

ANALISIS ELEVASI SATELIT PADA MISI VOICE REPEATER YANG MENGGUNAKAN RADIO GENGAM

ANALYSIS OF SATELLITE ELEVATION IN VOICE REPEATER MISSION USING HANDHELD RADIO

Isma Choiriyah¹, Nurul Fadilah²

Pusat Teknologi Satelit, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

isma.choiriyah@lapan.go.id

Abstrak

Salah satu satelit yang telah diluncurkan oleh Pusat Teknologi Satelit – Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yaitu Satelit LAPAN-A2/ORARI memiliki misi *Voice Repeater* (VR). Pada misi VR, satelit berperan sebagai pemancar ulang komunikasi suara yang dikirim oleh stasiun radio yang ada di bumi. VR menggunakan frekuensi 145.880 MHz untuk *uplink* dan frekuensi 435.880 MHz untuk *downlink*. Selain menggunakan radio, VR juga dapat memanfaatkan radio genggam (HT) sebagai stasiun radio. Makalah ini akan membahas analisis sudut elevasi satelit pada misi VR dengan menggunakan radio genggam berdasarkan spesifikasi VR pada satelit LAPAN-A2/ORARI. Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengetahui nilai sudut elevasi optimum yang dapat digunakan radio genggam untuk misi VR. Metode yang digunakan dalam makalah ini diawali dengan penentuan spesifikasi radio genggam dan *transceiver* pada satelit, perancangan sistem, perhitungan kebutuhan *link* komunikasi dengan variasi nilai sudut elevasi satelit yang digunakan oleh radio genggam lalu hasil dan analisis. Hasil perhitungan dan analisis menunjukkan bahwa pada misi VR radio genggam dapat beroperasi secara optimum pada sudut elevasi satelit dari 15° hingga 35°. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi pengembangan misi VR pada satelit selanjutnya.

Kata kunci: VR, radio genggam, elevasi satelit.

Abstract

One of satellites that have been launched by Satellite Technology Center, National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) which is LAPAN-A2/ORARI satellite has Voice Repeater (VR) mission. In this mission, satellite has role as a repeater or retransmitting the voice from radio stations to the other radio stations in ground. VR uses 145.880 MHz as uplink frequency and 435.880 MHz as downlink frequency. Besides using radios, VR can use handheld radios or handy talkie (HT) as radio station. This paper analyzes about variation satellite elevation on VR mission by using handheld device based on VR specification in LAPAN-A2/ORARI satellite. The aim of this research is to know about optimum satellite elevation for handheld radios in VR mission. This research begins by determining the device specification, system design, link communication calculation as the methods. The calculation uses various satellite elevation that will be used by handheld radios. The result of calculation and analysis shows that in VR mission the handheld radios can be operated optimally in elevation from 15 degrees to 35 degrees. Hopefully, this research can be used as recommendation in developing VR mission on developing the next satellite.

Keywords: VR, handheld radios, satellite elevation.

1. PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Satelit Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah meluncurkan tiga buah satelit yaitu satelit LAPAN-TUBSAT, satelit LAPAN-A2/ORARI dan satelit LAPAN-A3/IPB. Setiap satelit ini membawa misi yang berbeda. Satelit LAPAN-A2/ORARI diluncurkan pada tahun 2015 dan memiliki misi sebagai mitigasi bencana. Satelit ini membawa beberapa muatan antara lain *Automatic Identification System* (AIS) untuk identifikasi dan pemantauan

kapal, kamera digital (*space camera*), video kamera dan komunikasi amatir dalam bentuk *Automatic Packet Reporting System (APRS)* dan *Voice Repeater (VR)* [1].

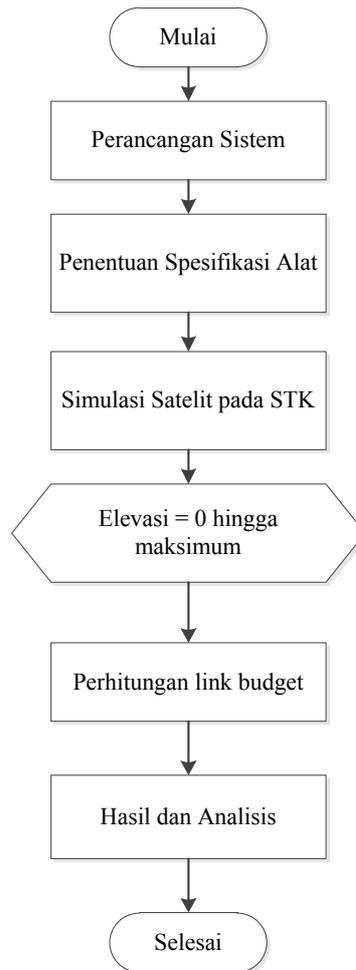
Komunikasi amatir telah terbukti mampu digunakan sebagai salah satu komunikasi alternatif saat terjadi bencana[2]. Hal ini dibuktikan dengan digunakannya misi VR satelit LAPAN-A2/ORARI pada saat bencana Palu terjadi. Oleh karena itu, misi VR akan menjadi salah satu misi komunikasi amatir yang akan dibawa pada pengembangan satelit selanjutnya. Pada misi VR, satelit berfungsi sebagai pemancar ulang komunikasi suara yang dikirimkan oleh stasiun radio yang ada di bumi. Terdapat dua buah frekuensi yang digunakan, frekuensi untuk komunikasi VR dari stasiun radio terhadap satelit (*uplink*) dan frekuensi untuk komunikasi VR satelit terhadap stasiun bumi (*downlink*). Frekuensi *uplink* yang digunakan adalah band VHF 145.880 MHz dengan *tone* frekuensi 88,5 Hz sedangkan frekuensi *downlink* yang digunakan adalah band UHF 435.880 MHz.

Komunikasi VR melalui satelit dapat menggunakan perangkat radio yang dapat beroperasi pada kedua *band* VHF dan UHF atau dapat disebut *dual-band* sehingga satu buah perangkat radio dapat digunakan sebagai pemancar sekaligus penerima (*transceiver*). Salah satu contohnya adalah radio Yaesu FT-847, Kenwood TS-2000, ICOM 9700 dan perangkat radio amatir lainnya. Selain menggunakan radio, komunikasi VR juga dapat memanfaatkan radio genggam (HT) *dual-band* sebagai *transceiver* contohnya HT TENO TN733, Baofeng BF UV5R, Yaesu FT-65R dan lain-lain. Daya yang dipancarkan oleh HT lebih kecil[3] daripada radio sehingga penggunaan HT untuk komunikasi VR memerlukan analisis ketersediaan *link* komunikasi terlebih dahulu. Makalah ini akan membahas tentang ketersediaan *link* komunikasi VR melalui HT dengan menggunakan spesifikasi komunikasi VR pada satelit LAPAN-A2. Analisis *link* komunikasi ini akan menggunakan perhitungan *link budget*. Tujuan perhitungan *link budget* ini adalah untuk memastikan bahwa level daya sinyal yang diterima lebih besar atau sama dengan level daya minimum yang diperlukan oleh penerima. Perhitungan *link budget* ini akan menggunakan beberapa nilai sudut elevasi satelit sehingga dapat diketahui nilai sudut elevasi optimum yang dapat digunakan oleh HT untuk melakukan komunikasi VR.

Sebuah satelit pada ketinggian dan inklinasi tertentu akan menghasilkan sebuah area cakupan tertentu yang diproyeksikan terhadap bumi. Area cakupan ini menunjukkan sebagai area yang dapat melakukan komunikasi dengan satelit. Sebuah stasiun radio pada lokasi tertentu dapat berkomunikasi dengan satelit jika lokasi radio tersebut berada di dalam area cakupan satelit dengan kata lain berada diantara waktu *Acquisition of Satellite (AOS)* dan *Loss of Satellite (LOS)*. Ketika lokasi tersebut berada di dalam area cakupan satelit maka nilai sudut elevasi satelit akan lebih dari nol[4] sehingga dapat diketahui nilai jarak stasiun bumi terhadap satelit diproyeksikan pada bumi atau yang akan disebut dengan *range*. Nilai *range* ini bisa didapatkan dengan melakukan simulasi pada perangkat lunak *Satellite Tool Kit (STK)*[5]. Pada simulasi tersebut juga bisa didapatkan nilai elevasi satelit yang berbeda-beda. Setiap nilai elevasi akan memiliki nilai *range* yang berbeda-beda. Nilai elevasi dan *range* ini yang akan digunakan pada pembahasan penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai elevasi satelit optimum yang dapat digunakan oleh HT untuk melakukan komunikasi VR.

2. METODOLOGI

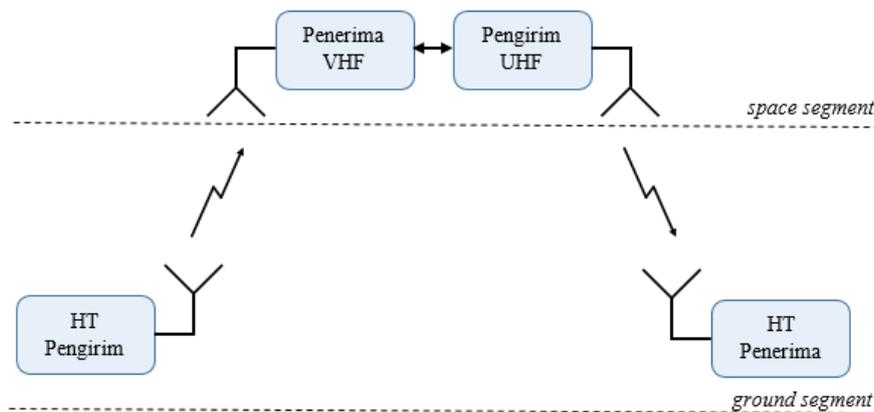
Terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan dalam penelitian ini, tahap – tahap tersebut terdiri dari penentuan spesifikasi alat yang digunakan, perancangan sistem, simulasi satelit pada perangkat lunak STK, perhitungan *link budget* pada elevasi 0° hingga maksimum dan analisis hasil. Alur tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi penelitian

2.1 Perancangan Sistem

Sistem yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sistem terdiri 2 macam yaitu *ground segment* dan *space segment*. *Ground segment* terdiri dari perangkat HT yang dapat beroperasi pada dual *band* sehingga HT dapat digunakan sebagai pengirim sekaligus penerima secara bergantian. Frekuensi *uplink* yang digunakan adalah 145.880 MHz dengan frekuensi *tone* 88.5 Hz dan frekuensi *downlink* yang digunakan adalah 435.880 MHz. *Space segment* adalah satelit komunikasi yang memiliki misi VR yang terdiri dari penerima frekuensi VHF yaitu 145.880 MHz yang dihubungkan dengan pemancar UHF pada frekuensi 435.880 MHz. Antena yang digunakan pada penerima VHF dan pemancar UHF adalah antena monopol yang memiliki frekuensi yang berbeda.



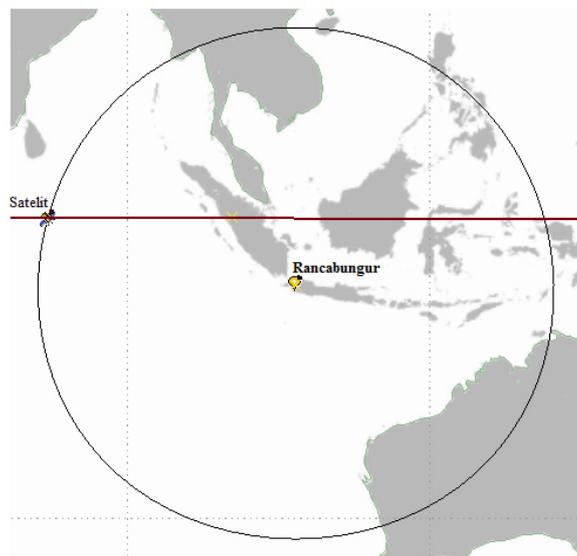
Gambar 2. Perancangan Sistem

2.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Bagian ini adalah tahap menentukan spesifikasi alat yang akan digunakan dalam penelitian. Alat yang digunakan terdiri dari *transceiver* pada HT dan *transceiver* pada satelit. Spesifikasi alat yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada Bab 3.1. Selain itu, terdapat dua buah antena HT yang digunakan pada penelitian ini, pertama adalah antena monopol *dual band* dengan penguatan 2.15 dBi[6] dan yang kedua adalah antena *arrow* dengan penguatan ± 10 dBi[7].

2.3 Simulasi Satelit pada STK

Perangkat lunak STK dapat melakukan simulasi orbit terhadap satelit yang akan dan atau telah dibuat. Penelitian ini akan melakukan simulasi orbit terhadap satelit komunikasi yang memiliki sudut inklinasi 0° dan ketinggian ± 600 km. Parameter yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah variasi nilai elevasi satelit saat satelit komunikasi melewati suatu titik area tertentu. Penelitian ini menggunakan titik area *ground station* Pusat Teknologi Satelit (Pusteksat) yang berlokasi di Rancabungur dengan koordinat latitud -6.53550° dan longitude 106.70000° . Cakupan area *ground station* Pusteksat dapat dilihat pada Gambar 3 yang ditandai dengan garis lingkaran. Sehingga *ground station* Pusteksat dapat melakukan komunikasi VR saat satelit berada pada cakupan area *ground station*. Simulasi ini dapat menunjukkan jarak antara *ground station* Pusteksat dengan satelit. Nilai jarak tersebut berubah-ubah seiring dengan nilai elevasi satelit. Nilai jarak dan elevasi ini lah yang akan digunakan pada perhitungan *link budget*.



Gambar 3. Cakupan Area *Ground Station* Pusteksat

2.4 Elevasi = 0 hingga maksimum

Simulasi STK menggunakan satelit yang memiliki sudut inklinasi 0° . Hal ini menyebabkan satelit tersebut akan memiliki nilai sudut elevasi maksimum yang hampir sama setiap kali melewati area *ground station* Pusteksat yaitu $\pm 35^\circ$. Rentang nilai elevasi satelit yang digunakan dalam perhitungan *link budget* komunikasi VR adalah mulai dari elevasi 0° hingga elevasi maksimum dengan kelipatan elevasi setiap 5° .

2.5 Perhitungan *link budget*

Perhitungan *link budget* ini menggunakan nilai sudut elevasi satelit yang bervariasi. Setiap nilai sudut elevasi memiliki nilai *range* yang berbeda. Dengan melakukan perhitungan *link budget*, *link margin* yang dibutuhkan agar komunikasi dapat dilakukan dapat diketahui[8]. Penentuan nilai elevasi optimum untuk komunikasi VR diketahui melalui *link margin* yang tersedia untuk komunikasi VR. Beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan *link budget* adalah daya pancar stasiun radio pengirim (EIRP), rugi-rugi ruang bebas (FSL), rugi-rugi

atmosfer, rugi-rugi kesalahan arah antena, sensitivitas penerima, dan *link margin*[9][10]. Perhitungan *link budget* dilakukan dengan merujuk persamaan (1) hingga (10) pada[8].

2.6 Hasil dan Analisis

Setiap nilai elevasi akan menghasilkan nilai *range*. Nilai *range* ini akan digunakan sebagai variabel dalam perhitungan FSL sehingga akan mempengaruhi perhitungan *link budget* secara keseluruhan. Hasil perhitungan *link budget* ini dipaparkan pada Bab 3.2. Selanjutnya dilakukan pengamatan dan analisa terhadap nilai *link margin* yang didapatkan untuk mengetahui nilai elevasi optimum agar misi komunikasi VR menggunakan radio genggam dapat terlaksana.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi Sistem

Pengembangan satelit selanjutnya akan membawa muatan misi komunikasi amatir diantaranya adalah VR. Satelit ini dirancang untuk memiliki orbit pada ketinggian ± 600 km dengan sudut inklinasi 0° . Satelit ini akan dapat melewati daerah Indonesia sekitar 14 kali dalam sehari. Spesifikasi alat yang digunakan oleh satelit dan HT dapat dilihat pada Tabel 1. Satelit menggunakan frekuensi VHF sebagai penerima dan frekuensi UHF sebagai pemancar, sedangkan HT menggunakan frekuensi VHF sebagai pemancar dan frekuensi UHF sebagai penerima. Penelitian ini menggunakan 2 buah antena HT yang memiliki penguatan berbeda.

Tabel 1. Spesifikasi Alat

No	Parameter Spesifikasi	Transceiver pada HT		Transceiver pada Satelit	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Jenis antena	Monopol		Monopol	
2	Gain antena	± 2.31	± 10	dBi	dBi
3	Daya Pancar	5		Watt	Watt
4	Daya Terima minimum	-114		dBm	dBm
5	Frekuensi tone	88.5		Hz	-
6	Frekuensi <i>uplink</i>	145.880		MHz	145.880
7	Frekuensi <i>downlink</i>	435.880		MHz	435.880

Nilai sudut inklinasi 0° akan membuat satelit memiliki nilai sudut elevasi yang relatif sama setiap kali satelit tersebut melewati suatu daerah[11] di Indonesia. Hal ini dapat disimulasikan menggunakan perangkat lunak STK. Berdasarkan simulasi STK, satelit memiliki sudut elevasi minimum sebesar 0° dan sudut elevasi maksimum sebesar 35° saat memasuki area *ground station* Pusteksat di Rancabungur. Setiap nilai sudut elevasi memiliki nilai *range* yang berbeda. Penelitian ini lalu mengelompokkan nilai-nilai sudut elevasi tersebut setiap kelipatan 5° . Nilai *range* hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Range Hasil Simulasi

Sudut Elevasi Satelit	Range (km)
0°	2829
5°	2324
10°	1927
15°	1622
20°	1388
25°	1209
30°	1071
35°	965

3.2 Perhitungan *Link Budget*

Perhitungan *link budget* menjadi hal yang paling penting saat melakukan analisis ketersediaan *link* pada sistem komunikasi. Setiap nilai *range* yang didapatkan dari hasil simulasi akan menjadi parameter pada perhitungan *link budget*. Setiap nilai *range* ini akan menghasilkan nilai FSL yang berbeda yang akan berpengaruh terhadap rugi-rugi yang akan dialami oleh misi komunikasi VR.

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan *link budget* untuk komunikasi VR *Uplink* dengan menggunakan antena yang memiliki penguatan sinyal sebesar 2.15 dB. Hasil menunjukkan bahwa pada sudut elevasi satelit 0° hingga 35° daya sinyal yang diterima oleh penerima satelit lebih kecil daripada sensitivitas penerima satelit sehingga dinyatakan *link* komunikasi dinyatakan gagal dan satelit tidak akan mampu menerima sinyal yang dikirimkan oleh radio genggam HT tersebut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Link Budget Uplink* Pada Antena HT 2.15 dB

Parameter	Elevasi								Satuan
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	
<i>Range</i>	2829	2324	1927	1622	1388	1209	1071	965	km
Daya pancar HT 5Watt	36.99								dBm
Penguatan antena HT	2.15								dB
Penguatan antena satelit	2								dB
Rugi-rugi atmosfer	0.7								dB
FSL	144.74	143.04	141.41	139.92	138.57	137.37	136.31	135.41	dB
Rugi-rugi kesalahan arah antena	1								dB
Rugi-rugi kabel	1								dB
G/T penerima satelit	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	dB/K
Daya terima satelit	-133.6	-131.9	-130.27	-128.78	-127.43	-126.23	-125.17	-124.27	dBm
Sensitivitas penerima satelit	-121	-121	-121	-121	-121	-121	-121	-121	dBm
<i>Link margin</i>	-12.6	-10.9	-9.27	-7.78	-6.43	-5.23	-4.17	-3.27	dB
Keterangan	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan *link budget* untuk komunikasi VR *Uplink* dengan menggunakan antena yang memiliki penguatan sinyal sebesar 10 dB. Hasil menunjukkan bahwa pada sudut elevasi satelit 0° hingga 10° daya sinyal yang diterima oleh penerima satelit lebih kecil daripada sensitivitas penerima satelit sehingga dinyatakan *link* komunikasi dinyatakan gagal dan satelit tidak akan mampu menerima sinyal yang dikirimkan oleh radio genggam HT tersebut. Sedangkan pada sudut elevasi satelit 15° hingga 35° *link margin* menunjukkan nilai positif dimana artinya sinyal yang diterima satelit lebih besar daripada sensitivitas penerima satelit. Hal ini berarti satelit dapat memancarkan ulang sinyal yang dikirim oleh HT. Hasil perhitungan *link budget* untuk *link* komunikasi VR dari satelit menuju radio penerima dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Link Budget Uplink* Pada Antena HT 10 dB

Parameter	Elevasi								Satuan
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	
<i>Range</i>	2829	2324	1927	1622	1388	1209	1071	965	km
Daya pancar HT 5Watt	36.99								dBm
Penguatan antena HT	10								dB
Penguatan antena satelit	2								dB
Rugi-rugi atmosfer	0.7								dB

FSL	144.74	143.04	141.41	139.92	138.57	137.37	136.31	135.41	dB
Rugi-rugi kesalahan arah antenna	1								dB
Rugi-rugi kabel	1								dB
G/T penerima satelit	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	dB/K
Daya terima satelit	-125.75	-124.05	-122.42	-120.93	-119.58	-118.38	-117.32	-116.42	dBm
Sensitivitas penerima satelit	-121	-121	-121	-121	-121	-121	-121	-121	dBm
<i>Link margin</i>	-4.75	-3.05	-1.42	0.17	1.42	2.62	3.68	4.58	dB
Keterangan	Gagal	Gagal	Gagal	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Link Budget Downlink* Pada Antena HT 10 dB

Parameter	Elevasi								Satuan
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	
<i>Range</i>	2829	2324	1927	1622	1388	1209	1071	965	km
Daya pancar satelit 6 Watt	37.78								dBm
Penguatan antenna HT	10								dB
Penguatan antenna satelit	2								dB
Rugi-rugi atmosfer	0.7								dB
FSL	154.25	152.55	150.92	149.42	148.07	146.87	145.82	144.91	dB
Rugi-rugi kesalahan arah antenna	1								dB
Rugi-rugi kabel	1								dB
G/T penerima satelit	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	19.29	dB/K
Daya terima HT	-126.46	-124.76	-123.13	-121.63	-120.28	-118.93	-117.73	-116.82	dBm
Sensitivitas penerima HT	-122	-122	-122	-122	-122	-122	-122	-122	dBm
<i>Link margin</i>	-4.46	-2.76	-1.13	0.37	1.72	3.07	4.27	5.18	dB
Keterangan	Gagal	Gagal	Gagal	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan *link budget* untuk komunikasi VR *downlink* dengan menggunakan antenna yang memiliki penguatan sinyal sebesar 10 dB. Hasil menunjukkan bahwa pada sudut elevasi satelit 0° hingga 10° daya sinyal yang diterima oleh HT lebih kecil daripada sensitivitas penerima HT sehingga dinyatakan *link* komunikasi dinyatakan gagal dan HT tidak mampu menerima sinyal yang dikirimkan oleh satelit. Sedangkan pada sudut elevasi satelit 15° hingga 35° sinyal yang diterima HT lebih besar daripada sensitivitas penerima HT. Hal ini berarti HT dapat menerima sinyal yang dipancarkan ulang oleh satelit. Hal ini juga dapat ditandai dengan *link margin* yang menunjukkan nilai positif.

4. KESIMPULAN

Keberhasilan misi VR pada satelit LAPAN-A2/ORARI sebagai mitigasi bencana menunjukkan bahwa komunikasi amatir dapat digunakan sebagai komunikasi alternatif saat terjadi bencana. Hal ini mengakibatkan misi komunikasi amatir terutama VR akan menjadi salah satu misi komunikasi amatir yang akan dikembangkan pada satelit selanjutnya oleh Pusat Teknologi Satelit – LAPAN. Radio genggam dapat digunakan sebagai *transceiver* dalam melakukan komunikasi amatir, sehingga diperlukan adanya analisis ketersediaan *link* komunikasi terlebih dahulu. Satelit yang akan dikembangkan selanjutnya akan memiliki sudut inklinasi 0° dan ketinggian ± 600 km. Kondisi ini dapat disimulasikan pada perangkat lunak STK sehingga dapat diperoleh nilai *range* dan sudut elevasi satelit saat satelit komunikasi tersebut berada pada rentang AOS dan LOS di *ground station* Pusteksat, Rancabungur. Variasi sudut elevasi satelit dan *range* ini akan digunakan sebagai parameter perhitungan *link budget*. Hasil perhitungan dan analisis *link budget* menunjukkan bahwa dengan menggunakan antena yang memiliki penguatan sinyal sebesar 10 dB, sebuah HT dapat melakukan komunikasi VR secara optimum pada sudut elevasi satelit dengan rentang 15° hingga 35° . Diharapkan dengan adanya analisis ini, pengguna misi VR pada satelit komunikasi ini nantinya akan semakin banyak sehingga semakin optimal dalam membantu mitigasi bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih kami kepada Bapak Mujtahid selaku Kepala Pusat Teknologi Satelit (Pusteksat-LAPAN), Bapak Abdul Karim sebagai kepala bidang Program dan Fasilitas dan Bapak M. Mukhayadi sebagai *Group Leader* satelit komunikasi atas arahan dan bimbingannya sehingga karya tulis ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hardhienata, M. Triharjanto dan M. Mukhayadi, “LAPAN-A2/LAPAN-ORARI : Indonesian Near-Equatorial Surveillance Satellite”, *18th Asia-Pacific Reg. Ap. Space Agency Forum*, 2011.
- [2] S. D. Harsono dan R. Ardinal, “Komunikasi Voice Repeater Satelit LAPAN-A2/LAPAN-ORARI Untuk Mitigasi Bencana Alam”, *SIPTEKGAN XXII*, 2018.
- [3] Kenwood, Manual THD72A, tersedia di https://www.kenwood.com/i/products/info/amateur/pdf/TH-D72AE_IDM.pdf, di akses Maret 2019
- [4] M. Davidoff. *The Radio Amateur's Satellite Handbook*, First Edition, ARRL, Newington, 2000.
- [5] M. Y. Ikhsan, M. Mukhayadi dan W. Hasbi, “Kajian Penerapan AIS Pada Satelit LAPAN-A2”, 2011
- [6] Diamond Antenna Corporation, *RH Series*, tersedia di http://www.diamond-ant.co.jp/english/amateur/antenna/ante_3hand/ante_hand1.html di akses April 2019
- [7] Arrow Antenna LLC, *Arrow II Satellite Antenna*, tersedia di <http://www.arrowantennas.com/arrowii/146-437.html> diakses April 2019
- [8] A. H. Qonita dan N. Muhtadin, “Design and Analysis of Multibeam Communication Satellite Links Operated at Ka Band Frequency in Indonesia”, *LISAT Proceeding 2018*, 2018

- [9] R. Saad, K. Fayakun dan H. Ramza, “ Perhitungan Link Budget Satelit Telkom-1”, *Rekayasa Teknologi* Vol. 2 No. 2, 2011
- [10] S. Louvros, *Radio Link Budget*, tersedia di <https://www.slideshare.net/SpirosLouvros/radio-link-budget> , di akses Maret 2019
- [11] W.J. Larson dan J.R. Wertz, “Space Mission and Analysis Design”, Third Edition, Space Technology Library, 2005