

Perancangan Rekonfigurasi *Link* Transmisi *Microwave Long Haul* IV Nagari – Kamang Baru dengan *Space Diversity* Menggunakan *Pathloss 5.0*

Designing Reconfiguration of Nagari - Kamang Baru Microwave Long Haul IV Transmission by Space Diversity and Pathloss 5.0

Wiwi Alfiyani^{1,*}, Eka Setia Nugraha², Yosy Rahmawati³

^{1,2,3}Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi,
Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
JL. DI Panjaitan No.128 Purwokerto, 53147, Jawa Tengah, Indonesia

^{1,*}Penulis korespondensi: 16201101@ittelkom-pwt.ac.id
²eka_nugraha@ittelkom-pwt.ac.id, ³yosy@ittelkom-pwt.ac.id

Received on 15-04-2019, accepted 29-07-2019, published 01-08-2019

Abstrak

Komunikasi seluler menjadi kebutuhan yang sangat penting sehingga perlu adanya peningkatan performansi sistem telekomunikasi. Terutama di daerah yang terhalang dengan *obstacle* seperti IV Nagari - Kamang Baru yang memiliki luas perbukitan memanjang dari arah barat laut ke tenggara, sehingga *link microwave* menjadi tidak *Line of Sight*. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan dengan menambahkan *passive repeater back to back* yang diletakkan pada *link* dengan elevasi *site* tertinggi. Namun, karena bekerja pada *link microwave long haul*. Optimasi menjadi tidak efektif karena *passive repeater back to back* efisien untuk *link microwave* dengan jarak yang dekat, sehingga perlu rekonfigurasi *link* dengan *space diversity*. Sedangkan *space diversity* tidak efektif apabila di daerah pegunungan dengan *terrain roughness* yang besar. Perancangan *link microwave* menggunakan *passive repeater back to back* dengan *terrain roughness* yang besar dan *link* yang jauh, *received signal level* -71,74 dB, *fading margin* 24,26 dB dan *availability* 99,97712%. Namun, *availability* yang didapatkan belum mencapai standar ITU G.827 dan F.1703. Maka dilakukan rekonfigurasi *link microwave* dengan *space diversity* untuk *improve availability*, spasi standar diperoleh 180λ *received signal level* -71,39 dBm, *fading margin* 24,61 dB dan *availability* 99,9929% sesuai standar ITU G.827 dan F.1703. *Microwave link* dengan *very high integrity* dan *outage time* 8,6 detik perhari.

Keywords: Availability, Improve, Line of sight, Link microwave, Long haul, Outage time.

Abstract

Cellular communication has become an essential requirement in areas blocked by obstacles. Therefore, it is necessary to increase the performance of the telecommunication system. One problematic area is IV Nagari - Kamang Baru, a hill extending from northwest to southeast, making the microwave link not in Line of Sight. A back-to-back passive repeater was placed on the link with the highest site elevation to overcome this problem. However, it works with long-haul microwave links. Optimization becomes ineffective because passive back-to-back repeaters are efficient for microwave links with short distances, so link reconfiguration with space diversity is necessary. Meanwhile, space diversity is ineffective in mountainous areas with large terrain roughness. The microwave link design uses a back-to-back passive repeater with large terrain roughness and distant links, received signal level -71.74 dB, fading margin 24.26 dB, and availability 99.97712%. However, the availability obtained has not reached the ITU G.827 and F.1703 standards. Then the microwave link is reconfigured with space diversity to improve availability. The standard spacing is 180λ received signal level -71.39 dBm, fading margin 24.61 dB, and availability 99.9929% according to ITU G.827 and F.1703 standards. Microwave link with very high integrity and outage time of 8.6 seconds per day.

Keywords: Availability, Improve, Line of sight, Link microwave, Long haul, Outage time.

I. PENDAHULUAN

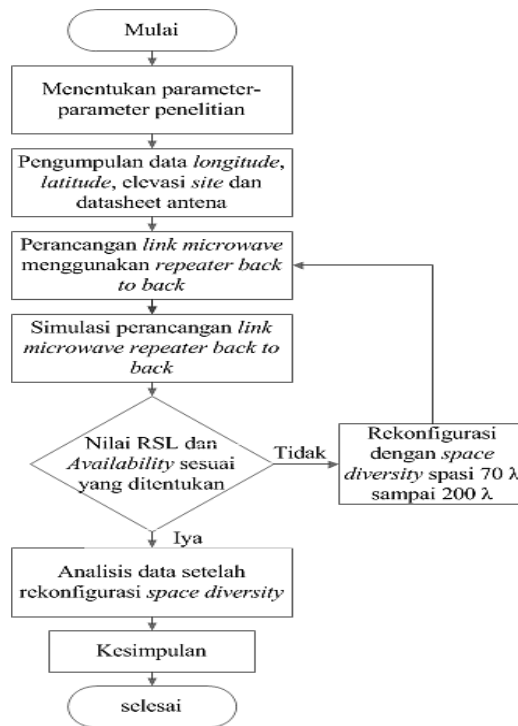
Berdasarkan siaran pers no.112/HM/KOMINFO/05/2018 30 April 2018 jumlah pelanggan telekomunikasi seluler yang telah melakukan registrasi sebanyak 254.792.159 nomor pelanggan dan akan terus bertambah. Artinya, komunikasi seluler menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari masyarakat, sehingga perlu adanya perbaikan peformansi sistem telekomunikasi. Dalam komunikasi *microwave* syarat sinyal dapat diterima dengan baik apabila *link microwave* dalam keadaan LOS (*Line of Sight*) antena pengirim dan penerima tidak terhalang *obstacle*[1]. Dikutip dari *website* resmi kabupaten Sijunjung kecamatan IV Nagari dan kecamatan Kamang Baru kabupaten Sijunjung Sumatera Barat sebagai daerah penelitian, termasuk daerah yang banyak terhalang perbukitan dengan luas daerah perbukitan yang memanjang dari arah barat laut ke tenggara. Kecamatan Kamang Baru memiliki luas wilayah terluas 837,80 km² dengan jumlah penduduk 47,17 ribu jiwa, sedangkan IV Nagari luas wilayah 96,30 km² jumlah penduduk 16,14 ribu jiwa. Sijunjung berada di lereng timur bukit Barisan yang didominasi dengan ketinggian terendah 100 meter sampai dengan 1500 meter di atas permukaan laut, beriklim tropis dengan intensitas curah hujan tinggi dan suhu cenderung meningkat saat musim kemarau[2].

Berdasarkan jurnal Dekri Belly Liu “Pengaruh *Space diversity* Terhadap Peningkatan *Availability* pada Jaringan *Microwave* Lintas Laut dan Lintas Penguangan” tingkat kekasaran bumi (*terrain roughness*) yang besar pada daerah pegunungan, menyebabkan penurunan *unavailability* lebih kecil setelah optimasi artinya daerah dataran tinggi dengan menggunakan teknik *space diversity* perbaikan sistemnya kurang maksimal[3]. Sedangkan berdasarkan jurnal Intan Erlita Dewanti tahun 2018 berjudul “Analisis Perbandingan *Passive repeater back to back* dan *Plane Reflector* menggunakan Pathloss 5.0” perancangan memberi solusi *link microwave* yang terhalang oleh *obstacle* dengan *passive repeater*. *Plane reflector* dirancang sesuai dengan sudut pantul sedangkan *back to back* terdapat dua buah antena yang dirancang menghadap ke antena pengirim (Tx) sebagai *site 1* dan penerima (Rx) *site 2*. Perancangan *plane reflector* menghasilkan kualitas layanan yang lebih baik daripada *repeater back to back* baik *gain repeaternya* maupun *availability* pada daerah dan jarak penelitian yang sama[4].

Dari uraian pustaka tersebut dengan beberapa informasi kekurangan perangkat dari masing-masing hasil penelitian, penulis mengangkat judul tugas akhir “**PERANCANGAN REKONFIGURASI LINK TRANSMISI MICROWAVE LONG HAUL IV NAGARI – KAMANG BARU DENGAN SPACE DIVERSITY MENGGUNAKAN PATHLOSS 5.0**” studi kasus PT. Alita Praya Mitra. Perancangan menggunakan frekuensi kerja 6 GHz dengan tiga *site* yaitu *site IV Nagari*, *site Tanjung Lolo* untuk penempatan *repeater back to back* dan *site Kamang Baru*. Rekonfigurasi *space diversity* untuk mencapai target *availability* 99,9929% dengan nilai *outage time* sama dengan 8,6% artinya kegagalan sistem 8,6 detik perhari, sesuai rekomendasi ITU G.827 dan F.1703 sehingga *link transmisi microwave* lebih handal dan bekerja secara optimal.

II. METODE PENELITIAN

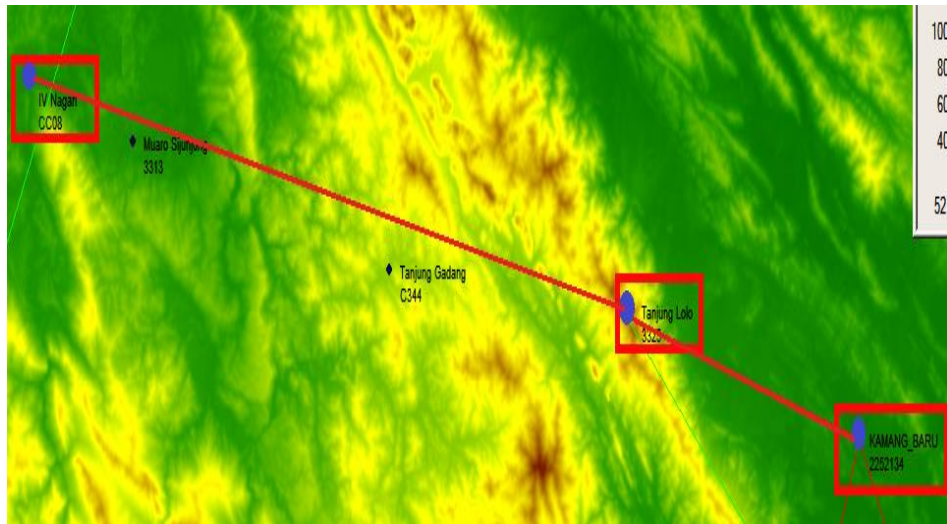
Hasil simulasi dengan pathloss 5.0, setiap skenario perancangan menjadi salah satu alasan rekonfigurasi *link microwave*. *Passive repeater back to back* lebih efisien untuk jarak yang dekat, jarak IV Nagari menuju Kamang Baru yaitu 55,95 km. Sedangkan *space diversity* tidak maksimal untuk *link* transmisi dengan *terrain roughness* yang besar dan terdapat *obstacle*, *terrain roughness* IV Nagari menuju Kamang Baru yaitu 42,67 meter merupakan angka yang besar[15]. Kekurangan yang dimiliki masing-masing perangkat, dengan rekonfigurasi *link* mampu menghasilkan perancangan yang handal. Penempatan antenna utama dengan antenna diversity menggunakan ketentuan spasi $70\lambda - 200\lambda$ untuk *improve availability* sesuai standar ITU G.827 dan F.1703. *Flowchart* penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1 *Flowchart* Penelitian

Tabel 1 Data *Site* Penelitian

Site Name	Latitude	Longitude	Elevasi
IV Nagari	00°42'36".60° S	100°53'46".30° E	166,9 m
Kamang Baru	00°49'15".80° S	101°23'11".06° E	130,8 m
Tanjung Lolo	00°46'57".20° S	101°14'50".60° E	907,7 m



Gambar 2 Topologi Jaringan

Site IV Nagari sebagai *site 1*, *site* Kamang Baru sebagai *site 2* dan Tanjung Lolo sebagai *site* penempatan *passive repeater back to back*. Jarak dari *site* IV Nagari menuju Kamang Baru 55,93 km *link microwave* tidak LOS. Sedangkan Jarak IV Nagari menuju Tanjung Lolo 39,91 km dan jarak antara Tanjung Lolo menuju Kamang Baru 16,07 km. Berikut tabel 2 perangkat yang digunakan dalam perancangan.

Tabel 2 Perangkat *Link Microwave*

Perangkat	Jenis
Antenna	ANDREW HSX15-59A
Transmission line	EWP52-59
Microwave	2600 S U6G-32DS1
Frequency	6 GHz
Antenna Diversity	ANDREW HSX15-59A
Transmission line Diversity	EWP52-59
Microwave Diversity	2600 S U6G-32DS1
Frequency	6 GHz

Pada bagian repeater dan space diversity menggunakan jenis dan spesifikasi yang sama perbedaan terletak pada tinggi antena dan panjang kabel feeder. Perangkat tersebut disimulasikan pada software Pathloss 5.0 untuk mendapatkan perancangan link microwave sesuai standar. Parameter perhitungan link budget meliputi gain antena, Free Space Loss, Effective Isotropic Radiated Power, Receive Signal Level, Fading Margin, unavailability, availability, passive gain dan improvement factor space diversity[10][13].

Gain antena untuk mengukur kemampuan antena dalam mengirimkan gelombang yang diinginkan menuju ke tujuan dengan persamaan (1):

$$G = 20 \log f + 20 \log d + 10 \log \eta + 20 \tag{1}$$

Keterangan:

G = *gain*/penguatan antena (dB)

η = efisiensi antena (50% - 70%)

d = diameter antena (m)

f = frekuensi kerja (GHz)

Free Space Loss adalah redaman yang ada sepanjang ruang antara antena pemancar dan penerima dengan persamaan (2):

$$FSL = 92,45 + 20 \log D_{(km)} + 20 \log f_{(GHz)} \quad (2)$$

Keterangan:

D = panjang lintasan (km)

f = frekuensi kerja yang digunakan (GHz)

Effective Isotropic Radiated Power adalah daya maksimum gelombang sinyal mikro yang keluar dari antena pemancar atau untuk menunjukkan nilai efektif daya yang dipancarkan antena pemancar, dalam arti lain daya tersebut sudah mengalami penguatan dengan persamaan (3):

$$EIRP = P_{TX} + G_{antena} - L_{TX} \quad (3)$$

Keterangan:

P_{TX} = Daya pancar (dBm)

L_{TX} = *Transmitter loss* (dB)

Isotropic Received Level adalah nilai level daya isotropik yang diterima oleh stasiun penerima dengan persamaan (4):

$$IRL = EIRP - FSL \quad (4)$$

Keterangan:

EIRP = daya maksimum gelombang sinyal mikro (dBm)

FSL = redaman ruang antena pengirim dan penerima (dB)

Received Signal Level adalah level daya yang diterima oleh piranti pengolah *decoding* dengan persamaan (5):

$$RSL = IRL + G_{RX} - L_{RX} \quad (5)$$

Keterangan:

IRL = level daya terima antena stasiun penerima (dBm)

G_{RX} = *Gain* antenna (dBi)

L_{RX} = *Receiver Loss* (dB)

Fading Margin sebagai cadangan daya, nilai *Fading Margin* dipengaruhi *Received Signal Level* dan nilai *threshold* pada sisi penerima dengan persamaan (6):

$$FM = RSL - RX_{Threshold} \quad (6)$$

Keterangan:

RX_{TH} = level ambang batas minimum (dBm)

FM = cadangan daya (dB)

Availability merupakan ukuran kehandalan sistem sedangkan *unavailability* ukuran ketidakhandalan sistem yang diberikan dengan persamaan (7) dan (8):

$$UnAv_{path} = a \times b \times 2,5 \times f \times D^3 \times 10^{(-6)} \times 10^{(-FM/10)} \quad (7)$$

$$Av_{path} = (1 - UnAv_{path}) \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

Av_{path} = kehandalan sistem

FM = cadangan daya (dB)

D = panjang lintasan (km)

$UnAv_{path}$ = ketidakhandalan sistem

Passive repeater back to back menempatkan dua antena pada ketinggian tertentu pada *tower* ketika dua *link*. *Passive gain* diperoleh dengan persamaan (9):

$$G = G_{A1} - G_{AC} + G_{A2} \quad (9)$$

Keterangan:

G_{A1} = *gain* salah satu antena *repeater* (dB)

G_{A2} = *gain* dari antena lain *repeater* (dB)

G_{AC} = *coupling loss* (*waveguide*) antena (dB)

Sistem transmisi menggunakan teknik *space diversity* untuk mengatasi *fading* akan diperoleh *improvement factor space diversity* dengan persamaan (10):

$$ISD = 1,2 \times 10^{(-3)} \times f/D \times s^2 \times v^2 \times 10^{(A/10)} \quad (10)$$

Keterangan:

s = spasi antar antena (m)

v = selisih RSL (mV) ; antena utama dan antena *space diversity*

A = *effective fade margin* (dB)

ISD = faktor perbaikan *space diversity*

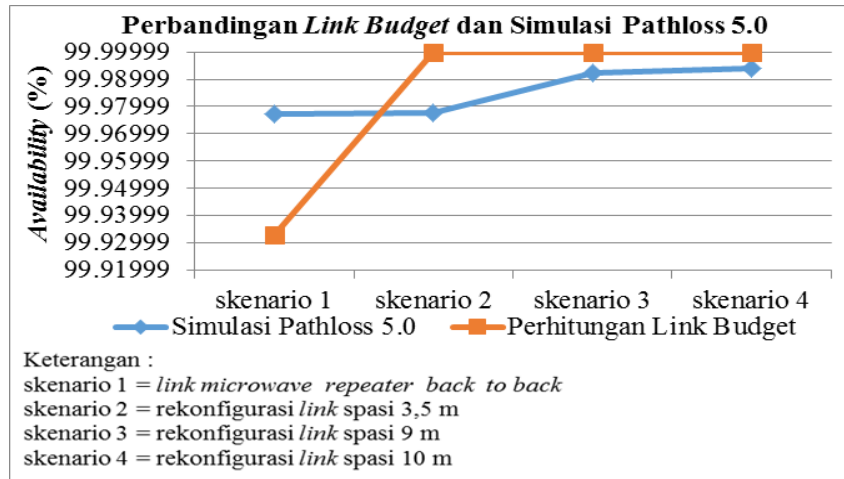
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan *link microwave* dengan menambahkan *passive repeater back to back*, *link microwave* dari *site IV Nagari* menuju Tanjung Lolo dan *site Kamang Baru* dengan jarak 55,95 km mampu mengatasi masalah yang terjadi pada *link* transmisi tersebut. Simulasi perancangan terjadi kenaikan kehandalan sistem dari sebelum menggunakan *repeater* meskipun belum memenuhi target standar ITU G.827 dan F.1703[10]. Analisa dilakukan dengan tiga tahapan yaitu analisis perancangan *link microwave* dari *site IV Nagari* menuju *site Kamang Baru*, analisis perancangan *link microwave* dari *site IV Nagari* menuju *site Kamang Baru* dengan menambahkan *passive repeater back to back* pada *site* tanjung lolo dan analisis perancangan rekonfigurasi *link microwave* dengan *space diversity*. Berikut Gambar 3 *path profile link* transmisi dari IV Nagari menuju Kamang Baru dengan *passive repeater back to back* pada Tanjung Lolo.



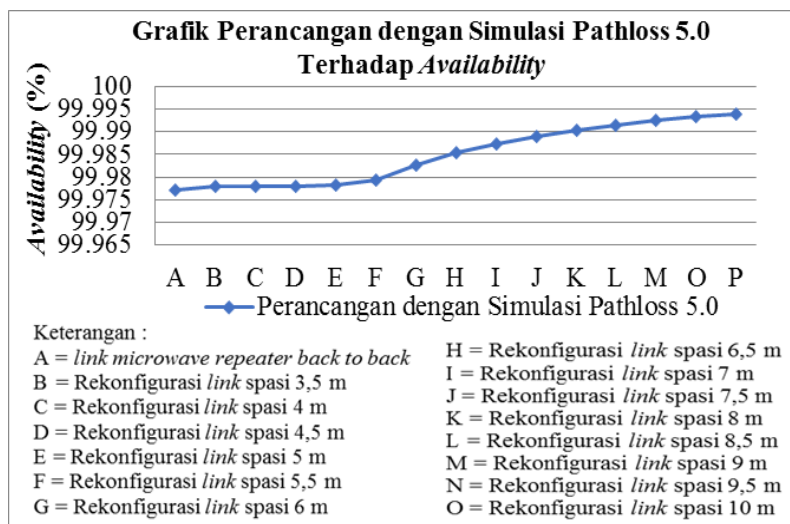
Gambar 3 Pathprofile

Dari hasil perancangan menggunakan *passive repeater back to back*, *availability* yang dicapai adalah 99,97712% belum mencapai target sehingga dilakukan rekonfigurasi *link* dengan *space diversity* untuk *improve availability* dengan *range* spasi 3,5 sampai 10 meter ($70\lambda - 200\lambda$).



Gambar 4 Grafik Perbandingan *Link budget* dan Simulasi Pathloss 5.0

Pada Gambar 4 grafik menunjukkan kenaikan yang signifikan setelah rekonfigurasi *link* hingga kehandalan sistem mencapai standar. Perancangan *link microwave* perlu adanya kesesuaian hasil simulasi menggunakan pathloss 5.0 dengan teori perhitungan *link budget*, untuk merancang sistem dan mengantisipasi kemungkinan rugi-rugi sehingga sistem tetap handal. Selisih terbesar pada perancangan *link* hanya *passive repeater back to back link budget* 99,93295% sedangkan hasil simulasi 99,97712% selisih yang dimiliki 0,044. Sedangkan selisih terkecil terletak pada perancangan rekonfigurasi dengan spasi maksimum yaitu 10 meter. *Link budget* 99,99998% sedangkan hasil simulasi 99,99397% terdapat selisih 0,006. Selisih yang diberikan sangat kecil hasil simulasi telah mendekati *link budget*. Selisih tersebut masih dalam nilai yang kecil sehingga tidak memiliki pengaruh besar dalam mengatasi *loss*, dalam perancangan karena kehandalan sistem karena sudah mendekati *link budget*. Selisih bisa disebabkan karena faktor pembulatan angka, perbedaan perhitungan angka dalam kalkulator dan yang diberikan *software* pathloss 5.0. Berikut grafik hasil perancangan rekonfigurasi *link microwave long haul* menggunakan pathloss 5.0 sebagai berikut:



Gambar 5 Grafik Rekonfigurasi Perancangan *Link Microwave*

Berdasarkan gambar 5 grafik menunjukkan perbaikan sistem setelah dilakukan rekonfigurasi dengan *space diversity*, hasil simulasi pertama dengan kondisi *terrain roughness* yang besar yaitu 42,67 meter, *diffraction loss* 79,75 meter dan *link* transmisi terhalang oleh *obstacle* dengan elevasi 907,69 meter. *Obstacle* berupa pegunungan dengan faktor kelengkungan bumi 1,33 dan jarak antar *link* yang jauh yaitu 55,95 meter, menyebabkan *link* transmisi mengalami *multipath fading*. *Received signal level* yang dihasilkan sangat buruk sehingga tidak memungkinkan untuk komunikasi terjadi dengan baik karena kegagalan komunikasi yang tinggi. Dalam mengatasi *multipath fading* karena *obstacle* pada *link* transmisi, menambahkan *repeater back to back* yang diletakkan pada *site* Tanjung Lolo. Keandalan sistem meningkat dan nilai *received signal level* semakin baik setelah menambahkan *passive repeater back to back*, dua antenna yang dipasang secara *back to back* sebagai pengulang informasi dan dipancarkan pada *site* tujuan dan efisien pada jarak yang dekat[10]. *Passive gain* yang dihasilkan adalah 92,68 dBi sedangkan perhitungan *link budget* 92,974 dBi. Namun, keandalan sistemnya belum mencapai target disebabkan oleh jalur transmisi yang jauh, *loss feeder* yang besar pada setiap *site* dan masih terjadi sedikit faktor *multipath* karena tingkat kekasaran bumi pada *link IV* Nagari menuju *repeater* yang besar.

Availability link transmisi dari *IV* Nagari menuju Kamang Baru setelah menggunakan *passive repeater back to back* adalah 99,97712%. Nilai 99,97712% merupakan keandalan sistem yang belum memenuhi target. Untuk *improve availability* sesuai dengan standar kemudian menambahkan antenna *diversity* dengan ketentuan spasi $70\lambda - 200\lambda$ [10][13]. *Range* spasi yang diberikan berdasarkan nilai perbandingan antara kecepatan rambat cahaya dengan frekuensi, *range* spasi 3,5 meter sampai dengan 10 meter. Perancangan *range space diversity* menggunakan selisih 0,5 meter, setiap spasi perancangan seperti pada Gambar 4 dimana jarak antenna utama dengan antenna *diversity* minimum 3,5 meter, maksimum 10 meter dan diperoleh spasi standar perancangan dengan *availability* yang telah mencapai target pada spasi 9 meter.

Gambar 5 menunjukkan semakin jauh jarak antenna utama dengan antenna *diversity*, pengaruh terhadap *availability* semakin bagus. Spasi minimum dengan selisih jarak antenna utama dengan antenna *diversity* 3,5 meter, hasil keandalan sistem yaitu 99,97784% terjadi perbaikan sistem dari perancangan hanya menggunakan *repeater back to back*. Namun, *availability* yang disebabkan faktor *multipath* perbulan 99,97784% yang diberikan belum memenuhi target standar ini disebabkan karena spasi 3,5 meter (70λ) dengan tinggi antenna *site IV* Nagari 46,5 meter dan *site* Kamang Baru 36,5 meter dengan kabel *feeder* 53,5 meter dan 43,5 meter. Semakin panjang kabel yang digunakan, maka semakin besar pula *loss* yang diberikan pada sistem sehingga nilai *received signal level* lebih kecil.

Pada spasi 9 meter (180λ) *availability* yang disebabkan faktor *multipath* perbulan yaitu 99,99249% tinggi antenna *diversity site IV* Nagari 41 meter dan *site* Kamang Baru 31 meter. Sedangkan panjang kabel 49 meter dan 39 meter. *Loss* yang diberikan kabel semakin kecil karena kabel yang dibutuhkan lebih pendek dari sebelumnya sehingga *loss* kabel tersebut semakin kecil dari spasi sebelumnya. *Received signal level* semakin bagus dan nilai cadangan daya atau *fading margin* yang bagus sesuai dengan *required fading margin*[9]. Keandalan sistem yang diberikan sudah mencapai target standar ITU G.827 dan F.1703 untuk *microwave long haul*, *outage time* 8,6 detik setiap hari dan termasuk *microwave link very high integrity*[9][10]. Perancangan spasi maksimum 10 meter (200λ) ketinggian antenna *site IV* Nagari 40 meter dan *site* Kamang Baru 30 meter serta panjang kabel 47 meter dan 37 meter. *Loss* yang diberikan semakin kecil karena kabel akan semakin pendek dari spasi sebelumnya, sehingga *received signal level* semakin kecil dan *availability* yang disebabkan faktor *multipath* perbulan yaitu 99,99397% nilainya telah melebihi target perancangan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan rekonfigurasi *link microwave long haul* dengan *space diversity* spasi 3,5 - 10 meter ($70\lambda - 200\lambda$), *pathlength* 55,95 meter *IV* Nagari menuju Tanjung Lolo dan Kamang Baru Sijunjung Sumatera Barat studi kasus PT. Alita Praya Mitra dapat disimpulkan. *Link* transmisi yang tidak LOS karena *obstacle* sehingga menyebabkan faktor *multipath* dengan menambahkan *passive repeater back to back* mampu mengatasi *multipath fading*, *received signal level* -71,74 dBm, *fading margin* 24,26 dB dan *worst month multipath availability* 99,97712% terdapat perbaikan sistem. Namun, *availability* belum mencapai target standar ITU G.827 dan F.1703. Sehingga untuk *improve availability* perlu adanya rekonfigurasi *link* transmisi dengan *space diversity*. Rekonfigurasi *link* transmisi spasi 3,5 meter – 10 meter

($70\lambda - 200\lambda$) memiliki pengaruh besar pada proses *improve availability*. Semakin jauh jarak antenna utama dengan antenna diversity, semakin bagus availability-nya karena semakin jauh spasi semakin pendek kabel feeder antenna diversity yang dipakai sehingga loss kabel feedernya semakin kecil. Kekurangan masing-masing perangkat passive repeater back to back dan space diversity dalam satu link yang sama, mampu menghasilkan kehandalan sistem yang optimal dan mencapai target. Rekonfigurasi link mampu improve availability spasi standar 9 meter (180λ), received signal level $-71,39$ dBm, fading margin $24,61$ dB. Availability dengan microwave link dengan very high integrity dan BER 10^{-6} , hanya 1 bit data yang diperbolehkan error dari 1 juta data yang dikirimkan dan outage time 8,6 detik setiap hari.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada FTTE yang telah mendukung penulis dalam melakukan penelitian.

REFERENCES

- [1] Y. R. Abdul Risyal Nasution, "Perancangan 7GHz *Microwave Link* Ujung Batu-Pasir Pengarayan," *J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains*, pp. 1–5, 2017.
- [2] H. kabupaten Sijunjung, "sijunjung.go.id." [Online]. Available: <https://www.sijunjung.go.id/v2/>.
- [3] D. B. Liu, E. Wahyudi, and E. S. Nugraha, "Pengaruh *Space diversity* Terhadap Peningkatan *Availability* Pada Jaringan *Microwave* Lintas Laut," *J. Elektro dan Telekomun. Terap.*, pp. 541–550, 2017.
- [4] I. E. Dewanti, A. Wahyudin, and A. Hikmaturokhman, "Analisis Perbandingan Passive Repeater Back-To-Back Antenna Dan Passive Repeater Plane Reflector Menggunakan Pathloss 5 . 0" *Senatek. (Seminar Nas. Tek. 2017)*, pp. 1–8, 2017.
- [5] Z. H. Pradana and A. Wahyudin, "Analisis Optimasi *Space diversity* Pada *Link Microwave* Menggunakan ITU Models," *J. Elektro dan Telekomun. Terap.*, vol. 4, no. 2, pp. 586–592, 2017.
- [6] A. Hikmaturokhman, A. Wahyudin, and A. S. Yuchintya, "Comparison Analysis Of Passive Repeater *Links* Prediction Using Methods: Barnett Vigants & ITU Models," *IEEE Xplore Digit. Libr.*, pp. 142–147, 2017.
- [7] R. G. Winch, *Telecommunication Transmission System Microwave, Fiber Optic, Mobbile Cellular Radio, Data and Digital Multiplexing*. Singapore, 1993.
- [8] A. Hikmaturokhman, *Diktat Kuliah Gelombang Mikro. Purwokerto*. Akatel Sandhy Putra, 2007.
- [9] R. L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunications (1-100 GHz)*. New York: John Wiley and Sons, 1987.
- [10] M. . Alfin Hikmaturokhman, S.T, M.T Ade Wahyudin, S.T, *Perancangan jaringan gelombang mikro menggunakan pathloss 5.0*. Yogyakarta, Indonesia: CV. Pustaka Ilmu Group Yogyakarta, 2018.
- [11] H. S. Alfin Hikmaturokhman, Eka wahyudi, "Analisa Pengaruh Interferensi Terhadap *Availability* pada Jaringan Transmisi *Microwave* Menggunakan Software 5.0," *J. ECOTIPE (Electronic, Control, Telecommunication, Information, Power Eng.*, vol. 1, no. 2, 2014.
- [12] W. Stallings, *Data and Computer Communications 7 th Edition*. Transmission Media, 2014.
- [13] R. L. Freeman, "Fundamentals of Telecommunications Volume 92 dari Wiley Series in Telecommunications and signal Processing," 2nd ed., John Wiley & Sons, 2005.
- [14] R. L. Freeman, *Telecommunication System Engineering, Fourth*. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [15] R. L. Freeman, *Telecommunication Transmission Handbook*. New York: John Wiley and Sons, 1981.
- [16] D. Bailey, *Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry*. Elsevier, 2003.