

# Microcontroller Based Audio Modem Prototype by Means of Digital Direct Synthesizer and Zero Crossing Detector Technique

## Purwarupa Modem Audio Berbasis Mikrokontroler dengan Teknik Direct Digital Synthesizer dan Zero Crossing Detector

Akbari Indra Basuki \*, Oka Mahendra

Pusat Penelitian Informatika  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jln Cisit 21/154 D, Bandung 40135  
Indonesia

---

### Abstract

A microcontroller based audio modem system by means of Digital Direct Synthesizer (DDS) and Zero Crossing Detector (ZCD) technique is proposed in this paper. The modem operates in audible frequency range. The function of this modem is to transmit digital data through analog audio channel. In the modulator, DDS is used to generate sinusoidal audio signal. The modulation technique is 16-tones M-Ary Frequency Shift Keying (M-FSK) or MFSK16. In the demodulator, ZCD technique is used to measure the sinusoidal signal periods. The experiments were done in the physical layer, to analyze the optimal channel bandwidth, transfer rate, and Bit Error Rate (BER). It was found that the optimal channel bandwidth for each tone is proportional to the frequency, due to fixed error DDS calculation. The performances of the modem are capable to modulate data in transfer rate 200 bps and BER  $2 \times 10^{-3}$  without channel coding improvement.

keywords: Audio modem, DDS, M-FSK, Zero Crossing Detector, GSM

### Abstrak

Sistem modem audio berbasis mikrokontroler dengan teknik *Direct Digital Synthesizer* (DDS) dan *Zero Crossing Detector* (ZCD) diusulkan pada tulisan ini. Modem ini beroperasi pada frekuensi suara *audible*. Modem ini berfungsi untuk melewatkan data digital melalui kanal audio analog. Pada sisi *modulator*, digunakan teknik DDS untuk menghasilkan gelombang sinus audio. Teknik modulasi yang digunakan adalah 16 *tone M-Ary Frequency Shift Keying* (M-FSK) atau MFSK16. Pada sisi *demodulator*, teknik ZCD digunakan untuk mengukur perioda gelombang sinus. Pengujian dilakukan pada layer fisik modem dengan mencari lebar kanal yang optimal untuk masing-masing tone, nilai *transfer rate*, dan nilai *Bit Error Rate* (BER). Hasil pengujian menunjukkan lebar kanal optimal untuk masing-masing tone berbanding lurus dengan besar frekuensi, karena *error* perhitungan frekuensi oleh DDS bersifat tetap. Performansi modem mencapai nilai *transfer rate* 200 bps dengan BER  $2 \times 10^{-3}$ , tanpa penambahan pengkodean kanal.

kata kunci: Modem audio, DDS, M-FSK, Zero Crossing Detector, GSM

---

### 1. PENDAHULUAN

Keberadaan *Real Time Unit* (RTU) untuk memantau kondisi cuaca dan lingkungan merupakan hal yang krusial pada dewasa ini. Faktor penyebab utamanya adalah terancamnya kehidupan manusia karena

perubahan cuaca yang ekstrem dan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan analisa data cuaca dan lingkungan secara mendalam sehingga didapatkan solusi terbaik untuk mengatasinya. Selain itu, diperlukan juga suatu sistem peringatan dini yang mampu bekerja secara *realtime* untuk mengirimkan informasi potensi bencana ke masyarakat. Karena berbagai tuntutan tersebut, suatu RTU harus mampu membaca kondisi lingkungan dan cuaca yang berubah dengan cepat dan mengirimkan data tersebut secara *realtime* ke *server* pusat. Data tersebut dapat digunakan

---

\*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: akbari@informatika.lipi.go.id

Received: 14 Jul 2013; revised: 13 Sep 2013; accepted: 6 Oct 2013

Published online: 30 Nov 2013

© 2013 INKOM 2013/14-NO252

untuk analisis lebih lanjut atau sebagai bagian dari sistem peringatan dini. Sebagai konsekuensinya, RTU tidak hanya diwajibkan memiliki kanal sensor yang bervariasi akan tetapi juga harus memiliki sistem komunikasi fleksibel yang dapat digunakan di mana saja.

Pada penelitian sebelumnya, telah dikemukakan berbagai jenis sistem komunikasi data sebagai jalur komunikasi RTU dan *server* pusat [1–5]. Secara umum jenis komunikasi yang sering digunakan dapat dikategorikan menjadi dua yaitu komunikasi berbasis *provider* [1, 2, 6–8] dan mandiri [3–5]. Jenis komunikasi berbasis *provider* adalah jenis komunikasi yang menggunakan infrastruktur telekomunikasi yang disediakan oleh penyedia jasa telekomunikasi seperti *Global System for Mobile Communications* (GSM) [1, 6–8], Internet [2], *General Packet Radio Service* (GPRS) [9, 10], telepon satelit, dan lain-lain. Di sisi lain jenis komunikasi mandiri merupakan jenis komunikasi yang menggunakan infrastruktur sendiri, sehingga tidak tergantung dari jasa provider telekomunikasi, seperti RF [11], Zigbee [3, 4], atau Wifi [5, 12]. Kelebihan jenis komunikasi berbasis *provider* daripada jenis komunikasi mandiri adalah lingkup jaringan komunikasi yang luas dan terbebas dari kerumitan proses perawatan jaringan. Jenis komunikasi berbasis *provider* sering dipakai oleh RTU yang menerapkan pengawasan dalam jumlah banyak dan lingkup pengawasan yang luas. Dari berbagai macam jenis jaringan *provider*, yang paling sering digunakan adalah jenis komunikasi GSM dan GPRS. Alasan pemilihan keduanya disebabkan oleh biaya yang murah dan ketersediaan jaringan yang merata di seluruh wilayah. Khusus untuk daerah Indonesia jaringan komunikasi GPRS/3G/4G belum sepenuhnya menjangkau seluruh daerah, sehingga sistem komunikasi GSM masih diperlukan untuk menjangkau daerah pelosok. Berdasarkan kebutuhan tersebut, sebuah RTU harus dapat mendukung sistem komunikasi GSM, sehingga data hasil pembacaan RTU dapat dilewatkan melalui kanal suara GSM. Maka dari itu diperlukan *modulator* dan *demodulator* suara yang mampu mengubah data digital menjadi sinyal suara dan sebaliknya.

Penelitian untuk melewatkan data digital melalui kanal suara pernah dilakukan oleh [6–8]. Tantangan yang dihadapi pada jenis pelewatan data melalui kanal suara GSM adalah keberadaan *codec* GSM yang hanya melewatkan sinyal yang mirip suara manusia [6–8]. Disebabkan oleh keberadaan *codec* tersebut, modulasi data melalui kanal suara GSM sangat sulit dilakukan dan sering menghasilkan nilai *error* yang tinggi. Lebar kanal suara GSM yang sempit, berkisar antara 300 Hz sampai 3,4 Khz,

turut menjadi tantangan dalam menerapkan teknik modulasi sinyal yang berujung pada rendahnya kecepatan transmisi data.

Dhananjay dan kawan-kawan [6] mengembangkan metoda yang disebut Hermes. Hermes dikembangkan untuk mentransmisikan data digital melewati kanal suara yang tidak diketahui karakteristiknya. Modulasi yang digunakan adalah *Binary Frequency Shift Keying* (BFSK), demodulasi menggunakan detektor frekuensi dan perbandingan untuk menentukan informasi yang terkandung. Chmayssani [7] menggunakan teknik modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dan *Frequency Shift Keying* (FSK). Metoda ini secara khusus digunakan untuk mengatasi algoritma *speech coder* dan *Voice Activity Detector* (VAD). LaDue dan kawan-kawan [8] mengubah data digital menjadi data mirip suara agar bekerja optimal pada *voice codec* dengan teknik algoritma genetik. Penggunaan algoritma genetik akan membatasi implementasi perangkat keras, karena memerlukan komputasi yang tinggi. Pada penelitian dalam tulisan ini, digunakan modulasi M-FSK dengan tujuan agar lebih optimal memanfaatkan seluruh lebar frekuensi yang dapat digunakan daripada BFSK seperti pada penelitian sebelumnya [6]. Modem dalam penelitian ini menggunakan algoritma yang tidak memerlukan komputasi tinggi dan rangkaian elektronika yang sederhana sehingga dapat diimplementasikan pada perangkat keras secara ekonomis.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan langkah awal dalam melewatkan data digital melalui kanal suara, yaitu membuat purwarupa *modulator* dan *demodulator* yang bekerja pada kanal suara. Pengujian dilakukan pada layer fisik modem, yaitu mencari kanal optimal yang memiliki nilai *error* minimal serta menguji kecepatan transmisi dan nilai BER.

Tulisan ini diorganisasikan sebagai berikut: pada Bagian 2, landasan tentang modem audio dipresentasikan secara singkat. Bagian 3 berisi tentang rancangan modem yang diusulkan. Pada Bagian 4, hasil percobaan dan pembahasan dipresentasikan. Tulisan ini ditutup oleh sebuah kesimpulan.

## 2. MODEM AUDIO

Modem audio merupakan perangkat yang terdiri dari *modulator* dan *demodulator* yang berfungsi untuk melewatkan data digital melalui kanal audio atau suara. *Modulator* berfungsi untuk mengubah data digital menjadi sinyal suara, sedangkan *demodulator* berfungsi untuk mengubah sinyal suara menjadi data digital. Frekuensi suara yang dipakai sebagai medium komunikasi adalah 20 Hz sampai 20 KHz. Pada penelitian ini digunakan rentang frekuensi 300

Hz sampai 3,4 KHz untuk menyesuaikan lebar kanal suara sistem komunikasi GSM.

Kekurangan dari modem suara adalah dalam hal keterbatasan spektrum, sehingga hanya memiliki *bandwidth* yang sempit dan *transfer rate* yang rendah. Kelebihan dari modem audio adalah modem beroperasi pada frekuensi rendah, sehingga proses modulasi dan demodulasi mudah diimplementasikan.

Modulasi pada kanal suara dapat dilakukan dengan teknik modulasi amplitudo, frekuensi, atau fasa. Modulasi amplitudo merupakan jenis modulasi yang paling mudah diimplementasikan. Pada modulasi amplitudo *binary*, bit 1 di direpresentasikan dengan mengirimkan frekuensi pembawa sedangkan pada saat bit 0 tidak dikirim frekuensi apapun. Kelemahan dari jenis modulasi amplitudo adalah rentan terhadap noise dan distorsi.

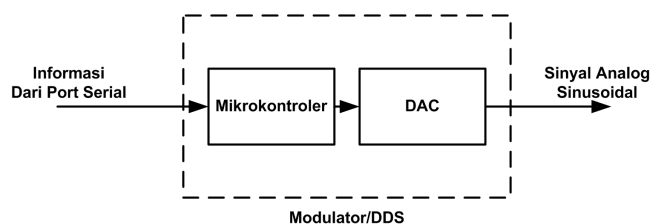
Modulasi fasa secara umum merupakan modulasi yang paling tahan terhadap distorsi maupun noise daripada jenis modulasi amplitudo maupun frekuensi. Kelemahan jenis modulasi fasa adalah sulit diimplementasikan karena membutuhkan *demodulator* yang koheren. Meskipun secara umum modulasi fasa paling tahan terhadap distorsi, pada kanal suara GSM sistem modulasi ini menghasilkan distorsi yang besar [6].

Modulasi frekuensi menggunakan lebar frekuensi yang besar untuk mengirimkan data. Sistem modulasi frekuensi menghasilkan distorsi sinyal yang kecil pada kanal suara GSM [6]. Pada jenis modulasi BFSK, bit 1 diwakili oleh sebuah frekuensi dan bit 0 diwakili sebuah frekuensi yang lain. Kedua frekuensi tersebut dikirim secara bergantian sesuai data digital yang diterima. Pada jenis modulasi MFSK, dikirimkan lebih dari satu frekuensi yang masing-masing mewakili simbol yang berbeda. Masing-masing simbol mewakili lebih dari satu bit. Misalnya pada sistem MFSK16, digunakan 16 simbol yang masing-masing direpresentasikan dalam nilai frekuensi yang berbeda, dengan masing-masing simbol mewakili 4 bit.

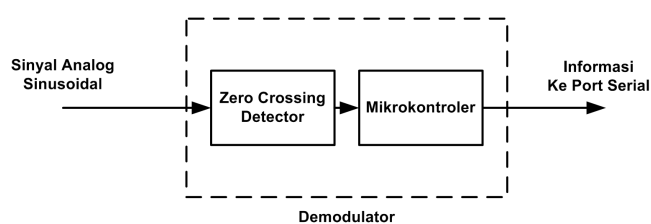
### 3. RANCANGAN MODEM AUDIO YANG DIUSULKAN

Perancangan sistem dapat dipisahkan menjadi dua bagian utama, yaitu bagian *modulator* dan bagian *demodulator*. Blok diagram sistem *modulator* dan *demodulator* ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada bagian *modulator*, data digital diterima secara serial dan di-modulasi menjadi sinyal suara. Sinyal suara yang dihasilkan berupa gelombang sinus dengan frekuensi 300 Hz sampai 3,4 KHz menggunakan teknik *Direct Digital Synthesizer* (DDS). Alasan penggunaan teknik DDS disebabkan sistem DDS sangat sederhana

dan mudah diimplementasikan. Komponen DDS terdiri dari sebuah unit prosesor dan sebuah *Digital to Analog Converter* (DAC). Unit prosesor berfungsi untuk proses *look up table* nilai variabel *tuning* dan mengakumulasi ke akumulator. DAC berfungsi untuk mengubah nilai akumulator menjadi nilai tegangan analog. Dengan demikian, teknik DDS dapat diimplementasikan pada mikrokontroler yang sederhana. Pada bagian *demodulator*, digunakan teknik *Zero Crossing Detector* (ZCD). Teknik ini dipilih karena sinyal suara yang dikirim oleh *modulator* hanya berupa sebuah sinyal sinus tunggal, yang memiliki perioda tetap. Dengan mendeteksi nilai sinyal pada tegangan nol, maka dapat diperoleh perioda sinyal dan juga frekuensinya. Prinsip kerja dari rangkaian ZCD adalah sinyal suara yang diterima dari *modulator* dikomparasikan dengan tegangan nol agar menghasilkan gelombang kotak. Dari gelombang kotak ini ditentukan perioda sinyal. perioda sinyal yang terdeteksi kemudian dikonversi menjadi data digital untuk selanjutnya dikirim melalui *port* serial.



Gambar 1. Blok diagram sistem *modulator*

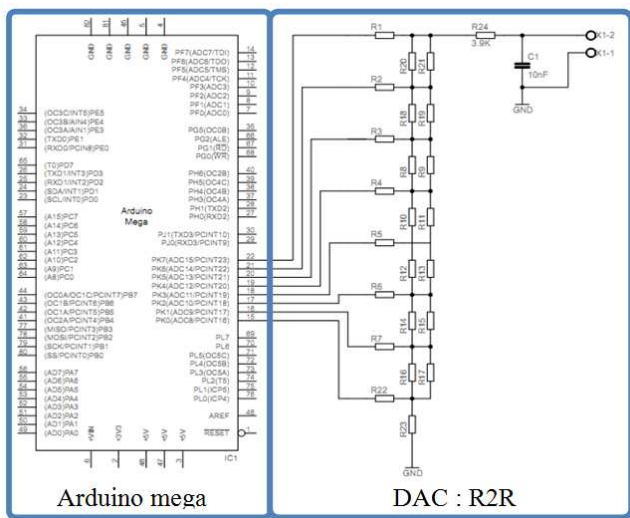


Gambar 2. Blok diagram sistem *demodulator*

#### 3.1 Modulator

Bagian *modulator* tersusun dari dua komponen utama, yaitu mikrokontroler dan rangkaian DAC. Mikrokontroler berfungsi sebagai penerjemah data digital menjadi nilai akumulator fasa yang kemudian di normalisasi sesuai dengan akurasi DAC. Modul mikrokontroler yang dipakai pada *modulator* adalah Arduino Mega 2560. Rangkaian DAC berfungsi untuk mengubah data digital dari port mikrokontroler menjadi sinyal analog dengan

menggunakan rangkaian R2R ladder. Rangkaian keseluruhan *modulator* ditunjukkan pada Gambar 3.



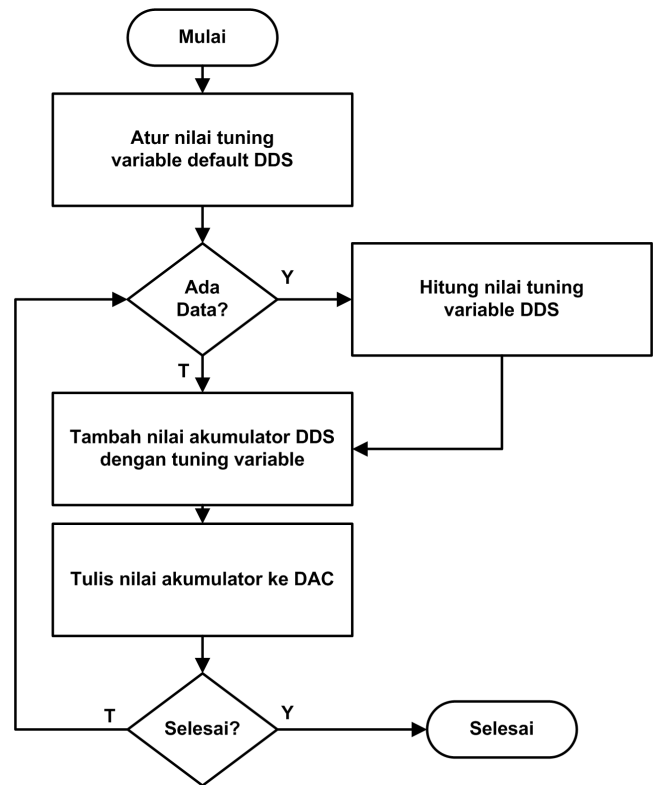
Gambar 3. Rangkaian *modulator* (DDS)

Modulasi data yang digunakan adalah jenis modulasi frekuensi, yaitu M-Ary FSK (M-FSK) dengan jumlah *tone* sebanyak jumlah kanal optimal. Pemilihan jenis modulasi frekuensi disebabkan *codec* GSM lebih toleran terhadap modulasi frekuensi dibandingkan modulasi amplitudo dan modulasi fasa [6].

Diagram alir program DDS ditunjukkan pada Gambar 4. Pemilihan kanal frekuensi dan kecepatan pengiriman data dikendalikan oleh data digital yang diterima melalui serial port. Ketika ada data yang diterima, maka mikrokontroler akan memilih kanal frekuensi yang sesuai dengan merujuk pada *look up table*. Mekanisme pemilihan kanal frekuensi dilakukan dengan menginisialisasi *tuning* variabel untuk DDS berdasarkan nilai yang diperoleh dari *look up table*. Setelah *tuning* variabel terinisialisasi, maka setiap waktu *clock* DDS, *tuning* variabel akan menaikkan nilai akumulator DDS sebesar nilai yang dimilikinya dan mengatur nilai *port* keluaran mikrokontroler sesuai nilai normalisasi akumulator tersebut. Setiap kanal frekuensi memiliki nilai *tuning* variabel yang berbeda-beda yang tersimpan pada *look up table*. Normalisasi akumulator DDS dilakukan dengan mengambil nilai 8 *most significant bit* (MSB) dari akumulator, karena *port* mikrokontroler hanya memiliki lebar data 8 bit.

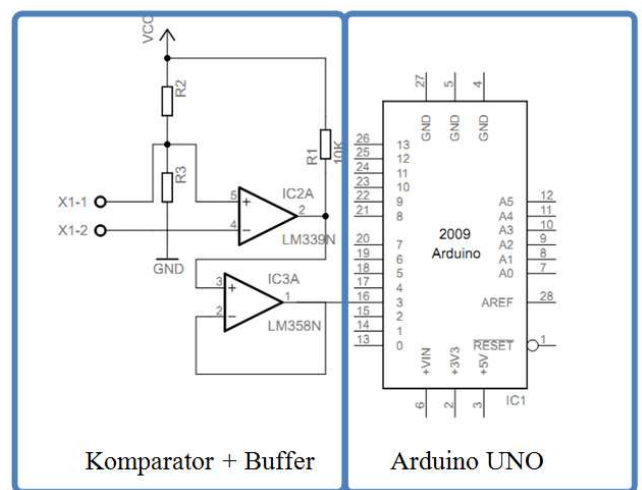
3.2 Demodulator

Bagian *demodulator* berfungsi untuk menerjemahkan sinyal suara yang termodulasi frekuensinya menjadi bentuk data digital. Teknik *Zero Crossing Detector* (ZCD) digunakan untuk mengukur frekuensi sinyal suara berdasarkan lebar



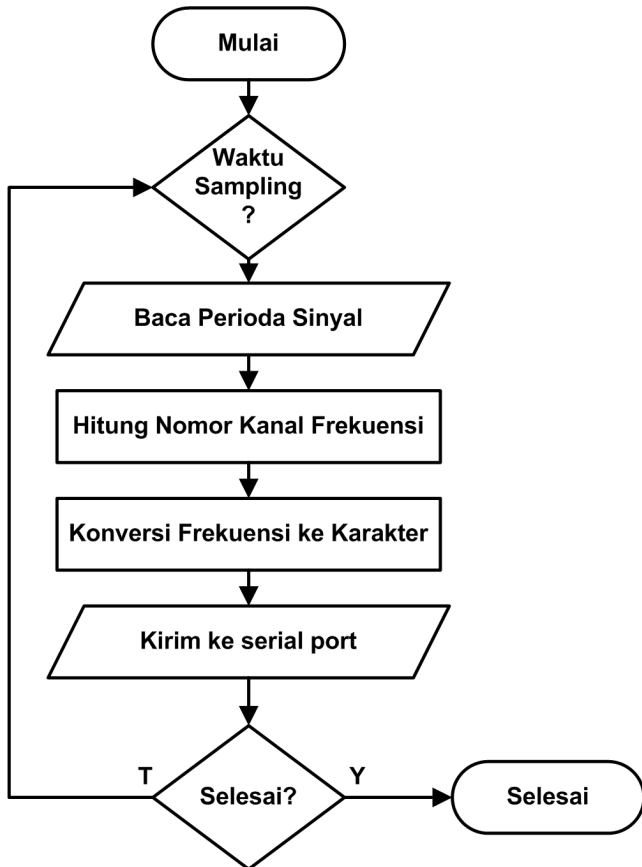
Gambar 4. Diagram Alir program *modulator*

periode dengan cara mendeteksi perubahan tegangan sinyal. Tegangan sinyal yang akan dideteksi dibandingkan dengan tegangan nol menggunakan rangkaian komparator dan selanjutnya dikonversi menjadi gelombang kotak. Modul mikrokontroler yang dipakai adalah Arduino UNO, sedangkan pada rangkaian ZCD dipakai IC komparator LM339 dan IC Op Amp LM 358 sebagai *voltage buffer*. Skema rangkaian alat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian *Zero Crossing Detector*

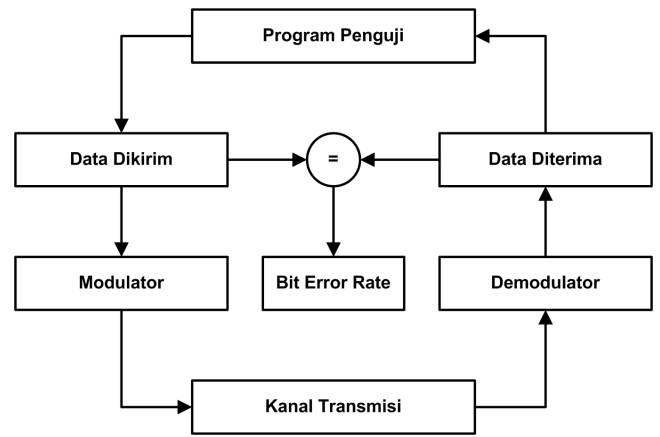
Program mikrokontroler pada *demodulator* berfungsi mengimplementasikan fungsi *demodulator* dengan menghitung lebar pulsa dan mengirimkan data yang berhasil di-demodulasi ke perangkat luar melalui *port* serial. Diagram alir program *demodulator* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir *demodulator*

### 3.3 Program pengujian

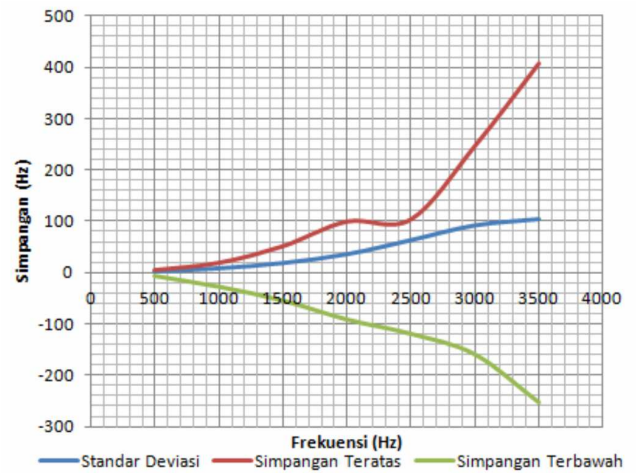
Program pengujian berfungsi untuk menguji performansi sistem modulasi dengan cara mengirim data digital ke *modulator*, menerima hasil demodulasi sinyal dari *demodulator*, dan membandingkan keduanya. Program pengujian mencatat semua data yang diterima pada *demodulator* dan menghitung jumlah bit error (BER). Kecepatan pengiriman data oleh *modulator* dikendalikan dengan cara mengirim data digital dengan periode simbol tetap, yaitu 20 ms. Dengan demikian program pengujian mampu melakukan pengujian dengan kecepatan transmisi 50 simbol/detik, atau 200 bps untuk MFSK16 dengan satu simbol merepresentasikan 4 bit. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Pengujian

## 4. HASIL DAN PENGUJIAN

Pengujian kanal optimal dilakukan dengan cara menghasilkan sinyal sinus dengan frekuensi yang berada pada *bandwidth* kanal suara GSM menggunakan *modulator/DDS* dan mengamati frekuensi yang terbaca di *demodulator*. Pemilihan kanal frekuensi dilakukan dengan melakukan sampling *bandwidth* dengan mengamati kualitas kanal frekuensi pada jangkauan tertentu. Pengujian pertama dilakukan pada rentang frekuensi 500 Hz sampai 4 KHz dengan beda frekuensi 500 Hz dan masing-masing memiliki 1000 sampel data. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8.

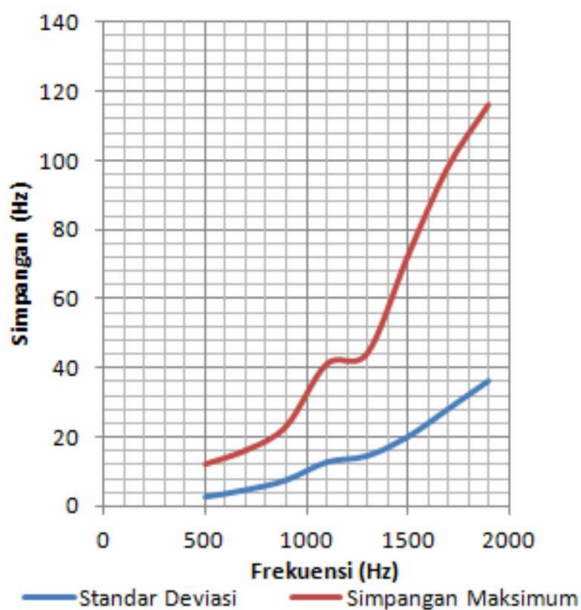


Gambar 8. Hasil pengujian kualitas bandwidth

Dari hasil pengujian dapat diamati bahwa simpangan frekuensi sangat besar untuk frekuensi di atas 2 KHz. Hasil tersebut dikarenakan ralat perhitungan nilai tuning variabel pada DDS, sehingga mengakibatkan adanya simpangan periode sebesar 2 kali nilai ralat perhitungan. Nilai ralat perhitungan terbesar dari DDS adalah sebesar nilai *clock* sumber dari DDS, yaitu frekuensi 50 KHz atau

periode 20  $\mu$ s. Dengan demikian semua frekuensi yang dihasilkan oleh DDS akan periodenya akan mengalami *error* lebih kecil dari  $2 \times 20 \mu$ s atau 40  $\mu$ s. Nilai tersebut tidak terlalu berarti untuk frekuensi rendah akan tetapi akan memberikan nilai *error* pembacaan yang besar pada frekuensi tinggi.

Berdasarkan hasil tersebut, dilakukan pengujian kedua untuk mencari jumlah kanal frekuensi yang paling optimal untuk frekuensi di bawah 2 KHz. Pengujian dilakukan mulai dari frekuensi 500 Hz sampai 1,9 KHz dengan beda frekuensi 200 Hz dan masing-masing 1000 sampel data pula. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Hasil pengujian kanal frekuensi optimal

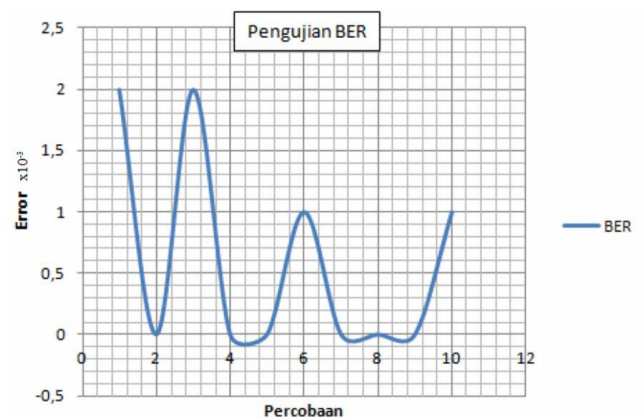
Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai simpangan frekuensi menjadi dua kali lipat untuk setiap kenaikan frekuensi sebesar 400 Hz. Dari hasil pengujian juga diperoleh adanya kenaikan simpangan yang cukup tajam pada kisaran frekuensi 900 Hz. Berdasarkan pengamatan tersebut maka kanal optimal dibagi menjadi dua bagian terpisah, yaitu kanal yang berada di bawah dan di atas frekuensi 900 Hz. Kanal optimal di bawah 900 Hz (300 Hz s.d. 900 Hz) memiliki simpangan maksimum 25 Hz, sedangkan kanal optimal di atas 900 Hz (900 Hz s.d. 2 KHz) memiliki simpangan maksimum 116 Hz. Rumus untuk mencari lebar kanal optimal adalah sebagai berikut:

$$JKO = \frac{Bandwidth}{2 \times SB} \quad (1)$$

Dengan *JKO* adalah jumlah kanal optimal dan *SB* adalah simpangan terbesar. Berdasarkan persamaan

1, jumlah kanal optimal di bawah 900 Hz adalah 12. Sedangkan, jumlah kanal optimal di atas 900 Hz adalah 4. Sehingga, secara total diperoleh  $12 + 4$  kanal = 16 kanal. Masing-masing kanal digunakan oleh satu *tone*. Enam belas kanal yang tersedia tersebut mencukupi untuk membangun 16 *tone* dengan modulasi M-FSK.

Pengujian kecepatan transfer data dan besar BER dilakukan oleh program pengujian dengan mengirim data ke *modulator* kemudian membandingkannya dengan data yang diterima dari *demodulator*. Apabila program pengujian mendeteksi ketidaksesuaian antara data yang dikirim dan data yang diterima maka program akan mencatatnya sebagai *error*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan jumlah 1000 data tiap kali pengujian. Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Hasil pengujian nilai BER

Kecepatan transmisi ditentukan oleh program pengujian dengan mengubah data yang dikirim setiap 20 ms. Berdasarkan hasil pengujian, nilai maksimum BER yang diperoleh adalah  $2 \times 10^{-3}$ . Nilai *error* yang kecil tersebut disebabkan penggunaan medium kabel, sehingga dapat mengurangi noise dari lingkungan.

Pada implementasi sesungguhnya modem suara dihubungkan dengan modem GSM melalui kabel. Oleh karena itu, modem suara yang telah dibuat cukup baik untuk mengirimkan data digital melalui kanal suara. Dengan memastikan bahwa modem suara yang telah dibuat hanya memiliki nilai BER yang kecil, ke depannya dapat disimpulkan bahwa apabila terjadi *error* yang lebih besar pada komunikasi melalui kanal GSM, maka *error* tersebut sudah pasti bersumber dari internal kanal GSM, seperti *codec* GSM atau kualitas jaringan GSM. Untuk mendeteksi dan mengurangi nilai *error*, pada tahap penelitian selanjutnya dapat diimplementasikan *channel coding*.

## 5. KESIMPULAN

Berkurangnya jumlah kanal frekuensi optimal disebabkan oleh *error* perhitungan DDS. Jumlah kanal frekuensi optimal ketersediannya semakin kecil seiring naiknya frekuensi pembawa (*tone*). Transmisi data dapat mencapai standar sampling sinyal suara pada sistem GSM, yaitu 20 ms dan dengan nilai BER yang kecil ( $BER = 2 \times 10^{-3}$ ). Kecepatan transmisi data ditingkatkan menjadi 200 bps dengan menggunakan modulasi M-FSK dengan 16 *tone* atau MFSK16.

### Daftar Pustaka

- [1] S. Jean, K. Gamma, D. Donsez, and A. Lagreze, "Toward a monitoring system for high altitude objects," in *Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Technology, Application & Systems*, Nice France, 2009.
- [2] R. Sustika and O. Mahendra, "Pengembangan RTU (remote terminal unit) untuk sistem kontrol jarak jauh berbasis IP," *Jurnal INKOM*, vol. 4, no. 2, pp. 88–94, 2010.
- [3] I. M. Erwin, B. Sugiarto, and I. Sakti, "Rancang bangun sistem monitoring kualitas udara menggunakan teknologi wireless sensor network (WSN)," *Jurnal INKOM*, vol. 3, no. 1-2, pp. 90–96, 2009.
- [4] B. Santhikiran and S. M. Rao, "Multi point short range wireless data communication system using Zigbee network," *International Journal of Research in Computer Engineering and Electronics*, 2012.
- [5] Suyoto, A. Heryana, and F. Yunazar, "Desain dan implementasi sistem komunikasi wireless pada SBC Alix3d2," *Jurnal INKOM*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2011.
- [6] A. Dhananjay, A. Sharma, M. Paik, J. Chen, T. K. Kuppusamy, J. Li, and L. Subramanian, "Hermes: Data transmission over unknown voice channels," in *Mobile Computing and Networking MOBICOM*, 2010, pp. 113–124.
- [7] T. Chmayssani and G. Baudoin, "Data transmission over voice dedicated channels using digital modulations," in *18th International Conference on Radioelektronika*, 2008, pp. 1–4.
- [8] C. K. LaDue, V. V. Sapozhnykov, and K. S. Fienberg, "A data modem for GSM voice channel," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 2205–2218, 2008.
- [9] Z. Shu, W. Jian, X. Ping, and J. Zhou-shu, "GPRS wireless data terminal for heat pump remote monitoring," *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, vol. 7, 2011.
- [10] A. I. Basuki and O. Mahendra, "Aplikasi pemantau stasiun cuaca dengan javascript dan google maps api," in *Proceeding Seminar Ilmu Pengetahuan Teknik*, 2012, pp. 392–396.
- [11] M. Toledano-Ayala, G. Herrera-Ruizemai, G. M. Soto-Zarazaemail, E. A. Rivas-Araizaemail, R. D. B. Trujilloemail, and R. E. Porrs-Trejoemail, "Long-range wireless mesh network for weather monitoring in unfriendly geographic conditions," *Sensors*, vol. 11, no. 7, pp. 7141–7161, 2011.
- [12] F. Yunazar, "Implementasi teknologi wireless mesh untuk jaringan komunikasi data pada wireless weather station," *Jurnal INKOM*, vol. 6, no. 2, pp. 95–101, 2012.