

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini dibahas hasil dan analisis mengenai kinerja sistem deteksi sinyal Very High Frequency (VHF) petir berdasarkan parameter Noise Figure (NF), Signal-to-Noise Ratio (SNR), serta gain sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai gain secara teoritis dengan hasil pengukuran, serta mengevaluasi pengaruh penggunaan Low Noise Amplifier (LNA) dan penambahan rangkaian proteksi terhadap kualitas sinyal yang diterima. Selain itu, dilakukan simulasi rangkaian proteksi menggunakan perangkat lunak LTspice untuk menganalisis respon sistem terhadap lonjakan tegangan transien.

4.1 Pengujian Sistem dengan LNA Tanpa Proteksi

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem penerima sinyal Very High Frequency (VHF) petir dengan menggunakan Low Noise Amplifier (LNA) tanpa penambahan rangkaian proteksi. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa dasar sistem dalam memperkuat sinyal yang diterima serta menganalisis pengaruh LNA terhadap parameter utama, yaitu Signal-to-Noise Ratio (SNR), Noise Figure (NF), dan gain sistem. Selain itu, hasil pengujian pada tahap ini juga digunakan sebagai acuan pembandingan terhadap pengujian sistem dengan penambahan rangkaian proteksi pada tahap berikutnya, sehingga dapat diketahui pengaruh proteksi terhadap kinerja sistem secara keseluruhan.

4.1.1 Parameter Pengujian

Pengujian sistem dengan LNA tanpa proteksi dilakukan untuk memperoleh data performa dasar sistem penerima sinyal Very High Frequency (VHF) petir. Pada tahap ini, sistem dikonfigurasi tanpa adanya rangkaian proteksi sehingga pengaruh penguatan oleh LNA dapat diamati secara langsung terhadap kualitas sinyal yang diterima.

Konfigurasi sistem yang digunakan pada pengujian ini terdiri dari antena sebagai penerima sinyal, Low Noise Amplifier (LNA) sebagai penguat awal, serta perangkat akuisisi data untuk menampilkan dan merekam sinyal. LNA ditempatkan setelah antena dengan tujuan memperkuat sinyal yang memiliki amplitudo kecil sebelum diproses lebih lanjut.

Adapun parameter dan kondisi pengujian yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Rentang frekuensi kerja sistem berada pada 30–300 MHz sesuai dengan karakteristik sinyal VHF petir
- Konfigurasi sistem: Antena → LNA → perangkat akuisisi data (PicoScope)
- Komponen yang digunakan meliputi antena tipe discone, LNA, kabel koaksial, dan PicoScope

- Parameter yang diamati dalam pengujian meliputi:
 - Amplitudo sinyal
 - *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)
 - *Noise Figure* (NF)
 - *Gain sistem*

Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan nyata, sehingga sinyal yang diterima tidak hanya berasal dari sumber yang diinginkan, tetapi juga dipengaruhi oleh noise eksternal. Hal ini bertujuan agar hasil pengujian dapat merepresentasikan kondisi operasional sistem secara aktual.

4.1.2 Hasil dan Analisa

Pada tahap ini disajikan hasil pengujian sistem penerima sinyal Very High Frequency (VHF) petir dengan menggunakan Low Noise Amplifier (LNA) tanpa rangkaian proteksi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan LNA terhadap peningkatan kualitas sinyal berdasarkan parameter *gain*, *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dan *Noise Figure* (NF).

Berikut adalah hasil pengujian sistem tanpa menggunakan rangkaian proteksi:

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tanpa Proteksi

No	Frekuensi	Tegangan Input	Noise Input	Tegangan Output	Noise Output
1.	30	100	5,33	1,808	129,5
2.	40	100	5,33	1,749	129,5
3.	50	100	5,33	1,806	129,5
4.	60	100	5,33	1,731	129,5

Berdasarkan hasil pengujian tersebut maka akan dapat dihitung:

1. *Gain*

$$Gain (dB) = 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$Gain (dB) = 20 \log_{10} \frac{1808}{100}$$

$$Gain (dB) = 25,14 \text{ dB}$$

2. SNR input

$$SNR_{in}(dB) = 20 \log_{10} \frac{V_{sinyal \text{ in}}}{V_{noise \text{ in}}}$$

$$SNR_{in}(dB) = 20 \log_{10} \frac{100}{5,33}$$

$$SNR_{in}(dB) = 25,46 \text{ dB}$$

3. SNR output

$$SNR_{out}(dB) = 20 \log_{10} \frac{V_{sinyal \text{ out}}}{V_{noise \text{ out}}}$$

$$SNR_{out}(dB) = 20 \log_{10} \frac{1808}{129,5}$$

$$SNR_{out}(dB) = 22,89 \text{ dB}$$

4. Noise Figure

$$NF (dB) = SNR_{in}(dB) - SNR_{out}(dB)$$

$$NF (dB) = 25,46 - 22,89 = 2,57 \text{ dB}$$

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Pengujian Tanpa Proteksi

f (MHz)	Vin (mV)	Noise In (mV)	Vout (V)	Noise Out (mV)	SNR In (dB)	SNR Out (dB)	NF (dB)	Gain (dB)
30	100	5,33	1,808	129,5	25,46	22,89	2,57	25,14
40	100	5,33	1,749	129,5	25,46	22,61	2,85	24,86
50	100	5,33	1,806	129,5	25,46	22,89	2,57	25,13
60	100	5,33	1,731	129,5	25,46	22,52	2,94	24,77

Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan LNA memberikan peningkatan amplitudo sinyal yang signifikan, yang ditunjukkan oleh nilai gain yang cukup tinggi, yaitu berkisar 25 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa LNA mampu memperkuat sinyal VHF petir yang memiliki amplitudo kecil sehingga lebih mudah untuk diamati.

Namun, jika dilihat dari nilai Signal-to-Noise Ratio (SNR), terjadi sedikit penurunan dari sisi input ke output. Nilai SNR input berada pada kisaran sekitar 25 dB, sedangkan SNR output berada pada kisaran sekitar 22 dB. Hal ini

menunjukkan bahwa meskipun sinyal diperkuat, noise juga ikut diperkuat oleh LNA, sehingga peningkatan SNR tidak terlalu signifikan.

Perbedaan nilai gain antara kedua pengujian menunjukkan adanya pengaruh kondisi sinyal input terhadap kinerja LNA, yang dapat disebabkan oleh karakteristik non-linear atau batas kerja dari penguat. Selain itu, faktor eksternal seperti noise lingkungan dan rugi-rugi pada sistem juga dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

Dari hasil perhitungan Noise Figure (NF), diperoleh nilai sekitar 2-3 dB. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem mengalami penambahan noise akibat proses penguatan oleh LNA.

Meskipun demikian, nilai Noise Figure yang diperoleh masih tergolong cukup baik untuk sistem penerima sinyal VHF, sehingga LNA masih efektif dalam meningkatkan kualitas sinyal tanpa menambahkan noise yang berlebihan. Perbedaan nilai NF pada kedua kondisi pengujian menunjukkan adanya pengaruh kondisi sinyal input dan karakteristik non-ideal dari komponen yang digunakan.

Secara keseluruhan, penggunaan LNA tanpa proteksi mampu meningkatkan amplitudo sinyal secara signifikan, namun peningkatan kualitas sinyal dari sisi SNR masih terbatas karena adanya penguatan noise. Meskipun demikian, nilai SNR output yang berada di atas 20 dB menunjukkan bahwa sinyal masih berada pada kondisi yang cukup baik untuk dilakukan analisis lebih lanjut[29].

4.2 Pengujian Sistem dengan LNA dan Proteksi

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem penerima sinyal Very High Frequency (VHF) petir dengan menambahkan rangkaian proteksi sebelum Low Noise Amplifier (LNA). Penambahan rangkaian proteksi bertujuan untuk melindungi sistem dari lonjakan tegangan transien yang dapat terjadi akibat aktivitas petir, tanpa mengganggu kualitas sinyal yang diterima. Pengujian ini dilakukan dengan kondisi yang sama seperti pada pengujian sebelumnya, sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara langsung dengan sistem tanpa proteksi. Dengan demikian, dapat dianalisis pengaruh penambahan rangkaian proteksi terhadap parameter utama sistem, yaitu gain, Signal-to-Noise Ratio (SNR), dan Noise Figure (NF).

4.2.1 Parameter Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem penerima sinyal Very High Frequency (VHF) petir dengan menambahkan rangkaian proteksi pada sistem. Rangkaian proteksi dipasang sebelum Low Noise Amplifier (LNA) dengan tujuan untuk melindungi perangkat dari lonjakan tegangan transien yang dapat terjadi akibat aktivitas petir.

Konfigurasi sistem pada pengujian ini terdiri dari antenna sebagai penerima sinyal, rangkaian proteksi sebagai pengaman awal, LNA sebagai penguat sinyal, serta perangkat akuisisi data untuk menampilkan dan merekam sinyal. Dengan adanya penambahan rangkaian proteksi, diharapkan sistem tetap memiliki performa yang baik tanpa mengalami penurunan kualitas sinyal yang signifikan.

Adapun parameter dan kondisi pengujian yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Rentang frekuensi kerja sistem berada pada 30–300 MHz sesuai dengan karakteristik sinyal VHF petir
- Konfigurasi sistem: Antena → LNA → perangkat akuisisi data (PicoScope)
- Komponen yang digunakan meliputi antenna tipe discone, LNA, kabel koaksial, dan PicoScope
- Parameter yang diamati dalam pengujian meliputi:
 - Amplitudo sinyal
 - *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)
 - *Noise Figure* (NF)
 - *Gain sistem*

Pengujian dilakukan dengan kondisi yang sama seperti pada pengujian sebelumnya, sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara langsung dengan sistem tanpa proteksi.

4.2.2 Hasil dan Analisa

Pada tahap ini disajikan hasil pengujian sistem penerima sinyal Very High Frequency (VHF) petir dengan menggunakan Low Noise Amplifier (LNA) tanpa rangkaian proteksi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan LNA terhadap peningkatan kualitas sinyal berdasarkan parameter *gain*, *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dan *Noise Figure* (NF).

Berikut adalah tabel 4.3 yang menunjukkan hasil pengujian sistem dengan menggunakan rangkaian proteksi:

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian dengan Proteksi

No	Frekuensi	Tegangan Input	Noise Input	Tegangan Output	Noise Output
1.	30	100	5,33	1,758	129,5
2.	40	100	5,33	1,741	129,5
3.	50	100	5,33	1,776	129,5

4.	60	100	5,33	1,713	129,5
----	----	-----	------	-------	-------

Berdasarkan hasil pengujian tersebut maka akan dapat dihitung:

1. *Gain*

$$Gain (dB) = 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$Gain (dB) = 20 \log_{10} \frac{1758}{100}$$

$$Gain (dB) = 24,90 \text{ dB}$$

2. SNR input

$$SNR_{in}(dB) = 20 \log_{10} \frac{V_{sinyal in}}{V_{noise in}}$$

$$SNR_{in}(dB) = 20 \log_{10} \frac{100}{5,33}$$

$$SNR_{in}(dB) = 25,46 \text{ dB}$$

3. SNR output

$$SNR_{out}(dB) = 20 \log_{10} \frac{V_{sinyal out}}{V_{noise out}}$$

$$SNR_{out}(dB) = 20 \log_{10} \frac{1758}{129,5}$$

$$SNR_{out}(dB) = 22,65 \text{ dB}$$

4. *Noise Figure*

$$NF (dB) = SNR_{in}(dB) - SNR_{out}(dB)$$

$$NF (dB) = 25,46 - 22,65 = 2,81 \text{ dB}$$

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan pada Pengujian dengan Proteksi

f (MHz)	Vin (mV)	Noise In (mV)	Vout (V)	Noise Out (mV)	SNR In (dB)	SNR Out (dB)	NF (dB)	Gain (dB)
30	100	5,33	1,758	129,5	25,46	22,65	2,81	24,90
40	100	5,33	1,741	129,5	25,46	22,57	2,89	24,82
50	100	5,33	1,776	129,5	25,46	22,74	2,72	24,99

60	100	5,33	1,713	129,5	25,46	22,43	3,03	24,68
----	-----	------	-------	-------	-------	-------	------	-------

Berdasarkan hasil pengujian, nilai gain yang diperoleh pada sistem dengan proteksi hampir sama dengan sistem tanpa proteksi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan rangkaian proteksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan penguatan sinyal oleh LNA.

Dari sisi Signal-to-Noise Ratio (SNR), nilai SNR output juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan sistem tanpa proteksi, yaitu berada pada kisaran sekitar 22 dB. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian proteksi tidak menambah noise secara berarti ke dalam sistem.

Nilai Noise Figure (NF) yang diperoleh berada pada kisaran 2-3 dB, yang masih tergolong baik untuk sistem penerima VHF. Nilai ini juga tidak jauh berbeda dengan sistem tanpa proteksi, sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian proteksi tidak memberikan kontribusi noise yang signifikan.

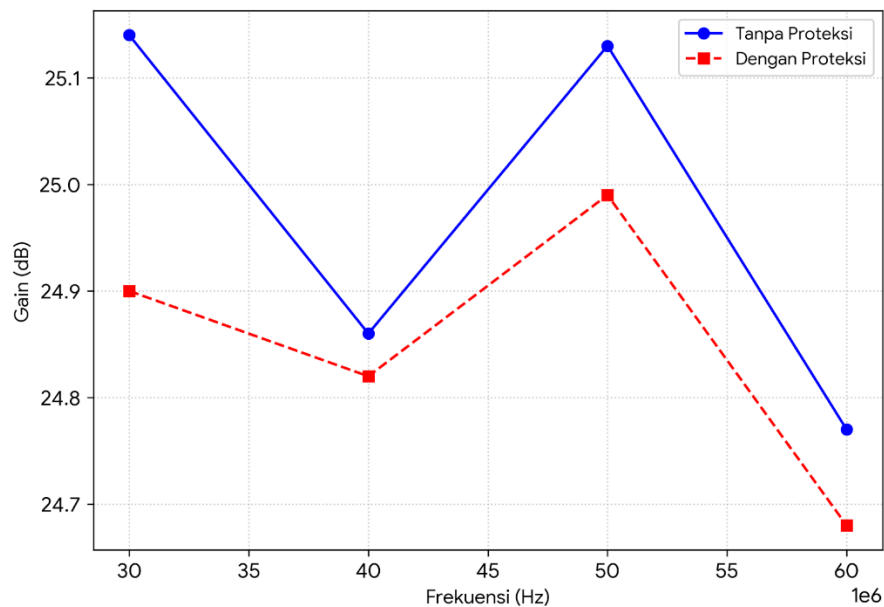
Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan rangkaian proteksi tidak memberikan degradasi performa yang signifikan terhadap parameter gain, SNR, dan Noise Figure. Dengan demikian, penggunaan proteksi dapat diterapkan tanpa mengorbankan kualitas sinyal, sekaligus memberikan perlindungan terhadap sistem dari lonjakan tegangan transien.

Berikut perbandingan antara pengujian tanpa menggunakan proteksi dengan menggunakan proteksi:

Tabel 4. 5 Perbandingan Parameter Sistem dengan dan tanpa Proteksi

Parameter	Tanpa Proteksi (dB)	Dengan Proteksi (dB)
Gain	25,14	24,90
SNR _{in}	25,46	25,46
SNR _{out}	22,89	22,65
NF	2,57	2,81

Berdasarkan hasil pengujian, perbandingan antara tegangan output yang diperoleh pada kondisi dengan dan tanpa rangkaian proteksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 1 Grafik Perrbandingan output pada sistem dengan dan tanpa proteksi

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat dilihat bahwa perbedaan parameter antara sistem dengan dan tanpa rangkaian proteksi sangat kecil. Nilai gain pada kedua kondisi menunjukkan selisih yang sangat kecil, yaitu kurang dari 1 dB, sehingga dapat dikatakan tidak terdapat penurunan penguatan yang signifikan akibat penambahan proteksi.

Dari sisi Signal-to-Noise Ratio (SNR), nilai SNR output pada kedua sistem juga relatif sama, dengan selisih yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian proteksi tidak memberikan kontribusi noise yang berarti terhadap sistem.

Nilai Noise Figure (NF) yang diperoleh juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, dimana selisih nilai NF berada pada kisaran yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian proteksi tidak mempengaruhi performa sistem secara keseluruhan dari sisi penambahan noise.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa penambahan rangkaian proteksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter utama sistem, yaitu gain, SNR, dan Noise Figure. Dengan demikian, penggunaan rangkaian proteksi dapat diterapkan tanpa mengorbankan performa sistem, sekaligus memberikan perlindungan terhadap lonjakan tegangan transien.

4.3 Simulasi Rangkaian Proteksi

4.3.1 Parameter Pengujian

Pada tahap ini dilakukan simulasi rangkaian proteksi untuk menganalisis respon sistem terhadap lonjakan tegangan transien yang menyerupai kondisi akibat

sambaran petir. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak LTspice, yang memungkinkan analisis perilaku tegangan pada setiap komponen secara detail.

Rangkaian proteksi yang disimulasikan terdiri dari Gas Discharge Tube (GDT), TVS diode, dan induktor yang disusun secara berurutan sebelum masuk ke sistem utama. GDT berfungsi sebagai proteksi utama terhadap tegangan tinggi, sedangkan TVS diode dan induktor berperan sebagai proteksi lanjutan untuk meredam sisa tegangan transien.

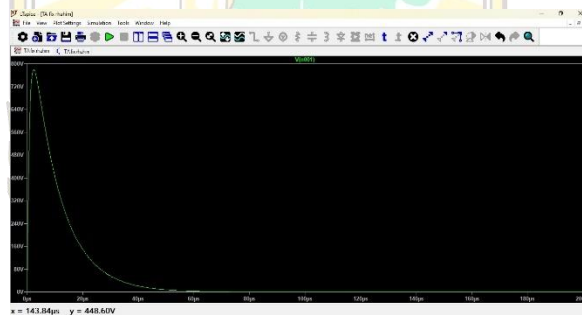
Sumber tegangan pada simulasi dimodelkan sebagai sinyal impuls dengan amplitudo tinggi untuk merepresentasikan lonjakan tegangan akibat petir. Parameter yang diamati dalam simulasi meliputi:

- Tegangan pada GDT
- Tegangan pada TVS
- Tegangan pada inductor

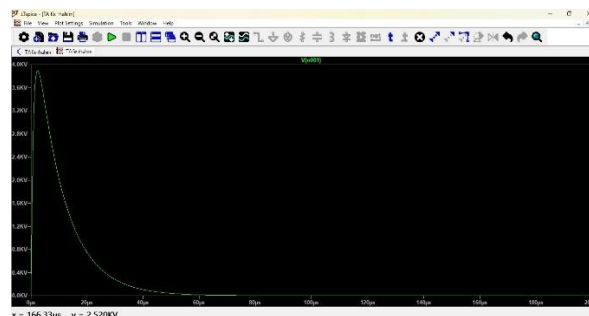
4.3.2 Hasil dan Analisa

Hasil simulasi menunjukkan respon tegangan pada masing-masing komponen proteksi terhadap sinyal impuls yang diberikan. Setiap komponen memiliki peran dalam meredam tegangan secara bertahap.

Hasil simulasi respon tegangan pada GDT dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 2 Respon tegangan pada GDT dengan sumber 1 kV



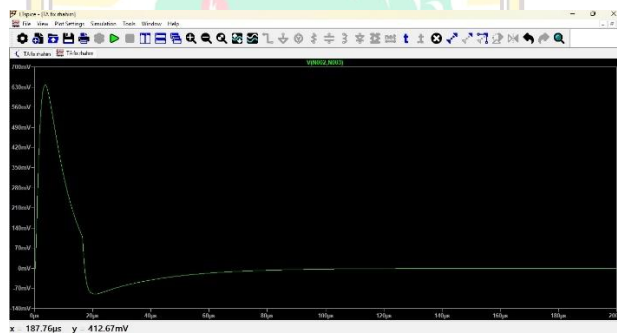
Gambar 4. 3 Respon Tegangan pada GDT dengan sumber 5 kV

Berdasarkan hasil simulasi pada LTspice, dilakukan analisis perbandingan kinerja *Gas Discharge Tube* (GDT) terhadap dua level tegangan gangguan yang

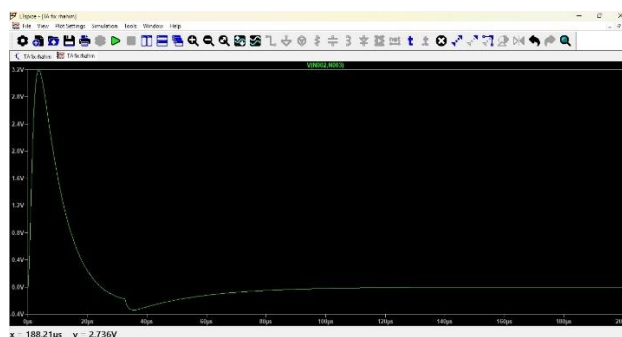
berbeda. Pada saat sistem diberikan input sebesar 1 Kv, tegangan residu yang terukur pada *node* GDT mencapai nilai puncak sekitar 780 V hingga 800 V sebelum akhirnya menurun menuju nol. Fenomena ini menunjukkan bahwa GDT bekerja sesuai dengan karakteristik *spark-over voltage* nominalnya untuk memotong lonjakan awal.

Sebaliknya, ketika tegangan sumber ditingkatkan menjadi 5 kV, terlihat peningkatan amplitudo tegangan residu yang signifikan hingga mencapai angka mendekati 3,9 kV pada fase transien awal. Meskipun secara visual bentuk gelombang peluruhan tetap konsisten dengan durasi yang serupa, besarnya tegangan tembus yang terbaca pada grafik kedua mengindikasikan adanya beban kerja yang jauh lebih berat pada komponen proteksi. Perbedaan selisih tegangan puncak ini menegaskan bahwa efektivitas koordinasi proteksi bertingkat sangat bergantung pada kemampuan induktor dalam menghambat laju kenaikan arus, sehingga tegangan sisa yang diteruskan ke tahap proteksi sekunder (TVS *diode*) dapat ditekan seminimal mungkin untuk menghindari kerusakan pada beban sensitif.

Hasil simulasi respon tegangan pada L1 dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4 dibawah ini.



Gambar 4. 4 Respon Tegangan pada L1 dengan sumber 1 kV



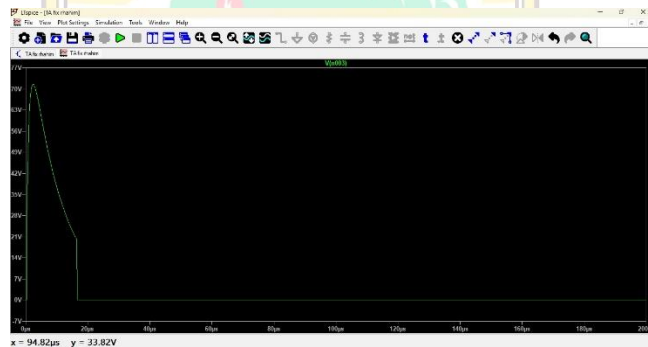
Gambar 4. 5 Respon Tegangan pada L1 dengan sumber 5 kV

Induktor L1 berfungsi sebagai elemen koordinasi impedansi yang krusial untuk menciptakan perbedaan tegangan antara proteksi primer (GDT) dan sekunder (TVS). Berdasarkan hasil simulasi pada LTspice saat sistem diberikan

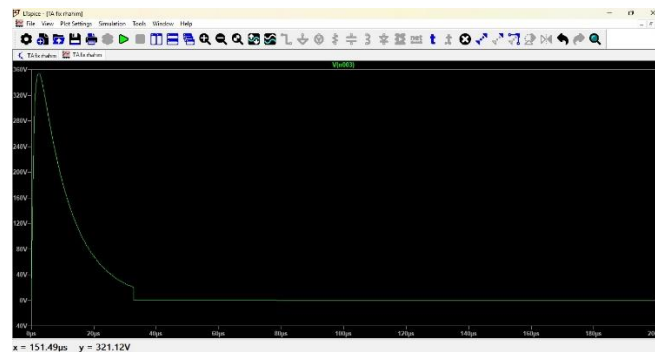
gangguan sebesar 1 kV, tegangan jatuh pada L1 menunjukkan nilai puncak sekitar 640 mV. Hal ini mengindikasikan bahwa pada level tegangan tersebut, laju perubahan arus yang mengalir melalui rangkaian masih relatif rendah, sehingga reaktansi induktif dari L1 hanya menghasilkan tegangan balik yang minimal.

Namun, pada saat tegangan sumber ditingkatkan menjadi 5 kV, karakteristik respon L1 menunjukkan peningkatan yang signifikan dengan tegangan puncak melonjak hingga mencapai 3,2 kV. Kenaikan amplitudo ini membuktikan bahwa induktor L1 merespon secara aktif terhadap peningkatan kecuraman transien arus akibat lonjakan energi yang lebih besar dari sumber. Secara keseluruhan, perbandingan ini menunjukkan bahwa L1 berhasil menjalankan fungsinya sebagai pembatas arus transien, di mana semakin tinggi gangguan yang masuk, semakin besar pula tegangan yang dijatuhkan pada induktor ini. Mekanisme ini sangat penting dalam sistem proteksi bertingkat untuk memastikan bahwa sebagian besar energi gangguan dihambat di sisi depan, sehingga tegangan yang diteruskan ke tahap proteksi selanjutnya tetap berada dalam batas aman.

Hasil simulasi respon tegangan pada TVS dapat dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6 dibawah ini.



Gambar 4. 6 Respon Tegangan pada TVS dengan sumber 1 kV



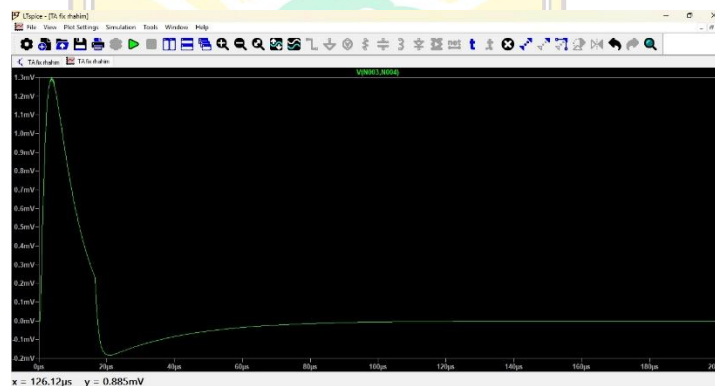
Gambar 4. 7 Respon Tegangan pada TVS dengan sumber 5 kV

TVS *diode* berperan sebagai proteksi tahap sekunder yang bertugas membatasi tegangan sisa agar tidak melampaui ambang batas aman bagi beban

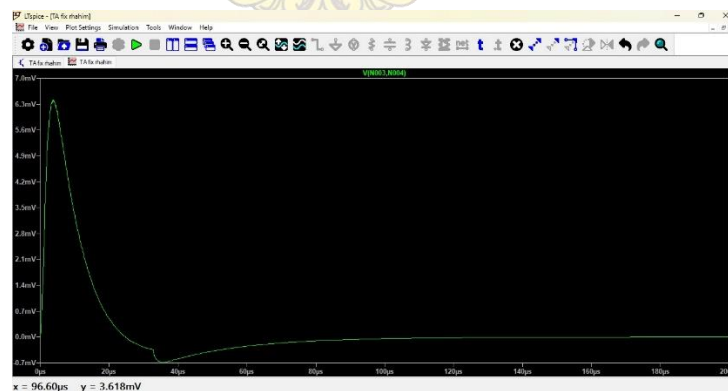
sensitif. Berdasarkan hasil simulasi pada LTspice, terlihat bahwa TVS *diode* menunjukkan karakteristik *clamping* yang sangat efektif dan stabil. Pada saat diberikan tegangan gangguan sebesar 1 kV, TVS mampu memotong tegangan pada level 5,66 V. Ketika tegangan gangguan ditingkatkan secara drastis menjadi 5 kV level tegangan sisa hanya mengalami kenaikan minimal menjadi 5,82 V.

Konsistensi nilai tegangan potong ini membuktikan bahwa TVS *diode* memiliki impedansi dinamis yang sangat rendah saat memasuki fase *breakdown*. Selisih tegangan yang sangat kecil (sekitar 0,16 V) antara kedua pengujian tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar energi berlebih telah berhasil diredam oleh koordinasi antara GDT dan induktor L1 sebelumnya. Grafik ini mengonfirmasi bahwa TVS *diode* berhasil menjalankan fungsinya dalam menjaga tegangan keluaran agar tetap berada di bawah level tegangan kerja maksimum beban, sehingga memberikan perlindungan yang andal terhadap lonjakan transien yang ekstrem sekalipun.

Hasil simulasi respon tegangan pada L2 dapat dilihat pada gambar 4.7 dan 4.8 dibawah ini.



Gambar 4. 8 Respon Tegangan pada L2 dengan sumber 1 kV



Gambar 4. 9 Respon Tegangan pada L2 dengan sumber 5 kV

Induktor L2 dipasang setelah tahapan proteksi TVS *diode* dengan tujuan untuk memberikan penyaringan akhir dan membatasi laju kenaikan arus yang menuju ke beban utama. Berdasarkan hasil simulasi pada LTspice saat sistem

diberikan input sebesar 1 kV, tegangan jatuh pada L2 mencapai nilai puncak sekitar 1,3 mV. Sementara itu, pada pengujian dengan tegangan yang lebih tinggi yaitu 5 kV, tegangan puncak pada L2 meningkat menjadi sekitar 6,3 mV.

Meskipun terjadi peningkatan tegangan seiring dengan besarnya input, nilai tegangan residu pada L2 tetap berada dalam orde miliVolt yang sangat rendah. Hal ini membuktikan efektivitas skema proteksi bertingkat yang dirancang, di mana TVS *diode* telah berhasil memotong sebagian besar energi transien sehingga induktor L2 hanya perlu menangani sisa tegangan transien yang sangat kecil. Dengan nilai tegangan jatuh yang minimal pada tahapan akhir ini, induktor L2 memastikan bahwa arus yang mengalir ke beban sensitif menjadi lebih halus dan stabil. Hasil ini mengonfirmasi bahwa penempatan L2 sebagai filter akhir sangat efektif dalam memberikan lapisan perlindungan tambahan untuk menjamin keamanan isolasi pada sisi beban.

Secara keseluruhan, terjadi penurunan tegangan yang sangat signifikan dari sisi input hingga ke tahap akhir rangkaian proteksi. Tegangan yang awalnya berada pada kisaran ratusan volt dapat direduksi menjadi level yang sangat kecil, yaitu dalam orde miliVolt. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian proteksi yang dirancang mampu bekerja secara efektif dalam meredam lonjakan tegangan transien.

4.4 Analisa Perbandingan Sistem

4.4.1 Perhitungan *Gain* Teoritis Sistem

Untuk mengetahui performa sistem secara keseluruhan, dilakukan perhitungan *gain* teoritis berdasarkan nilai penguatan dan rugi-rugi dari masing-masing komponen yang digunakan dalam sistem penerima.

Data gain dan loss tiap komponen ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4. 6 *Gain* Masing-masing Komponen

Komponen	Penguatan (dB)
Arrester Diamond SP3000	-0,2
Kabel LMR-400 (20m)	-0,7
LNA ZFL-500LN+	+24 ; -2,9
Filter BPF ZABP-59-S+	-1,0
Kabel LMR-240 (30m)	-2,1
Attenuator 10 dB	-10,0
LNA ZX60-P103LN+	+20,0 ; -0,5
Feed-through	0

Total gain sistem dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai penguatan dan mengurangi seluruh rugi-rugi sebagai berikut:

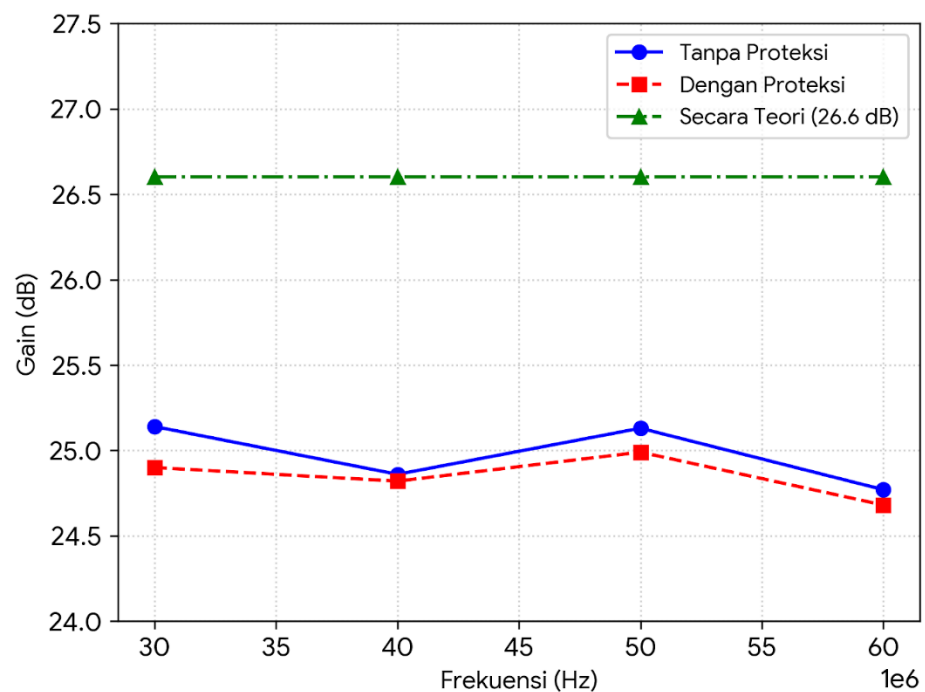
$$Gain_{total} = (24,0 + 20,0) - (0,2 + 0,7 + 1,0 + 2,1 + 10 + 2,9 + 0,5)$$

$$Gain_{total} = 26,6 \text{ dB}$$

4.4.2 Perbandingan Gain Teoritis dan Hasil Pengukuran

Untuk mengevaluasi kesesuaian antara perhitungan teoritis dan hasil eksperimen, dilakukan perbandingan antara nilai gain teoritis dan gain hasil pengujian.

Adapun perbandingan antara gain hasil pengujian dan gain secara teoritis dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4. 10 Grafik perbandingan *gain* sistem

Secara garis besar, perbandingan antara gain secara teoritis dan gain hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Perbandingan *Gain* Teoritis dan Pengukuran

Parameter	Teoritis (dB)	Pengukuran (dB)
Gain sistem	26,6	24-25

Berdasarkan hasil perbandingan antara gain teoritis dan hasil pengukuran, diperoleh bahwa nilai gain hasil pengujian cenderung lebih rendah dibandingkan dengan nilai teoritis. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya rugi-rugi tambahan pada sistem yang tidak sepenuhnya diperhitungkan dalam analisis teoritis, seperti rugi-rugi pada konektor, sambungan kabel, serta jalur transmisi. Selain itu, pengaruh noise dan kondisi lingkungan juga turut mempengaruhi hasil pengukuran, dimana adanya interferensi eksternal dapat menurunkan kualitas

sinyal yang diterima sehingga berdampak pada nilai gain efektif yang dihasilkan. Dengan demikian, selisih antara nilai teoritis dan hasil pengukuran merupakan hal yang wajar terjadi pada sistem nyata.

4.4.3 Korelasi Efektivitas Komponen Proteksi dalam Memitigasi *Overvoltage* pada LNA

Korelasi antara distribusi penempatan komponen proteksi dengan tingkat keberhasilan perlindungan *Low Noise Amplifier* (LNA) terlihat jelas melalui penurunan tegangan bertahap di setiap tahapan sirkuit. Berdasarkan hasil simulasi, penggunaan strategi proteksi bertingkat (*multi-stage protection*) yang memisahkan beban kerja antara GDT, induktor koordinasi, dan TVS *diode* terbukti krusial dalam menjaga integritas LNA. GDT sebagai proteksi primer berhasil membuang sebagian besar energi arus petir ke *ground*, namun karena karakteristik *spark-over voltage*-nya yang cukup tinggi, tegangan residu yang dilewatkan masih berada di orde ratusan hingga ribuan Volt. Peran elemen koordinasi L1 dan L2 tersebut memberikan impedansi transien yang menghambat laju kenaikan arus, sehingga memberikan waktu bagi TVS *diode* untuk melakukan *clamping* pada level tegangan yang sangat rendah (sekitar 5,6 V hingga 5,8 V).

Keberhasilan memproteksi LNA dari *overvoltage* sangat bergantung pada stabilitas tegangan keluaran setelah melewati TVS dan filter akhir L2. Karena LNA merupakan komponen aktif yang sangat sensitif terhadap lonjakan tegangan di atas rating kerjanya, korelasi positif ditunjukkan dengan nilai tegangan sisa pada sisi beban yang hanya mencapai orde miliVolt setelah melalui rangkaian proteksi lengkap. Hal ini membuktikan bahwa distribusi impedansi dan pemilihan level pemotongan tegangan pada tiap tahap telah terkoordinasi dengan baik. Dengan demikian, risiko kerusakan permanen pada *semikonduktor* di dalam LNA akibat tembus tegangan (*voltage breakdown*) dapat diminimalisir secara signifikan, memastikan sistem deteksi sinyal VHF petir tetap dapat beroperasi secara kontinu meskipun terpapar gangguan transien yang ekstrem.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap sistem penerima sinyal *Very High Frequency* (VHF) petir menggunakan *Low Noise Amplifier* (LNA) serta rangkaian proteksi, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan Low Noise Amplifier (LNA) terbukti efektif meningkatkan amplitudo sinyal secara signifikan dengan gain hasil pengukuran mencapai rentang 24,68 dB hingga 25,14 dB, yang mana nilai ini mendekati perhitungan teoritis ideal sebesar 26,6 dB dengan deviasi berkisar antara 1,46-1,92 dB akibat faktor non-ideal seperti rugi-rugi kabel koaksial dan impedansi parasitik komponen. Analisis berbasis spektrum menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa proteksi, LNA menghasilkan gain berturut-turut sebesar 25,14 dB (30 MHz), 24,86 dB (40 MHz), 25,13 dB (50 MHz), dan mencapai titik terendah 24,77 dB pada frekuensi 60 MHz. Ketika rangkaian proteksi diintegrasikan, terjadi degradasi gain tambahan yang konsisten di seluruh titik pengujian akibat adanya insertion loss (rugi-rugi sisipan) dari komponen proteksi, dengan penurunan terbesar terjadi pada frekuensi 30 MHz (turun 0,24 dB menjadi 24,90 dB). Meskipun demikian, deviasi total akibat pemasangan modul proteksi ini relatif sangat kecil (di bawah 0,25 dB), yang mengindikasikan bahwa perancangan sistem proteksi telah optimal karena mampu memberikan perlindungan tegangan lebih yang andal tanpa mengorbankan kinerja penguatan LNA secara drastis pada rentang frekuensi kerja 30-60 MHz.
2. Sistem penerimaan sinyal yang diuji menunjukkan tingkat integritas dan kualitas data yang sangat baik untuk dianalisis, dengan nilai SNR output tinggi dimana yang paling rendah dengan nilai 22,43 dB. Terjadinya penurunan dari nilai SNR input konstan (25,46 dB) merupakan konsekuensi logis dari karakteristik LNA yang turut memperkuat daya noise input serta menambahkan kontribusi thermal noise internal dari komponen aktifnya sendiri. Analisis berbasis frekuensi menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa proteksi, SNR output berfluktuasi dari nilai tertinggi 22,89 dB (pada frekuensi 30 dan 50 MHz) hingga titik terendah 22,52 dB (60 MHz). Ketika modul proteksi dipasang, resistansi dan insertion loss parasitik memicu sedikit degradasi minor tambahan, di mana SNR output bergeser menjadi 22,65 dB pada 30 MHz, 22,57 dB pada 40 MHz, 22,74 dB pada 50 MHz, dan menyentuh nilai terendah 22,43 dB pada 60 MHz. Meskipun terdapat sedikit penurunan akibat interferensi rangkaian proteksi tersebut, nilai SNR output yang tetap bertahan stabil di atas 22 dB ini membuktikan bahwa kualitas sinyal masih sangat andal untuk proses deteksi dan pemrosesan data lebih lanjut pada spektrum kerja 30-60 MHz.

3. Evaluasi nilai *Noise Figure* (NF) pada sistem menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam menekan penambahan *noise* internal selama proses penguatan, dengan nilai terukur berada pada kisaran rendah yaitu 2,57 dB hingga 3,03 dB. Berdasarkan analisis berbasis frekuensi pada kondisi tanpa proteksi, LNA memiliki performa terbaik pada frekuensi 30 MHz dan 50 MHz dengan nilai NF minimum sebesar 2,57 dB, lalu meningkat menjadi 2,85 dB pada 40 MHz dan 2,94 dB pada 60 MHz. Pemasangan modul proteksi kemudian memicu kenaikan nilai NF yang konsisten di seluruh spektrum akibat kontribusi *thermal noise* tambahan dan redaman komponen pasifnya, di mana nilai NF bergeser menjadi 2,81 dB (30 MHz), 2,89 dB (40 MHz), 2,72 dB (50 MHz), dan menyentuh angka tertinggi 3,03 dB pada 60 MHz. Meskipun integrasi rangkaian proteksi menaikkan indeks *noise* sistem, nilai total NF yang sebagian besar tetap terjaga di bawah atau sekitar ambang batas 3 dB ini membuktikan bahwa sistem masih memiliki efisiensi dan sensitivitas yang sangat tinggi untuk menerima sinyal lemah pada rentang kerja 30-60 MHz.
4. Penambahan rangkaian proteksi yang terdiri dari *Gas Discharge Tube* (GDT), TVS diode, dan induktor tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter utama sistem, yaitu gain, SNR, dan *Noise Figure*. Hal ini dibuktikan dengan selisih nilai yang sangat kecil antara sistem dengan dan tanpa proteksi.
5. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan LTspice, rangkaian proteksi mampu meredam tegangan transien dari kisaran ratusan volt menjadi orde miliVolt. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian proteksi efektif dalam melindungi sistem dari lonjakan tegangan tanpa mengganggu kualitas sinyal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan jenis LNA dengan nilai *Noise Figure* yang lebih rendah untuk meningkatkan kualitas sinyal, terutama dalam kondisi lingkungan dengan tingkat noise yang tinggi.
2. Pengujian dapat dilakukan dengan variasi kondisi lingkungan yang lebih luas, seperti pada lokasi dengan tingkat interferensi yang berbeda, untuk memperoleh hasil yang lebih representatif terhadap kondisi nyata.
3. Simulasi rangkaian proteksi dapat dikembangkan dengan menggunakan model sumber petir yang lebih kompleks dan realistis, sehingga hasil simulasi dapat lebih mendekati kondisi sebenarnya.

4. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan sistem monitoring atau pengukuran real-time untuk menganalisis respon sistem terhadap kejadian petir secara langsung.
5. Perlu dilakukan pengujian jangka panjang terhadap rangkaian proteksi untuk mengetahui keandalan dan ketahanan komponen dalam menghadapi lonjakan tegangan berulang.

