

# Kinerja Sistem Komunikasi FSO (*Free Space Optics*) Menggunakan *Cell-site Diversity* di Daerah Tropis

Octiana Widyarena, Gamantyo Hendratoro, dan Achmad Mauludiyanto  
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
 E-mail: gamatyo@ee.its.ac.id, maulud@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Kebutuhan masyarakat akan adanya layanan komunikasi multimedia seperti *video conference*, *high speed internet*, *video streaming*, dan lain sebagainya, saat ini terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, perlu adanya suatu sistem komunikasi nirkabel dengan kecepatan tinggi. Salah satunya yaitu dengan menggunakan FSO (*Free Space Optics*). FSO merupakan sistem komunikasi yang memungkinkan memiliki koneksi layaknya serat optik, namun media transmisi yang digunakan yaitu melalui atmosfer. Penggunaan FSO di daerah tropis memiliki kendala yang cukup serius yaitu tingginya intensitas curah hujan yang dapat mempengaruhi kinerja dari FSO. Semakin tinggi intensitas curah hujan, maka nilai redaman hujan juga semakin besar. Untuk mengatasi dampak redaman hujan tersebut, maka digunakan teknik *cell-site diversity* dengan *selection combining*. Penerapan teknik *cell-site diversity* pada sistem komunikasi FSO menggunakan variasi panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km serta variasi sudut antar *link* sebesar 45°, 90°, 135°, dan 180°. Hasil dari penerapan teknik *cell-site diversity* menunjukkan bahwa adanya peningkatan kualitas sinyal FSO, dalam hal ini yaitu nilai SNR. Peningkatan nilai SNR terbesar didapatkan pada panjang lintasan 2 km dengan sudut antar *link* 180° serta pada *link availability* 99,9 %. Untuk konfigurasi *cell-site diversity* terbaik didapatkan pada sudut antar *link* sebesar 90° dan 180°.

**Kata Kunci**—*diversity gain*, *free space optics*, redaman hujan, *selection combining*, SNR.

## I. PENDAHULUAN

SISTEM komunikasi FSO (*Free Space Optics*) atau yang sering disebut juga dengan *wireless optic*, merupakan sistem komunikasi optik yang menggunakan atmosfer sebagai media propagasinya. FSO menggunakan sorotan cahaya untuk mengirim *full-duplex* Gigabit Ethernet *throughput* data, suara, dan komunikasi *video* secara simultan melalui udara[1]. Sumber cahaya yang digunakan dapat berupa LED (*Light Emitting Diode*) maupun Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*).

Keunggulan dari penggunaan sistem komunikasi FSO bila dibandingkan dengan sistem komunikasi nirkabel lainnya, yaitu memiliki *bandwidth* yang lebih lebar, biaya instalasi yang lebih murah bila dibandingkan dengan serat optik, lebih mudah dan cepat dalam proses penyebaran (hanya dalam hitungan jam), tidak membutuhkan lisensi, praktis karena

*transceiver* FSO dapat diletakkan di dekat jendela maupun pada *rooftop* gedung, serta memiliki tingkat keamanan sistem yang tinggi karena tidak dapat dideteksi oleh *spectrum analyzer* maupun RF meter.

Sistem FSO dapat dioperasikan pada *rate* 1-100 Gbps bergantung dari panjang gelombang dan teknik modulasi yang digunakan. Sistem FSO untuk komersial di desain untuk beroperasi pada daerah inframerah dalam spektrum elektromagnetik, yaitu dengan panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm bergantung pada penggunaan[2]. Dengan frekuensi *carrier* FSO yaitu 200 THz (1550 nm) sampai dengan 350 THz (850 nm), modulasi OOK (*On Off Keying*) merupakan modulasi yang banyak digunakan dimana data ditransmisikan secara digital dengan 'On' merepresentasikan '1' dan 'Off' merepresentasikan '0'.

Pada daerah tropis yang memiliki curah hujan yang cukup tinggi seperti di Indonesia[3], kondisi ini tentunya sangat mempengaruhi kinerja dari sistem komunikasi FSO. Curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan sinyal mengalami *scattering* dan depolarisasi gelombang[4]. *Scattering* terjadi karena sinyal yang ditransmisikan bertabrakan dengan tetesan hujan sehingga terjadi penyebaran sinyal, sedangkan depolarisasi gelombang merupakan peristiwa berubahnya lintasan komunikasi karena sinyal yang bertabrakan dengan tetesan hujan. *Scattering* dan depolarisasi gelombang ini berdampak pada performansi sistem komunikasi FSO karena mempengaruhi level sinyal yang diterima sehingga nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) menurun.

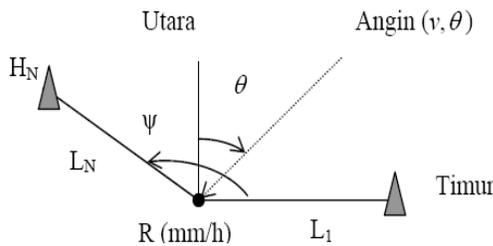
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan suatu cara agar sistem komunikasi FSO tetap dapat mentransmisikan sinyal dengan kualitas yang baik meskipun terjadi dampak redaman hujan, yaitu menggunakan teknik *cell-site diversity* dengan *selection combining*. *Cell-site diversity* dengan *selection combining* merupakan teknik sederhana yang digunakan untuk mengatasi *fading* akibat pengaruh redaman hujan. Sebelumnya, teknik ini telah diterapkan pada gelombang millimeter yang terdiri dari dua buah hub yang terhubung pada sebuah penerima[5]. Pada saat terjadi dampak redaman hujan, hub yang memiliki nilai SNR paling besar akan mentransmisikan sinyal ke penerima. Teknik ini bertujuan untuk menjamin ketersediaan (*availability*) layanan.

II. METODE PENELITIAN

A. SST (Synthetic Storm Technique)

Nilai redaman hujan yang terjadi pada suatu *link* komunikasi, dapat diketahui dengan cara pengukuran secara langsung maupun dengan menggunakan simulasi pemodelan redaman hujan. Salah satu metode pemodelan redaman hujan yang dapat digunakan yaitu SST (*Synthetic Storm Technique*). SST merupakan metode statistik untuk memprediksi besarnya nilai redaman hujan pada suatu *link* komunikasi dengan menggunakan data intensitas curah hujan, arah, dan kecepatan angin. Perhitungan nilai redaman hujan SST mendefinisikan suatu intensitas curah hujan sebagai fungsi dari suatu panjang lintasan tertentu (km). Dimana hujan bergerak sepanjang lintasan tersebut karena adanya suatu pergerakan angin dengan arah dan kecepatan tertentu (km/s). Redaman hujan SST diilustrasikan seperti pada Gambar 1. Konfigurasi *multilink* SST menggunakan *link* Timur sebagai *link* referensi, sedangkan  $L_N$  merupakan *link* ke- $N$  dengan besar sudut  $\psi$ .

Untuk menghitung nilai redaman hujan, langkah pertama



Gambar. 1. Konfigurasi *multilink* redaman hujan dengan metode SST[6].

yang harus dilakukan yaitu menghitung kecepatan angin pada masing-masing *link*. Kecepatan angin pada *link* Timur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$v_{r1} = \left| \frac{v}{\cos(90 - \theta)} \right| \tag{1}$$

dengan  $v$  menyatakan kecepatan rata-rata angin; dan  $\theta$  menyatakan sudut kedatangan angin.

Kecepatan angin pada *link* ke- $N$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$v_{rN} = \left| \frac{v}{\cos(\psi - (90 - \theta))} \right| \tag{2}$$

dengan  $v_{rN}$  menyatakan resultan kecepatan angin pada *link*  $N=2,3,4,5,\dots$ ; dan  $\psi$  menyatakan sudut antar *link* yaitu  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$ .

Kecepatan angin pada *link* akan digunakan untuk menghitung panjang segmen dari masing-masing *link* dengan menggunakan persamaan (3).

$$\Delta L = V_r \cdot T \tag{3}$$

dengan  $v_r$  menyatakan kecepatan angin pada *link*; dan  $T$  menyatakan waktu *sampling* yaitu 60 detik.

Selanjutnya, nilai redaman hujan pada masing-masing *link* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$A_i(k) = \sum_{n=0}^N aR_{(k-n)}^b \cdot \Delta L_n \tag{4}$$

dengan  $A_i$  menyatakan redaman hujan untuk  $i = 1,2,\dots,n$ ;  $R$  menyatakan intensitas curah hujan (mm/jam); dan  $a, b$  menyatakan koefisien *link* optik nirkabel dengan nilai  $a = 1,076$  dan  $b=0,67$ [7].

Dalam simulasi pemodelan redaman hujan SST ini, selain menggunakan variasi sudut antar *link* yaitu  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$ , juga digunakan variasi panjang lintasan yaitu 0,5 km, 1km, 1,5 km, dan 2 km.

B. Cell-site Diversity

Tahap selanjutnya setelah mendapatkan nilai redaman hujan yaitu melakukan perhitungan *link budget* untuk mendapatkan nilai SNR *clear sky* ( $SNR_{cs}$ ) pada sistem komunikasi FSO.  $SNR_{cs}$  merupakan nilai SNR yang didapatkan ketika kondisi atmosfer cerah. Perhitungan *link budget* menggunakan parameter-parameter pada Tabel 1 untuk mendapatkan nilai *link margin* untuk masing-masing panjang lintasan[8].

$$M_{link} = P_e - S_r - A_{geo} - A_{atmo} - A_{scin} - A_{system} \tag{5}$$

*Link margin* yang didapatkan untuk panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km berturut-turut yaitu 33,13 dB, 25,55 dB, 20,52 dB, dan 16,55 dB.

Tabel 1. Parameter yang digunakan untuk menghitung *link margin*

Parameter	satuan	Persamaan yang digunakan	Nilai
Diameter apertur pemancar ( $d_1$ )	m	-	0,025
Diameter apertur penerima ( $d_2$ )	m	-	0,08
Beam divergence ( $\theta$ )	mrاد	-	2
Daya yang ditransmisikan $P_T(\lambda, \theta)$	dBm	$10 \times \log_{10} 24$	13,8
Sensitivity penerima ( $S_r$ )	dBm	-	-45
Panjang lintasan ( $L$ )	km	-	0,5
			1
			1,5
<i>Geometric loss</i> ( $L_{Geo}$ ) untuk masing-masing $L$	dB	$A_{geo}(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{S_d}{S_{capture}} \right)$	2
			21,93
			27,95
			31,48
Atmosfer atenuasi ( $\gamma_{atmo}$ )	dB	$0,54 \times L$	33,97
			0,27
			0,54
<i>Scintillation attenuation</i>	dB	$\sigma_\chi^2 = 23.17 \times k^{7/6} \times C_n^2 \times L^{1/6}$	0,81
			1,08
			1,45
<i>Optical loss</i> ( $Lop$ )	dB	-	2,74
			3,98
<i>Pointing loss</i> ( $Lp$ )	dB	-	5,19
			1
<i>Pointing loss</i> ( $Lp$ )	dB	-	1
			1

Tabel 2.  
Parameter yang digunakan untuk menghitung SNR *clear sky*

Parameter	satuan	Persamaan yang digunakan	Nilai
Responsivity pada $\lambda=850 \text{ nm}$ ( $\mathfrak{R}$ )	A/W	$\eta q/h\nu$	62
Bandwidth ( $B$ )	MHz	-	25
Temperatur ( $T$ )	K	-	302
Besar muatan elektron ( $q$ )	C	-	$1,6 \times 10^{-19}$
Konstanta Boltzmann ( $k$ )	J/K	-	$1,38 \times 10^{-23}$
Resistansi beban ( $R_L$ )	$\Omega$	-	50
Arus sinyal yang diterima ( $i_s$ ) untuk masing-masing $L$	mA	$\mathfrak{R} \times P_R$	2,7419 0,2675 0,0575 0,0098

Parameter-parameter yang ada pada Tabel 2 digunakan untuk menghitung nilai SNR *clear sky*[9].

$$SNR_{FSO} = \frac{(\eta q / h\nu)^2 P_R^2}{2q_i B + 4kTB / R_L} \quad (6)$$

Dari perhitungan *link budget* dengan menggunakan parameter yang ada, diperoleh nilai SNR<sub>cs</sub> dengan panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km yaitu 82,03 dB.

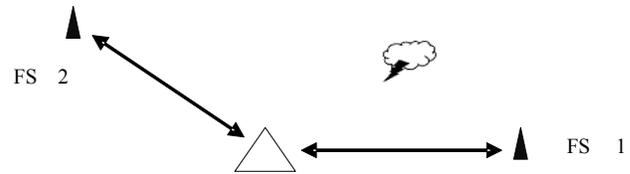
Hasil perhitungan SNR pada kondisi *clear sky* tersebut kemudian diolah lebih lanjut dengan nilai redaman hujan yang telah diperoleh sebelumnya untuk mendapatkan nilai SNR sistem. Tujuan perhitungan SNR sistem ini yaitu untuk mengetahui seberapa besar dampak pengaruh redaman hujan terhadap kualitas *link* komunikasi FSO.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_k = \left(\frac{S}{N}\right)_o - A \quad (7)$$

dengan  $\left(\frac{S}{N}\right)_o$  menyatakan SNR<sub>cs</sub>; dan  $A$  menyatakan nilai redaman hujan.

Selanjutnya sistem akan diuji dengan menggunakan teknik *cell-site diversity*. *Cell-site diversity* merupakan salah satu teknik sederhana yang bertujuan untuk menjamin ketersediaan (*availability*) layanan dengan mengatasi *fading* yang terjadi akibat pengaruh dari redaman hujan. Teknik *diversity* ini akan melakukan pengiriman data yang sama melalui beberapa lintasan yang saling bebas untuk mendapatkan kualitas *link* yang lebih baik. Konsep *diversity* sangat sederhana yaitu jika satu lintasan gelombang radio mengalami gangguan yang disebabkan oleh *fading*, dimungkinkan ada lintasan-lintasan lainnya yang memiliki sinyal lebih bagus[10]. Konfigurasi *cell-site diversity* diilustrasikan seperti Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan suatu terminal pelanggan (ST) dilayani oleh dua FSO, dimana dalam hal ini FSO 1 (terdekat) menjadi *default*. Pada saat FSO 1 mengalami degradasi unjuk kerja karena hujan, maka FSO 2 dapat menggantikan tugas FSO 1 dengan asumsi pada penerima terdapat teknologi untuk memonitor secara kontinu dan simultan *link* penerima ke semua hub[11].



Gambar. 2. Konfigurasi *cell-site diversity*.

Teknik *diversity* dengan *selection combining* merupakan teknik *diversity* yang paling sederhana. *Selection combining* memungkinkan penerima untuk memilih salah satu dari beberapa *link* dengan kualitas yang paling baik, dalam hal ini adalah SNR. Nilai SNR dari *selection combining* dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan (8).

$$\gamma_d = \max(\gamma_1, \gamma_2) \quad (8)$$

dengan  $\gamma_d$  menyatakan nilai SNR hasil *selection combining diversity* dari nilai SNR  $\gamma_1$  pada lintasan 1 dan nilai SNR  $\gamma_2$  pada lintasan 2.

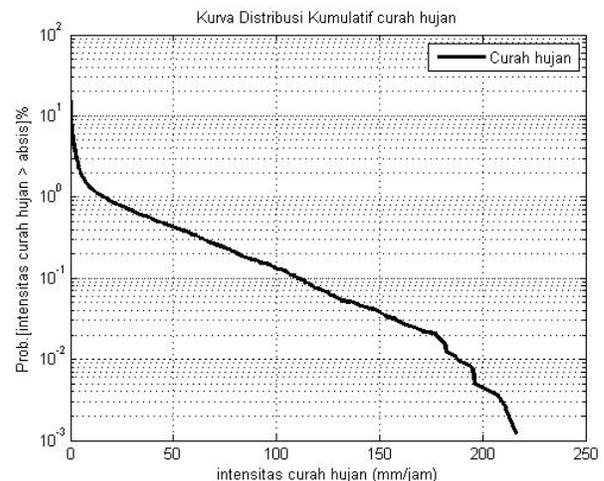
### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Intensitas Curah Hujan dan Redaman Hujan

Pengukuran intensitas curah hujan dilakukan di Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya menggunakan *rain gauge* dengan waktu integrasi 60 detik selama tiga bulan yaitu bulan Desember 2011-Februari 2012. Untuk pengambilan data arah dan kecepatan angin, dilakukan pada bulan yang sama.

Hasil pengukuran intensitas curah hujan tersebut digambarkan dalam kurva CCDF (*Complementary Cumulative Distribution Function*) seperti pada Gambar 3. Dari Gambar 3, dapat diketahui bahwa intensitas curah hujan untuk peluang kemunculan 0,1% yaitu sebesar 110,9 mm/jam dan 188,5 mm/jam untuk peluang kemunculan 0.01%.

Data intensitas curah hujan serta arah dan kecepatan angin diolah untuk mendapatkan nilai redaman hujan pada masing-

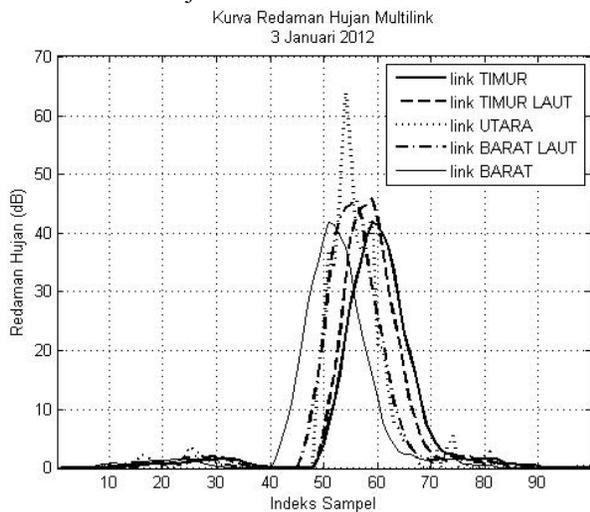


Gambar. 3. Kurva CCDF intensitas curah hujan selama 3 bulan.

masing *link* dengan menggunakan variasi sudut antar *link* 45°, 90°, 135°, dan 180°, serta dengan variasi panjang lintasan yaitu 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km.

Gambar 4 menunjukkan nilai redaman hujan dengan konfigurasi *multilink* pada tanggal 3 Januari 2012. Intensitas curah hujan mencapai 160 mm/jam dan arah angin berasal dari Barat dengan kecepatan rata-rata angin sebesar 6,5 knot untuk panjang lintasan 2 km. Dari gambar 4, dapat diketahui nilai redaman pada masing-masing *link*. *Link* Timur dan *link* Barat mengalami redaman hujan mencapai 42 dB, sedangkan pada *link* Barat laut dan *link* Timur laut, nilai redamannya mencapai 47 dB. Redaman hujan yang paling besar terjadi pada *link* Utara dengan nilai redaman yang mencapai 62 dB.

Di samping itu, Gambar 4 menunjukkan perbedaan waktu terjadinya redaman hujan. Arah datangnya hujan yang berasal dari Barat menyebabkan *link* Barat mengalami hujan terlebih dahulu, lalu setelah 6 sampel atau 360 detik kemudian, *link* Barat laut mengalami redaman hujan. Setelah *link* Barat laut mengalami redaman hujan, 11 sampel atau 660 detik kemudian, *link* Utara, *link* Timur laut, dan *link* Barat mengalami redaman hujan.



Gambar 4. Kurva redaman hujan *multilink*.

Dari pemodelan redaman hujan SST, didapatkan nilai redaman hujan terbesar terjadi pada *link* Utara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai redaman hujan pada peluang kemunculan 0,1% dengan panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km berturut-turut yaitu 12,51 dB, 24,86 dB, 37,08 dB, dan 49,71 dB.

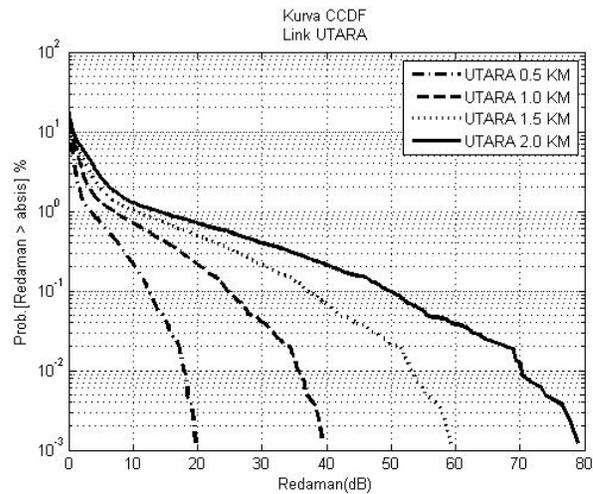
Nilai redaman hujan pada *link* Timur laut dengan peluang kemunculan 0,1% dan panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km berturut-turut yaitu 12,33 dB, 24,36 dB, 35,59 dB, dan 45,93 dB. Dapat dilihat bahwa nilai redaman hujan pada *link* Timur laut hanya memiliki selisih yang kecil dengan nilai redaman pada *link* Utara. Hal ini karena pengaruh dari arah kedatangan hujan yang dominan berasal dari arah Barat, Timur, dan Barat laut. Arah kedatangan hujan dari Barat dan Timur menyebabkan nilai redaman hujan pada *link* Utara

meningkat, sedangkan arah angin dari Barat laut menyebabkan nilai redaman pada *link* Timur laut meningkat.

Hasil analisis untuk intensitas curah hujan menunjukkan bahwa intensitas curah hujan di Surabaya tergolong tinggi. Untuk pemodelan redaman hujan, dapat dianalisis bahwa semakin panjang lintasan yang digunakan, maka nilai redaman hujan juga semakin besar. Di samping itu, posisi *link* terhadap arah kedatangan hujan mempengaruhi nilai redaman hujan. Arah kedatangan hujan yang tegak lurus dengan *link* memiliki nilai redaman hujan yang paling besar, sedangkan *link* yang sejajar dengan arah kedatangan hujan memiliki nilai redaman yang paling kecil.

**B. Nilai SNR pada Sistem Komunikasi FSO**

Nilai SNR pada sistem komunikasi FSO didapatkan dengan cara mengurangi nilai SNR pada kondisi *clear sky* dengan nilai redaman hujan pada masing-masing *link*. SNR yang digunakan yaitu SNR dengan probabilitas *outage* sebesar 0,1% atau dengan *link availability* sebesar 99,9 %. Probabilitas *outage* merupakan probabilitas dimana tidak ada sinyal yang ditransmisikan. Untuk *link availability*, menggunakan nilai 99,9 % karena untuk sistem komunikasi FSO dengan jarak lebih dari 1 km, nilai *link availability* yang dapat dicapai hanya sebesar 99,9 %.



Gambar 5. Kurva CCDF redaman hujan pada *link* Utara.

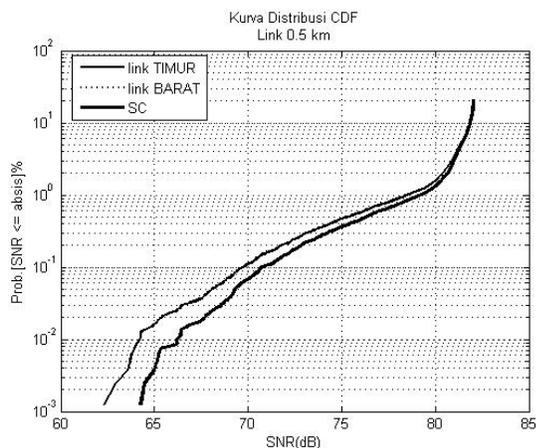
Tabel 3. Nilai SNR sistem komunikasi FSO pada *link availability* 99,9 %

Panjang Lintasan	SNR (dB)				
	Link Timur	Link Timur Laut	Link Utara	Link Barat Laut	Link Barat
0,5 km	69,72	69,71	69,53	69,73	69,72
1,0 km	58,26	57,68	57,18	57,68	58,26
1,5 km	47,11	46,45	44,95	46,24	47,11
2,0 km	35,51	36,11	32,33	35,14	35,51

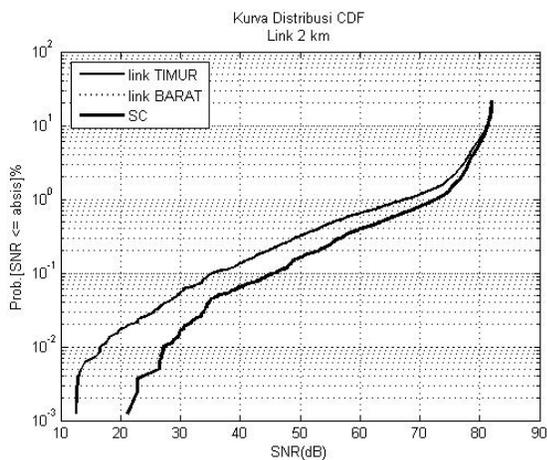
Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai SNR terkecil didapatkan pada *link* Utara dengan panjang lintasan 2 km yaitu 32,33 dB. Hal ini disebabkan karena *link* Utara memiliki nilai redaman hujan yang paling besar, dimana semakin besar nilai redaman hujan maka nilai SNR yang didapatkan akan semakin kecil.

C. Diversity Gain

Penerapan teknik *cell-site diversity* dengan *selection combining* bertujuan untuk memperbaiki SNR penerima yang mengalami dampak redaman hujan. Keberhasilan teknik *selection combining diversity* ini dapat diketahui dengan adanya peningkatan nilai SNR yang dinyatakan dalam *diversity gain* (dB). Nilai *diversity gain* didapatkan dengan cara menghitung selisih antara nilai SNR hasil *selection combining diversity* dengan nilai SNR sebelum diterapkan *selection combining diversity* (independen). Gambar 6 menunjukkan salah satu kurva hasil penerapan teknik *selection combining diversity* pada sudut antar *link* 180° dan dengan panjang lintasan 0,5 km dan 2 km. Dari kurva tersebut, didapatkan nilai *diversity gain* pada probabilitas *outage* 0,1% untuk panjang lintasan 0,5 km yaitu sebesar 1,01 dB, sedangkan nilai *diversity gain* untuk panjang lintasan 2



(a)



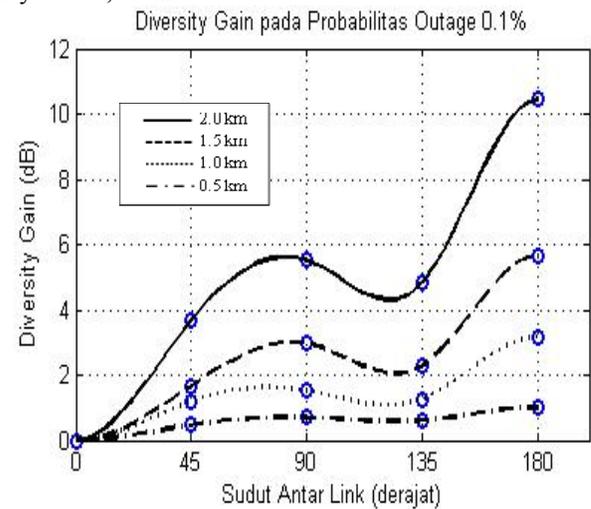
(b)

Gambar. 6. Kurva CDF SNR hasil *selection combining diversity* pada sudut antar *link* 180° dan dengan panjang lintasan (a) 0,5 km dan (b) 2 km.

Tabel 4.  
Nilai Diversity Gain

Panjang Lintasan	Prob. outage (%)	Diversity Gain (dB)			
		45°	90°	135°	180°
0,5 km	1	0,23	0,47	0,32	0,79
	0,1	0,47	0,7	0,61	1,01
	0,01	0,26	0,67	0,26	2
1,0 km	1	0,63	1,35	0,97	1,97
	0,1	1,2	1,52	1,27	3,16
	0,01	1,79	3,1	1,76	5,7
1,5 km	1	1,46	2,67	2,29	3,51
	0,1	1,67	2,97	2,29	5,67
	0,01	2,17	6,83	2,26	7,84
2,0 km	1	2,32	3,9	3,39	5,26
	0,1	3,67	5,51	4,82	10,44
	0,01	2,59	7,83	3,46	10,57

km yaitu 10,44 dB.



Gambar. 7. Grafik perbandingan nilai *diversity gain* pada probabilitas *outage* 0,1 %.

Hasil penerapan teknik *selection combining diversity* pada variasi sudut antar *link* serta pada variasi panjang lintasan, ditunjukkan pada Tabel 4. Dari Tabel 4, diketahui bahwa nilai *diversity gain* terbesar didapatkan pada panjang lintasan 2 km, sedangkan nilai *diversity gain* terkecil didapatkan pada panjang lintasan 0,5 km.

Untuk nilai *diversity gain* pada variasi sudut antar link, didapatkan bahwa peningkatan nilai SNR terbesar diperoleh pada sudut 180° dengan panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km berturut-turut yaitu 2 dB, 5,7 dB, 7,84 dB, dan 10,57 dB, sedangkan peningkatan nilai SNR terkecil didapatkan pada sudut 45° dengan panjang lintasan yang sama berturut-turut yaitu 0,26 dB, 1,79 dB, 2,17 dB, dan 2,59 dB.

Gambar 7 menunjukkan nilai *diversity gain* pada probabilitas *outage* 0,1%. Dari gambar tersebut dapat

dianalisis bahwa nilai *diversity gain* terbesar didapatkan pada variasi sudut antar link 180°. Di samping itu, pada sudut antar link 90° didapatkan nilai *diversity gain* yang lebih besar bila dibandingkan dengan sudut antar link 45° dan 135°. Hal ini menunjukkan bahwa hanya dengan menggunakan sudut antar link 90°, didapatkan nilai *diversity gain* dan nilai SNR yang lebih baik. Oleh karena itu, berdasarkan referensi [11], maka kondisi ini tidak cocok bila nilai *diversity gain* digambarkan

Tabel 5.  
Nilai SNR *selection combing* sistem komunikasi FSO  
pada *link availability* 99,9 %

Panjang Lintasan	SNR (dB)			
	45°	90°	135°	180°
0,5 km	70,19	70,42	70,33	70,73
1,0 km	59,46	59,78	59,53	61,42
1,5 km	48,78	50,08	49,4	52,78
2,0 km	39,18	41,02	40,33	45,95

dalam model grafik sinusoidal.

Pada *link availability* 99,9 %, nilai SNR hasil penerapan teknik *selection combining diversity* ditunjukkan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut, dapat diketahui lintasan yang memiliki nilai SNR paling besar. SNR terbesar pada panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km didapatkan pada sudut 180° dengan nilai berturut-turut yaitu 70,73 dB, 61,42 dB, 52,78 dB, dan 45,95 dB, sedangkan nilai SNR terkecil didapatkan pada sudut 45° dengan nilai berturut-turut yaitu 70,19 dB, 59,46 dB, 48,78 dB, dan 39,18 dB.

Secara keseluruhan dapat dianalisis bahwa peningkatan nilai SNR berkaitan dengan panjang lintasan. Semakin panjang lintasan yang digunakan, maka nilai *diversity gain* juga semakin besar. Hal ini berkaitan dengan nilai redaman yang sebanding dengan panjang lintasan. Di samping itu, *diversity gain* terbesar didapatkan pada panjang lintasan 2 km, sedangkan *diversity gain* terkecil didapatkan pada panjang lintasan 0,5 km. Untuk variasi sudut antar link, *diversity gain* terbesar didapatkan pada sudut 180° yaitu 10,57 dB, sedangkan *diversity gain* terkecil didapatkan pada sudut 45° yaitu 0,23 dB. Konfigurasi terbaik hasil *selection combining diversity* untuk panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km dan 2 km yaitu dengan menggunakan sudut antar link 90° dan 180°.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil dan diskusi, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain :

Posisi link yang sejajar dengan arah kedatangan hujan memiliki nilai redaman hujan yang paling kecil, dalam hal ini yaitu link Timur dan link Barat. Untuk link yang posisinya tegak lurus dengan arah kedatangan angin, memiliki nilai redaman hujan yang paling besar, dalam hal ini yaitu link Utara. Di samping itu, semakin panjang lintasan yang

digunakan, maka nilai redaman hujan juga semakin besar dan menyebabkan penurunan pada nilai SNR yang diterima. Seperti nilai SNR link Utara dengan peluang kemunculan 0,1% pada panjang lintasan 0,5 km, 1 km, 1,5 km, dan 2 km secara berturut-turut yaitu 69,53 dB, 57,18 dB, 44,95 dB dan 32,33dB.

Nilai *diversity gain* sebanding dengan panjang lintasan yang digunakan. Untuk variasi sudut antar link, *diversity gain* terbesar didapatkan pada sudut 180° yaitu 10,57 dB, sedangkan *diversity gain* terkecil didapatkan pada sudut 45°. Di samping itu, penerapan teknik *cell-site diversity* dengan *selection combining* terbukti mampu memperbaiki nilai SNR pada penerima. Konfigurasi sudut antar link yang terbaik didapatkan pada sudut 180°. Namun, hanya dengan menggunakan sudut antar link 90°, didapatkan peningkatan SNR yang lebih baik. Oleh karena itu, berdasarkan referensi [11], maka kondisi ini tidak cocok bila nilai *diversity gain* digambarkan dalam model grafik sinusoidal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian tahun 2012 dengan judul “Analisis Peningkatan Kualitas Sinyal FSO (*Free Space Optics*) dengan Metode *Cell-site Diversity* untuk Mengurangi Dampak Redaman Hujan di Daerah Tropis”.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. C. Yean, “Free Space Optics Link for Wireless Local Area Network Application,” thesis, Dept. Elect. Eng. (telecommunication), Universitas Teknologi Malaysia (2009).
- [2] W. Al-Khateeb, Md. R. Islam, and M. T. Oo, “Rain Fade Analysis for Practical Free Space Optic Link in Tropical Region,” presented at the 2011 4<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics (ICOM), Kuala Lumpur, Malaysia, May 17-19 (2011).
- [3] P.J.L. Maagt, S.I.E. Touw, J. Dijk, G. Brusard, and J. E. Allbutt, “Result of 11.2 GHz Propagation Experiments in Indonesia”, *Electron. Lett.*, Vol.29, (1993).
- [4] E. Setijadi, A. Matsushima, N. Tanaka, and G. Hendratoro, "Effect of temperature and multiple scattering on rain attenuation of electromagnetic waves by a simple spherical model," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 99, 339-354, (2009).
- [5] A. D. Panagopoulos and J. D. Kanellopoulos, “Cell-site Diversity Performance of Millimeter-Wave Fixed Cellular Systems Operating at Frequencies Above 20 GHz,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 1, (2002).
- [6] H. Mahmudah, “Prediksi Redaman Hujan Menggunakan Synthetic Storm Technique,” thesis, Dept. Elect. Eng., Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia (2009).
- [7] F. Nadeem, V. Kvicera, M. S. Awan, E. Leitgeb, S. S. Muhammad, and G. Kandas, “Weather Effects on Hybrid FSO/RF Communication Link,” *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, Vol. 27, No. 9, (2009, Dec.).
- [8] ITU-R P.1814, R., “Prediction Methods Required For the Design of Terrestrial Free-space Optical Links”, (2007).
- [9] Y. Zhang, B. -Y. Kim, Y. Park, and K. -D. Kim, “Performance Anlysis of Hybrid FSO/RF System”, presented at the 2011 third International Conference Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Dalian, China *IEEE*, June 15-17 (2011).

- [10] T. S. Rappaport, "*Wireless Communication 2<sup>nd</sup> Edition*," New Jersey : Prentice Hall (1998) 325.
- [11] G. Hendratoro, R. J. C. Bultitude, and D. D. Falconer, "Use of Cell-site Diversity in Millimeter-Wave Fixed Celluler Systems to Combat the Effects of Rain Attenuation," *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 20, No. 3, (2002, Apr.).