

**DESAIN LINK BUDGET DENGAN METODE *FREE PATH LOSS*
MODEL UNTUK ANALISIS JARAK JANGKAU LSU 02 LD**
**LINK BUDGET DESIGN USING *FREE PATH LOSS* MODEL FOR RANGE OF LSU 02 LD
ANALYSIS**

Iwan Nofi Yono Putro, Nurul Chasanah dan Sunar
Pusat Teknologi Penerbangan- LAPAN
iwan.nofi@lapan.go.id

Abstrak

Dalam regulasi keamanan terbang di UAV jarak merupakan hal yang tidak bisa diabaikan. Koneksi radio telemetri tidak diperkenankan terjadi *lost* kontak dalam sebuah penerbangan UAV. Sehingga harus diperhitungkan *power* yang dipancarkan oleh radio untuk menjangkau jarak tempuh UAV yang ditentukan. Akan tetapi jika *power* makin besar maka elektrik yang dibutuhkan makin besar sehingga tidak efisien. Oleh sebab itu maka dalam tulisan ini, telah dihitung desain komunikasi dalam sisi telemetri, *control*, dan *payload* untuk memenuhi kriteria jangkauan 100 km dengan metode *free path loss model* dalam kondisi *Line of Sight* (LOS) atau tanpa halangan. Pada desain ini, *payload* ditempatkan pada salah satu alokasi frekuensi dinas bergerak menurut aturan regulasi TASFRI 2014, yaitu 3370 – 3400 MHz. Sedangkan *command* dan telemetri direntang 5030 Mhz – 5091 Mhz sesuai dengan rekomendasi ITU dalam WRC 12. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk memenuhi regulasi keselamatan operasi UAV dan kelancaran data *payload* misi dengan jarak jangkauan 100 km maka pada sisi *telemetry* dan *telecommand* diperlukan *power* sebesar 36 dB atau sama dengan 4 Watt sedangkan pada *payload* diperlukan daya 32 dB atau sama dengan 1.6 Watt.

Kata kunci: LSU-02LD, Frekuensi, UAV, *Link Budget*, FSPL.

Abstract

In the regulation of flying security in UAV distance is something that can not be ignored. Telemetry radio connections are not allowed to occur lost in a flight of UAV flight. So it must be taken into account the power emitted by the radio to reach the specified UAV range. However, if the power gets bigger then the required electrical is bigger so it is inefficient. Link Budget calculation is needed to estimate range of operation of LSU 02 LD. This paper present a calculation of communication design in telemetry, control, and payload system to comply the range criteria of 100 km using free path loss model in Line of Sight condition. In this design, frequency from 3370 until 3400 MHz are used for payload based on TASFRI 2014 regulation and use 5030 – 5091 MHz for telemetry and tecommand system based on WRC 12 which held by International Telecommunication Union (ITU). The result shows that in telemetry and telecommand system needs 36 dB or 4 Watt of power and 32 dB or 1.6 Watt in payload system to comply the mission of 100 km range of the LSU 02 LD.

Keywords: LSU-02LD, Frequency, UAV, Link Budget, FSPL.

1. PENDAHULUAN

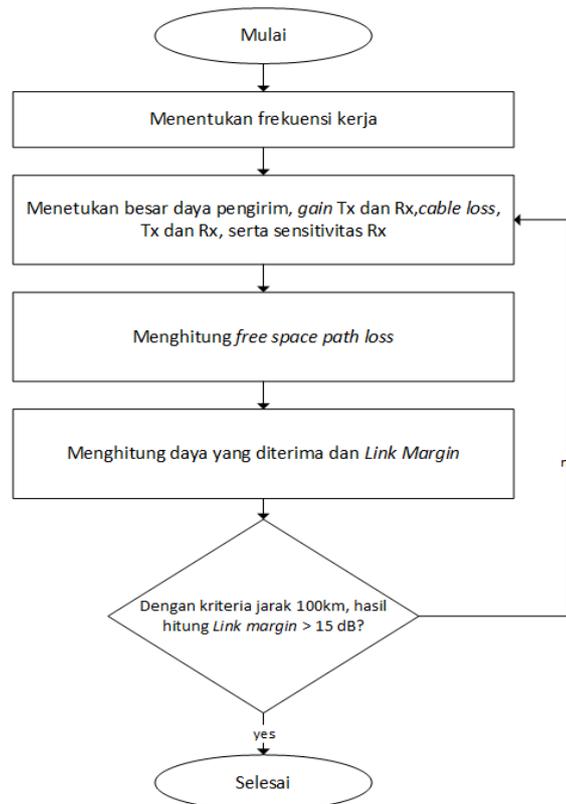
Indonesia merupakan negara kepulauan yang disatukan oleh wilayah lautan dengan luas seluruh wilayah teritorial adalah 8 juta km² dengan panjang garis pantai mencapai 81.000 km. Luas wilayah perairannya mencapai 5,8 juta km² atau sama dengan $\frac{2}{3}$ dari luas wilayah Indonesia, yang terdiri dari Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) 2,7 juta km² dan wilayah laut teritorial 3,1 juta km² [1]. Kondisi perairan yang luas inilah yang melatarbelakangi diperlukannya perangkat teknologi yang mampu memantau dan menjaga perairan Indonesia dari *illegal fishing* yang masih marak dilakukan hingga saat ini.

Penggunaan UAV dalam menunjang sistem pengawasan dan pengamanan laut sudah sangat berkembang di beberapa negara maju di dunia. Hal inilah yang mendasari LAPAN dalam mengembangkan *Unmanned Aircraft Vehicle* (UAV) mulai dari LSU 01, 02, 03, hingga LSU 05. Guna mencapai misi pesawat UAV agar mampu memantau perairan Indonesia dari *illegal fishing* maka salah satu hal penting yang perlu diuji adalah daya jangkauan *link* komunikasi UAV dengan GCS. LSU 02 LD

didesain untuk melakukan pemantauan illegal fishing dengan jarak jangkau radius operasi 100 km[2]. Estimasi daya jangkau komunikasi UAV dengan GCS dapat dianalisis dengan perhitungan *link budget*[3]. *Link budget* merupakan metode estimasi *loss* atau level pelemahan sinyal dengan cara menghitung semua parameter dalam transmisi sinyal, mulai dari *gain* dan *losses* dari Tx sampai Rx melalui media transmisi.

2. METODOLOGI

Perhitungan *link budget* dilakukan dengan pengolahan data pada *microsoft excel*. Data tersebut kemudian diolah untuk mengetahui besar rugi – rugi pada saluran komunikasi hingga besaran *link margin* yang dihasilkan. Selanjutnya, nilai *link margin* ini akan digunakan untuk menentukan spesifikasi perangkat agar jarak mencapai target yang diinginkan, yaitu 100 km. Berikut adalah diagram alir untuk melakukan perhitungan *link budget* dengan metode *free space path losses*.



Gambar 1. Diagram alir penulisan

Link budget merupakan sebuah cara dalam menghitung semua parameter transmisi sinyal, mulai dari *gain* dan *losses* dari Tx sampai Rx melalui media transmisi. *Link budget* merupakan parameter dalam merencanakan suatu jaringan yang menggunakan berbagai macam media transmisi. *Link budget* ini dihitung berdasarkan jarak antara *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx). *Link budget* juga dihitung karena adanya penghalang antara Tx dan Rx misal gedung atau pepohonan, serta dihitung dengan melihat spesifikasi yang ada pada antena. Guna memperjelas perhitungan *link budget*, terdapat beberapa parameter penting dalam kanal komunikasi yang perlu dianalisis. Parameter – parameter tersebut ialah:

2.1. Jarak

Jarak dapat didefinisikan sebagai *line of sight* antara beberapa antena yang termasuk dalam link radio[3]. Link komunikasi ini dihitung disisi penerima dan pengirim dengan persamaan sebagai berikut[8].

$$d = 3.57\sqrt{Kh_t} + 3.57\sqrt{Kh_r} \quad (1)$$

Dimana d adalah jarak antena pengirim terhadap horizon (km), h_t adalah tinggi antena pengirim (m), h_r adalah tinggi antena penerima (m), dan nilai K adalah faktor kelengkungan bumi.

2.2. Free Space Path Losses

Redaman ruang bebas merupakan redaman sinyal yang terjadi akibat dari media udara yang dilalui oleh gelombang radio antara pemancar dan penerima perambatan gelombang radio di ruang bebas akan menghalangi penyebaran energi di sepanjang lintasannya sehingga terjadi kehilangan energi. Dalam analisis *free space path loss*, hal pertama yang perlu diketahui adalah densitas daya antenna terhadap jarak d , yang dijabarkan dengan persamaan di bawah ini.

$$P = \frac{P_{Tx}G_{Tx}}{4\pi d^2} \quad (2)$$

Dimana $P_{Tx}G_{Tx}$ biasa disebut *effective radiated power* (ERP atau EIRP) yang merupakan daya yang diradiasikan relatif terhadap antenna isotropik. Dari persamaan diatas, diperoleh persamaan daya penerima yang dijabarkan sebagai berikut[9].

$$P_{Rx} = \frac{P_{Tx}G_{Tx}A_R}{4\pi d^2} \quad (3)$$

Dimana P_{Rx} merupakan besar daya yang diterima, P_{Tx} adalah besar daya yang dikirim, G_{Tx} adalah penguatan daya yang dipancarkan, dan A_R adalah area efektif antenna yang memiliki persamaan sebagai berikut.

$$A_R = \frac{G_{Rx}\lambda^2}{4\pi} \quad (4)$$

Bila persamaan (4) disubstitusi ke dalam persamaan (3), maka diperoleh daya yang diterima dalam bentuk sebagai berikut.

$$P_{Rx}(Watt) = \frac{P_{Tx}G_{Tx}G_{Rx}}{(4\pi d/\lambda)^2} \quad (5)$$

Atau secara umum, formula untuk menghitung level daya yang diterima biasa direpresentasikan dalam satuan dB dengan bentuk sebagai berikut.

$$P_{Rx}(dB) = P_{Tx} + G - L \quad (6)$$

$$P_{Rx}(dB) = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_{Tx} - L_{Rx} - L_{FS} - L_M \quad (7)$$

Dari persamaan (5) diatas, diperoleh fungsi dari *free-space path loss* sebagai berikut.

$$L_{FS}(Watt) = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi d f}{c}\right)^2 \quad (8)$$

$$L_{FS}(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (9)$$

Dimana λ adalah panjang gelombang dalam meter, f adalah frekuensi sinyal (Hz), d adalah jarak dari pengirim (m), dan c adalah kecepatan cahaya (m), L_{Tx} adalah pengurangan daya penerima (yang ditimbulkan dari kabel, konektor, dll), L_{Rx} adalah pengurangan daya di perangkat penerima (kabel, konektor, dll), L_M adalah pengurangan daya yang diakibatkan oleh faktor lain (pemantulan, polarisasi yang kurang tepat, dll) dengan nilai maksimal 5 dB.

Persamaan (9) ini dapat disederhanakan sesuai dengan desain yang kita butuhkan dengan formula sebagai berikut.

$$L_{FS}(dB) = 92.5 + 20\log d_{Km} + 20\log f_{GHz} \quad (10)$$

$$L_{FS}(dB) = 32.45 + 20\log d_{Km} + 20\log f_{MHz} \quad (11)$$

$$L_{FS}(dB) = -27.55 + 20\log d_m + 20\log f_{MHz} \quad (12)$$

Untuk menjamin hubungan komunikasi dapat berjalan dengan layak, *Operating Margin* atau *Link Margin* perlu diperhitungkan dengan formula sebagai berikut.

$$LinkMargin = P_{Rx} - ReceiverSensitivity \quad (13)$$

Secara standar, agar komunikasi bisa berjalan dengan baik dan layak, *Link Margin* yang sesuai harus lebih dari 15 dBm[10].

2.3. Fade Margin

Fading adalah fluktuasi amplitudo sinyal. *Fading margin* adalah level daya yang harus dicadangkan yang besarnya merupakan selisih antara daya rata-rata yang sampai di penerima dan level sensitivitas penerima. *Fading* terjadi karena adanya fenomena lebih dari satu lintasan, dan bahkan banyak/ganda lintasan (*multipath fading*) yang terjadi karena sinyal memiliki fasa yang berbeda, sehingga menyebabkan efek saling menghilangkan. Pengaruh *fading* terhadap sinyal terima dapat memperkuat ataupun memperlemah, tergantung besar fasa dari sinyal resultan antara sinyal langsung dan sinyal tidak langsung. *Fade Margin* dapat dihitung dengan Persamaan Barnett-Vignant yang diuraikan sebagai berikut[11].

$$FM = 30\log D + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70 \quad (14)$$

Dimana FM adalah *fade margin*, D jarak (km), f merupakan frekuensi gelombang (GHz), R adalah reliabilitas, $(1-R)$ adalah reliabilitas objektif, A adalah faktor *roughness*, dan B adalah faktor untuk mengubah probabilitas bulan terburuk ke probabilitas umum. Kriteria nilai *fade margin* sangat bergantung terhadap reliabilitas *link* yang diinginkan. Namun, umumnya *fade margin* yang baik berada.

2.4. Fresnel Zone

Fresnel Zone didefinisikan sebagai ruang berbentuk elips yang digunakan sebagai media rambat frekuensi dari gelombang elektromagnetik antara pengirim dan penerima [3]. Persamaan (15) menunjukkan jarak minimum yang diharuskan antara UAV dan penghalang tertinggi dalam kanal radio.

$$R(\text{meter}) = 17.32 \sqrt{\frac{r}{4f}} \quad (15)$$

r didefinisikan sebagai jarak maksimum antara GCS dan UAV (km), dan f adalah frekuensi gelombang yang dipancarkan (GHz). *Fresnel Zone Clearance* (FZC) baiknya harus 80% tidak ada penghalang atau *obstacle* untuk memperoleh Radio LOS yang baik.

2.5. Pengelompokan frekuensi UAV

Pada STANAG 4671 bab *command and control link* disebutkan bahwa frekuensi UAV dibedakan menjadi 3 sub system :

- Subsystem komunikasi *command* dan *control* telemetri (TTC)
- Subsystem komunikasi ATC
- Subsystem komunikasi *payload*

Disebutkan juga dalam STANAG 4671 bahwa komunikasi TTC harus selalu terkoneksi untuk keamanan operasi UAV[4]. Melihat regulasi tersebut maka diperlukan perhitungan *link budget* komunikasi TTC.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Link Margin

Analisis *link budget* dibagi dalam dua frekuensi kerja utama. Pertama, frekuensi *Telemetry and Telecommand* (TTC) di rentang 5030 – 5091 MHz. Kedua, frekuensi *payload* sebagai contoh di rentang frekuensi 3370-3400 MHz. Frekuensi 5030 ini ditentukan dalam *FINAL ACTS WRC-12* sebagai frekuensi UAS non-*payload* [6]. Sedangkan untuk contoh *payload* maka dipilih frekuensi range 3300 yang merupakan frekuensi dinas bergerak[7]. Kedua frekuensi kerja tersebut kemudian disesuaikan dengan spesifikasi perangkat yang digunakan. Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan spesifikasi dari perangkat disisi pengirim (TX) yang merupakan GCS dan disisi penerima (RX) yang berada di UAV. Pada sisi *payload*, *power* perangkat radio di GCS diberi daya 32 dB atau setara dengan 1.6 Watt dengan gain antenna sebesar 30 dBi sedangkan di UAV dipasang antenna dengan gain sebesar 2 dBi. Sensitivitas dikedua sisi (GCS dan UAV) sama, yaitu -100 dBm dengan rugi kabel sebesar 3 dB seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi link komunikasi frekuensi *payload*

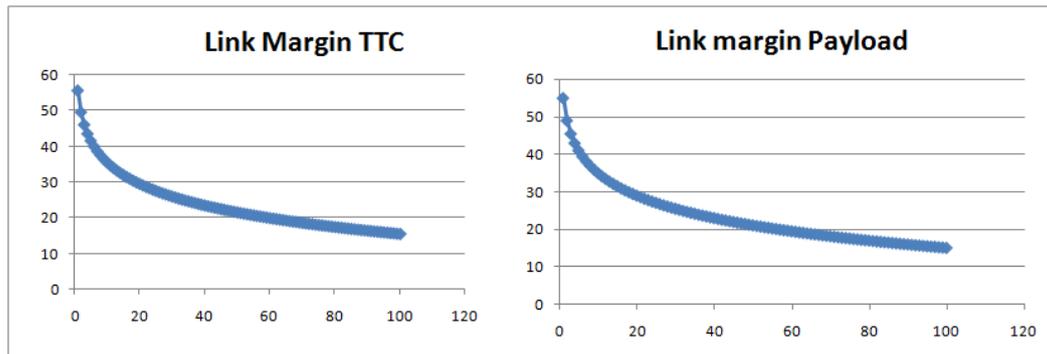
No.	Spesifikasi Perangkat	Nilai	Satuan
1	TX Power	32	dBm
2	TX Cable Loss	3	dB
3	TX Antenna Gain	30	dB
4	RX Antenna Gain	2.1	dB
5	RX Cable Loss	3	dB
6	RX Sensitivity	-100	dBm

Sedangkan pada sisi telemetri dan *telecommand*, daya yang dibutuhkan adalah sebesar 36 dBm atau setara dengan 4 Watt dengan gain antenna sebesar 30 dBi di GCS dan 2.1 dBi di UAV. Sensitivitas dan rugi kabel adalah -100 dBm dan 3 dB seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi link komunikasi frekuensi *telemetry and telecommand* (TTC)

No.	Spesifikasi Perangkat	Nilai	Satuan
1	TX Power	36	dBm
2	TX Cable Loss	3	dB
3	TX Antenna Gain	30	dB
4	RX Antenna Gain	2.1	dB
5	RX Cable Loss	3	dB
6	RX Sensitivity	-100	dBm

Selanjutnya, data dari Tabel 1 dan 2 digunakan untuk menghitung *free space path loss* (FSPL) dan *link margin* sesuai persamaan 11 dan 13.

**Gambar 2. Link margin untuk TTC dan payload di jarak rentang 1 – 100 km**

Dari Gambar 2, dapat diketahui bahwa nilai *link margin* untuk *payload* dan TTC hampir memiliki nilai yang sama di rentang jarak 1 – 100 km. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa di jarak 100 km, nilai link margin berada di titik 15 dB, di mana nilai tersebut merupakan standar minimum dalam konektivitas komunikasi. Dari *trend* grafik diatas, dapat diprediksi pula untuk rentang diatas 100 km, *link* komunikasi kurang berjalan dengan baik karena *link margin* yang terlalu kecil. Dapat diketahui pula bahwa, kemampuan komunikasi yang mencapai jarak 100 km dapat dicapai dengan daya 32 dBm atau sama dengan 1.6 Watt disisi antena pengirim atau GCS dalam hal *payload*. Sedangkan pada sisi *telemetry* dan *telecommand*, power sebesar 36 dB atau sama dengan 4 Watt disisi antena pengirim minimal dibutuhkan untuk membangun komunikasi. Titik frekuensi untuk *payload* adalah frekuensi tengah yang nanti akan digunakan, yaitu 3385 MHz. Sementara itu, titik frekuensi untuk *telemetry* dan *telecommand* menggunakan frekuensi 5034 MHz yang merupakan frekuensi batas atas yang rencananya akan digunakan dalam komunikasi UAV.

3.2. Analisis Fade Margin

Selanjutnya, analisis *fade margin* untuk *payload* dan TTC ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4 dengan memasukkan nilai parameter yang telah dijelaskan pada subbab 2.3. Perhitungan ini didasarkan pada kondisi cuaca terburuk dengan memasukkan nilai A sebesar 3 yang menunjukkan *smooth terrain* dan B sebesar 0.5 yang menunjukkan area yang panas.

Tabel 3. Fade margin payload untuk kondisi terburuk

Frekuensi Payload (MHz)	D (km)	A	B	Reliability	FM payload(dB)
3370	100	3	0.5	0.98	21.808
3371	100	3	0.5	0.98	21.810
3372	100	3	0.5	0.98	21.811
3373	100	3	0.5	0.98	21.812
3374	100	3	0.5	0.98	21.814
3375	100	3	0.5	0.98	21.815
3376	100	3	0.5	0.98	21.816
3377	100	3	0.5	0.98	21.817
3378	100	3	0.5	0.98	21.819
3379	100	3	0.5	0.98	21.820

Frekuensi <i>Payload</i> (MHz)	D (km)	A	B	Reliability	FM <i>payload</i> (dB)
3380	100	3	0.5	0.98	21.821
3381	100	3	0.5	0.98	21.823
3382	100	3	0.5	0.98	21.824
3383	100	3	0.5	0.98	21.825
3384	100	3	0.5	0.98	21.826
3385	100	3	0.5	0.98	21.828
3386	100	3	0.5	0.98	21.829
3387	100	3	0.5	0.98	21.830
3388	100	3	0.5	0.98	21.832
3389	100	3	0.5	0.98	21.833
3390	100	3	0.5	0.98	21.834
3391	100	3	0.5	0.98	21.835
3392	100	3	0.5	0.98	21.837
3393	100	3	0.5	0.98	21.838
3394	100	3	0.5	0.98	21.839
3395	100	3	0.5	0.98	21.841
3396	100	3	0.5	0.98	21.842
3397	100	3	0.5	0.98	21.843
3398	100	3	0.5	0.98	21.844
3399	100	3	0.5	0.98	21.846
3400	100	3	0.5	0.98	21.847

Dalam Tabel 3, frekuensi *payload* yang berada direntang frekuensi 3370 – 3400 MHz memiliki *fade margin* sekitar 21 dB dengan jarak 100 km untuk simulasi kondisi terburuk yang ditunjukkan dengan parameter A dan B. Besar *fade margin* tersebut telah memenuhi standar dalam kanal komunikasi yang dianggap baik, yaitu bila bernilai 20 – 30 dB. Selanjutnya, analisis *fade margin* di bagian *telemetry* dan *telecommand* yang ditunjukkan pada Tabel 4, direntang frekuensi dari 5030 hingga 5034 MHz memiliki *fade margin* sebesar 23 dB dengan reliabilitas sebesar 98%.

Tabel 4. *Fade margin telemetry and telecommand untuk kondisi terburuk*

Frekuensi TTC (MHz)	D (km)	A	B	Reliability	FM TTC (dB)
5030	100	3	0.5	0.98	23.548
5031	100	3	0.5	0.98	23.549
5032	100	3	0.5	0.98	23.550
5033	100	3	0.5	0.98	23.550
5034	100	3	0.5	0.98	23.551

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan *link budget* diatas, dapat disimpulkan bahwa untuk memenuhi regulasi keselamatan operasi UAV dan kelancaran data *payload* misi dengan jarak jangkau 100 km maka pada sisi *telemetry* dan *telecommand* diperlukan *power* sebesar 36 dB atau sama dengan 4 Watt sedangkan pada *payload* diperlukan daya daya 32 dBm atau sama dengan 1.6 Watt. Hasil tersebut didasarkan pada nilai standar minimum *link margin* sebesar 15 dB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis tujukan kepada Drs. Gunawan Prabowo, MT. dan Ir. Agus Aribowo, M.Eng selaku peneliti Pusat Teknologi Penerbangan yang telah mendukung dan membantu terlaksananya kegiatan penelitian/pengujian program LSU-03NG.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramdhan M, Arifin T. Aplikasi Sistem Informasi Geografis dalam Penilaian Proporsi Luas Laut Indonesia. Jurnal Ilmiah Geomatika vol. 19 no.2, 2013.
- [2] Pustekbang, 2017. *Rancang Bangun Maritime Surveillance System (MSS) Berbasis LAPAN Surveillance UAV (LSU) : Litbangyasa Pesawat LSU-02LD . Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN, Bogor*
- [3] Lee, Hyeon-cheol. *Ku-Band Link Budget Analysis of UAV with Atmospheric Losses. 25th Digital Avionics Systems Conference, 2006*
- [4] NATO, 2009. *STANAG 4671 Edition 1. Belgia*
- [5] NATO, 2012. *STANAG 4586 Edition 3. Belgia*
- [6] International Telecommunication Union, 2012. *FINAL ACTS WRC-12 WORLD RADIOCOMMUNICATION CONFERENCE. Geneva*
- [7] Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia, 2014. *Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia No 25 Tahun 2014. Jakarta*
- [8] Johnson Ricard C., 1993. *Antenna Engineering Handbook, 3rd Edition, McGraw-Hill, USA*
- [9] J. G. Proakis and M. Salehi, 2008. *Digital Communications , 5th edition, McGraw-Hill, USA*
- [10] David D. Coleman, David A. Westcott. 2012. *CWNA: Certified Wireless Network Administrator, 3rd Edition. Wiley Inc. USA*
- [11] Anderson, John B., 2005. *Digital Transmission Engineering, Wiley Inc. USA*

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Iwan Nofi Yono Putro, S.Pd.T
Tempat & Tgl. Lahir : Klaten, 10 November 1986
Jenis Kelamin : Laki-laki
Instansi Pekerjaan : LAPAN
NIP. / NIM. : 19861110 201402 1 004



DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMK N II KLATEN Tahun: 2004 (lulus)
STRATA 1 (S.1) : UNY (elektronika) Tahun: 2010 (lulus)

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jalan LAPAN , Sukamulya, Rumpin, Bogor
Email : iwan.nofi@lapan.go.id