



**UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA**

**Analisis *Link Budget* untuk Komunikasi Data Link pada PUNA MALE  
(Pesawat Udara Nir-Awak Medium Long Endurance) untuk  
Mendukung Operasi Militer**

**LAILATUL QOMARIYAH**

**120200402005**

Tesis yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam  
Mendapatkan Gelar Magister Pertahanan

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PENGINDERAAN**

**BOGOR**

**2022**

## LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Nama : Lailatul Qomariyah  
NIM : 120200402005  
Program Studi : Teknologi Penginderaan  
Fakultas : Teknologi Pertahanan  
Judul Tesis : Analisis *Link Budget* untuk Komunikasi Data Link pada PUNA MALE (Pesawat Udara Nir-Awak Medium Long Endurance) untuk Mendukung Operasi Militer

Pembimbing I,



Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan,  
M.Eng

NIP.195810141985031005

Tanggal: 21 Februari 2022

Pembimbing II,



Brigjen TNI Dr. Ir. Pujo Widodo,  
SE, SH, ST, MA, MSi, MDMS, MSi  
(Han).

Tanggal: 21 Februari 2022

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan








Dr. Kasih Prihantoro, S.E., M.M., M.Tr. (Han)

Laksamana Muda TNI

Tanggal: 22 Februari 2022

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

	Nama : Lailatul Qomariyah NIM : 120200402005 Program Studi : Teknologi Penginderaan Fakultas : Teknologi Pertahanan Judul Tesis : Analisa <i>Link Budget</i> Untuk Komunikasi Data Link Pada PUNA MALE (Pesawat Udara Nir-Awak <i>Medium Altitude Long Endurance</i> ) Untuk Mendukung Operasi Militer		
No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Pembimbing I: Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng NIP.195810141985031005		21 Februari 2022
2.	Pembimbing II: Dr. Ir. Pujo Widodo, SE, SH, ST, MA, MSi, MDMS, MSi (Han). Brigadir Jenderal TNI		21 Februari 2022
4.	Penguji I: Nama Dr. Sungkono, SE., M.AP Marsekal Muda TNI (Purn).		21 Februari 2022
5.	Penguji II: Nama Dr. Andrian Andaya Lestari., SMIEEE NIDN. 4701036601		21 Februari 2022
5.	Penguji III: Dr. Gentio Harsono, ST., M.Si Letkol Laut (KH) NRP.12264		21 Februari 2022

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 20 Februari 2022



Lailatul Qomariyah

## KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penyusunan tesis dengan judul: “Analisa *Link Budget* Untuk Komunikasi Data Link Pada PUNA MALE (Pesawat Udara Nir-Awak *Medium Altitude Long Endurance*) Untuk Mendukung Operasi Militer” dapat diselesaikan.

Penyusunan tesis ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknologi Penginderaan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan.

Penyusunan tesis ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Laksamana Madya TNI Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., D.E.S.D., CIQaR., CIQnR., IPU, selaku Rektor Universitas Pertahanan Republik Indonesia,
2. Laksamana Muda TNI Dr. Kasih Prihantoro, S.E., M.M., M.Tr. (Han), selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Republik Indonesia,
3. Kolonel Sus Dr. Ir. Rudy A. G. Gultom, M.Sc, CEH, CIQaR, selaku Sekretaris Program Studi Teknologi Penginderaan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Republik Indonesia,
4. Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng., selaku dosen pembimbing I dan Brigjen TNI Dr. Pujo Widodo, S.E., M.A., MDS., M.Si(Han). selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan dari awal hingga terselesaikannya skripsi ini.

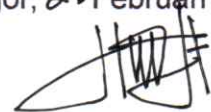
5. Andrian Andaya Lestari, Ph.D., SMIEEEE,. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya hingga terselesaikannya penelitian ini.
6. Marsda Purn. Dr. Ir. Asep Adang Supriyadi, ST., MM., IPU. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan motivasi dalam memperbaiki tesis ini sehingga penulisan tesis ini dapat dilakukan dengan baik,
7. Dr. Ir. Achmad Farid Wadjudi, MM .selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya hingga terselesaikannya penelitian ini
8. Bapak Bobby Harmawan,dan Bapak Ario Sanjaya, yang telah memberikan ilmu dan arahan terkait Penggunaan CST
9. Letkol Kamto, Penerbang Aerostar, yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dan memberikan arahan dan ilmu mengenai UAV dan Sistem Komunikasinya.
10. Orang tua dan saudara yang selalu memberikan doa dan semangat,
11. Mahasiswa Teknologi Penginderaan *cohort* 4 yang tetap kompak dalam menuju keberhasilan menuntut ilmu,
12. Seluruh Dosen Program Studi Penginderaan UNHAN RI yang telah memberi ilmu dan bimbingan selama ini.
13. Teman-teman seperjuangan yang telah mendukung proses penelitian Tesis ini.Serta semua pihak yang membantu dalam proses penelitian dan penulisan tesis ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Peneliti menyadari bahwa tesis ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan tesis ini.

Akhirnya, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi stakeholder terkait dalam upaya menjaga pertahanan dan keamanan negara terutama di wilayah perairan Indonesia.

Bogor, 20 Februari 2022



Lailatul Qomariyah

## ABSTRAK

### **Analisis Link Budget untuk Sistem Data Link Pada PUNA MALE (Pesawat Udara Nir-Awak *Medium Altitude Long Endurance*) Untuk mendukung Operasi Militer**

**Lailatul Qomariyah**

Perkembangan teknologi Pertahanan, salah satunya UAV pada era ini semakin meningkat. UAV sendiri memiliki berbagai manfaat baik dalam bidang sipil maupun militer. TNI dalam menjalankan tugasnya untuk menjaga dan mempertahankan kedaulatan NKRI, peran teknologi seperti UAV akan memberikan dampak yang sangat signifikan untuk pertahanan dan keamanan negara. Dalam aplikasinya sistem komunikasi UAV dan Ground segmen merupakan parameter penting yang harus diteliti mengingat medan dan aplikasi dalam bidang militer yang memiliki kompleksitas lebih tinggi. Link Budget analisis merupakan parameter penting dalam sistem komunikasi, yang merupakan perhitungan kuat penerimaan sinyal pada propagasi gelombang elektro magnetik dari transmitter menuju receiver. Dimana sangat dipengaruhi oleh lingkungan, penelitian ini berfokus pada faktor – faktor utama yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal, yang dapat menyebabkan Loss pada sistem komunikasi Link UAV dan Ground Segmen, faktor – faktor tersebut antara lain Rain Attenuation, Sudut Elevasi dan *Free Space Loss*. Serta bagaimana cara menentukan besaran atau parameter tersebut. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa besar sinyal receive  $-223,069$  dengan besar Threshold  $-80.8$  dBm, dimana hal ini menunjukkan adanya Loss yang signifikan, faktor Loss akibat Rain attenuation yaitu  $105,614$  dBi dan  $FSL$   $153,795$ , selain itu perubahan besar Gain penerimaan akibat sudut azimut dan polarisasi gelombang setelah di aplikasikan pada UAV sebesar  $-9$  dBi, mempengaruhi kualitas komunikasi Link, hal ini diketahui dimana nilai sinyal receive jauh lebih kecil dari ambang batas minimum atau Thresholdnya sehingga harus ditambah power minimum sebesar  $\pm -142,269$  dBi agar tidak terjadi Loss dalam komunikasi linknya.

Kata Kunci: *Link Budget, UAV, Rain Attenuation, Gain*

## **ABSTRACT**

### **Link Budget Analysis for Data Link System in UAV MALE (Unmanned Aerial Vehicles *Medium Altitude Long Endurance*) For Military Operation**

**Lailatul Qomariyah**

The development of Defense technology, Such as UAV in this era is rapidly being develop. UAV itself has various benefits both in the civilian and military fields. TNI in carry out its duties to maintain and defend the sovereignty of the Republic of Indonesia, the role of technology such as UAVs will have a very significant impact on national defense and security. In its application the UAV and Ground segment communication systems are important parameters that must be studied considering the terrain and applications in the military field which have a higher complexity. Link budget analysis is an important parameter in communication system, which is a calculation of the strength of the signal reception on the propagation of electromagnetic waves from the transmitter to the receiver. Where it is strongly influenced by the environment, this research focuses on the main factors that can affect signal quality, which can cause Loss in the UAV Link and Ground Segment communication system, these factors include Rain Attenuation, Elevation Angle and Free Spece Loss. And how to determine the magnitude or parameter. From the results of this study, it was found that the received signal was -223.069 with a Threshold of -80.8 dBm, which indicates a significant loss, the Loss factor due to Rain attenuation is 105,614 dBi and FSL 153.795, besides the large change in received gain is due to the azimuth and polarization angles. After applying the Annthema to the UAV, Its Gain decrease untill reach -9 dBi, it affects the quality of link communication, the value of the receive signal is much smaller than the minimum threshold, so a minimum power around  $\pm$ -142.269 dBi must be added so that there is no loss in the communication link.

*Keywords: Link Budget, UAV, Rain Attenuation, Gain*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	12
1.3 Rumusan Masalah.....	12
1.4 Batasan Masalah .....	13
1.5 Tujuan Penelitian .....	13
1.6 Manfaat Penelitian .....	14
1.6.1. Manfaat Teoritis.....	14
1.6.2. Manfaat Praktis .....	14
BAB 2.....	15
TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1. Landasan Teori.....	15
2.1.1 Operasi Militer .....	15

2.1.2	UAV .....	16
2.1.3	Komunikasi Data Link.....	24
2.1.4	Propagasi Gelombang Elektro Magnetik .....	25
2.1.5	Link Budget .....	27
2.1.5.1	FSL (Free Space Loss).....	28
2.1.5.2	Antenna Gain.....	29
2.1.5.3	Rain Attenuation .....	29
2.1.5.4	Antena Mikrostrip.....	31
2.2.	Penelitian Terdahulu Yang Relevan.....	33
2.3.	Kerangka Pemikiran.....	38
2.4.	Hipotesis .....	39
BAB 3	.....	41
METODOLOGI PENELITIAN	.....	41
3.1.	Metode dan Desain Penelitian .....	41
3.1.1.	Metode Penelitian.....	41
3.1.2.	Desain Penelitian .....	41
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	42
3.2.1.	Tempat Penelitian .....	42
3.2.2.	Waktu Penelitian .....	42
3.3	Populasi dan Sampel Penelitian .....	43
3.4.	Teknik Pengumpulan Data.....	44
3.5.	Instrumen Penelitian .....	44
3.6.	Teknik Pengolahan Data.....	44
3.7.	Teknik Analisis Data .....	44
BAB 4	.....	46

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	46
4.1. Deskripsi Data.....	46
4.1.1. Parameter untuk Link Budget.....	46
4.1.2. Sudut Azimut UAV Terhadap Antena .....	47
4.1.3. Rain Attenuation.....	47
4.1.4. Data Link UAV Karakteristik.....	47
4.2. Hasil Pengumpulan Data .....	47
4.2.1. Hasil Pengumpulan Sudut Azimut.....	47
4.2.2. Hasil Pengumpulan Attenuasi Hujan .....	48
4.2.3. Hasil Pengolahan dan desain Optimasi Antena .....	49
4.2.4. Hasil Pengumpulan Data Device Data Link.....	54
4.3. Hasil Pengolahan Data .....	55
4.3.1. Loss Akibat Sudut Azimuth dan elevasi .....	56
4.3.2. Loss Akibat Attenuasi Hujan.....	59
4.3.3. Loss Perangkat atau Device Data Link yang Digunakan dan Loss Free Space .....	60
4.4. Pembahasan.....	61
4.4.1. Sudut Azimut.....	63
4.4.2. Rain Attenuation.....	64
4.4.3. Loss Free Space dan Platform / Perangkat.....	65
BAB 5.....	66
PENUTUP .....	66
5.1. Kesimpulan .....	66
5.2. Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67

Lampiran.....	73
---------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Brosur PUNA MALE Elang Hitam Indonesia .....	4
Gambar 1. 2 Road Map Konsorsium UAV MALE.....	4
Gambar 1. 3 UAV dan Sistem Komunikasinya.....	7
Gambar 1. 4 Gambar Antena Mikrostrip .....	9
Gambar 2.1 Spesifikasi PUNA MALE .....	22
Gambar 2. 2 Elemen – elemen pendukung dalam sistem UAV .....	24
Gambar 2.3 UAS Arsitektur.....	24
Gambar 2.4 Mekanisme Propagasi Gelombang Elektro magnetik .....	26
Gambar 2. 5 Planar Antena (Mikrostrip Antena).....	32
Gambar 2. 6 Payload dan skema Antena Positioning MQ 9 Predator .....	32
Gambar 2. 7 Kerangka Pemikiran.....	39
Gambar 4. 1 Desain Antena Mikrostrip 6.56 Ghz.....	50
Gambar 4. 2 Gambar Penempatan Antena UAV .....	51
Gambar 4. 3 Gain Antena Sebelum di pasang di UAV .....	52
Gambar 4. 4 Pola radiasi Antena pada Posisi Perut Pesawat .....	52
Gambar 4. 5 Pola radiasi Antena Sebelum di Pasang .....	53
Gambar 4. 6 Pola radiasi Antena pada Posisi Perut Pesawat .....	53
Gambar 4. 7 Pola radiasi Antena pada Posisi Perut Pesawat .....	53
Gambar 4. 8 Gmax Azimuth and Elevation.....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Attenuasi Hujan dalam dB pada Frekuensi 1.0 GHz dan 5.0 GHz (Kakar et al., 2015) .....	10
Tabel 2. 1 UAV Klasifikasi (Bendea et al., n.d.)	18
Tabel 2. 2 Klasifikasi UAV Berdasarkan Beratnya .....	19
Tabel 2. 3 UAV Berdasarkan ACL (Kakar et al., 2015) .....	20
Tabel 2. 4 Klasifikasi UAV untuk bidang militer menurut NATO.....	21
Tabel 2. 5 Parameter Link Budget .....	28
Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu yang Relevan .....	33
Tabel 4. 1 Sudut Elevasi / Azimuth UAV .....	48
Tabel 4. 2 Curah Hujan di Indonesia.....	49
Tabel 4. 3 Tactical Data Link Karakteristik untu UAV Predator Departemen Pertahanan Amerika Serikat Joint Spectrum Center Annapolis, Maryland 21402 Data Link UAV Predator pada Gelombang Elektromagnetik C Band – 5 GHz .....	55
Tabel 4. 4 Tactical Data Link Karakteristik untu UAV Predator REPORT ITU-R M.2233.....	55
Tabel 4. 5 G max Azimuth and Elevation.....	58
Tabel 4. 6 ITU-R P. 838-3, nilai a dan b.....	59
Tabel 4. 7 Spesifikasi Link Budget.....	62