

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Deskripsi Data

##### 4.1.1. Parameter untuk Link Budget

Data utama pada penelitian ini mengacu pada data penelitian sebelumnya, mengenai Desain Antena mikrostrip untuk komunikasi UAV PUNA MALE dan dokumen Monev PTTA / MALE. Selanjutnya untuk parameter pendukung lainnya diperoleh dari data literatur terkait dan diskusi dengan ahli PT LEN dan penerbang UAV AeroStar Indonesia.

Salah satu parameter dalam perhitungan link Budget adalah Gain Antena . pada penelitian ini, Antena yang digunakan dibuat dan dirancang mengikuti penelitian terdahulu, untuk spesifikasi dan desainnya. Desain Antena Mikrostrip yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya, adalah antena komunikasi *Line of Sight (LOS)* yang telah di optimasi dan disesuaikan dengan persyaratan yang dibutuhkan dalam pengembangan UAV PUNA MALE.

Besaran parameter link budget yang lain seperti spesifikasi GCS, Bandwidth kerja, dll yang akan digunakan pada penelitian ini, didasarkan pada literatur studi atau data sekunder dari penelitian sebelumnya oleh departemen pertahanan Amerika Serikat pada pengembangan UAV Predator dengan Laporan Monev Rancang Bangun PTTA/ MALE (Medium Altitude Long Endurance) sebagai dasar dalam pengambilan data dan besaran parameter Link Budget.

Diskusi terkait dengan sistem operasional serta teknis UAV dengan penerbang AeroStar Skadron 51, dilakukan sebagai bentuk validasi data yang akan digunakan dalam penelitian, dan juga analisa pada penelitian ini.

#### **4.1.2. Sudut Azimut UAV Terhadap Antena**

Sudut Azimut UAV ketika melakukan Yaw, Roll dan Pitch pada penelitian ini didasarkan pada data dokumen Monev PTTA / MALE, keterangan hasil diskusi dengan penerbang UAV dan studi literatur pada beberapa UAV predator yang memiliki spesifikasi hampir sama atau mirip dengan PUNA MALE. Validasi data dilakukan dengan melakukan wawancara dan juga diskusi secara langsung dengan penerbang UAV Skadron 51

#### **4.1.3. Rain Attenuation**

Pada penelitian ini data curah hujan yang digunakan merupakan hasil studi literatur dari beberapa jurnal penelitian. Penelitian ini berfokus untuk menghasilkan nilai daya minimum yang diperlukan untuk melakukan komunikasi data link antara UAV dengan GCS, sehingga perhitungan *rain attenuation* akan berfokus pada cuaca atau curah hujan tertinggi yang mungkin dapat menyebabkan loss dan masalah pada saat melakukan komunikasi

#### **4.1.4. Data Link UAV Karakteristik**

Pada perhitungan *Link Budget* karakteristik Data link yang dibutuhkan akan menentukan kualitas dan daya yang dibutuhkan ketika melakukan link komunikasi. Pada penelitian ini karakteristik Data Link yang digunakan, menggunakan referensi Data Link untuk UAV Predator yang dirancang dan di gagas oleh departemen pertahanan Amerika Serikat.

### **4.2. Hasil Pengumpulan Data**

#### **4.2.1. Hasil Pengumpulan Sudut Azimut**

Berdasarkan Dokumen Monev PTTA MALE 2020, dan studi literatur besaran sudut Azimut yang dibentuk oleh UAV MALE ketika melakukan manuvering baik pada posisi Roll, Pitch dan Yaw masing – masing adalah (  $30^0$  hingga  $- 30^0$  ). Berdasarkan dokumen monev

PTTA MALE nilai tersebut diperoleh dari hasil analisis performa male yang dilakukan dengan aktuator dan Flight Control system.

Berdasarkan hasil studi dan diskusi dengan penerbang UAV AEROSTAR Indonesia, dimana pada kenyataannya UAV yang diterbangkan ketika berada pada sudut maksimum yaitu  $30^{\circ}$  mengalami lost signal, dan pada praktiknya hanya mampu hingga  $25^{\circ}$ , meskipun pada manual dokumennya memiliki nilai  $45^{\circ}$  ketika di hitung dengan menggunakan aktuator secara eksperimental dan kalibrasi.

Selain itu berdasarkan data literatur sudut elevasi/Azimuth dan beamwidth untuk UAV sakala predator adalah :

**Tabel 4. 1 Sudut Elevasi / Azimuth UAV**

Sumber data	Sudut Elevasi / Azimuth beamwidth
(Bonter & Price, 2003)	$30^{\circ}/30^{\circ}$
(Bonter & Dunty, 2004)	$30^{\circ}$
Data Penerbang AeroStar	$25^{\circ}$
Dokumen MONEV PTTA MALE 2020	$30^{\circ} / -30^{\circ}$

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

#### 4.2.2. Hasil Pengumpulan Attenuasi Hujan

Indonesia memiliki karakteristik fisiografis yang mana membuatnya memiliki curah hujan lebih tinggi, selain itu indonesia juga merupakan wilayah benua maritim atau yang sering disebut sebagai BMI (Benua Maritim Indonesia). Keadaan dan kondisi wilayah indonesia ini membuatnya memiliki karakteristik curah hujan yang cukup tinggi (Nuryanto, 2013; tukidi, 2010). Berikut adalah beberapa data curah hujan di Indonesia berdasarkan hasil penelitian terdahulu oleh (Aldrian, 2000).

**Tabel 4. 2 Curah Hujan di Indonesia**

Bulan	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Januari	100	>700
Februari	50	500
Maret	50	400
April	50	300
Mei	0	300
Juni	0	300
Juli	0	300
Agustus	0	300
September	0	300
Oktober	0	400
Nopember	50	450
Desember	150	500

Sumber : Aldrian, 2009

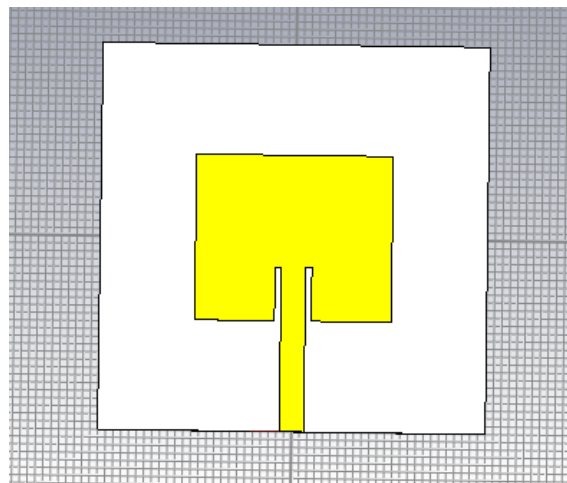
#### **4.2.3. Hasil Pengolahan dan desain Optimasi Antena**

Data Antena pada penelitian ini mengacu pada desain yang pernah dilakukan dan diteliti sebelumnya. Yang selanjutnya dilakukan pendisainnan ulang dan optimasi ulang. Data yang diperoleh kemudian dilakukan konfirmasi ulang melalui dokumen Monev PTTA MALE terbaru pada tahun 2021 dan diskusi secara langsung dengan penerbang UAV untuk mengkonfirmasi fakta dilapangan untuk penggunaan parameter – para meter terkait.

Parameter Desain antenna dari penelitian sebelumnya diperoleh data sebagai berikut :

Parameter	Deskripsi	Sebelum optimasi(mm)
w	Lebar <i>patch</i>	25.38
l	Panjang <i>patch</i>	21.41
wg	Lebar <i>groundplane</i>	50
lg	Panjang <i>groundplane</i>	50
h	Tebal <i>copper</i>	0.035
x	Ketebalan substrat	0.508
wf	Lebar <i>feed</i>	1.578
insx	Lebar <i>insert</i> kembar	0.8
insy	Panjang <i>insert</i> kembar	6.93

Berdasarkan data tersebut, dilakukan desain dan rancang bangun Antenna Mikrostrip dengan menggunakan Software CST Microwave Studio.

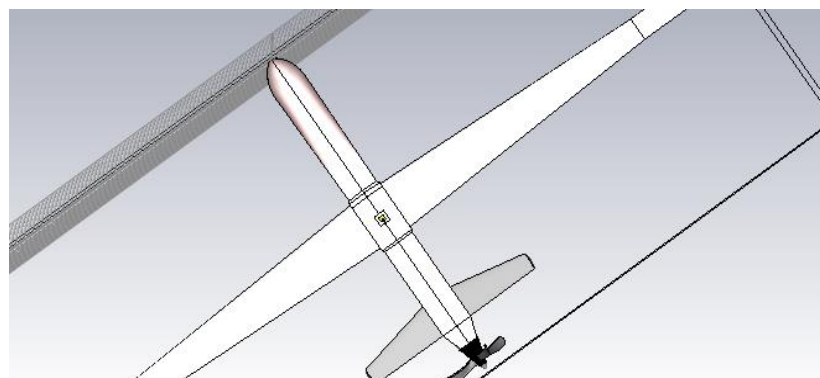
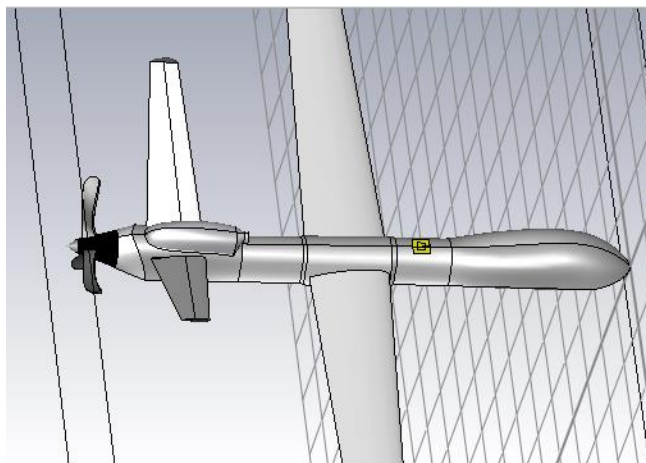


**Gambar 4. 1 Desain Antena Mikrostrip 6.56 Ghz**

Sumber : Diolah Peneliti

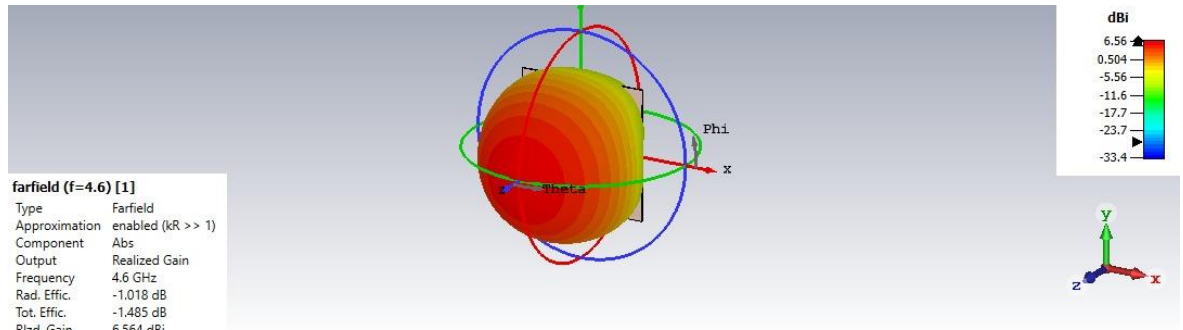
Hasil desain Antena mikrostrip selanjutnya , diintegrasikan dengan model UAV yang mendekati desain UAV MALE sesungguhnya. Pada pemodelan ini desain UAV disesuaikan dengan kapasitas dan kemampuan proses dalam proses komputasi serta pemodelannya.

Berikut adalah hasil positioning antena mengikuti skema posisi antena sesuai literatur yang ada untuk UAV sejenis. Pada penelitian ini UAV dilakukan simplifikasi dan juga penyederhanaan, seperti jumlah mesh, dan *scale* untuk menyesuaikan dengan keterbatasan perangkat maupun durasi pengerjaan atau simulasi.



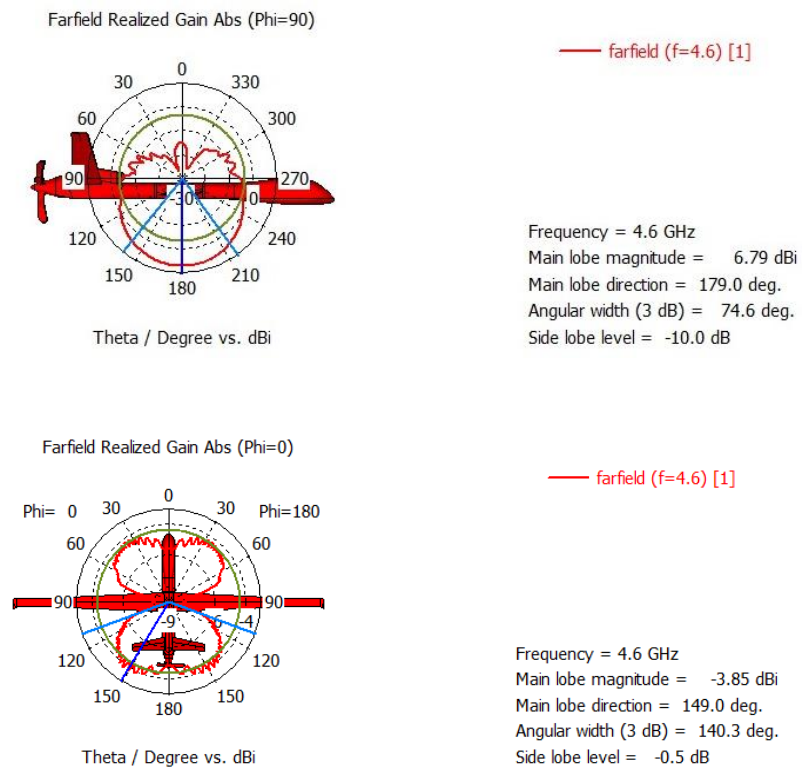
**Gambar 4. 2 Gambar Penempatan Antena UAV**

Sumber : Diolah Penulis



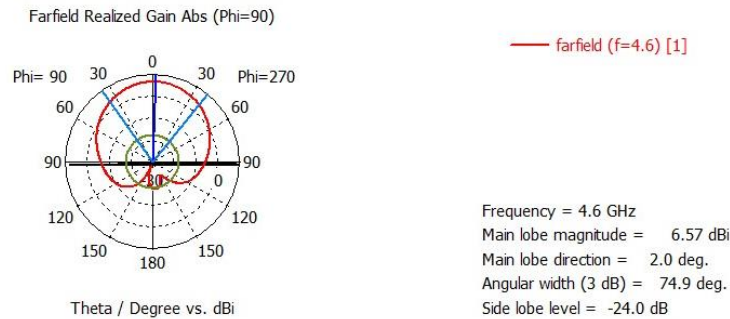
**Gambar 4. 3 Gain Antena Sebelum di pasang di UAV**

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022



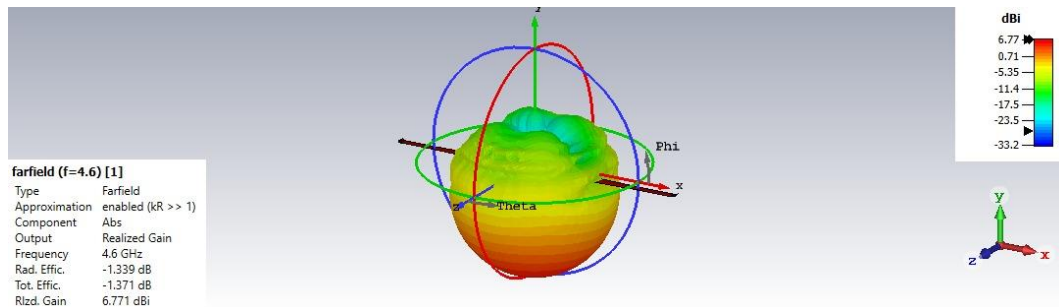
**Gambar 4. 4 Pola radiasi Antena pada Posisi Perut Pesawat**

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

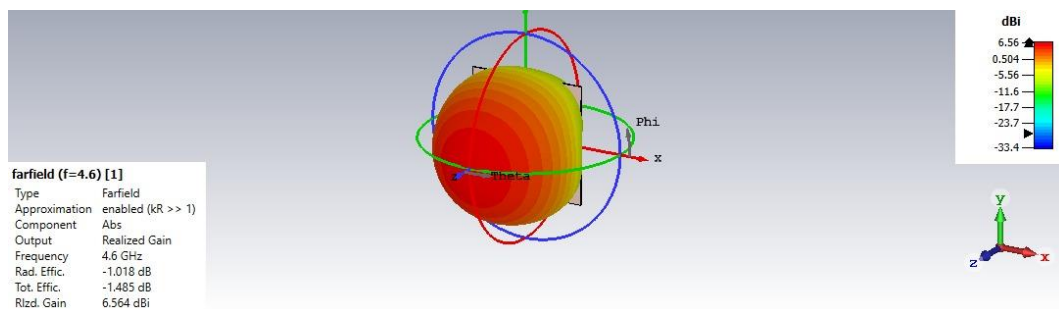


**Gambar 4. 5 Pola radiasi Antena Sebelum di Pasang**

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022



**Gambar 4. 6 Pola radiasi Antena pada Posisi Perut Pesawat**

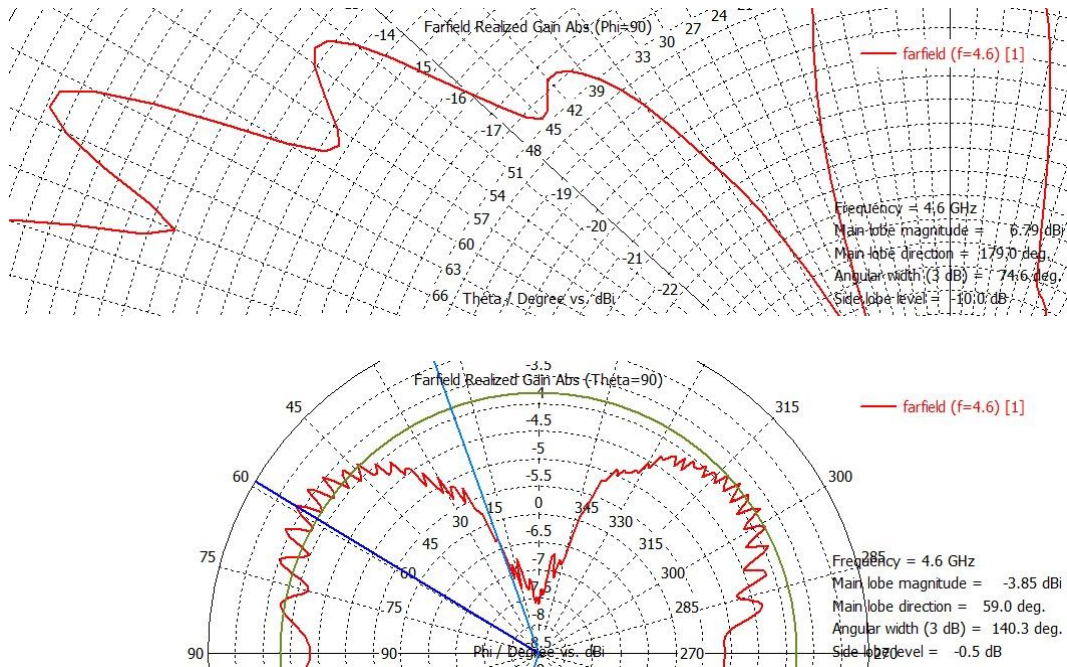


**Gambar 4. 7 Pola radiasi Antena pada Posisi Perut Pesawat**

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa, antenna bekerja pada frekuensi 4.6 Ghz, dengan Gain antenna sebesar 6.65 dBi. Setelah dilakukan pemasangan di badan UAV Gain antenna mengalami kenaikan akan tetapi tidak terlalu signifikan yaitu menjadi 6.79 dBi pada peak tertingginya dan 0 dBi untuk

Gain Terendah untuk pola radiasi pada arah badan pesawat dan -9 dbi untuk pola radiasi yang searah dengan sayap.



**Gambar 4. 8 Nilai Minimum sebaran hasil Pola radiasi untuk Elevasi dan Azimuth**

#### 4.2.4. Hasil Pengumpulan Data Device Data Link

Berdasarkan buku MONEV PT TA MALE tahun 2020, pengembangan UAV MALE Indonesia masih dalam tahap pengembangan, dimana desain untuk sistem komunikasi baik GCS dan UAV belum dilakukan pengkajian dan juga penelitian baik secara eksperimen, matematis maupun komputasi.

Berdasarkan spesifikasi MALE yang akan dirancang untuk keperluan militer dan memiliki karakteristik sebagai UAV predator sekelas CH4, RQ/MQ 9 maka data karakteristik data link yang dapat dijadikan acuan atau asumsi dalam analisis link budget komunikasi penulis merujuk pada dokumen pengembangan dan reasearch departemen pertahanan USA mengenai pengembangan UAV Predator RQ/MQ 9. Berikut adalah data dan karakteristik sistem komunikasi data Link pada UAV tipe predator :

**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 4 – 5 GHz**

Parameter	Spesifikasi
$P_T$	40 dBm
Noise Figure	2– 5 dB
Threshold	-80,8 dBm <sup>a</sup>
Gain Antenna UAV	15 dBI
Gain GDT	30.5 dBI

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

**Tabel 4. 4 Tactical Data Link Karakteristik untu UAV Predator REPORT ITU-R M.2233**

Parameter	Spesifikasi Up Link	Spesifikasi Down Link
$P_{TX}$	40 dBm	40 dBm
$G_{TX}$	28 dBm	28 dBm
$P_{RX}$	-114 dBm	-114 dBm
$G_{RX}$	-10 dBm	28 dBm
$F_{sl}$	150	150

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

### 4.3. Hasil Pengolahan Data

Rumus Link Budget:

$$P_{\text{(daya yang diperlukan)}} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - (\text{Faktor Loss})$$

Faktor Loss yang digunakan :

- Loss akibat Sudut azimuth dan elevasi
- Loss akibat attenuasi Hujan
- Loss Perangkat atau Device Data Link yang digunakan

#### 4.3.1. Loss Akibat Sudut Azimuth dan elevasi

Pada penelitian ini data sudut Azimuth dan elevasi pada UAV, didasarkan pada data eksperimental konsorsium PTTA MALE, yang terangkum pada buku Monev tahun 2020. Selain itu juga dilakukan validasi dengan jurnal dan literatur terkait UAV dengan tipe predator.

Berikut adalah perhitungan gain yang diperlukan untuk melakukan gerakan aerodinamika tersebut :

Persamaan umum Gain antena adalah :

$$G = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2}$$

Dengan :

$\eta$  = Efisiensi untuk antena planar atau patch memiliki efisiensi antara 0.6 – 0.8

$\lambda$  = Panjang Gelombang

$A$  = Arperture Area

Bentuk persamaan tersebut jika dirubah terhadap perspektif dalam bentuk beamwidth atau beam performing maka :

$$G = \frac{X \eta}{BW_{\phi} BW_{\theta}}$$

Dimana :

$BW_{\phi} BW_{\theta}$  = Beamwidth azimuth dan elevasi dalam derajat

$X$  = adalah lintasan pola dari pancaran gelombang elektromagnetic

$X = 52525$  (Eliptical Pattern) &  $X = 52525$  (Rectangular Pattern)

Atau secara umum, formula untuk menghitung gain yang diterima akibat perubahan sudut dapat direpresentasikan sebagai berikut sesuai bentuk pattern asumsi kita :

Pola Eliptikal :

$$G = \frac{\text{Area of Sphere}}{\text{Area of Antenna pattern}} = (4 \pi r^2) \left( \frac{4}{\pi r^2 \sin\theta \sin\phi} \right) = \frac{16}{\sin\theta \sin\phi}$$

Dimana :  $\theta = BW_{\theta}$ , and  $\phi = BW_{\phi}$

Untuk perubahan sudut terkecil dalam Aeroneutika :

$$G = \frac{16}{\sin\phi \sin\theta} = \frac{16}{\phi \theta \text{ (radians)}} = \frac{16}{\phi \theta} \left( \frac{360}{2\pi} \frac{360}{2\pi} \right) = \frac{52525}{\phi \theta \text{ (degrees)}}$$

Sedangkan untuk sistem rektangular :

$$G = \frac{\text{Area of Sphere}}{\text{Area of Antenna pattern}} = \frac{4 \pi r^2}{r^2 \sin\theta \sin\phi} = \frac{4 \pi}{\sin\theta \sin\phi}$$

Untuk perubahan sudut terkecil dalam Aeroneutika

$$G = \frac{4 \pi}{\sin\phi \sin\theta} = \frac{4 \pi}{\phi \theta \text{ (radians)}} = \frac{4 \pi}{\phi \theta} \left( \frac{360}{2\pi} \frac{360}{2\pi} \right) = \frac{41253}{\phi \theta \text{ (degrees)}}$$

Dan representasinya dalam dB adalah :

$$G_{\max}(\text{dB}) = 10 \text{ Log} \left[ \frac{41253}{BW_{\phi} BW_{\theta}} \right]$$

Sumber:

<https://www.phys.hawaii.edu/~anita/new/papers/militaryHandbook/antennas.pdf>  
(ANITA ( Antarctic Impulsive Transient Antena ) Publication).

Persamaan ini juga berlaku untuk sistem elipsoidal. Dari hasil olah data dengan besar Roll, Pitch Yaw, diperoleh data olah sudut sebagai berikut :

**Tabel 4. 5 G max Azimuth and Elevation**

Azimuth and Elevation (Derajat( <sup>o</sup> ))	Eliptical	Rectangular	G max (dB) Eliptical	G max (dB) Rectangular
1,0000	41253,000	52525,0000	46,1546	47,2037
2,0000	10313,2500	13131,2500	40,1340	41,1831
3,0000	4583,6667	5836,1111	36,6121	37,6612
4,0000	2578,3125	3282,8125	34,1134	35,1625
5,0000	1650,1200	2101,0000	32,1752	33,2243
6,0000	1145,9167	1459,0278	30,5915	31,6406
7,0000	841,8980	1071,9388	29,2526	30,3017
8,0000	644,5781	820,7031	28,0928	29,1419
9,0000	509,2963	648,4568	27,0697	28,1188
10,0000	412,5300	525,2500	26,1546	27,2037
11,0000	340,9339	434,0909	25,3267	26,3758
12,0000	286,4792	364,7569	24,5709	25,6200
13,0000	244,1006	310,7988	23,8757	24,9248
14,0000	210,4745	267,9847	23,2320	24,2811
15,0000	183,3467	233,4444	22,6327	23,6818
16,0000	161,1445	205,1758	22,0722	23,1213
17,0000	142,7439	181,7474	21,5456	22,5947
18,0000	127,3241	162,1142	21,0491	22,0982
19,0000	114,2742	145,4986	20,5795	21,6286
20,0000	103,1325	131,3125	20,1340	21,1831
21,0000	93,5442	119,1043	19,7102	20,7593
22,0000	85,2335	108,5227	19,3061	20,3552
23,0000	77,9830	99,2911	18,9200	19,9691
24,0000	71,6198	91,1892	18,5503	19,5994
25,0000	66,0048	84,0400	18,1958	19,2449
26,0000	61,0251	77,6997	17,8551	18,9042
27,0000	56,5885	72,0508	17,5273	18,5764
28,0000	52,6186	66,9962	17,2114	18,2605
29,0000	49,0523	62,4554	16,9066	17,9557
30,0000	45,8367	58,3611	16,6121	17,6612

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

#### 4.3.2. Loss Akibat Attenuasi Hujan

Perhitungan attenuasi akibat hujan pada sistem komunikasi wireless dapat menggunakan formulasi matematis berikut :

$$S_R = aR^b,$$

Dimana  $S_R$  Besar attenuasi atau redaman yang terjadi,  $a$  dan  $b$  merupakan faktor regresi dari fungsi distribusi hujan, temperatur, frekuensi dan polarisasi gelombang yang dapat diperoleh secara eksperimental atau dengan mengacu pada ITU-R P. 838-3 yang telah memprediksi nilai  $a$  dan  $b$  untuk rentang frekuensi 1 – 1000 GHz (Al-Saman et al., 2020; Kestwal et al., 2014).

Pada penelitian ini menggunakan rentang frekuensi C band yaitu 4 GHz – 6 GHz, berdasarkan ITU-R P. 838-3, nilai  $a$  dan  $b$  yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

**Tabel 4. 6 ITU-R P. 838-3, nilai  $a$  dan  $b$**

Frequency (GHz)	$a_H$	$b_H$	$a_V$	$b_V$
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
1.5	0.0000443	1.0185	0.0000574	0.8957
2	0.0000847	1.0664	0.0000998	0.9490
2.5	0.0001321	1.1209	0.0001464	1.0085
3	0.0001390	1.2322	0.0001942	1.0688
3.5	0.0001155	1.4189	0.0002346	1.1387
4	0.0001071	1.6009	0.0002461	1.2476
4.5	0.0001340	1.6948	0.0002347	1.3987
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
5.5	0.0003909	1.6499	0.0003115	1.5882

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

Berdasarkan hal tersebut maka nilai dan data tersebut maka nilai loss atau attenuasi akibat redaman hujan pada keadaan ekstrem yaitu :

$$S_R = a R^b$$

$$S_R = 0.0002347 \cdot 700^{1.987}$$

$$S_R = 105,614 \text{ dBi}$$

#### 4.3.3. Loss Perangkat atau Device Data Link yang Digunakan dan Loss Free Space

Berdasarkan nilai loss yang ada pada tabel perangkat data Link yang digunakan oleh UAV MQ 9 diperoleh nilai noise device berkisar antara 2 hingga 5 dBi, hal ini didasarkan pada perangkat yang digunakan untuk sistem komunikasi Link pada UAV MQ 9 Predator.

Besar nilai Loss Free Space atau Redaman ruang bebas merupakan redaman sinyal yang terjadi akibat dari media udara yang dilalui oleh gelombang radio antara pemancar dan penerima. Besar nilainya dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$L_{fs}(dB) = 20 \cdot \log d(km) + 20 \cdot \log f(GHz) + 92.45$$

Sumber : (Rubio et al., 2016).

Pada UAV MALE jarak tempuh maksimumnya adalah 250 Km pada sistem kerja LOS (Line of Sight), dengan frekuensi kerja menggunakan C band yaitu (4400 – 4940) MHz. Pada penelitian ini alokasi frekuensi yang digunakan yaitu 4670 MHz atau 4.67 GHz.

$$L_{fs}(dB) = 20 \cdot \log(250) + 20 \log(4,67) + 92.45$$

$$L_{fs}(dB) = 153,795$$

Maka perhitungan besar daya yang diperlukan atau receive sinyal yang dibutuhkan adalah :

Dalam perhitungan ini, parameter yang digunakan untuk memperoleh nilai *receive signal power* merupakan parameter dengan kriteria *worst case level*,

$$P_{\text{(daya yang diperlukan)}} \text{ (dBm)} = P_{\text{Tx}} + G_{\text{Tx}} + G_{\text{Rx}} - (\text{Faktor Loss})$$

$$P_{\text{(daya yang diperlukan)}} \text{ (dBm)} = P_{\text{Tx}} + G_{\text{Tx}} + G_{\text{Rx}} - (\text{Rain Attenuation} + L_{\text{fs}} + \text{Noise Platform/ Perangkat} + G_{\text{max sudut Azimut}})$$

$$P_{\text{(daya yang diperlukan)}} \text{ (dBm)} = 40 + 28 + (-9) - (105,614 + 153,795 + 5 + 17,66)$$

$$P_{\text{(daya yang diperlukan)}} \text{ (dBm)} = 59 - (282,069)$$

$$P_{\text{(daya yang diperlukan)}} \text{ (dBm)} = - 223,069$$

#### 4.4. Pembahasan

Desain Antena mikrostrip yang telah dilakukan memiliki besar Gain sebesar 6.65 dBi, dari hasil studi literatur diperoleh bahwa besar gain antena sebesar 15 dBi. Hal ini dikarenakan besar gain pada antena mikrostrip memang memiliki karakteristik gain yang cukup rendah dibandingkan antena jenis lain. Untuk dapat memenuhi atau, memiliki antena sesuai literatur yang ada dengan menggunakan antena mikrostrip dapat dilakukan dengan mendesain antena dengan sistem array.

Dari hasil simulasi diperoleh perubahan gain antena setelah dipasang pada UAV, perubahan nilai peak Gain maksimum menjadi 6.79 dengan nilai peak terendah -9 dBi untuk pola radiasi searah badan pesawat. Berikut adalah hasil Spesifikasi Link Budget yang telah diperoleh dalam penelitian ini :

Tabel 4. 7 Spesifikasi Link Budget

Parameter	Spesifikasi
Data Literatur	
$P_{TX}$	40 dBm
$G_{TX}$	28 dBi
$P_{RX}$	-114 dBm
$G_{UAV}$	15 dBi
$F_{sl}$	150
Threshold / Receiver Sensitivity (Bonter & Dunty, 2004)	-80.8
Data Penelitian	
$G_{Antena\ UAV}$	6,79 , 0, -9
<i>Rain Attenuation</i>	105,614 dBi
$G_{max(Azimut/elevation)}$	17,66 dBi
$L_{fs}$	153,795
$P_{Rx}$	-223,069 dBm

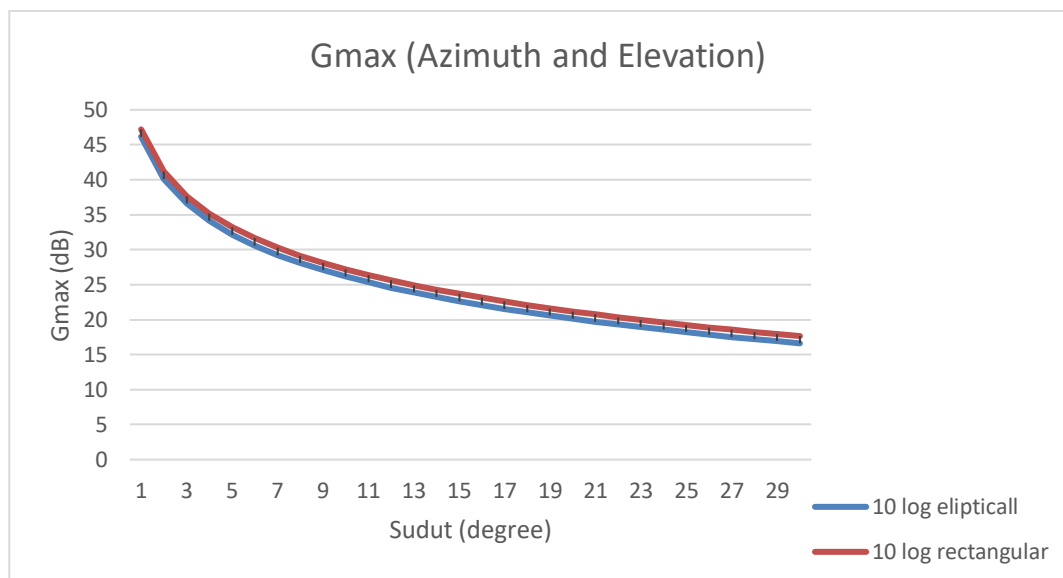
*Receive signal level* atau daya receivernya harus memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan besar nilai *threshold / sensitivity* receivernya agar diperoleh sinyal komunikasi yang baik atau tidak terjadi Loss pada saat komunikasi Link berlangsung. Pada penelitian ini besar nilai daya *receive signal level* atau daya receivernya sebesar -223,069 dBm sedang kan besar Sensitivity / Threshold Receivernya -80.88 dBi. Terlihat bahwa hasil tingkat penerimaan sinyal jauh lebih kecil dibandingkan besar minimum *requirement* yang diperlukan untuk melakukan komunikasi Link. sehingga diperlukan tambahan power sebesar  $\pm$  -142,269 dBi agar tidak terjadi Loss dalam komunikasi linknya.

Besar nilai daya Receive yang kurang dari nilai minimum ini, dapat dikarenakan nilai Loss akibat beberapa parameter yang menjadi perhatian dalam penelitian ini, memiliki nilai yang cukup signifikan dalam memberikan dampak terhadap komunikasi Link antara UAV

dan Ground Segmen, berikut adalah pembahasan terkait parameter – parameter yang diamati dalam penelitian ini:

#### 4.4.1.Sudut Azimut

Dari hasil studi literatur dan juga hasil eksperimental tim konsorsium UAV Male diperoleh nilai untuk masing masing sudut Roll, Pitch dan Yaw adalah sebesar  $30^{\circ}/-30^{\circ}$ . Dalam Aeronautika Komunikasi link budget analisis directivity gain antena, atau penguatan antena terarah adalah suatu hal yang penting untuk memperoleh daya dan kualitas komunikasi yang baik. Gain yang memadai atau tinggi dapat mengurangi atenuasi akibat efek dopler, dan menurunkan daya pancar pada sistem komunikasi aeronautika. Ketika sebuah platform Aeronautik bergerak dan melakukan manuvering atau gerakan seperti Roll , Pitch dan Yaw, beamforming yang dimilikinya harus dengan sigap melakukan pemrosesan terhadap perubahan atau gangguan akibat gerakan tersebut untuk mempertahankan daya atau link budget agar komunikasi tidak terputus.



**Gambar 4. 9 Gmax Azimuth and Elevation**

Sumber : diolah oleh Peneliti, 2022

Dari data tersebut distribusi gain terhadap kenaikan sudut sangat signifikan mengalami penurunan, oleh sebab itu manuver yang tinggi akan lebih banyak menyebabkan loss dan gangguan terhadap sistem komunikasi UAV. Terlebih untuk UAV dengan spesifikasi sebagai predator atau *attacker*.

#### 4.4.2. Rain Attenuation

Curah hujan di Indonesia memiliki tingkat keragaman yang sangat tinggi secara ruang dan waktu. Indonesia merupakan benua maritim yang memiliki karakteristik berada pada daerah pergerakan semu matahari dimana merupakan daerah dengan produksi awan yang cukup tinggi. Dimana awan awan ini akan berpotensi menghasilkan hujan. Curah hujan yang tinggi dan kondisi cuaca yang sulit untuk diprediksi akan menjadi salah satu kendala dalam sistem komunikasi menggunakan gelombang elektro magnetic. Dari hasil penelitian ini diperoleh besar attenuasi hujan maksimum yang dapat terjadi adalah  $105,614 \text{ dBi}$  yang cukup tinggi, dan hampir setara dengan besar *Free Space Loss* (FSL). Oleh karena itu perhitungan attenuasi unuk loss ini sangatlah penting dilakukan, mengingat sewaktu waktu UAV dapat berada pada kondisi tersebut saat diterbangkan.

Jika mengacu pada hasil eksperimental mengenai data link komunikasi pada UAV mengacu pada dokumen *Report* ITU No. R-REP-M.2233-2011 Nilai *Receive Signal Level* yang diperoleh berkisar antara  $-102,6 \text{ dBm}$  hingga  $-99,6 \text{ dBm}$ . Dimana data tersebut merupakan data untuk UAV dengan Kriteria atau spesifikasi UAV untuk sejenis PUNA MALE. Perbedaan yang sangat signifikan ini diakibatkan adanya loss yang cukup tinggi akibat attenuasi hujan. Curah hujan di Indonesia memiliki karakteristik yang jauh berbeda dengan negara lain. selain itu dari hasil perhitungan dapat dilihat

bahwa salah satu penyumbang Loss terbesar dalam propagasi gelombang adalah akibat *Rain Attenuation* .

#### **4.4.3. Loss Free Space dan Platform / Perangkat**

Dari hasil perhitungan Pada parameter *Free Space Loss* (FSL) di peroleh nilai 153,795 dB yang berarti rugi-rugi pada jalur transmisi sebesar 153,795 dB. Gelombang elektro magnetik ketika melakukan propagasi atau merambat pada ruang bebas akan mengalami redaman, sehingga akan terjadi pengurangan daya akibat sebagian gelombang tidak terjadi pemantulan. Berdasarkan literatur yang ada nilai *Free Space Loss* (FSL) untuk data link komunikasi pada UAV mengacu pada dokumen *Report* ITU No. R-REP-M.2233-2011 150 dB, dengan ketentuan jarak tempuh 154 km, dengan frekuensi kerja 5 GHz. Perbedaan nilai pada perhitungan ini dapat dikarenakan perbedaan jarak tempuh dan range frekuensi yang digunakan, dimana pada PUNA MALE, menggunakan jarak 250 Km, dan frekuensi kerja 4,67 GHz.