

PERANCANGAN SISTEM REPEATER TELEMETRI PADA BAND 433 MHZ UNTUK APLIKASI SCADA *Design Of Repeater Telemetry System On The 433 Mhz Band For Scada Application*

M. Naironul Haq¹; Cahyo Mustiko O. M.2¹; Abdullah Zainuddin³¹

ABSTRAK

Repeater SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) merupakan suatu sistem yang berfungsi sebagai penghubung antara RTU (Remote Telemetry Unit) dengan MTU (Master Terminal Unit) jika memiliki jarak yang jauh. Repeater SCADA terdiri dari antena, amp transmit, mini kontrol dan radio telemetry 433 MHz.

RTU diatur pada frekuensi 433 MHz sedangkan MTU pada frekuensi 440 MHz. Data yang dikirimkan dari RTU ke MTU berupa parameter listrik.

Hasil yang didapatkan antena memiliki VSWR 1,23 untuk frekuensi 433 MHz dan 1,32 untuk 440 MHz, penguatan stabil amp transmit 3 Watt, Rx level repeater -56,38 dB, SOM (System Operating Margin) 60,62 dBm, dan sistem ini dapat berkomunikasi sejauh 3,9 Km.

Kata kunci: Repeater SCADA, Amp Transmit, Radio Telemetry 433 MHz, Jarak, Link Budget

ABSTRACT

SCADA Repeater (Supervisory Control and Data Acquisition) is a system that serves as a liaison between the RTU (Remote Telemetry Unit) with MTU (Master Terminal Unit) if the separated by long distance. SCADA Repeater consists of an antenna , transmit amp , mini control and telemetry radio 433 MHz .

RTU is set at a frequency of 433 MHz , while the MTU on a frequency of 440 MHz . The data transmitted from the RTU to MTU in the form of electrical parameters .

The results obtained for the antenna has a VSWR of 1.23 and 1.32 frequency 433 MHz to 440 MHz , stable reinforcement 3 Watt amp transmit , Rx level repeater -56.38 dB , SOM (System Operating Margin) 60.62 dBm , and the system can communicate as far as 3.9 km.

Keywords: SCADA Repeater, Amp Transmit, Radio Telemetry 433 MHz, Distance, Link Budget

PENDAHULUAN

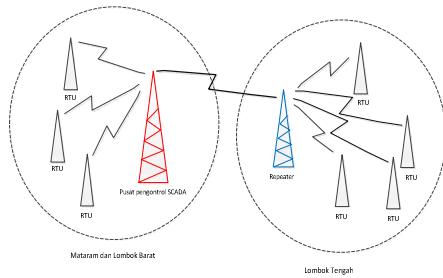
Sistem SCADA adalah suatu sistem pengendalian alat secara jarak jauh, dengan kemampuan memantau data-data dari alat yang dikendalikan (Adji, 2004). Sistem SCADA dapat dilakukan dengan pemasangan node sensor pada beberapa titik atau *Remote Telemetry Unit* (RTU) untuk memantau parameter listrik seperti arus dan tegangan. Data berupa parameter listrik tersebut harus dikirim ke pusat pengontrol SCADA atau *Master Terminal Unit* (MTU). Jika antara RTU dengan MTU mempunyai jarak yang jauh maka data dari RTU tidak sampai di MTU akibat redaman yang besar. Untuk itu perlu suatu alat untuk menguatkan sinyal agar data dapat dikirim, tidak rusak, dapat dikontrol, dan dapat diterima oleh MTU. *Repeater* merupakan alat yang digunakan untuk menguatkan dan memperbaiki sinyal sehingga data dapat diterima dengan baik oleh penerima (Rahayu dan Suharjanto, 2013). *Repeater* yang dirancang ini dapat

mengontrol, menyimpan dan mengirimkan data. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah sistem *repeater* SCADA untuk aplikasi SCADA menggunakan radio telemetry 433 MHz, antena, *Bi-Directional Amplifier* (BDA) dan pengontrol. *Repeater* SCADA ini untuk menghubungkan antara RTU dan MTU yang memiliki jarak yang jauh sehingga RTU dan MTU dapat berkomunikasi. Data yang diolah berupa parameter listrik. *Repeater* SCADA ini dibuat sedemikian rupa sehingga berfungsi tidak hanya sebagai penguat sinyal data tetapi juga sebagai pengontrol dan tempat penyimpanan sementara sebelum data tersebut diteruskan ke MTU.

Radio SCADA. Radio telemetry digunakan untuk menghubungkan antara RTU dengan MTU. Radio ini mempunyai frekuensi 430-450 MHz dan dapat diatur pada frekuensi berapa sistem yang dibuat bekerja. Agar radio bekerja dengan baik, beberapa parameter yang diperhitungkan yaitu power keluaran RF,

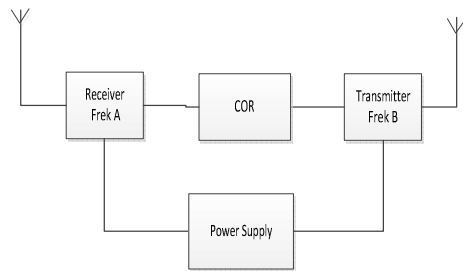
¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram 83125, Lombok – Indonesia
E-mail: nairongagah@gmail.com

gain antenna, redaman udara bebas, sensitivitas penerima, dan kondisi halangan (Novel, 2009).



Gambar 1 Komunikasi Radio SCADA

Repeater. Repeater merupakan suatu perangkat atau medium yang digunakan untuk mengatur keluar masuknya transmisi dengan cara menerima informasi dari stasiun pengirim serta meneruskannya ke stasiun penerima. Repeater juga berfungsi sebagai penguat sinyal dan menambah jangkauan sinyal yang terbatas sehingga mencapai jarak yang lebih jauh. Biasanya repeater bekerja pada frekuensi berbeda antara pengirim dan penerimanya (Elisa, 2011).



Gambar 2 Sistem Repeater

Bagian-bagian repeater sebagai berikut :

1. Antena. Antena berfungsi menerima getaran listrik dari transmitter dan memancarkannya sebagai gelombang radio, dan sebaliknya menerima gelombang radio dan meneruskan sinyal listriknya ke receiver.
2. Amplifier Transmit. Amp Transmit berfungsi untuk menguatkan sinyal keluaran dari repeater agar sinyalnya bisa ditransmisikan dengan jarak yang lebih jauh.
3. Radio telemetri 433 MHz. Radio telemetri 433 MHz merupakan suatu perangkat ISM band dengan frekuensi 430-450 MHz dan bersifat half duplex dan mempunyai power maksimum 100 mW.
4. Mini Kontrol. Mini kontrol untuk mengatur dan penyimpanan data sementara. Mini kontrol yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.

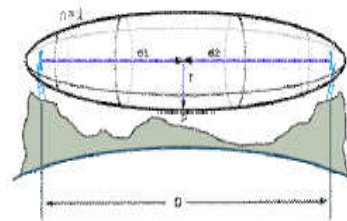
Power Link Budget. Link Budget merupakan sebuah cara untuk mengetahui kualitas link komunikasi dengan mempertimbangkan beberapa parameter (Manurung dan Mubarakah, 2014).

1. Free Space Loss (FSL). Redaman ruang bebas merupakan daya gelombang radio selama merambat d ruang bebas. Redaman ini dipengaruhi oleh besar frekuensi dan jarak antara titik pengirim dan penerima.

$$FSL = 32,4 + 20 \log d(\text{Km}) + 20 \log f(\text{MHz})$$

d = jarak antara pemancar dan penerima (Km)
f = frekuensi (MHz)

2. Fresnel Zone. Teori fresnel zone digunakan untuk menguantifikasi radio line of sight dan untuk mengetahui kualitas link.



Gambar 3 Fresnel Zone

Fresnel zone dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Fresnel\ zone = 17,32 \times \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

d = jarak antara pemancar dan penerima (Km)
f = frekuensi (MHz)

3. Rx Signal Level. Rx signal level merupakan daya yang diterima oleh antena penerima. Level daya terima ini dapat dihitung dengan menambahkan dan mengurangi daya pancar dengan berbagai parameter.

$$Rx\ signal\ level = Tx\ power - Tx\ cable\ loss + Tx\ antenna\ gain - FSL + Rx\ antenna\ gain - Rx\ cable\ loss$$

4. SOM (System Operating Margin). Pada dasarnya SOM digunakan untuk menghitung selisih antara sinyal diterima dengan sensitivitas penerima. Batas minimal nilai SOM untuk perancangan sinyal yang baik bernilai 15 dBm.

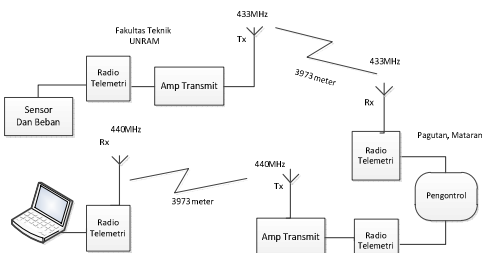
Persamaan SOM sebagai berikut:

$$SOM = Rx\ Signal\ Level - Rx\ Sensitivity$$

METODE PENELITIAN

Sistem *repeater* ini secara keseluruhan terdiri dari 2 buah *amplifier transmit*, 4 buah antenna telex dan 2 pasang radio 433 MHz serta pengontrol menggunakan arduino mega 2560. *Amp transmit* terdiri dari radio, RF *amplifier* dan antenna. *Amp transmit* berfungsi sebagai pengirim data dari radio, dikuatkan dan dikirim melalui antenna pemancar. Sebelum data dikirim, data dapat disimpan dan dikontrol oleh pengontrol.

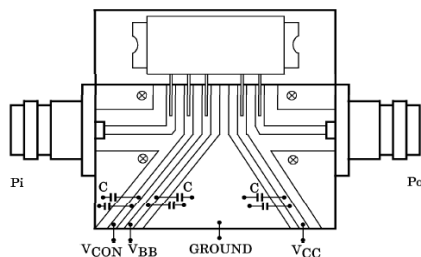
Pengontrol berupa Arduino Mega 2560 yang berfungsi sebagai *recording* dan *controlling* data. Data yang tersimpan dapat dikirim sewaktu waktu. Data yang sudah tersimpan maupun yang langsung dikirim secara *real time* dapat dikirimkan melalui radio, sinyalnya dikuatkan oleh *amp transmit* dan dikirimkan melalui antenna.



Gambar 4 Perancangan sistem Repeater

Data dikirim melalui radio telemetri yang sudah diatur frekuensi kerjanya yaitu radio RTU 433–433,05 MHz dan radio MTU 440–440,05 MHz yang mempunyai keluaran maksimum 100 mW. Agar sinyalnya dapat diterima dengan jarak yang lebih jauh maka harus dikuatkan melalui *amp transmit*.

Perancangan *amplifier transmit* menggunakan RF *amp Toshiba S-AU26*, berfungsi untuk menguatkan sinyal radio dari maksimum 100 mW menjadi 4-7 W. Penguatan daya ini dilakukan agar data dapat diterima dengan jarak yang lebih jauh.

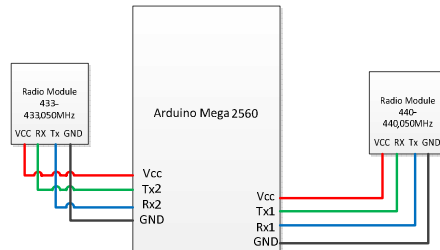


Gambar 5 Rangkaian RF Amp Toshiba S-AU26

Pada rangkaian *amp transmit*, terdapat 2 buah konektor untuk masukan (Pi) dan keluarannya (Po). Pada Pi dihubungkan

dengan radio pengirim dan pada Pi dihubungkan dengan antenna.

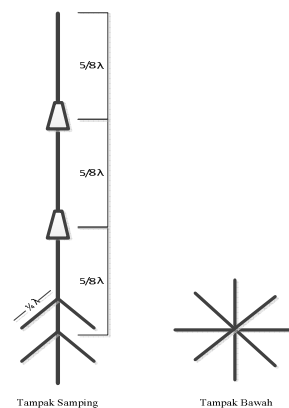
Mini kontrol hanya menggunakan Arduino Mega 2560 yang dihubungkan dengan radio Rx RTU dan radio Tx MTU, mini kontrol ini berfungsi untuk mengontrol penerimaan data dari RTU dan pengiriman data ke MTU.



Gambar 6 Perancangan Mini Kontrol

Program yang akan dimasukkan ke arduino terlebih dahulu dibuat di *Arduino IDE* kemudian upload ke arduino. Program yang digunakan pada RTU untuk pengiriman secara terus-menerus dengan *delay* sebesar 50 ms. Berikut tampilan pada *Arduino IDE*. Program pada mini kontrol dibuat untuk menerima data dari RTU yaitu melalui Rx radio dengan frekuensi 433 MHz dan diteruskan melalui Tx radio dengan frekuensi 440 MHz untuk diterima oleh MTU

Antena yang digunakan adalah antenna telex $5/8\lambda$ dengan 2 pembalik fasa, 4 sirip atas dan 4 sirip bawah dengan ukuran $1/4\lambda$. Rancangan antenna sebagai berikut:



Gambar 7 Rancangan antenna

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Antena. Pengujian antenna dilakukan untuk menguji kemampuan antenna bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Antena yang digunakan adalah 4 buah antenna telex masing-masing untuk komunikasi dengan RTU dan MTU. Frekuensi kerja pada

masing-masing antenna berbeda yaitu 433 MHz dan 440 MHz. Dua antenna untuk penggunaan frekuensi 433 MHz dan 2 lainnya untuk penggunaan frekuensi 440 MHz, masing-masing untuk pengirim dan penerima.

Pengujian antenna menggunakan VNWA dan laptop. Dari VNWA dihubungkan ke laptop menggunakan USB sedangkan yang ke antenna dihubungkan dengan bagian Tx dari VNWA. Sebelum antenna diuji dilakukan kalibrasi pada rentang frekuensi 200 MHz sampai 600 MHz dengan span sebesar 400 MHz. Setelah dikalibrasi maka antenna dapat diuji pada rentang frekuensi yang ditentukan. Frekuensi yang ditandai pada pengujian ini adalah frekuensi 433 MHz dan 440 MHz.



Gambar 8 Hasil perancangan antenna

Tabel 1 Hasil Pengukuran Antena

Antena	S11 (dB)	VSWR
Tx 433 MHz	-19,98	1,23
Rx 433 MHz	-18,10	1,31
Tx 440 MHz	-17,69	1,32
Rx 440 MHz	-15,55	1,44

Nilai *return loss* (S11) yang baik adalah di bawah -9,54 dB, nilai ini diperoleh untuk nilai VSWR < 2 sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan artinya saluran transmisi sudah *matching* (Setyawan dan Alaydrus, 2012).

Pengujian Amp Transmit. Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penguatan yang dihasilkan oleh *amp transmit*. Penguatan *amp transmit* ini untuk menguatkan sinyal keluaran RF dari Modul Radio 433 MHz yang memiliki keluaran maksimum sebesar 100 mW atau sekitar 20 dBm. Hasil dari

penguatan *amp transmit* diharapkan adalah sebesar 4-7 W atau sekitar 36,02-38,45 dBm.



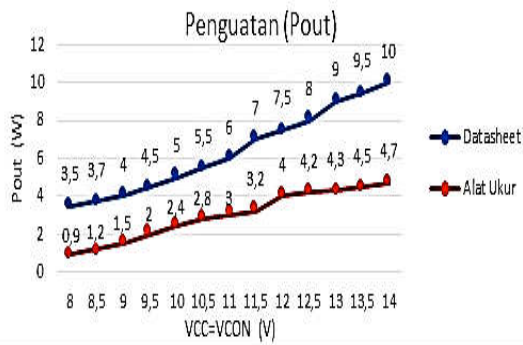
Gambar 9 Hasil perancangan Amp Transmit

Pertama dilakukan pengukuran dengan nilai VCC dan VCON yang berubah mulai dari 8 V dinaikkan bertahap sebesar 0,5 V sampai 14 V sedangkan nilai VBB tetap 5 V. Selanjutnya diukur penguatan (Pout) *amp transmit* menggunakan SWR meter. Untuk pengukuran VCC konstan dilakukan dengan mengatur nilai VCC dan VCON tetap 12,5 V sesuai dengan tes kondisi pada datasheet Toshiba RF Amplifier S-AU26 dan nilai VBB berubah mulai dari 1 V dinaikkan bertahap 0,5 V sampai 5 V. Selanjutnya diukur arus input dan arus output serta penguatan yang terjadi.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Pout Amp Transmit

VCC, VCON (V)	VBB (V)	Pin (mW)	Pout (W)	
			SWR meter	Datasheet
8	5	12,5	0,9	3,5
8,5	5	12,5	1,2	3,7
9	5	12,5	1,5	4,0
9,5	5	12,5	2,0	4,5
10	5	12,5	2,4	5,0
10,5	5	12,5	2,8	5,5
11	5	12,5	3,0	6,0
11,5	5	12,5	3,2	7,0
12	5	12,5	4,0	7,5
12,5	5	12,5	4,2	8,0
13	5	12,5	4,3	9,0
13,5	5	12,5	4,5	9,5
14	5	12,5	4,7	10

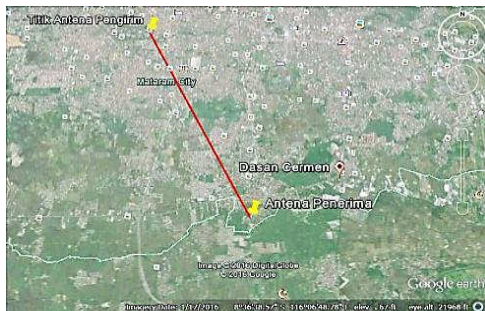
Penguatan yang dihasilkan oleh *amp transmit* mengalami kenaikan seiring nilai VCC dinaikkan. Hasil penguatan yang paling optimum sebesar 4,7 W yaitu pada pengaturan VCC 14 V. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan datasheet Toshiba RF Amplifier S-AU26.



Gambar 10 Grafik perbandingan Pout ukur dengan data sheet

Dari Gambar 10 dapat diketahui selisih antara hasil alat ukur dengan datasheet cukup besar sehingga menghasilkan persentase error yang besar. Rata-rata persentase error Pout sebesar 55,17 %. Hal ini terjadi karena pada datasheet memiliki kondisi ideal dan menggunakan bahan yang berkualitas sedangkan pada pengukuran menggunakan alat ukur memiliki kualitas bahan (PCB, kabel, konektor) yang kurang bagus dan kondisi yang kurang diperhitungkan.

Pengujian Komunikasi. Pengujian ini dilakukan menggunakan 2 pasang radio 3DR 433 MHz dan 4 buah antena masing-masing untuk RTU dan MTU. Radio pengirim diletakkan di lantai 3 Gedung B Fakultas Teknik Universitas Mataram (8°35'15.39"S;116°0'50.00"T) dan radio penerima di Pagutan Mataram (8°37'11.49"S;116°06'50.29"T) sebagai mana ditunjukkan dalam gambar 12 dan 13. Jarak antara pengirim dengan penerima sekitar 3973 meter untuk sepasang radio dan sepasang yang lain diuji dengan cara yang sama. Penentuan jarak dilihat menggunakan aplikasi *Google Earth* sebagai mana terlihat pada gambar 11.



Gambar 11 Tampilan jarak Pengukuran pada *Google Earth*



Gambar 12 Antena Terpasang di Gedung B FT-UNRAM



Gambar 13 Antena Terpasang di Pagutan Mataram

Data ditampilkan menggunakan *software RealTerm* yang sebelumnya port radio sudah diatur terlebih dahulu. Data yang diterima berturut-turut berupa V_{RMS} , I_{RMS} , daya nyata (P), daya semu (S) dan faktor daya (PF).

V_{RMS} (V)	I_{RMS} (A)	P(W)	S(VA)	PF
1.45631	0.07364	0.09981	0.10724	0.93
1.45410	0.06860	0.09490	0.09975	0.95
1.45479	0.06539	0.09072	0.09513	0.95
1.45217	0.06006	0.08404	0.08722	0.97
1.45207	0.05700	0.08010	0.08277	0.96
1.45406	0.05056	0.06933	0.07351	0.94
1.45304	0.04764	0.06721	0.06922	0.97
1.45395	0.04399	0.06211	0.06396	0.97

Gambar 14 Tampilan Data yang diterima

Tampilan data pada *Real Term* menunjukkan bahwa jika beban tidak menyala maka akan terdeteksi semua parameter bernilai 0. Data ditampilkan setelah 5 detik karena tegangan pada arduino stabil setelah 5 detik.

Pengujian akurasi menggunakan beban lampu pijar 25 W. Perbandingan hasil pengukuran faktor daya antara RTU dengan cos phi meter dapat dilihat pada Tabel 3 berikut

Tabel 3 Hasil Pengujian Faktor Daya dengan RTU dan Cos Phi Meter

V _{RMS} (V)	I _{RMS} (A)	P (W)	S (VA)	PF	
				RTU	Cos phi meter
1,4563	0,0736	0,0998	0,1072	0,93	0,99
1,4541	0,0686	0,0949	0,0997	0,95	0,99
1,4547	0,0653	0,0907	0,0951	0,95	0,99
1,4521	0,0600	0,0848	0,0872	0,97	0,99
1,4520	0,0570	0,0801	0,0827	0,96	0,99
1,4540	0,0505	0,0693	0,0735	0,94	0,99
1,4530	0,0476	0,0672	0,0692	0,97	0,99
1,4539	0,0439	0,0621	0,0639	0,97	0,99

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi pengukuran faktor daya dengan menggunakan RTU yang dibuat dibandingkan dengan alat ukur cos phi meter. Hasil yang didapatkan cukup baik karena hasil pengukuran menggunakan RTU sangat mendekati hasil pengukuran langsung menggunakan cos phi meter. Untuk pengujian penerimaan data dilakukan dengan mengirimkan data 20 baris dalam satu kali pengiriman untuk mengetahui berapa jumlah baris data yang diterima dan berapa waktu yang dibutuhkan untuk sampai di MTU. Hasil pengujian penerimaan data dapat dilihat pada Tabel 4 berikut

Tabel 4 Hasil Pengujian Pengiriman dan Penerimaan Data

Dt. Terkirim (Baris)	Dt. Terima (Baris)	Waktu (s)
20	13	4,3
20	16	5,1
20	17	3,2
20	15	2,9
20	18	4,0
20	18	4,7
20	15	3,8
20	17	4,5
20	17	6,1
20	18	5,4

Data yang diterima tidak sempurna, dari 20 baris data yang dikirimkan yang berhasil diterima rata-rata 16,4 baris data dan membutuhkan waktu rata-rata 4,4 detik. Itu berarti setiap *timeout* radio akan kehilangan rata-rata 1 baris data. Persentase rata error sebesar 18 %.

Analisa Link Komunikasi. Analisa *link* perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas *link* radio. Transmisi radio membutuhkan jalur kosong untuk berkomunikasi yang dinamakan kondisi LOS (*Line of Sight*). Untuk mengetahui kondisi LOS digunakan perhitungan *fresnel zone* yang kemudian digunakan untuk mengetahui kualitas *link*.

Beberapa forum telekomunikasi menggunakan consensus bahwa harus 80% dari *fresnel zone* tidak ada yang menghalangi untuk memperoleh radio LOS yang baik.

Selanjutnya dapat dihitung radius dari *fresnel zone* menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Fresnel zone} &= 17,32 \times \sqrt{\frac{d}{4f}} \\
 &= 17,32 \times \sqrt{\frac{3,9}{4 \times 0,433}} \\
 &= 25,98 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat digambarkan kondisi *fresnel zone* dan ketinggian antenna pengirim di Gedung B FT-UNRAM yaitu 33 meter dan antenna penerima di Pagutan 28 meter.

Untuk mengetahui *free space loss* dan *power link budget* diperlukan beberapa parameter, dari hasil pengukuran (GTx dan GRx dari pengukuran antenna) didapatkan nilai sebagai berikut:

- Tx Power (PT) = 34,77 dBm
- Tx Cable Loss (LT) = 3,2 dB
- Tx Antenna Gain (GT) = 6 dB
- Rx Antenna Gain (GR) = 5 dB
- Rx Cable Loss (LR) = 2 dB
- Frekuensi (f) = 433 MHz
- Jarak (d) = 3,9 Km.

Untuk redaman ruang bebas atau *free space loss* (FSL) merupakan penurunan daya gelombang radio selama merambat di ruang bebas. FSL dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{FSL} &= 32,4 + 20 \log d(\text{Km}) + 20 \log f(\text{MHz}) \\
 &= 32,4 + 20 \log(3,9) + 20 \log(433) \\
 &= 96,95 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung FSL selanjutnya dapat dihitung *Rx Signal Level* (P_R) untuk mengetahui berapa besar daya terima pada penerima. P_R dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 P_R \text{ (dBm)} &= P_T - L_{Tx} + G_{Tx} - \text{FSL} + G_{Rx} - L_{Rx} \\
 &= 34,77 - 3,2 + 6 - 96,95 + 5 - 2 \\
 &= -56,38 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *System Operating Margin* (SOM) untuk mengetahui apakah sistem ini bekerja dengan baik atau tidak dan untuk mengurangi efek *fading* yang dapat mengganggu komunikasi. Batas minimal nilai SOM yang baik bernilai 15

dBm. Sensitifitas penerima sebesar -117 dBm (datasheet radio 3DR 433 MHz). Nilai SOM dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{SOM} &= P_R - S_R \\ &= -56,38 - (-117) \\ &= 60,62 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa *link* komunikasi didapatkan nilai SOM sebesar 60,62 dBm, maka dapat disimpulkan bahwa *link* komunikasi pada penelitian ini dari FT-UNRAM ke Pagutan Mataram dengan jarak sejauh 3,9 Km dapat bekerja dengan baik.

KESIMPULAN

1. Telah dirancang sebuah sistem *repeater* telemetri untuk aplikasi SCADA pada *band* frekuensi 433 MHz (70 cm *band*) yang terdiri dari radio telemetri 433 MHz, antena, *amp transmit*, pengontrol dan beban.
2. Hasil pengukuran antena memiliki VSWR sebesar 1,23 untuk frekuensi 433 MHz dan 1,32 untuk frekuensi 440 MHz. Pola radiasi yang dihasilkan adalah omnidirectional.
3. Penguatan *amp transmit* yang optimum didapatkan sebesar 5W atau setara 36,98dBm, sedangkan penguatan paling stabil sebesar 3,2W atau setara 34,77dBm.
4. Pengiriman data dari Tx radio 433 MHz kemudian data dikontrol oleh Arduino Mega dan data dikirimkan kembali melalui frekuensi 440 MHz. Proses ini membutuhkan waktu 4,4 detik.
5. Radio telemetri dapat berkomunikasi pada jarak sejauh 3,9 Km dan dapat mengirim dan menerima data. Dari 20 baris data yang dikirim, yang bisa diterima rata-rata 16,4 baris data.
6. Perbandingan Rx level hitung (-56,38 dBm) dan Rx level ukur (-54,8 dBm) sebesar 1,43 dBm. Nilai *system operating margin* sebesar 60,62 dBm sehingga dapat disimpulkan bahwa *link* komunikasi pada penelitian ini mempunyai *link* yang baik.

SARAN

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan jenis radio, *amplifier* dan antena yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T.B., 2004, *SCADA Menggunakan Teknologi Komunikasi Bergerak*, Desertasi, Universitas Gadjah Mada
- Elisa, 2011, *Sistem Repeater*, Universitas Gadjah Mada Dari: Elisa.ugm.ac.id (1 Juli 2015)
- Novel, R., 2009, *Analisa Perancangan Sistem Scada Pada Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok
- Rahayu, A.T. dan Suharjanto, 2013, *Optimalisasi Penggunaan Repeater Sebagai Alat Penghubung Radio Komunikasi*, Jurusan Teknik Elektro, Akademi Teknologi Warga Surakarta
- Setyawan, A. dan Alaydrus, M., 2012, *Perancangan Double-Ridged Antena Horn Dengan Frekuensi X-Band*, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana, Jakarta
- Manurung, F.A dan Mubarakah, N., 2014, *Analisis Link Budget Untuk Koneksi Radio WLAN 802.11b Dengan Menggunakan Simulasi Radio Mobile (Studi Kasus Pada Jalan Kartini Siantar-Ambarisan)*, Teknik Elektro, Universitas Sumatra Utara