secara seri untuk nilai L dan C tertentu Pada kondisi a dan ß bilangan komplek

L (mH)	C (F)	X_L (?)	X_C (?)	Amplitudo gelombang terusan (%)
1.10^3	0,1	314.285,714	0,032	428,866
1	1.10^{-7}	314,286	31818,182	15,312
100	10.10^{-6}	31,429	31,818	14,727

Sumber : Penulis

Pada tabel dapat dilihat bahwa untuk nilai yang aman terhadap sistem dalam hal ini untuk nilai reaktansi induktansi yang merupakan reaktansi pararel yang besar dan reaktansi kapasitif yang kecil, sisipan tidak dapat meredam gelombang surja.

4.6.2 Sisipan Rangkaian L Paralel Di Depan C Seri

Persamaan a dan ß dinyatakan dalam Persamaan (2-77). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 ke dalam Persamaan (2-77) didapat

$$a = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{L+16632C}{996}\right)+\sqrt{\left(\frac{L+16632C}{996}\right)^2-0{,}9277.LC}\right)$$

$$b = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{L+16632C}{996}\right)-\sqrt{\left(\frac{L+16632C}{996}\right)^2-0{,}9277.LC}\right)$$

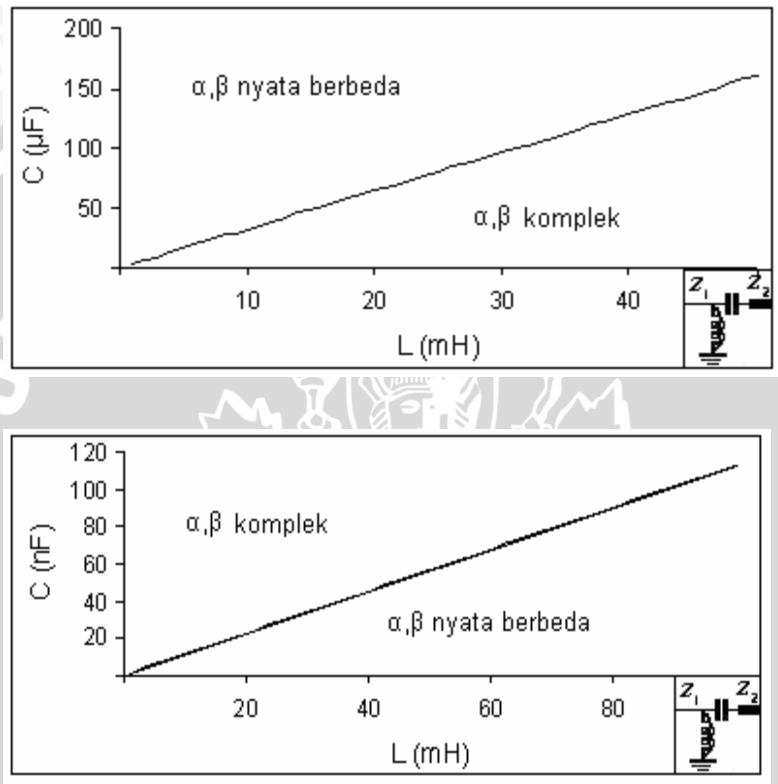
Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

$$\frac{C}{L} > 3{,}2055\frac{mF}{mH} \quad \text{atau} \quad \frac{C}{L} < 1{,}12774\frac{nF}{mH} \qquad \text{(akar nyata dan berbeda)}$$

$$\frac{C}{L} = 3{,}2055\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 1{,}12774\frac{nF}{mH} \qquad \text{(akar nyata sama)}$$

$$1{,}12774\frac{nF}{mH} < \frac{C}{L} < 3{,}2055\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar komplek)}$$

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 4.61.



Gambar 4.61. Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

4.6.2.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-78.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada persamaan (2-78.b).

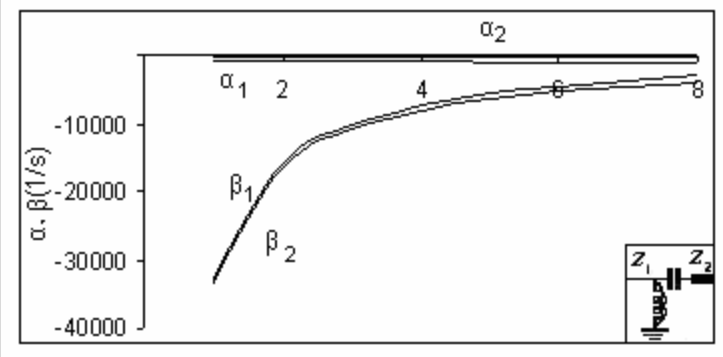
4.6.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.78). Sedangkan nilai a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.77).

4.6.2.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dilihat pada Gambar 4.62. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil dan ß yang semakin besar dengan perubahan terhadap nilai a yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai ß. Sedangkan semakin kecil nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil dan ß yang semakin besar dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < L < 2 mH

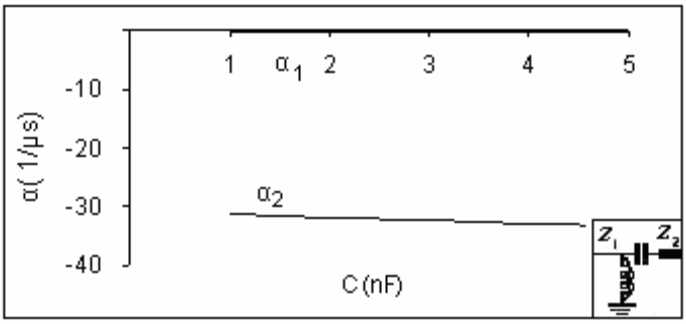


Gambar 4.62 a dan ß terhadap fungsi L
1) C=30 µF 2) 100 µF

4.6.2.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a Dan ß

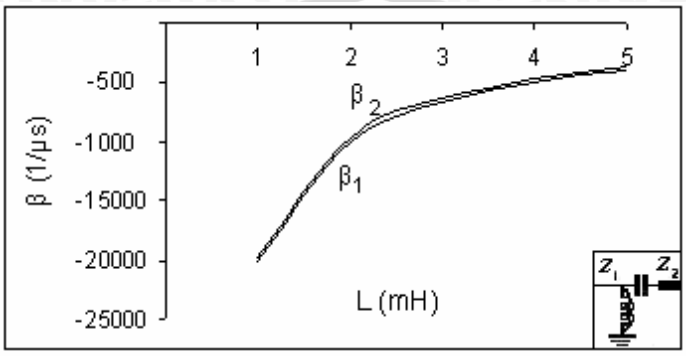
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.63. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar dan nilai ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap a. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ß terjadi pada

0 < C< 2 pF



a)

b)



Gambar 4.63. a dan ß terhadap fungsi C

a) a

b) ß

(1) L= 1 mH (2) L= 15 µH

4.6.2.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.32 berikut

Tabel 4.32 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan untuk a dan ß nyata dan berbeda

L (mH)	C (pF)	L/C (mH/pF)	f=50Hz	
			X_L (O)	X_C (MO)
1	2	0,5	0,31429	6.363,636
1.5	1,5	1	0,47143	4.242,424
2	1	2	0,62857	3.181,818

Sumber : Hasilperhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.78.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-78.b) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{at} - k_6 e^{bt} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.33. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-78) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.64.

Tabel 4.33.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/pF)	k_1	k_2	k_3 (10^{-5})	k_4	a(1/ms)	ß(1/µs)
0,5	-0,0518	0,4749	19,0325	-0,5266	-231,049	-1003,80171
1	-0,0528	0,356	10,527	-0,40864	-308,066	-1338,4023
2	-0,028	0,284	$9,487x10^{-5}$	-0,277	-242,028	-1.926,557

Sumber : Hasil perhitungan

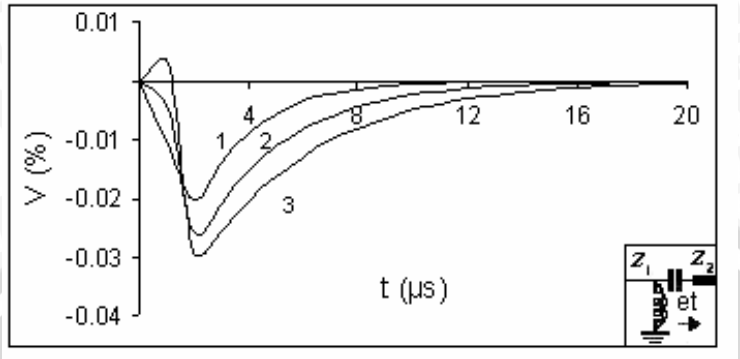
Tabel 4.33.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/pF)	k_5	k_6	k_7	k_8
0,5	0,661	-3,044	103,698	107,514
1	0,625	-4,568	103,696	108,995

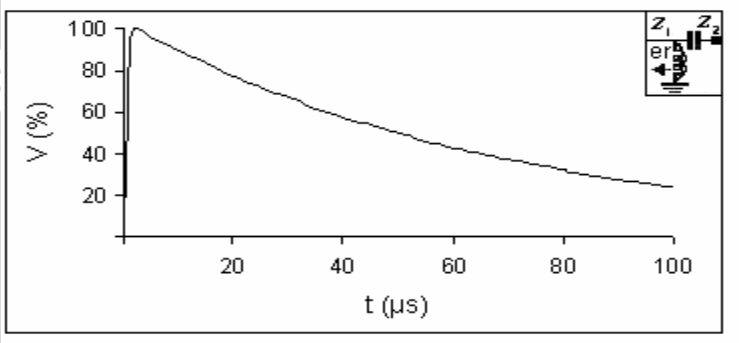
2	0,613	-6,095	103,695	110,507

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.64. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) ***L=1 mH dan C=2 pF 2) L=1,5 mH dan C=1,5 pF 3) L=2 mH dan C=1 pF***

Pada gelombang terusan dengan pertambahan nilai L/C, amplitudo gelombang terusan dan gelombang pantul akan diperbesar. Amplitudo gelombang terusan untuk LC 0,5, 1 dan 2 mH/nF nilainya berturut-turut adalah -0,0201%, -0,0256%, dan -0,02882%. Untuk gelombang pantul, amplitudo gelombang pantul untuk ketiga nilai LC di atas berturut-turut adalah 100,222%, 100,287% dan 100,3254%.

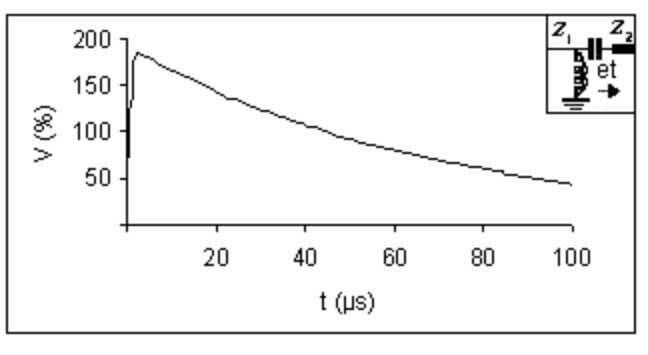
4.6.2.1.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Penyisipan dengan nilai C dalam orde nano dapat digunakan untuk meredam gelombang surja tetapi penyisipan kapasitor seri dengan nilai yang demikian akan dapat mengakibatkan reaktansi pada penyisipan seri yang besar seperti yang dinyatakan pada Tabel 4.32 sehingga jatuh tegangan yang diakibatkan oleh rektansi tersebut juga akan besar. Sedangkan pemilihan nilai C yang akan mengakibatkan reaktansi kapasitansi yang relatif kecil sehingga tidak mengganggu sistem tidak dapat digunakan untuk meredam gelombang surja seperti nilai berikut

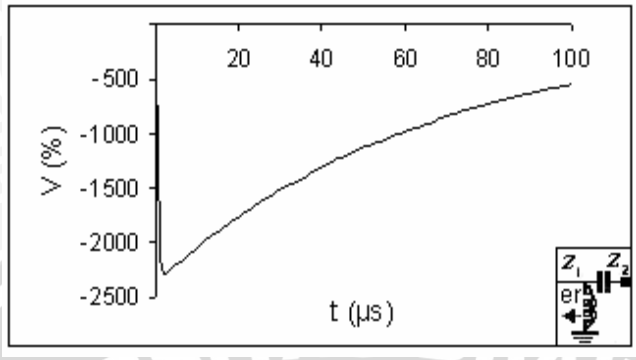
L = 10 H C = 0,1 mF

X_L = 3142,857 O X_C = 31,818 O

a)



b)



Gambar 4.65. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=10 H dan C=0,1 mF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh nilai tersebut di atas besarnya 185,508%. Jadi penyisipan dengan induktor paralel di depan kapasitor seri tidak dapat digunakan pada sistem.

4.6.2.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-79.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-79.b).

4.6.2.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-77). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh C sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

$$a = -\frac{1}{LC}\left(\frac{L + 16632C}{996}\right)$$

Sedangkan syarat nilai kapasitansi dan induktansi yang menyebabkan nilai a=ß adalah

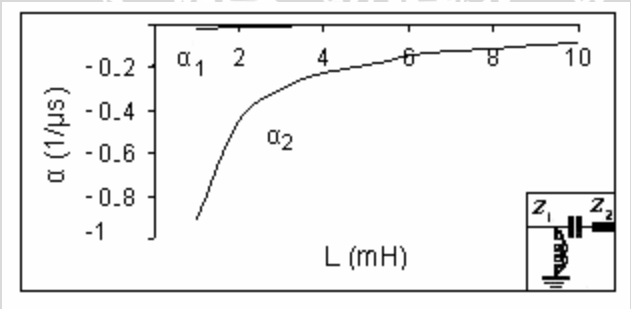
$$\frac{C}{L} = 3{,}2055\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 1{,}12774\frac{nF}{mH}$$

4.6.2.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dilihat pada Gambar 4.66. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < L < 2 mH

Sedangkan kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.34.



Gambar 4.66 a terhadap fungsi L
1. C/L=1,12774 nF/mH 2. C/L=3,2055 μF/mH

Tabel 4.34 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L	C_1	C_2	f=50Hz		
(mH)	(μF)	(μF)	X_L (O)	X_{C1} (O)	X_{C2} (O)
1	3,2055	1,1277	0,3143	992,5991	2,8214
1,5	4,8083	1,6916	0,4714	661,7327	1,8809
2	6,4111	2,2555	0,6286	496,2995	1,4107

Sumber : Hasil perhitungan

4.6.2.2.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui kombinasi nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a, selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai tersebut.

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi yang terdapat pada Tabel 4.34 dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.79.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-79.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{at} - k_6 t e^{at} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

akan didapatkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.35. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-79) didapatkan grafik tegangan gelombang terusan dan gelombang pantul yang ditunjukkan pada Gambar 4.67 untuk nilai C/L=3,20017 µF/mH dan Gambar 4.68 untuk nilai C/L=1,0303 nF/mH untuk gelombang pantul.

Tabel 4.35.a.1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=3,2055 µF/mH

L (mH)	C (µF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a (1/s)
1	3,2055	-7265,946	-23,656	7461,0143	193,7332	-17012,008
1,5	4,8083	-3563,751	7,4616	3757,9263	193,2892	-11341,339

2	6,4111	-898,5404	2,2628	1092,2713	193,0679	-8506,0038

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.35.b.1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda untuk nilai C/L=3,20017 µF/mH

L (mH)	C (µF)	k_5	k_6 (10^6)	k_7	k_8
1	3,2055	-104077,099	-339,4615	-250161,008	2625,9513
1,5	4,8083	-46454,526	100,909	-144882,77	2815,517
2	6,4111	-12870,6495	32,2599	-40548,8807	2599,3477

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.35.a.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=1,2774 nF/mH

L (mH)	C (nF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a(1/µs)
1	1,1277	476,9588	-177,377	0,05192	302,9526	-0,90699
1,5	1,6916	335,8745	-119,231	0,1188	254,2588	-0,60466
2	2,2555	287,6506	-9,017	0,2146	235,3452	-0,45349

Sumber : Hasil perhitungan

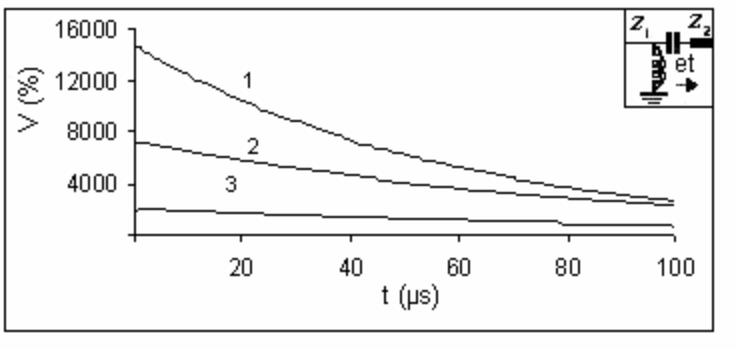
Tabel 4.35.b.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda untuk nilai C/L=1,12774 nF/mH

L (mH)	C (nF)	k_5	k_6 (10^8)	k_7	k_8
1	1,1277	-5878.0187	21,3492	106,003	4047,9017

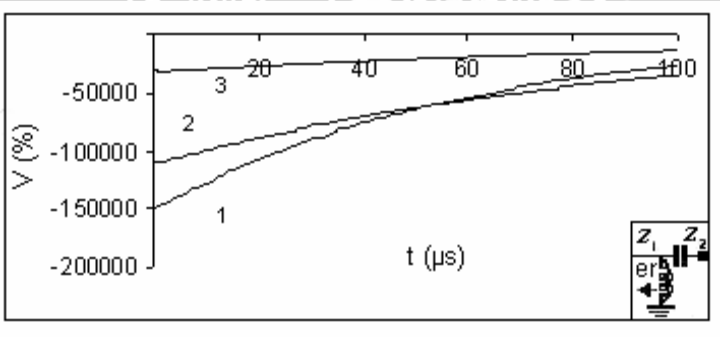
1,5	1,6916	-4139,303	14,5035	107,7195	3398,1938
2	2,2555	-3544,993	11,0133	109,838	3145,8348

Sumber : Hasil perhitungan

a.1)



b.1)



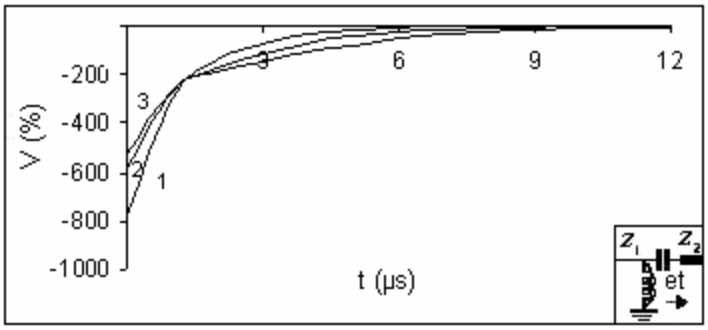
Gambar 4.67. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi untuk C/L=0,32055 µF/mH.

a.1) gelombang terusan (e_t)

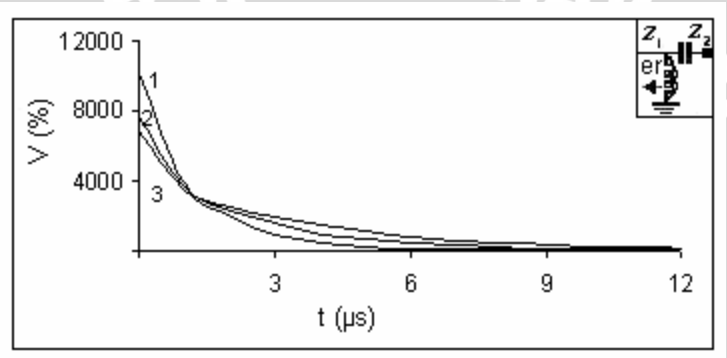
b.1) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5mH 3) L=2 mH

a.1)



b.1)



Gambar 4.68. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi untuk C/L=1,2774 nF/mH.

a.1) gelombang terusan (e_t)

b.1) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5mH 3) L=2 mH

Penambahan nilai L akan menyebabkan amplitudo gelombang terusan dan gelombang pantul yang semakin kecil. Untuk C/L=3,2055 µF/mH amplitudo gelombang terusan untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2mH berturut-turut adalah 14533,22711%, 7218,087% dan 1953,473%. Pada gelombang pantul nilainya berturut-turut adalah -148709,86%, -110217,28% dan -32149,1177%.

Untuk C/L =1,12774 nF/mH amplitudo gelombang terusan memiliki polaritas negatif sedangkan amplitudo gelombang pantul memiliki polaritas positif. Untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2 mH amplitudo gelombang terusan berturut-turut adalah -289,358%, -590,015% dan -522,781%. Sedangkan untuk gelombang pantul nilai amplitudo berturut-turut adalah berturut-turut adalah 10496,176% , 7713,9303% dan 6837,058%.

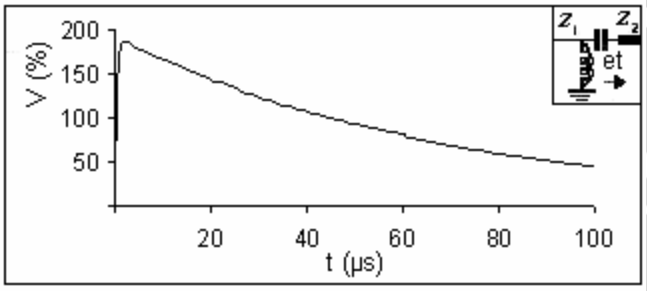
4.6.2.2.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Sistem Untuk Kondisi a=ß

Contoh salah satu nilai L dan C yang tidak mengganggu sistem adalah sebagai berikut

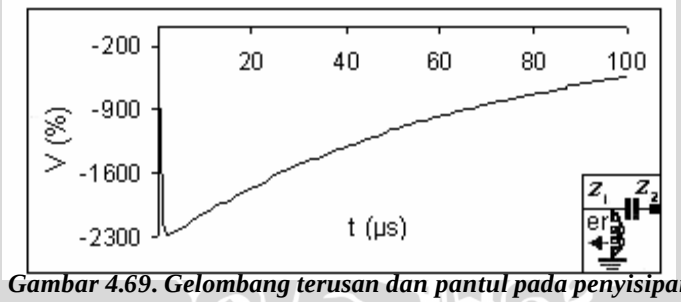
L = 10 H C =0,0321 F

X_L= 3142,857 O X_C=9,94265 µO

a)



b)



Gambar 4.69. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L = 10 H dan C =0,0321 F

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Amplitudo gelombang terusan yang disebabkan oleh penyisipan untuk nilai di atas adalah sebesar 184,106%. Sedangkan penyisipan untuk nilai L dan C yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.36 berikut.

Tabel 4.36 Penyisipan untuk nilai induktansi dan kapasitansi yang lain

L (mH)	C (µF)	X_L (?)	X_C (?)	Amplitudo gelombang terusan (%)
1	$3,2055.10^{3}$	0,3143	0,992599	184,891
10.10^{-9}	$3,2055.10^{-8}$	$3,143.10^{-9}$	$9,92599.10^{10}$	0,0281
10.10^{-3}	$1,1277.10^{-6}$	$3,144.10^{-6}$	$28214,074.10^{6}$	161,821

Sumber : Hasil perhitungan

Dapat dilihat pada tabel bahwa nilai yang dapat meredam gelombang surja tidak dapat digunakan pada sistem karena sisipan seri sebagai akibat penyisipan kapasitor bernilai besar sehingga akan mengakibatkan jatuh tegangan yang besar pada sistem jadi penyisipan pada kondisi ini tidak dapat dilakukan.

4.6.2.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-42.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-42.b).

4.5.2.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maup un bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ? seperti dinyatakan pada Persamaan (2-79). Dengan mensubtitusikan impedansi surja z_1 dan z_2 didapatkan

$$g = -\frac{1}{LC}\left(\frac{\mathrm{L} + 16632\mathrm{C}}{996}\right)$$

$$w = \frac{1}{LC}\sqrt{0{,}9227.LC - \left(\frac{\mathrm{L} + 16632\mathrm{C}}{996}\right)^2}$$

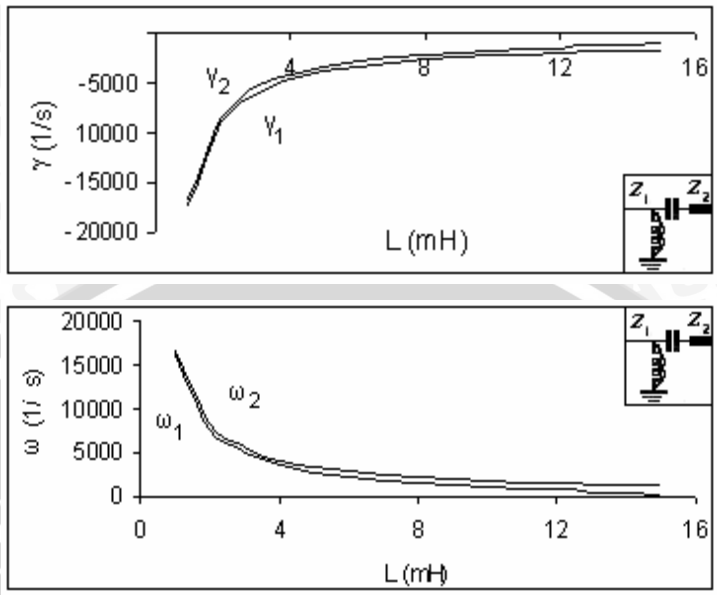
4.6.2.3.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai ? dan ?

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? dapat dilihat pada Gambar 4.70. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai ? dan ? yang semakin kecil. Sedangkan semakin besar nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai ? yang semakin besar sedangkan nilai ? relatif tidak mengalami perubahan. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < L < 2 mH

a)

b)



Gambar 4.70. ? dan ? terhadap fungsi L

a) ?

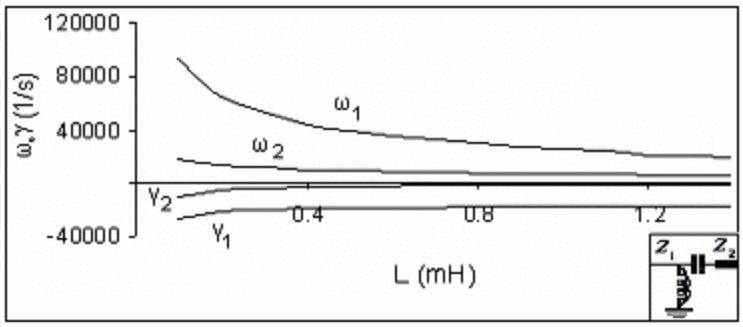
b) ?

(1) C=2 µF (2) C=10 mF

4.6.2.3.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.71. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar dan nilai ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap a dalam hal ini perubahan nilai C lebih dominan terhadap muka gelombang. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ß terjadi pada

0 < C< 0,2 µF



Gambar 4.71. ?, ? terhadap fungsi C
1. L=1 mH 2. L=20 mH

4.6.2.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.37 berikut

Tabel 4.37 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C (µF)	L/C (mH/µF)	f=50Hz	
			X_L (O)	X_C (kO)
1	0,2	5	0,3143	15,909
1,5	0,15	10	0,4714	21,212
2	0,1	20	0,6286	31,818

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 35 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.80.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 Cos(wt)e^{gt} + k_2 \sin(wt)e^{gt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-80.b) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{gt} Cos(wt) + k_6 e^{gt} Sin(wt) - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.38. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-39) dan (2-40) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.72.

Tabel 4.38.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/µF)	k_1 (10^6)	k_2	k_3	k_4	? (1/ms)	? (1/ms)
5	-67,7433	185,876	9,804	0,003	-21,718	64,551
10	-6,0085	184,240	10,8351	0,003	-17,826	61,688
20	-6,081	185,566	9,5822	0,003	-18,389	65,577

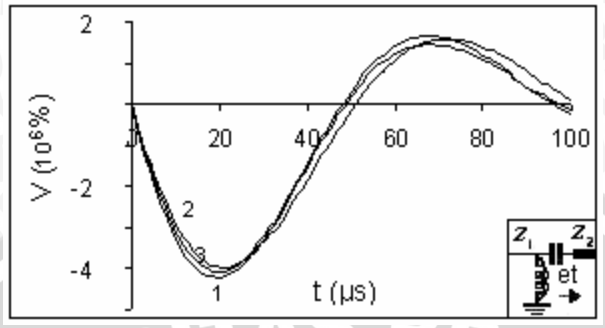
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.38.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

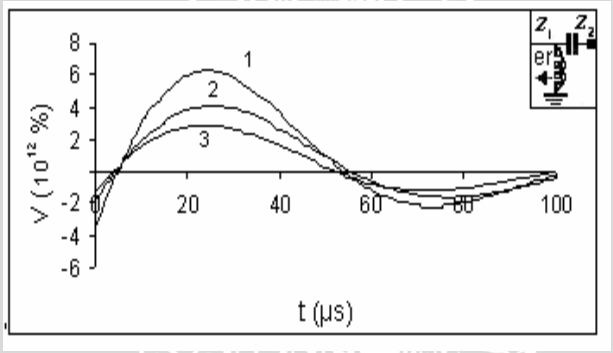
L/C (mH/µF)	k_5 (10^6)	k_6 (10^6)	k_7	k_8
5	141,6118	-18,3995	-20,5122	103,662
10	109,8417	-9,4622	-34,1673	103,660
20	101,2819	-6,5223	-18,487	103,662

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.72. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH C=0,1 µF 2) L=1,5 mH C=0,15 µF 3) L=2 mH C=0,2 µF

Nilai amplitudo gelombang terusan untuk nilai L/C 5, 10 dan 20 mH/µF berturut-turut adalah -4,221.10^6%, -3,977.10^6% dan -4,068.10^6%. Sedangkan nilai amplitudo gelombang pantul dengan bertambahnya nilai L/C maka akan menyebabkan amplitudo

gelombang pantul semakin diperkecil dengan nilai berturut-turut adalah - 6,251. 10^9 %, -4,048. 10^9% dan 2,9295.10^9%.

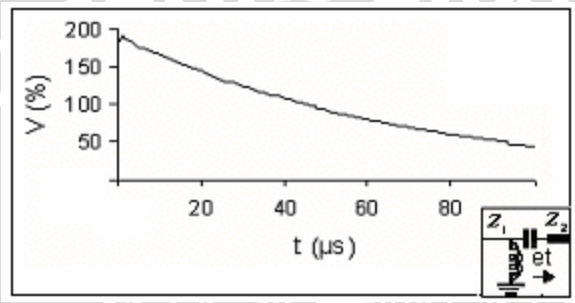
4.6.2.3.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Terbaik Yang Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Imajiner

Nilai L dan C yang digunakan untuk disisipkan ini adalah

L= 10 H C =0,3 mF

X_L= 3,142 kO X_C= 10,606 O

Gambar gelombang terusan yang diakibatkan oleh nilai L dan C di atas ditunjukkan pada Gambar 4.73 berikut



Gambar 4.73. Gelombang terusan yang diakibatkan pada penyisipan untuk nilai L=10 H dan C=0.3 µF

Dengan adanya penyisipan pada nilai yang aman untuk sistem dalam hal ini tidak menyebabkan jatuh tegangan dan arus bocor yang tidak terlalu besar, tidak dapat digunakan untuk meredam gelombang surja. Nilai dari induktansi dan kapasitansi yang beserta pengaruhnya terhadap sistem dan amplitudo gelombang dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa nilai L yang dapat digunakan untuk meredam gelombang surja hingga mencapai 0,004% dicapai ketika nilainya dalam orde mikro yakni 1µH yang mengakibatkan reaktansi pararel yang kecil yakni sebesar 3,143µ? .

Jadi penyisipan peredaman gelombang surja pada kondisi ini tidak dapat dilakukan karena nilai L dan C yang aman digunakan pada sistem tidak dapat meredam gelombang.

Tabel 4.39 Penyisipan pada kondisi nilai imajiner untuk berbagai macam nilai induktansi dan kapasitansi

L (mH)	C (µF)	X_L (?)	X_C (?)	Amplitudo gelombang terusan (%)

10.10^3	30.10^3	3.142,857	0,106	183,794
1.10^3	3.10^3	314,286	1,061	186,53
1.10^{-3}	0,003	$3,143.10^{-4}$	$1,061.10^6$	5,152

Sumber : Hasil perhitungan

4.7 Pengaruh Penyisipan Induktor Secara Seri Dan Kapasitor Secara Paralel.

Ada dua macam kombinasi rangkaian induktor seri dan kapasitor paralel yang disisipkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11, yaitu yang pertama induktor secara seri yang disisipkan di depan kapasitor secara paralel dan induktor secara seri yang disisipkan di belakang kapasitor secara paralel.

4.7.1 Sisipan Rangkaian L Seri Di Belakang C Paralel

Persamaan a dan ß dinyatakan dalam Persamaan (2-34). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 ke dalam Persamaan (2-34) didapat

$$a = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{924}\right)+\sqrt{\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{924}\right)^2-1{,}07779.LC}\right)$$

$$b = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{924}\right)+\sqrt{\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{924}\right)^2-1{,}07779.LC}\right)$$

Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

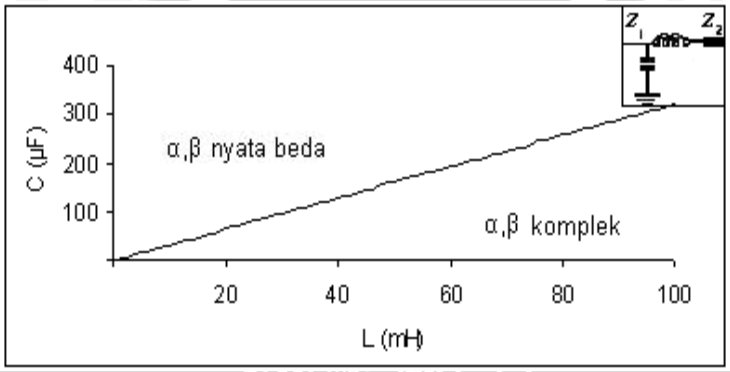
$$\frac{C}{L} > 3{,}2055\frac{mF}{mH} \quad \text{atau} \quad \frac{C}{L} < 1{,}12774\frac{nF}{mH} \qquad \text{(akar nyata dan berbeda)}$$

$$\frac{C}{L} = 3{,}2055\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 1{,}12774\frac{nF}{mH} \qquad \text{(akar nyata sama)}$$

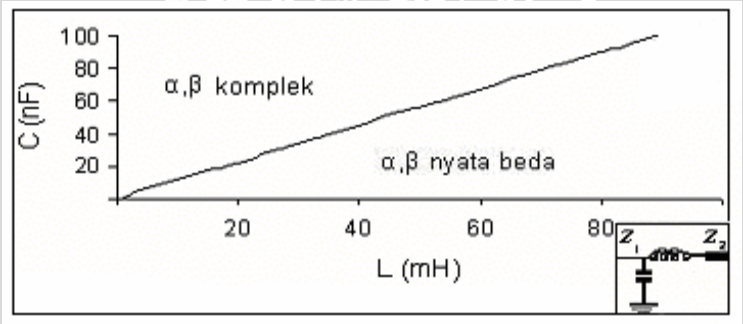
$$1{,}12774\frac{nF}{mH} < \frac{C}{L} < 3{,}2055\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar komplek)}$$

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 4.74.

a)



b)



Gambar 4.74 Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

a) untuk C/L=3,2055 µF/mH

b) untuk C/L=1,12774 nF/mH

4.7.1.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-85.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada persamaan (2-85.b).

4.7.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.85). Sedangkan nilai a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.84).

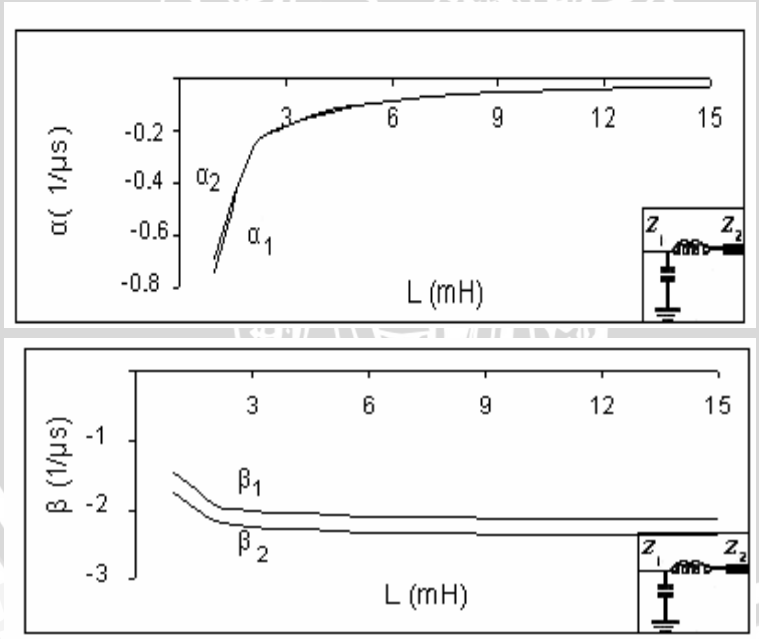
4.7.1.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dilihat pada Gambar 4.75. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil dan ß yang semakin besar dengan perubahan terhadap nilai a yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai. Sedangkan semakin kecil nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil dan ß yang semakin besar dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH

a)

b)



Gambar 4.75. a dan ß terhadap fungsi L

a) a

b) ß

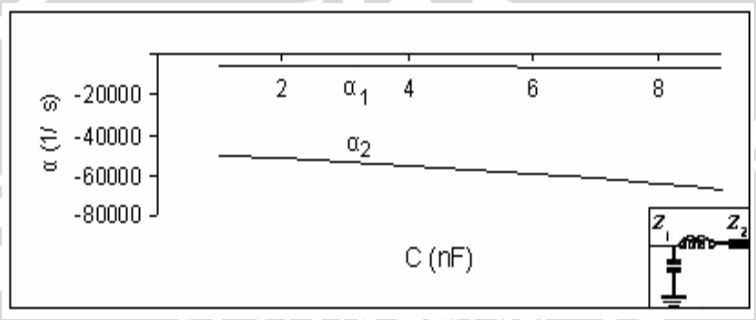
(1) C = 1 nF (2) C = 0,9 nF

4.7.1.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

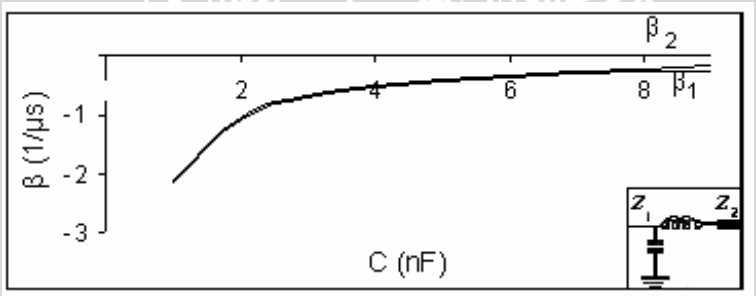
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.76. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar dan nilai ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap a. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ß terjadi pada

0 < C< 2 nF

a)



b)



Gambar 4.76. a dan ß terhadap fungsi C

a) a

b) ß

(1) L= 10 mH (2) L= 75 mH

4.7.1.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.40 berikut

Tabel 4.40 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C (nF)	L/C (mH/nF)	f=50Hz	
			X_L (O)	X_C (MO)
1	1	1	0,31429	3,1818
1,5	0,75	2	0,47143	4,2424
2	0,5	4	0,62857	6,3636

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2-85.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-85.b) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{at} - k_6 e^{bt} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.41. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-85) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.77.

Tabel 4.41.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C	k_1	k_2	k_3	k_4	a	ß

(mH/nF)					(1/ms)	(1/µs)
1	-43,439	-37,032	15,452	9,046	-736,066	-1,4644
2	-18,001	$5{,}92.10^{-6}$	15,685	-2,3158	-332,071	-1442,694
4	-17,6039	$7{,}901.\ 10^{-6}$	15,931	-1,673	-249,0531	-1082,020

Sumber : Hasil perhitungan

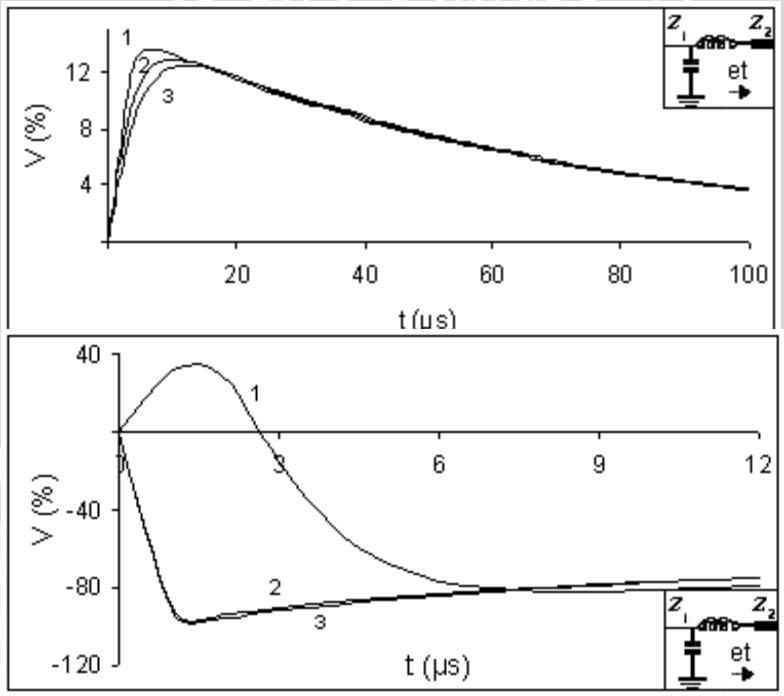
Tabel 4.41.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/nF)	k_5	k_6	k_7	k_8
0,5	330,696	1031,172	192,010	-508,466
1	18,0543	-0,3559	191,7148	210,125
2	17,6559	-0,4748	191,4695	209,600

Sumber : Hasil perhitungan

a)

b)



Gambar 4.77. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH dan C=1 nF 2) L=1,5 mH dan C=0,75 nF 3) L=2 mH dan C=0,5 nF

Pada gelombang terusan dengan pertambahan nilai L/C, amplitudo gelombang akan diperkecil. Amplitudo gelombang terusan untuk L/C 1, 2 dan 4 mH/nF nilainya berturut-turut adalah 13,622%, 12,896%, 12,476%. Untuk gelombang pantul, amplitudo gelombang pantul akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya nilai L/C dengan nilai berturut-turut adalah -81,760%, -94,027% dan -95,229%

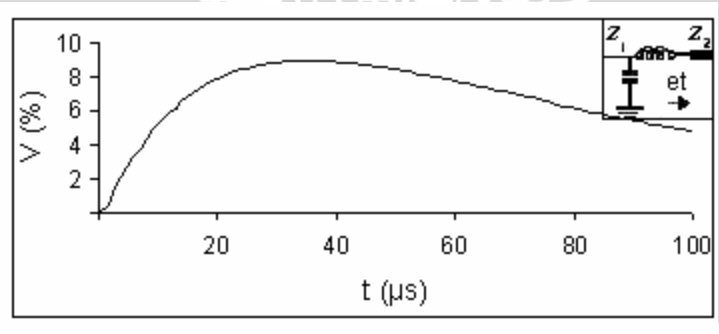
4.7.1.1.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

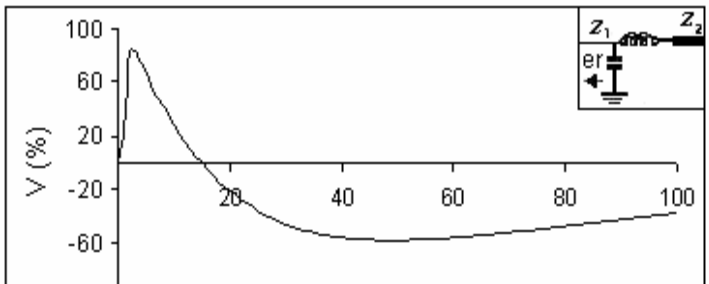
Nilai L dan C yang dipilih adalah sebagai berikut

L = 10 mH C = 1 nF

X_L = 3,14 O X_C = 3,182 MO

a)





b)

Gambar 4.78. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=10 mH dan C=1 nF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Adanya penyisipan menyebabkan amplitudo gelombang terusan sebesar 9,008 %. Jadi adanya penyisipan sangat menguntungkan terhadap peredaman gelombang surja.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya perubahan pada daya reaktif beban ,berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel dan adanya jatuh tegangan yang disebabkan sisipan secara seri. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_S) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian C pararel (Q_S) adalah sebagai berikut

$$Q_S = \frac{V_S{}^2}{X_C} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{31{,}8182\text{x}10^6} = 41{,}9105 \text{ var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke kapasitor (I_g) adalah sebesar

$$I_g = \frac{V_s}{X_c} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{31{,}8182\text{x}10^6} = 3{,}6291\text{mA}$$

Sedangkan besarnya rektansi karena sisipan seri adalah

$$X_S = 3{,}14\Omega$$

Jadi dengan adanya penyisipan ini maka akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan turun hingga mencapai nilai 9,008% . Selain itu juga akan berakibat penurunan

daya reaktif beban sebesar 4,195 var, berkurangnya arus saluran sebesar 0,36291 mA dan besarnya jatuh tegangan sebesar 3,14 V untuk tiap ampere arus saluran yang mengalir.

4.7.1.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-86.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-86.b).

4.7.1.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-86). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh C sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

$$a = -\frac{1}{LC}\left(\frac{\mathrm{L} + 16632C}{924}\right)$$

Sedangkan syarat nilai kapasitansi dan induktansi yang menyebabkan nilai a=ß adalah

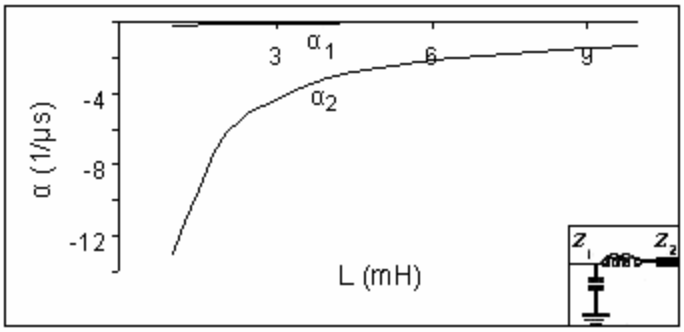
$$\frac{C}{L} = 3{,}2055\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 1{,}12774\frac{nF}{mH}$$

4.7.1.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dilihat pada Gambar 4.79. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH

Sedangkan kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.42.



Gambar 4.79 a terhadap fungsi
1. untuk C/L=3,2055 μF/mH 2. untuk C/L=1,12774 nF/mH

Tabel 4.42 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C_1 (μF)	C_2 (nF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_{C1} (O)	X_{C2} (O)
1	3,20554	1,12774	0,3143	992,5991	2,8214
1,5	4,8083	1,69161	0,4714	661,7327	1,8809
2	6,4111	2,25548	0,6286	496,2995	1,4107

Sumber : Hasil perhitungan

4.7.1.2.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui kombinasi nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a, selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai tersebut.

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi yang terdapat pada Tabel 4.4 dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.86.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1.e^{at} + k_2.t.e^{at} - k_3.e^{-at} + k_4.e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-86.b) yaitu

$$e_r(t) = k_1 e^{at} + k_2.t.e^{at} - k_5 e^{-at} + k_6 e^{-bt}$$

akan didapatkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.43. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-86.a) dan (2-86.b) didapatkan grafik tegangan gelombang terusan dan gelombang pantul yang ditunjukkan pada Gambar 4.80 untuk nilai C/L=3,2055 µF/mH dan C/L=1,12774 nF/mH.

Tabel 4.43.a.1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=3,2055 µF/ mH

L (mH)	C (µF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a (1/ms)
1	3,20017	372,3787	-1,3722	372,379	0.0008	-18,338
1,5	4,80026	378,524	0,9201	378,5242	0,0004	-12,225
2	6,40034	41,8286	0,2291	41,8288	0,0002	-9,1689

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.43.b.1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda untuk nilai C/L=3,2055 µF/ mH

L (mH)	C (µF)	k_5	k_6 (10^6)	k_7	k_8
1	3,20017	-4778,8701	16,9112	4882,6167	103,7466
1,5	4,80026	-4857,727	-11,339	4961,46	103,733
2	6,40034	-536,803	-2,8234	640,529	103,726

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.43.a.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=1,12774 nF/mH

L (mH)	C (nF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a(1/µs)
1	1,02927	9,15066	-24,3842	15,4527	6,30201	-0,9777
1,5	1,54391	13,7967	-13,4698	15,6906	1,8939	-0,6518
2	2,05834	15,0355	-9,3497	15,934	0,8985	-0,4888

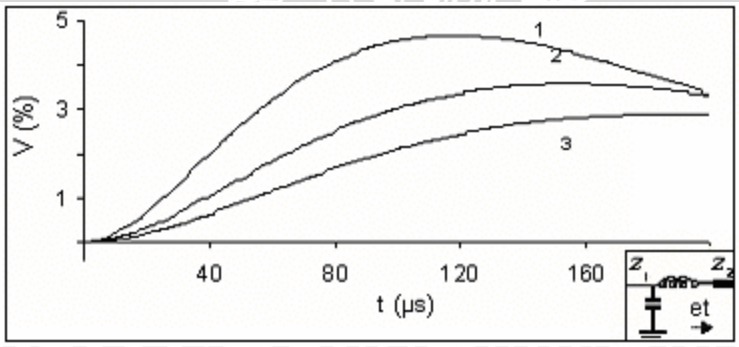
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.43.b.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda untuk nilai C/L=1,12774 mH/nF

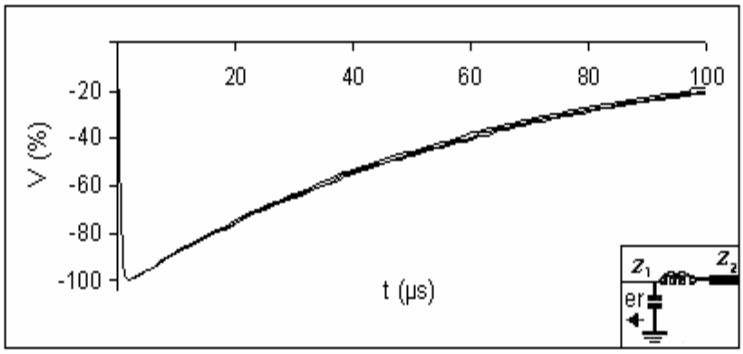
L (mH)	C (nF)	k_5	k_6 (10^6)	k_7	k_8
1	1,02927	-198,309	-349,278	656,256	457,9471
1,5	1,54391	-201,3625	-192,941	476,901	275,5389
2	2,05834	-204,4869	-133,924	420,734	216,2473

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



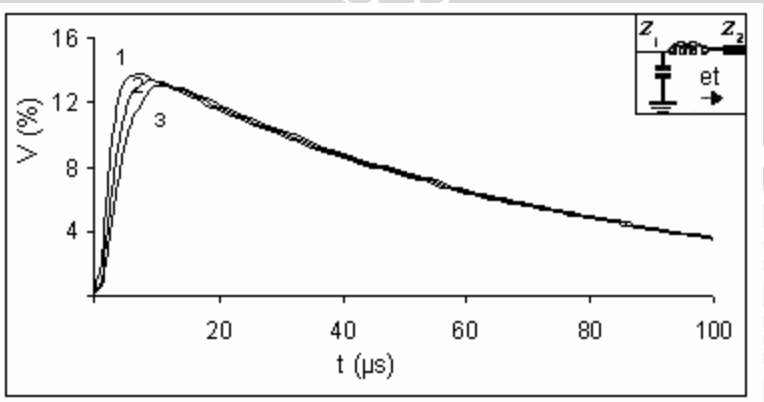
Gambar 4.80. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi Untuk C/L=3,2055 µF/ mH .

a) gelombang terusan (e_t)

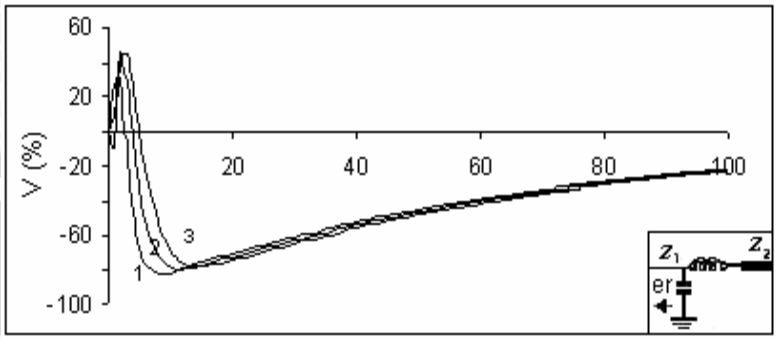
b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5mH 3) L=2 mH

a)



b)



Gambar 4.81. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi C/L=1,12774 nF/mH.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5mH 3) L=2 mH

Penambahan nilai L akan menyebabkan amplitudo gelombang terusan yang semakin kecil. Untuk C/L=3,2055 µF/mH amplitudo gelombang terusan untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2mH berturut-turut adalah 4,658%, 3,560% dan 2,879%. Pada gelombang pantul terdapat dua polaritas. Untuk polaritas positif dengan bertambahnya nilai L akan menyebabkan nilai amplitudo yang semakin tinggi. Amplitudo gelombang pantul dengan bertambahnya nilai L akan menyebabkan amplitudo yang semakin besar dengan nilai berturut-turut adalah –99,765%, -99,838% dan -99,875%.

Untuk C/L=1,12774 nF/ mH amplitudo gelombang terusan untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2 mH berturut-turut adalah 13,754%, 13,369% dan 13,017%. Sedangkan untuk gelombang pantul untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2 mH amplitudo gelombang pantul

polaritas positif dan negatif berturut-turut adalah 26,860% dan -82,2074%, 44,247% dan -80,231% dan 43,905% dan -78,5353%.

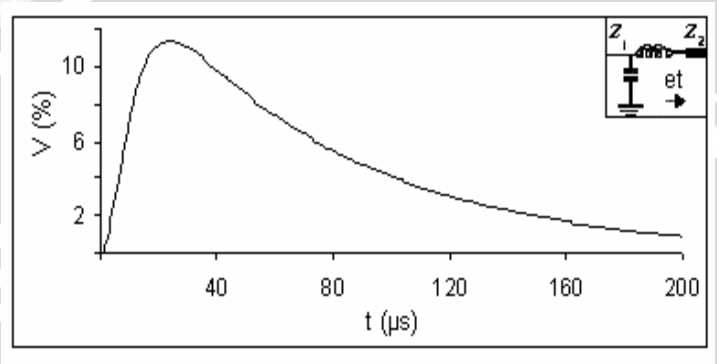
4.7.1.2.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai a=ß

Nilai L dan C yang digunakan untuk sisipan kombinasi pararel secara pararel pada kondisi a=ß adalah sebagai berikut

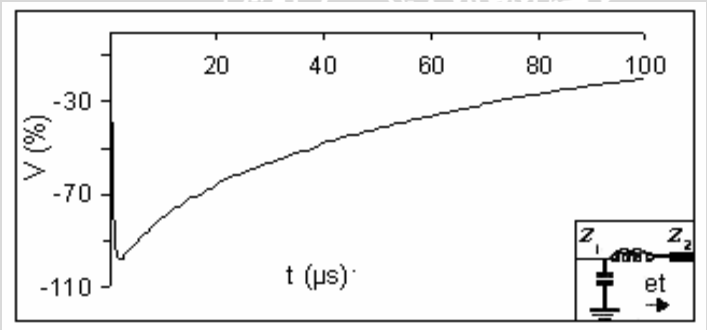
L = 0,1 mH C =0,32055 µF

X_L= 0,0314 O X_C=9925,991 O

a)



b)



Gambar 4.82. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L= 0,1 mH dan C =0,32055 µF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka terjadi peredaman gelombang untuk gelombang terusan. Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar 11,298%. Sehingga dalam hal ini sisipan ini baik untuk peredaman gelombang.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya perubahan pada daya reaktif beban ,berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel dan adanya jatuh tegangan yang disebabkan sisipan secara seri. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada C seri (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{X_c} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{9925{,}991} = 13{,}432\,\text{kvar}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan pararel (I_S) adalah sebesar

$$I_g = \frac{V_s}{X_c} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{9925{,}991} = 1{,}1633\,\text{A}$$

Sedangkan besarnya reaktansi seri yang diakibatkan adanya L seri adalah sebesar

$$X_L = 0{,}31415\,\text{O}$$

Jadi dengan adanya penyisipan ini maka akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan turun hingga mencapai nilai 11,298% . Selain itu juga akan berakibat penurunan daya reaktif beban yang diakibatkan oleh adanya sisipan kapasitor pararel sebesar sebesar 13,433 kvar dan berkurangnya arus saluran sebesar 1,1633 A.

4.7.1.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-42.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-42.b).

4.7.1.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ? seperti dinyatakan pada Persamaan (2-88). Dengan mensubtitusikan impedansi surja z_1 dan z_2 didapatkan

$$g = -\frac{1}{LC}\left(\frac{L + 16632C}{924}\right)$$

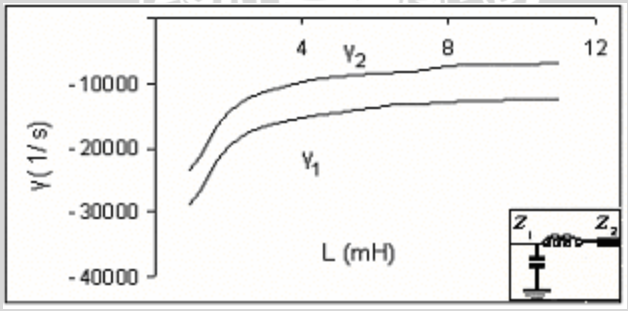
$$w = \frac{1}{LC}\sqrt{1{,}0778.LC - \left(\frac{L + 16632C}{924}\right)^2}$$

4.7.1.3.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai ? Dan ?

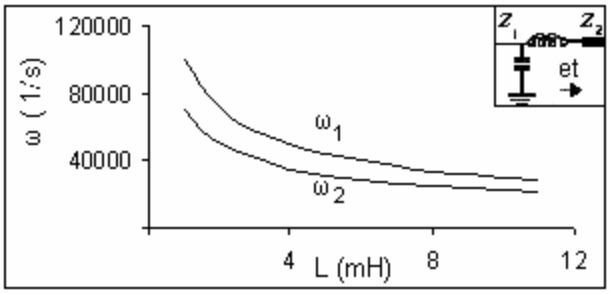
Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? dapat dilihat pada Gambar 4.83. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai ? yang semakin kecil dan ? yang semakin besar dengan perubahan terhadap nilai ? yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai ?. Sedangkan semakin kecil nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai ? yang semakin kecil dan ? yang semakin besar dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? terjadi pada

0 < L < 2 mH

a)



b)



Gambar 4.83. ? dan ? terhadap fungsi L

a) ?

b) ?

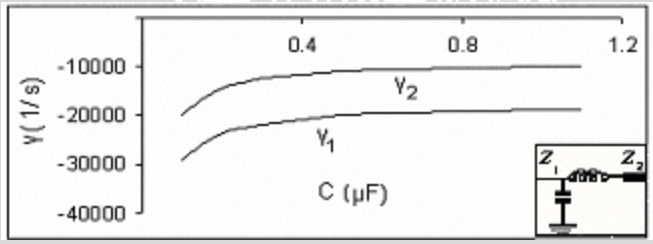
(1) C=100 nF (2) C=200 nF

4.7.1.3.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai ? Dan ?

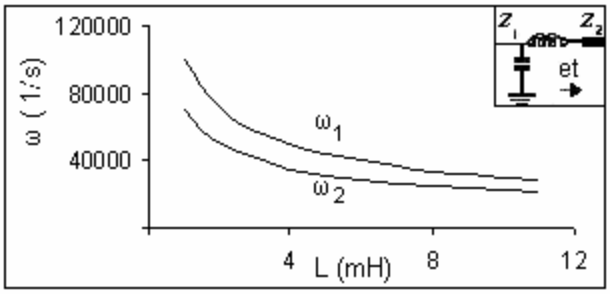
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? dapat dianalisis melalui Gambar 4.84. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai ? yang semakin besar dan nilai ? yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ? yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap a dalam hal ini perubahan nilai C lebih dominan terhadap osilasi gelombang. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ? dan ? terjadi pada

0 < C< 0,2 µF

a)



b)



Gambar 4.84. ? dan ? terhadap fungsi C

a) ?

b) ?

(1) L= 1 mH (2) L= 2 mH

4.7.1.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Nilai L dan C yang akan dianalisis selanjutnya adalah nilai L dan C yang paling efektif untuk perubahan ? dan ?. Pasangan nilai L dan C tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.44.

Tabel 4.44 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C (µF)	L/C (mH/µF)	f=50Hz	
			X_L (O)	X_C (O)
1	0,2	0,5	314,286	15.909,091
1,5	0,15	10	471,429	21.212,121
2	0,1	20	628,571	31.818,182

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.88.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 Cos(wt)e^{gt} + k_2 \sin(wt)e^{gt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-88.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 Cos(wt)e^{gt} - k_6 \sin(wt)e^{gt} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.45. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-88) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.85.

Tabel 4.45.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/µF)	k_1	k_2	k_3	k_4	?(1/ms)	? (1/ms)
0,5	-210,681	-32,573	210,852	0,1709	-23,411	69,581
10	-207,348	-19,836	207,4995	0,1514	-19,215	66,494
20	-206,266	-21,0268	206,436	0,1704	-19,823	70,687

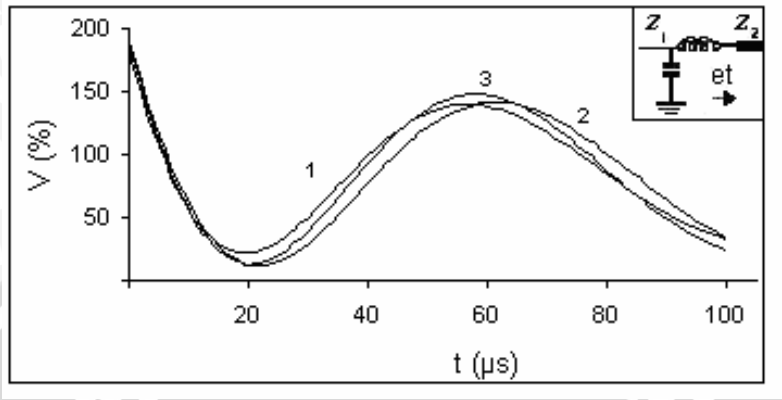
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.45.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

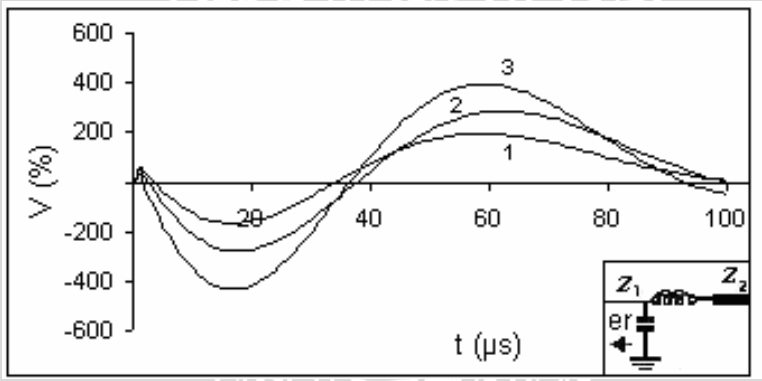
L/C (mH/µF)	k_5	k_6	k_7	k_8
10	-2685,824	93,329	2895,487	105,963
16,667	-2683,9055	-232,096	2893,342	105,7357
24	-2711,345	-459,6298	2921,0703	106,0258

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.85. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=40 mH C=4 μF 2) L=50 mH C=3 μF 3) L=60 mH C=2,5 μF

Nilai L/C yang semakin besar akan mengakibatkan nilai amplitudo gtelombang terusan yang semakin kecil hingga pada nilai tertentu penambahan nilai L/C akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan akan naik. Penambahan nilai L/C dari 10 mH/µF menjadi 16,67, menyebabkan amplitudo gelombang terusan akan naik dari nilai 178,108% menjadi 187,512%. Selanjutnya untuk nilai L/C 24 mH/µF nilai amplitudo gelombang terusannya akan menjadi 185,239%.

Pada gelombang pantul untuk penambahan nilai L/C akan mengakibatkan amplitudo gelombang pantul semakin besar. Besarnya amplitudo gelombang pantul untuk nilai 10, 16,667 dan 24 mH/µF berturut-turut adalah -155,897%, -265,757% dan -413,160%.

4.7.1.3.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Dapat Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Imajiner

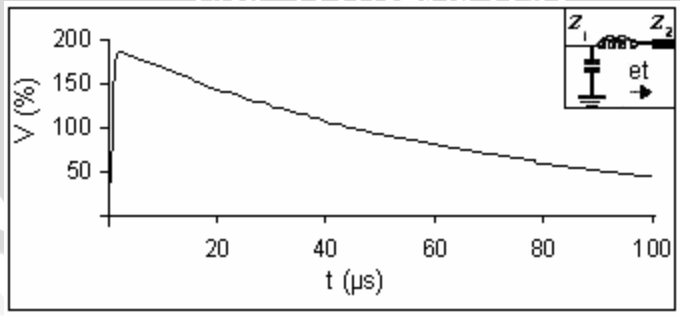
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa nilai yang optimal adalah nilai yang selain dapat meredam gelombang surja juga nilai yang dapat disisipkan pada sistem tanpa menyebabkan arus bocor maupun jatuh tegangan yang dapat mengganggu sistem. Contoh nilai yang aman digunakan untuk sistem adalah sebagai berikut

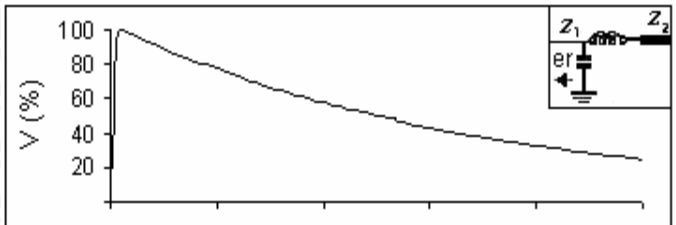
L= 0,1 µH C=1 pF

X_L= 31,429µO X_C= 3.181,818 MO

Gambar gelombang terusan dan pantul yang diakibatkan oleh nilai L dan C di atas ditunjukkan pada Gambar 4.86 berikut

a)





b)

Gambar 4.86. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=0,1 µH dan C=1 pF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut, amplitudo gelombang yang dihasilkan sebesar 186,484%. Hal ini berarti nilai amplitudo yang dihasilkan oleh penyisipan untuk kombinasi induktor seri dan kapasitor pararel untuk kondisi a dan ß berupa bilangan komplek merugikan terhadap sistem. Sedangkan untuk penyisipan dengan nilai induktansi dan kapasitansi yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.46 berikut

Tabel 4.46. Pengaruh sisipan untuk beberapa macam nilai

L (mH)	C (µF)	X_L (?)	X_C (?)	Amplitudo gelombang terusan (%)
1	0,01	0,3143	$318,182.10^6$	205,188
50	10	15,714	3.181,818	22,726
100	100	31,429	31,818	5,429

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa pemilihan nilai L dan C untuk nilai yang aman terhadap sistem dalam hal ini untuk nilai reaktansi sisipan seri yang bernilai kecil dan reaktansi sisipan paralel yang bernilai besar tidak dapat meredam gelombang surja yang

datang. Sedangkan nilai L dan C yang dapat meredam gelombang surja menyebabkan reaktansi sisipan seri yang bernilai relatif besar dalam hal ini untuk L=100 mH nilai reaktansi seri sebesar 31,429O dan reaktansi paralel yang bernilai nilainya relatif kecil dalam hal ini sebesar 31,818 O yang dapat mengakibatkan adanya arus bocor sebesar 362,906 A.

4.7.2 Sisipan Rangkaian L Seri Di Depan C Paralel

Persamaan a dan ß dinyatakan dalam Persamaan (2-91). Dengan mensubstitusikan nilai impedansi surja saluran udara dan saluran kabel yang telah dihitung pada sub-bab 4.1 ke dalam Persamaan (2-91) didapat

$$a = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{72}\right)+\sqrt{\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{72}\right)^2-13{,}833.LC}\right)$$

$$b = \frac{1}{LC}\left(-\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{72}\right)-\sqrt{\left(\frac{\mathrm{L}+16632\mathrm{C}}{72}\right)^2-13{,}833.LC}\right)$$

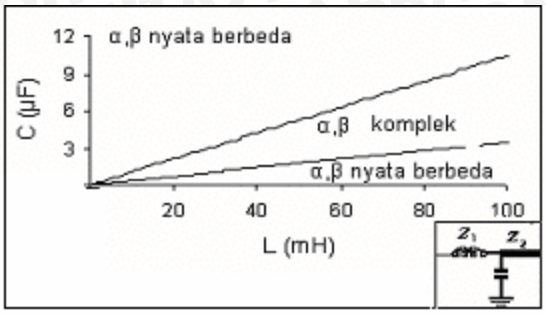
Ada tiga macam kemungkinan nilai a dan ß tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Untuk akar nyata berbeda, akar sama dan komplek berturut-turut dipenuhi untuk

$$\frac{C}{L} > 0{,}104346\frac{mF}{mH} \quad \text{atau} \quad \frac{C}{L} < 0{,}0346447\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata dan berbeda)}$$

$$\frac{C}{L} = 0{,}104346\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 0{,}0346447\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar nyata sama)}$$

$$0{,}0346447\frac{mF}{mH} < \frac{C}{L} < 0{,}104346\frac{mF}{mH} \qquad \text{(akar komplek)}$$

Hubungan antara nilai kapasitansi dan induktansi yang digunakan terhadap jenis akar dapat dilihat pada Gambar 4.87.



Gambar 4.87 Pengaruh nilai induktansi dan kapasitansi terhadap jenis akar

4.7.2.1 Untuk Nilai a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß yang nyata dan berbeda dinyatakan pada Persamaan (2-92.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada persamaan (2-92.b).

4.7.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

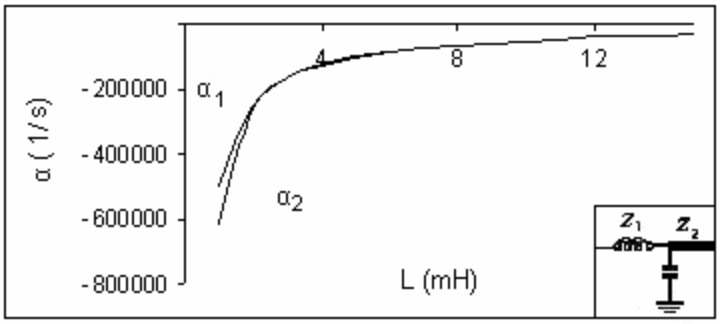
Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a dan ß seperti dinyatakan pada Persamaan (2.92). Sedangkan nilai a dan ß sendiri dipengaruhi oleh L dan C seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.91).

4.7.2.1.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

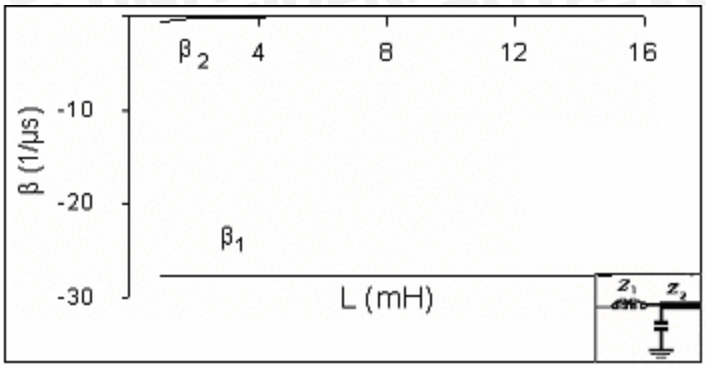
Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dilihat pada Gambar 4.88. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a dan ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai a yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap nilai ß dalam hal ini perubahan nilai L lebih dominan terhadap ekor gelombang. Sedangkan semakin besar nilai kapasitansi akan mengakibatkan nilai a yang semakin bertambah dan ß yang semakin kecil dalam polaritas negatif. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

$0 < L < 2$ mH

a)



b)



Gambar 4.88. a dan ß terhadap fungsi L

a) a

b) ß

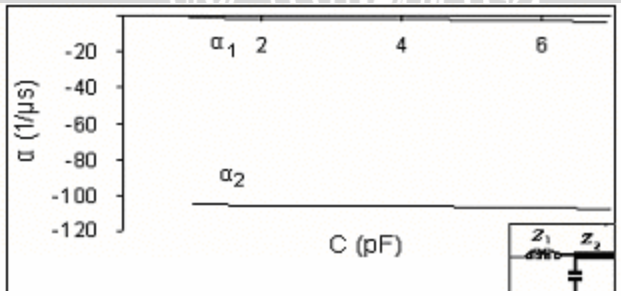
(1) C = 1 nF (2) C = 39 nF

4.7.2.1.1.2 Pengaruh Perubahan Nilai C Terhadap Perubahan Nilai a dan ß

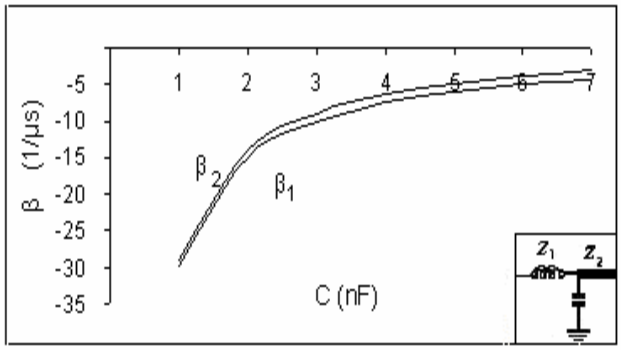
Penentuan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß dapat dianalisis melalui Gambar 4.89. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai C akan mengakibatkan nilai a yang semakin besar dan nilai ß yang semakin kecil dengan perubahan terhadap nilai ß yang lebih dominan bila dibandingkan terhadap a dalam hal ini perubahan nilai C lebih dominan terhadap muka gelombang. Perubahan nilai C yang efektif terhadap perubahan nilai ß terjadi pada

0 < C< 2 pF

a)



b)



Gambar 4.89. a dan ß terhadap fungsi C

a) a

b) ß

(1) L= 1 mH (2) L=0,035 mH

4.7.2.1.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Setelah diketahui nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai yang efektif tersebut. Kombinasi nilai tersebut dapat dapat dilihat pada Tabel 4.47 berikut

Tabel 4.47 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C (pF)	L/C (mH/pF)	f=50Hz	
			X_L (O)	X_C (MO)
1	2	0.5	0,314	1.590,909
1,5	1,5	1	0,4714	2.121,212
2	1	2	0,628	3.181,182

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

$Z_2 = 36$ O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.92.a) yaitu

$$e_t(t) = k_1 e^{at} - k_2 e^{bt} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-92.b) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{at} - k_6 e^{bt} + k_7 e^{-at} - k_8 e^{-bt}$$

akan dihasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.48. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-92) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.90.

Tabel 4.48.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/pF)	k_1	k_2 *(x10^{-8})*	k_3	k_4	a(1/s) *(x10^{5})*	ß(1/s) *(x10^{10})*
0,5	-19,205	9,566	15,4475	-3,7571	-4,980	-1,3889
1	-17,997	3,5871	15,6853	-2,3116	-3,3200	-1,85185
2	-17,5999	1,1956	15,9306	-1,66928	-2,4900	-2,7778

Sumber : Hasil perhitungan

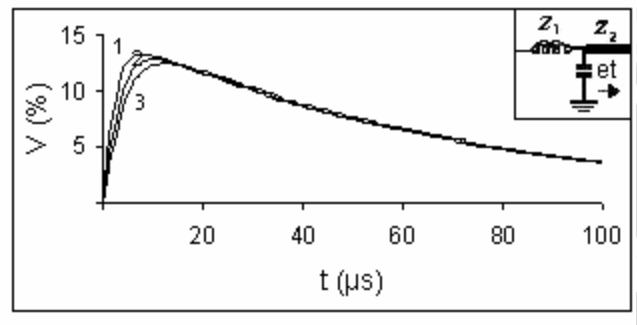
Tabel 4.48.b Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/pF)	k_5	k_6 *(x10^{-13})*	k_7	k_8
0,5	-246,4501	31,822	198,2423	-48,20785

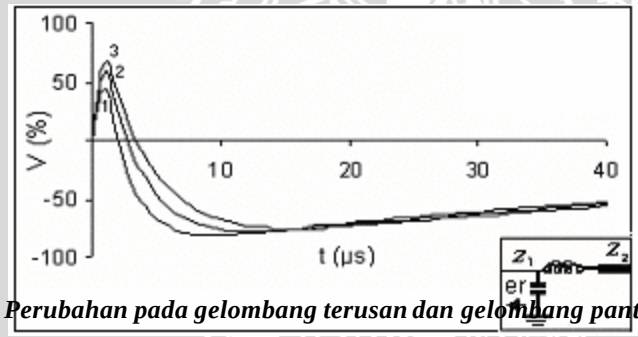
1	-230,9558	5,966	201,2946	-29,6613
2	-225.8627227	0,9943	204,4423	-21,42042

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.90. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH dan C=2 pF 2) L=1,5 mH dan C=1,5 pF 3) L=2 mH dan C=1 pF

Pada gelombang terusan nilai L/C, amplitudo gelombang akan diperkecil. Amplitudo gelombang terusan untuk L/C 0,5, 1 dan 2 mH/pF nilainya berturut-turut adalah 13,3808%, 12,8961% , 12,4742%. Pada gelombang pantul, amplitudo gelombang pantul pada polaritas positif untuk pertambahan nilai L/C akan semakin meningkat yakni berturut-turut adalah 43,9622%, 58,4279% dan 66,3824%. Sedangkan untuk amplitudo pada

polaritas negatif dengan bertambahnya nilai L/C maka nilai amplitudo pada polaritas negatif berturut-turut adalah – 80,070%, -78,75% dan -75,47787%

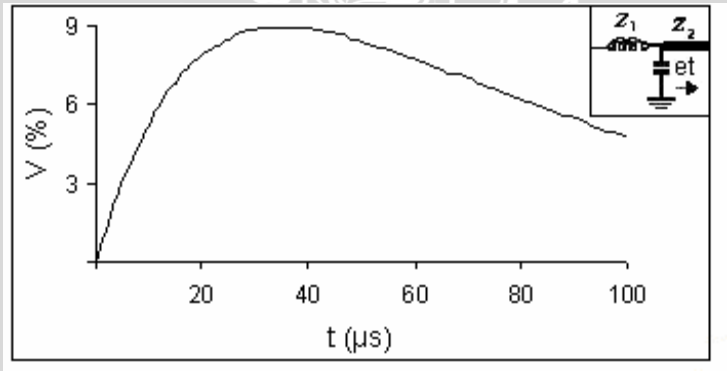
4.7.2.1.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Kondisi a Dan ß Nyata Dan Berbeda

Nilai L dan C adalah sebagai berikut

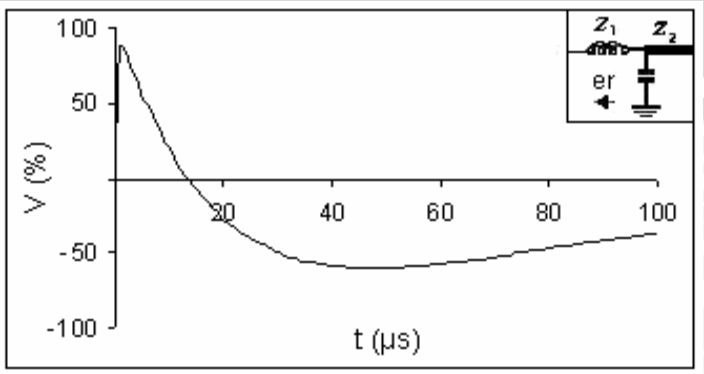
L = 10 mH C = 1 pF

X_L = 3,14 O X_C = 3,182x10^9 O

a)



b)



Gambar 4.91. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan
untuk nilai L=10 mH dan C=1 pF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Adanya penyisipan menyebabkan amplitudo gelombang terusan sebesar 8,9481 %. Jadi adanya penyisipan sangat menguntungkan terhadap peredaman gelombang surja.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya perubahan pada daya reaktif beban ,berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel dan adanya jatuh tegangan yang disebabkan sisipan secara seri. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian LC seri (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_s = \frac{V_s^{\,2}}{-X_c} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{-3{,}182\text{x}10^9} = -0{,}00419 \text{ var}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan pararel (I_S) adalah sebesar

$$I_g = \frac{V_s}{X_c} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{3{,}182\text{x}10^9} = 0{,}36291\,mA$$

Sedangkan besarnya reaktansi sebagai akibat penyisipan secara seri adalah

$$X_S = 3{,}14\Omega$$

Jadi dengan adanya penyisipan ini maka akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan turun hingga mencapai nilai 8,9481% . Selain itu juga akan berakibat penurunan daya reaktif beban sebesar 0,00419 var, berkurangnya arus saluran sebesar 0,363µA dan juga untuk tiap ampere arus yang mengalir besarnya jatuh tegangan karena sisipan induktor secara seri sebesar 3,14 V.

4.7.2.2 Untuk Nilai a = ß

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a = ß dinyatakan pada Persamaan (2-93.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-93.b).

4.7.2.2.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai a seperti dinyatakan pada Persamaan (2-93). Pada keadaan a=ß, nilai a dipengaruhi oleh C sebagaimana dinyatakan sebagai berikut

$$a = -\frac{L + 16632C}{72LC}$$

Sedangkan syarat nilai kapasitansi dan induktansi yang menyebabkan nilai a=ß adalah

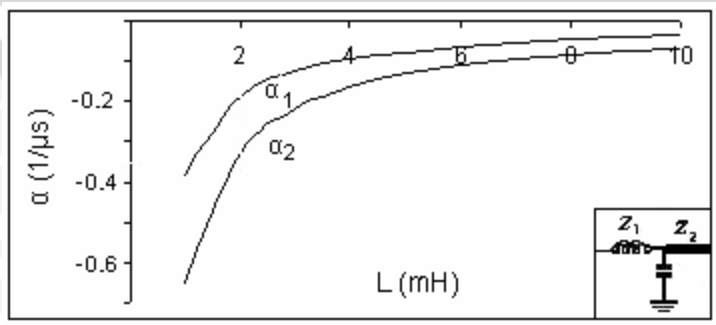
$$\frac{C}{L} = 0{,}104346\frac{mF}{mH} \quad \text{dan} \quad \frac{C}{L} = 0{,}0346447\frac{mF}{mH}$$

4.7.2.2.1.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Terhadap Perubahan Nilai a

Penentuan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dapat dilihat pada Gambar 4.92. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai L akan mengakibatkan nilai a yang semakin kecil. Dengan semakin kecilnya nilai a akan mengakibatkan ekor gelombang menjadi lebih landai. Perubahan nilai L yang efektif terhadap perubahan nilai a dan ß terjadi pada

0 < L < 2 mH

Sedangkan kombinasi dari beberapa pasangan nilai L dan C yang menyebabkan nilai a=ß ditunjukkan pada Tabel 4.49.



Gambar 4.92 a terhadap fungsi L

1. Untuk C/L=0,104346 µF/mH 2. Untuk C/L=0,0346447 µF/mH

Tabel 4.49 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C_1 (µF)	C_2 (µF)	f=50Hz		
			X_L (O)	X_{C1} (O)	X_{C2} (O)
1	0,10435	0,034644	0,3143	30493,0351	91841,51034
1,5	0,15652	0,051967	0,4714	20328,6901	61227,67356
2	0,20869	0,069289	0,6286	15246,5176	45920,75517

Sumber : Hasil perhitungan

4.7.2.2.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul Untuk Akar Sama

Setelah diketahui kombinasi nilai L dan C yang efektif terhadap perubahan nilai a, selanjutnya dilakukan analisis bentuk gelombang pada nilai tersebut.

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi yang terdapat pada Tabel 4.4 dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.93.a) yaitu

$$e_t(t) = -k_1 e^{at} + k_2 t e^{at} + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-93.b) yaitu

$$e_r(t) = k_5 e^{at} - k_6 t e^{at} - k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

akan didapatkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.50 . Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-93.a) didapatkan grafik tegangan gelombang terusan dan gelombang pantul yang ditunjukkan pada Gambar 4.93 untuk nilai C/L=0,104346 µF/mH dan Gambar 4.94 untuk nilai C/L=0,034667 µF/mH untuk gelombang pantul.

Tabel 4.50.a .1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=0,104346 µF/mH

L (mH)	C (µF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a (1/µs)
1	0,098378	15,8353	-6,6248	16,2769	0,4416	-0,3641
1,5	0,147567	16,8062	-4,267	16,9818	0,1756	-0,2427
2	0,196756	17,6398	-3,1842	17,7335	0,0936	-0,1821

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.50.b.1 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L Dan C yang berbeda untuk nilai C/L=0,104346 µF/mH

L (mH)	C (µF)	k_5	k_6	k_7	k_8
1	0,098378	-58,1053	1,21357	-93,6856	150,949
1,5	0,147567	-98,416	1,17249	-96,2332	133,0095
2	0,196756	-125,2982	1,1666	-98,8172	124,9398

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.50.a.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan

pada nilai L dan C yang berbeda untuk nilai C/L=0,0346447

L (mH)	C (µF)	k_1	k_2 (10^6)	k_3	k_4	a(1/µs)
1	0,0334816	13,9712	-12,9283	15,7133	1,7421	-0,63198
1,5	0,050222	15,4689	-7,8325	16,0932	0,6243	-0,4213
2	0,0669632	16,1692	-5,6572	16,4871	0,3179	-0,3159

Sumber : Hasil perhitungan

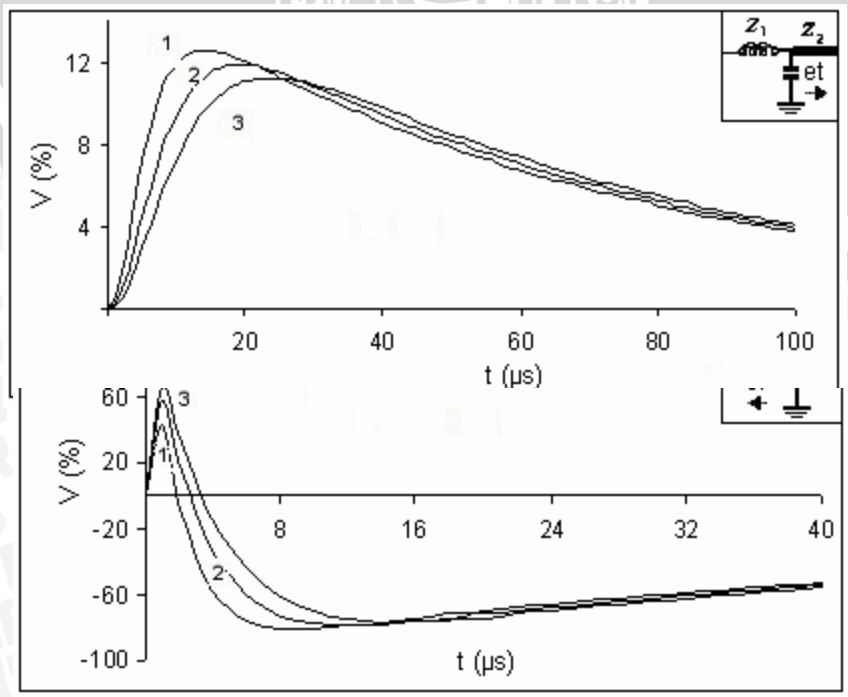
Tabel 4.50.b.2 Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L Dan C yang berbeda C/L=0,0346447

L (mH)	C (µF)	k_1	k_2	k_5	k_6
1	0,0334816	-9,9739	1,3646	-94,268	150,652
1,5	0,050222	-63,2227	1,2401	-97,1662	132,946
2	0,0669632	-86,2437	1,19427	-100,1481	124,9168

Sumber : Hasil perhitungan

a)

b)



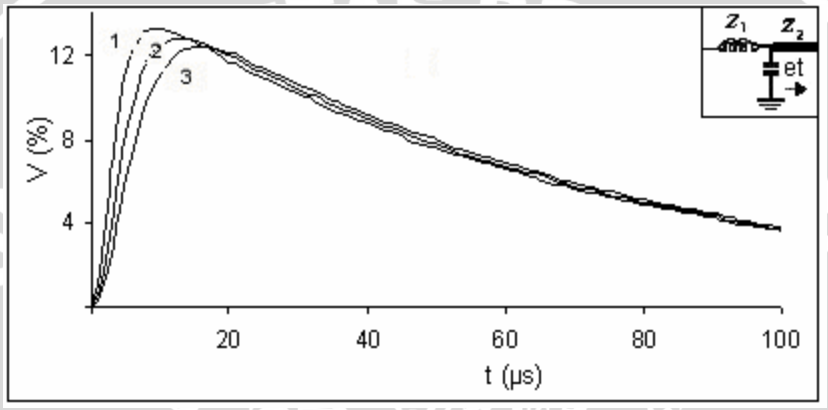
Gambar 4.93. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi nilai C/L=0,104346 µF/mH.

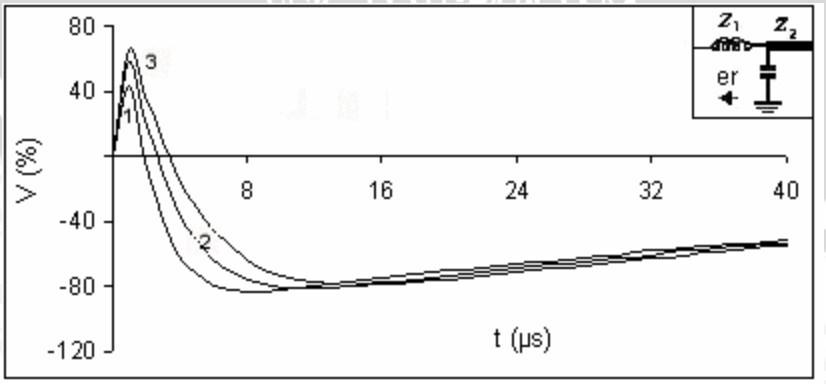
a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5mH 3) L=2mH

a)





Gambar 4.94. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi nilai C/L=0,0346447 µF/mH.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L=1 mH 2) L=1,5mH 3) L=2mH

Penambahan nilai L akan menyebabkan amplitudo gelombang terusan yang semakin kecil. C/L=0,104346 µF/mH amplitudo gelombang terusan untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2mH berturut-turut adalah 12,5935%, 11,8816% dan 11,2833%. Pada gelombang pantul terdapat dua polaritas. Untuk polaritas positif dengan bertambahnya nilai L akan menyebabkan nilai amplitudo yang semakin tinggi. Amplitudo gelombang pantul untuk polaritas positif berturut-turut adalah 43,3612%, 58,1294% dan 66,204%. Untuk polaritas negatif dengan bertambahnya nilai L akan menyebabkan amplitudo yang semakin kecil dengan nilai berturut-turut adalah -83,6170%, -81,32542% dan -79,4383%.

Untuk C/L=0,0346447 amplitudo gelombang terusan untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2 mH berturut-turut adalah 13,3295%, 12,8103% dan 12,3601%. Sedangkan untuk gelombang pantul untuk nilai L 1 mH, 1,5 mH dan 2 mH amplitudo gelombang pantul polaritas positif dan negatif berturut-turut adalah 43,4424% dan -80,7144%, 58,1571% dan -78,3967% dan 66,2074% dan -76,3947%.

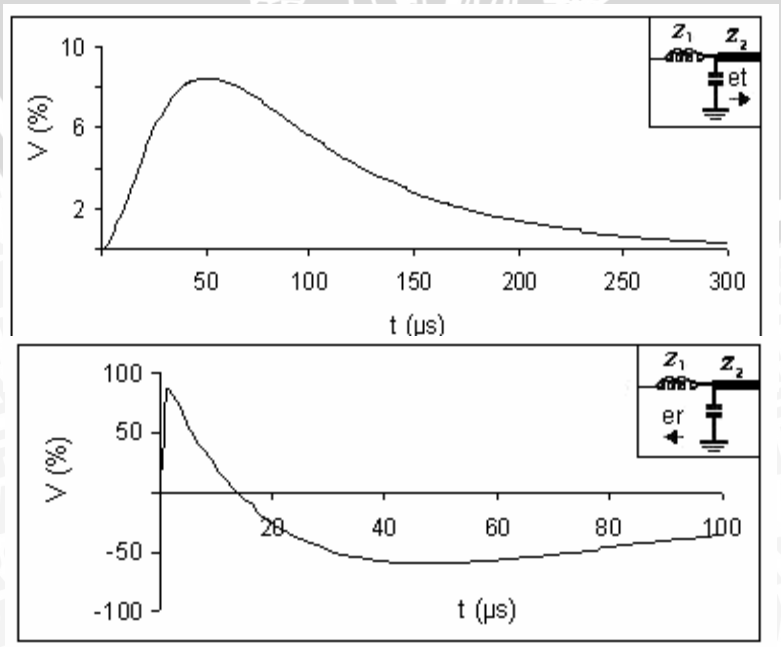
4.7.2.2.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai a=ß

Nilai L dan C yang digunakan untuk sisipan kombinasi pararel secara pararel pada kondisi a=ß adalah sebagai berikut

L = 10 mH C =346,447 nF

X_L= 3,143 O X_C=99989,4734 O

a)



b)

Gambar 4.95. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan
untuk nilai L = 10 mH dan C =346,447 nF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut maka terjadi peredaman gelombang untuk gelombang terusan. Amplitudo gelombang terusan yang diakibatkan oleh adanya penyisipan sebesar 8,466%. Sehingga dalam hal ini sisipan ini baik untuk peredaman gelombang.

Pengaruh penyisipan terhadap sistem distribusi 20 kV akan mengakibatkan adanya perubahan pada daya reaktif beban ,berkurangnya arus yang mengalir melalui saluran kabel dan adanya jatuh tegangan yang disebabkan sisipan secara seri. Dengan asumsi bahwa tegangan pada (V_s) adalah sebesar $20/\sqrt{3}\,kV$ besarnya daya reaktif pada rangkaian LC seri (Q_s) adalah sebagai berikut

$$Q_s = \frac{V_s{}^2}{X_c} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)^2}{99989{,}4734} = 1{,}333474\,\text{kvar}$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir ke sisipan pararel (I_S) adalah sebesar

$$I_g = \frac{V_s}{X_c} = \frac{\left(20.10^3/\sqrt{3}\right)}{99989{,}4734} = 0{,}1155\,\text{A}$$

Sedangkan besarnya jatuh tegangan V_D sebesar

$$X_S = 3{,}143\Omega$$

Jadi dengan adanya penyisipan ini maka akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan turun hingga mencapai nilai 9,455% . Selain itu juga akan berakibat penurunan daya reaktif beban sebesar 14,0304 kvar dan berkurangnya arus saluran sebesar 1,2151A. Sedangkan besarnya jatuh tegangan sebagai akibat adanya sisipan seri untuk tiap ampere arus fasa yang mengalir adalah sebesar 3,143%

4.7.2.3 Untuk Nilai a dan ß Bilangan Komplek

Persamaan gelombang terusan e_t yang dihasilkan dari nilai a dan ß bilangan komplek dengan

$$a = g + jw$$

$$b = g - jw$$

dinyatakan pada Persamaan (2-94.a), sedangkan persamaan gelombang pantul e_r dinyatakan pada Persamaan (2-94.b).

4.7.2.3.1 Pengaruh Perubahan Nilai L Dan C Terhadap Bentuk Gelombang

Bentuk gelombang baik gelombang terusan maupun bentuk gelombang pantul dipengaruhi oleh nilai ? dan ?. Kedua nilai ? dan ? dinyatakan pada Persamaan (2-95). Dengan mensubtitusikan impedansi surja z_1 dan z_2 didapatkan

$$g = -\frac{1}{LC}\left(\frac{\mathrm{L} + 16632\mathrm{C}}{72}\right)$$

$$w = \frac{1}{LC}\sqrt{13{,}833.LC - \left(\frac{\mathrm{L} + 16632\mathrm{C}}{72}\right)^2}$$

4.7.2.3.2 Pengaruh Nilai L Dan C Terhadap Gelombang Terusan Dan Gelombang Pantul

Sebagaimana dinyatakan pada sub bab 4.2.1 syarat untuk akar imajiner adalah

$$0{,}0346447\frac{mF}{mH} < \frac{C}{L} < 0{,}104346\frac{mF}{mH}$$

sehingga dipilih nilai L dan C yang memenuhi syarat di atas. Nilai L dan C tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.51 berikut

Tabel 4.51 Nilai kombinasi L dan C yang disisipkan

L (mH)	C (µF)	L/C (mH/µF)	f=50Hz	
			X_L (O)	X_C (O)
40	4	10	12,5714	795,455

50	3	16,667	15,7143	1060,606
60	2,5	24	18,8571	1272,727

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan mensubstitusikan nilai induktansi dan kapasitansi di atas dan dengan nilai

Z_1 = 462 O a=14658,5 1/s E_m=100%

Z_2 = 36 O b=2485624,6 1/s A_p=1,037

ke dalam Persamaan (2.95.a) yaitu

$$e_t(t) = -k_1 e^{gt} Cos(wt) + k_2 e^{gt} Sin(wt) + k_3 e^{-at} - k_4 e^{-bt}$$

dan Persamaan (2-95.b) yaitu

$$e_r(t) = -k_5 e^{gt} Cos(wt) + k_6 e^{gt} Sin(wt) + k_7 e^{-at} + k_8 e^{-bt}$$

Substitusi tersebut akan menghasilkan nilai-nilai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.52. Selanjutnya subtitusi dari nilai tersebut ke dalam Persamaan (2-39) dan (2-40) didapatkan gelombang terusan dan gelombang pantul sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.96.

Tabel 4.52.a Nilai-nilai konstanta pada persamaan tegangan terusan dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

L/C (mH/μF)	k_1	k_2	k_3	k_4	?(1/ms)	? (1/s)
10	-42,887	237,8965	42,8695	0,00211	-9,472	973,495
16,667	-38,947	80,1937	38,9496	0,00225	-9,249	2581,971

24	-44,1083	119,2285	44,108	0,00022	-9,406	1938,491

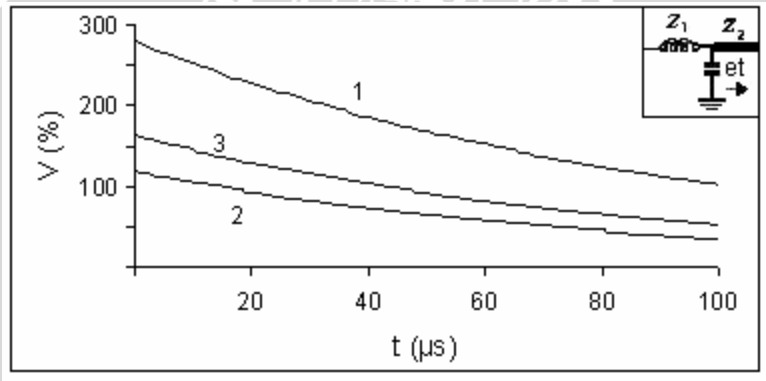
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.52.b Nilai -nilai konstanta pada persamaan tegangan pantul dan reaktansi pada nilai L/C yang berbeda

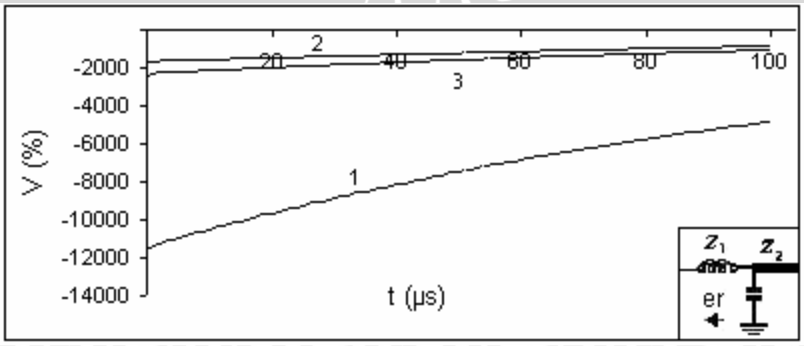
L/C (mH/μF)	k_5	k_6	k_7	k_8
10	-1608,02979	1038,41694	1815,1142	103,084
16,667	-1172,3795	-35,131	1379,787	103,708
24	-1209,1128	-229,927	1416,5195	103,707

Sumber : Hasil perhitungan

a)



b)



Gambar 4.96. Perubahan pada gelombang terusan dan gelombang pantul yang diakibatkan oleh perubahan induktansi dan kapasitansi.

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

1) L==40 mH C=4 µF 2) L=50 mH C=3 µF 3) L=60 mH C=2,,5 µF

Nilai L/C yang semakin besar akan mengakibatkan nilai amplitudo gtelombang terusan yang semakin kecil hingga pada nilai tertentu penambahan nilai L/C akan mengakibatkan amplitudo gelombang terusan akan naik. Penambahan nilai L/C dari 10 mH/µF menjadi 16,67 mH/µF, menyebabkan amplitudo gelombang terusan akan turun dari nilai 280,783% menjadi 118,914%. Selanjutnya untuk nilai L/C 24 mH/µF nilai amplitudo gelombang terusannya akan menjadi 163,337%.

Pada gelombang pantul untuk penambahan nilai L/C dari nilai 10 mH/µF hingga 16,667 mH/µF amplitudo gelombang pantul yang dihasilkan akan turun dari nilai -3604,349% hingga menjadi -1526,837%. Sedangkan untuk nilai L/C 24 mH/µF nilai amplitudo gelombang pantul akan kembali naik menjadi -2096,798%.

4.7.2.3.3 Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Digunakan Pada Nilai Kondisi a Dan ß Bilangan Imajiner

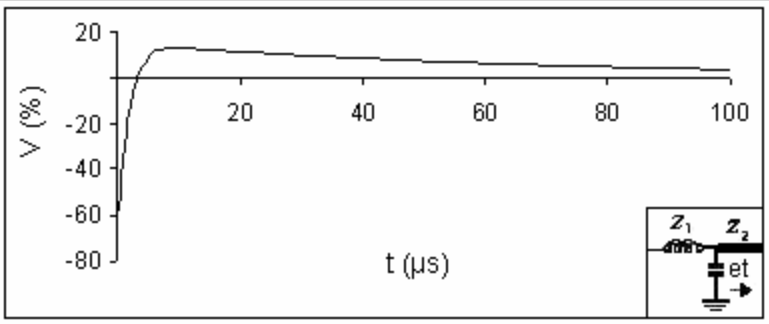
Salah satu nilai L dan C yang relatif aman terhadap sistem pada kondisi ini adalah

L= 1 mH C=0,05 µF

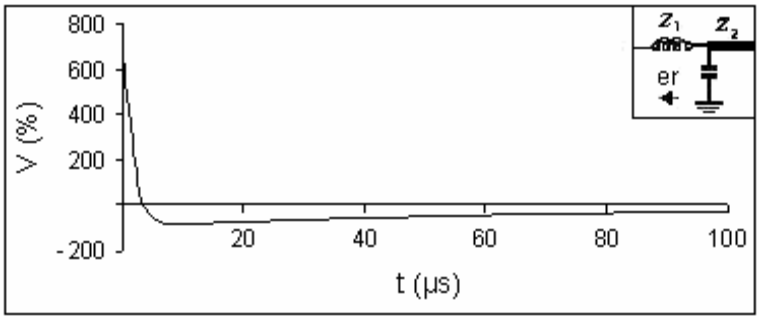
X_L= 0,314O X_C= 63636,364O

Gambar gelombang terusan dan pantul yang diakibatkan oleh nilai L dan C di atas ditunjukkan pada Gambar 4.97 berikut

a)



b)



Gambar 4.97. Gelombang terusan dan pantul pada penyisipan untuk nilai L=1 mH dan C=0.05 µF

a) gelombang terusan (e_t)

b) gelombang pantul (e_r)

Dengan adanya penyisipan tersebut, amplitudo gelombang yang dihasilkan sebesar 13,479% sedangkan pada polaritas negatif nilai amplitudo gelombang terusan sebesar -59,497%. Hal ini berarti nilai amplitudo yang dihasilkan oleh penyisipan untuk kombinasi induktor seri dan kapasitor pararel untuk kondisi a dan ß berupa bilangan komplek merugikan terhadap sistem.Penyisipan dengan nilai yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.53 berikut.

Tabel 4.53 Penyisipan untuk kondisi imajiner pada penyisipan induktor seri di depan kapasitor secara pararel.

L (mH)	C (µF)	X_L (?)	X_C (?)	Amplitudo gelombang terusan (%)
10	1	3,143	3181,818	193,351
100	4	3,143,38	795,45	59,590
10.000	400	3142,857	7,955	0,3295

Sumber : Hasil perhitungan

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa peredaman gelombang surja dapat dilakukan dengan memilih induktansi sebesar 10 H dan kapasitansi sebesar 0,4 mF. Pada nilai ini gelombang surja yang diteruskan hanya sebesar 0,032%. Tetapi penyisipan ini tidak dapat dilakukan karena nilai reaktansi seri yang besar yakni sebesar 3,1428 k? dan reaktansi paralel yang kecil yakni sebesar 7,955%.

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara umum pengaruh penyisipan induktor secara seri dan paralel pada sambungan saluran udara menuju saluran kabel menghasilkan gelombang pantul dan gelombang terusan yang berbeda dengan bentuk gelombang terusan dan gelombang pantul pada saluran tanpa sisipan.
2. Penyisipan kombinasi dengan unsur kapasitor secara paralel selain dapat digunakan untuk peredaman juga dapat mengurangi daya reaktif dari sistem sehingga dapat memperbaiki faktor daya dari sistem tersebut.
3. Pengaruh kombinasi dengan nilai yang dapat digunakan pada sistem adalah
    a. Penyisipan kombinasi seri akan menghasilkan peredaman yang besar dengan mengkibatkan jatuh tegangan yang kecil. Untuk penyisipan secara seri dari rangkaian seri dengan memilih nilai induktansi 100 H dan nilai kapasitansi sebesar 101,23967 nF akan menghasilkan amplitudo gelombang terusan sebesar -0.005% dan mengakibatkan adanya reaktansi kombinasi sebesar 0,17959 m? . Untuk penyisipan secara seri dari rangkaian pararel pemilihan nilai induktansi 1 µF dan 0,1 pF selain dapat meredam gelombang terusan juga akan dapat meredam gelombang pantul dengan amplitudo gelombang terusan yang disebabkan oleh adanya penyisipan dengan nilai ini adalah sebesar 5,0185% ,amplitudo gelombang pantul sebesar 50,066% serta mengakibatkan adanya reaktansi kombinasi sebesar 0,314 m? .
    b. Pada penyisipan kombinasi secara paralel untuk nilai reaktansi kombinasi induktor dan kapasitor yang bersifat kapasitif, adanya penyisipan akan mengakibatkan adanya pengurangan daya reaktif pada sistem sehingga nilai faktor daya pada sistem juga akan meningkat. Untuk penyisipan secara paralel dari rangkaian seri dengan memilih nilai induktansi 1 µH dan kapasitansi 10 nF, amplitudo gelombang terusan yang dihasilkan sebesar 4,993% dan mengakibatkan adanya arus beban yang berkurang sebesar

36,291 mA dengan pengurangan daya reaktif pada sistem sebesar 419,048 var. Untuk penyisipan secara paralel dari rangkaian paralel dengan memilih nilai induktansi 1,012396695 H dan kapasitansi 10 F, amplitudo gelombang terusan yang dihasilkan sebesar 17,081 µ% dan mengakibatkan adanya arus beban yang berkurang sebesar 28,144 mA dengan pengurangan daya reaktif pada sistem sebesar 324,976 var.

c. Penyisipan kombinasi induktor secara paralel dan kapasitor secara seri baik untuk induktor yang diletakkan di belakang kapasitor maupun di depan, kurang efektif untuk dapat digunakan pada saluran. Hal ini karena untuk nilai yang aman digunakan pada sistem, amplitudo gelombang terusan nilainya tidak berbeda jauh dengan saluran tanpa sisipan. Sedangkan nilai yang efektif untuk meredam tidak dapat digunakan pada sistem.

d. Penyisipan kombinasi secara kapasitor paralel dan induktor secara seri selain mengakibatkan adanya arus bocor juga akan mengakibatkan jatuh tegangan pada saluran. Adanya kapasitor yang disisipkan secara paralel pada kombinasi ini mengakibatkan adanya daya reaktif yang berkurang. Untuk induktor yang diletakkan di belakang kapasitor dengan memilih nilai induktansi 10 mH dan nilai kapasitansi sebesar 1 nF, amplitudo gelombang terusan yang dihasilkan sebesar 8,458%. Reaktansi seri yang diakibatkan sisipan dengan nilai ini adalah sebesar 3,14 ? dan arus beban yang berkurang sebesar 3,6291 mA dengan pengurangan daya reaktif pada sistem sebesar 41,9105 var. Untuk induktor yang diletakkan di depan kapasitor dengan memilih nilai induktansi 10 mH dan nilai kapasitansi sebesar 1 pF, amplitudo gelombang terusan yang dihasilkan sebesar 8,542%. Reaktansi seri yang diakibatkan sisipan dengan nilai ini adalah sebesar 3,14 ? dan arus beban yang berkurang sebesar 0,363 µA dengan pengurangan daya reaktif pada sistem sebesar 4,19105 mvar.

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, Artono, Prof, DR. 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta. Penerbit : Pradnya Paramita

Budiono, M. 1981. *Rangkaian Listrik* edisi kedua jilid 1. Malang. Penerbit : PT. AAA Tridata Malang

Clayton, R. Paul. dan Nasar, Syed. 1987. *Introduction To Electromagnetic Fields*. Singapore. Penerbit : McGraw-Hill.

David E, Higginbotham, S. M. 1984. *Dasar- dasar Elektroteknik* edisi kelima jilid 1

Hermagasantos, Ir, M. Sc. 1991. *Teknik Tegangan Tinggi*. Penerbit : PT. Rosda Jaya Putra Jakarta

Hutauruk, Ts, Prof, Ir, M.Sc. 1996. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta. Penerbit : Erlangga

Hutauruk, T. Prof. Ir. M.Sc. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja.* Jakarta. Penerbit : Erlangga

Kind, Dieter. 1994. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung. Penerbit : ITB Bandung

Kuwahara, S dan Arismunandar. 1976. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik* jilid II. Jakarta. Penerbit : Pradnya Paramita

Pabla, As dan Hadi, Abdul. Ir. 1994. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta. Penerbit : Erlangga

Theraja, B.L. dan Theraja, A.K. 1991. *A Text-Book of Electrical Technology*. New Delhi. Penerbit : Nirja Construction & Development Co.

William H, Hayt, Jr. 1992. *Rangkaian Listrik* edisi keempat jilid 1. Penerbit : Erlangga

Zuhal. 1993. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Penerbit : PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Zoro. R, 1987. *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*, Institut Teknologi Bandung