

Perancangan Transmitter dan Receiver Automatic Identification System (AIS) pada Software Defined Radio (SDR)

Raissa Rahma Susianto¹, Nilla Rachmaningrum^{2*}, Hendy Briantoro³

^{1,3} Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya

¹raissarahma@student.telkomuniversity.ac.id

³hendybr@telkomuniversity.ac.id

² Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya

*Corresponding author email: n.rachmaningrum@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Indonesia merupakan negara maritim dengan wilayah 70% lautan dan 30% daratan, sehingga transportasi laut yang menjadi salah satu transportasi utama bagi masyarakat. Dengan berkembangnya transportasi laut, sehingga diperlukannya sistem keamanan dan kenyamanan bagi pengguna. *Automatic Identification System (AIS)* adalah sistem navigasi yang menyediakan pertukaran informasi navigasi antara kapal dengan pangkalan darat terdekat, suar ataupun kapal lainnya. *Software Defined Radio (SDR)* adalah radio yang melakukan pemrosesan sinyal menggunakan teknik perangkat lunak. SDR ditandai dengan pemrosesan sinyal digital yang dilakukan dalam blok fungsional yang fleksibel. Pada penelitian ini akan dirancang perangkat *transmitter* dan *receiver* AIS sederhana dengan menggunakan SDR, yang diharapkan dapat mempelajari secara sistem cara kerja pengirim dan penerimaan pesan AIS. Untuk perangkat *transmitter* dan *receiver* digunakan perangkat *Radio Test Library (RTL)* sebagai Rx, *perangkat Universal Software Radio Peripheral (USRP)* sebagai Tx. Semua perangkat tersebut diperlukan driver terinstal khusus untuk bekerja dengan baik. Hasil yang diharapkan perangkat dapat berfungsi dengan baik dan mampu mentransmisikan pesan AIS pada frekuensi sebesar 162 MHz.

Kata Kunci— AIS, RTL-SDR, USRP, Pemrosesan sinyal

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim dengan wilayah 70% lautan dan 30% daratan, menjadikan lautan yang terdiri dari pulau-pulau. Transportasi laut yang menjadi salah satu transportasi utama bagi masyarakat maritim. Mereka menggunakan transportasi laut sebagai sarana untuk berlayar berpindah dari pulau ke pulau, dengan membawa berbagai macam kebutuhan untuk berbagai wilayah.

Saat ini, *Automatic Identification System (AIS)* digunakan untuk meningkatkan keamanan dan akurasi navigasi dalam pelayaran. AIS menyediakan pertukaran informasi navigasi antara kapal dengan kapal lainnya. Cara kerja AIS pada dasarnya sebuah sistem yang digunakan kapal untuk berbagai informasi antara dua atau lebih kapal. Pada informasi yang dipancarkan dan didapatkan seperti identitas kapal mulai dari nama kapal, nomor IMO, nomor MMSI, dan call sign, lalu

beberapa hal lainnya seperti negara asal kapal tersebut, jenis kapal, tujuan kapal berlabuh, koordinat kapal, parameter jarak kapal, tujuan sebelumnya, berat kapal, ukuran muatan kapal, posisi kapal, kecepatan, arah gerak, dan tujuan kapal berlayar[1]. Pada sebuah penelitian terdahulu sistem AIS melakukan

pertukaran data secara otomatis melalui perangkat AIS yang dipasang di kapal melalui gelombang radio, informasi tersebut ditampilkan di layar masing-masing kapal seperti informasi radar. AIS beroperasi di frekuensi sangat tinggi atau Very High Frequency (VHF) dan dari itu memungkinkan kapal untuk dengan mudah melacak, mengidentifikasi, dan bertukar informasi navigasi satu sama lain atau dengan radar yang berada di daratan dekat laut[1].

Terjadinya pertukaran informasi hanya dapat dilakukan antar transponder AIS. Dengan demikian, pertukaran informasi antar kapal hanya dapat dilakukan oleh kapal yang memiliki perangkat AIS atau biasa disebut transceiver AIS. Ada juga sistem konfigurasi di perangkat *Global Navigation Satellite System* atau lebih dikenal dengan *Sistem Pemosisian Global (GPS)* untuk informasi lokasi yang akan dikirim setiap kapal bisa akurat[1]. Unit SDR dapat beradaptasi dengan kondisi interferensi dan kebisingan yang keras dengan secara instan mengubah bagian pemrosesan bentuk gelombang melalui pemuatan perangkat lunak yang berbeda[2].

Aleksei (2017), melakukan penelitian perancangan pemancar AIS (*Automatic Identification System*) sederhana dengan menggunakan perangkat lunak RTL-SDR, dibantu dengan dua perangkat USRP SDR sebagai transmisi sinyal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, hasil perangkat SDR dapat menjadi sebuah implementasi dari sistem AIS yang mampu menjadi sebuah pemancar dan penerima data informasi. Dengan menggunakan perangkat yang sederhana dan hanya dilakukan di laboratorium[3].

Sahay (2016), melakukan penelitian dengan merancang sebuah sistem penerima satelit AIS berbasis SDR menggunakan sistem generator. Perancangan arsitektur meliputi: desain demodulator berbasis diskriminator frekuensi, yang dapat memberikan kemampuan pemrosesan sinyal analog yang lebih baik. Penelitian ini mendapatkan hasil simulasi untuk menguji dan membandingkan kinerja algoritma non-coherent matched filtering dan algoritma demodulasi korelasi coherent delay line dan juga menguji kinerja algoritma pada radiasi FPGA menggunakan sistem generator[4].

Sruthi (2013), penelitian ini merancang desain transceiver digital berbiaya rendah untuk perangkat SDR menggunakan RTL-SDR. *Universal Software Radio Peripheral (USRP)* menjadi perangkat keras yang digunakan sebagai bentuk implementasi dari eksperimen komunikasi menggunakan SDR. Penelitian berhasil merancang desain transceiver digital berbiaya rendah untuk perangkat SDR menggunakan RTL-SDR. *Universal Software*

Radio Peripheral (USRP) menjadi perangkat keras yang digunakan sebagai bentuk implementasi dari eksperimen komunikasi menggunakan SDR. Penelitian tentang Automatic Identification System(AIS) pada perangkat lunak Software Defined Radio (SDR) yang dimodifikasi secara sederhana untuk mendapatkan hasil pertukaran frekuensi sebesar 162 MHz dari sebuah transmitter dan receiver[5].

Francisco (2016), melakukan penelitian yang bertujuan untuk mendesain penerima AIS dengan biaya rendah yang memungkinkan analisis dan kelayakan sistem yang digunakan. Hasil yang didapat beberapa bagian-bagian yang harus dipertimbangkan seperti: antena yang menerima sinyal, tahap frekuensi radio yang memodulasi sinyal ke base band dan tahap digital untuk melakukan algoritme kontrol kesalahan menggunakan Cyclic Redundancy Code (CRC) yang kemudian diteruskan ke mendekodekan frame AIS[6].

Cruz (2018), melakukan penelitian dengan menerapkan pemancar dengan sistem AIS yang ditetapkan menggunakan perangkat lunak SDR. Peneliti membangun pemancar AIS berbasis SDR berfungsi untuk mengirimkan laporan posisi dari data bujur dan lintang Global Positioning System (GPS) yang bervariasi. Berdasarkan hasil dirancang dapat dengan tepat dan benar menyiarkan lokasi GPS, juga membandingkan paket informasi AIS yang didekodekan dari penerima SDR dengan pembacaan lokasi GPS masing-masing dari GPS genggam [7].

II. LANDASAN TEORI

A. Automatic Identification System

Teknologi *Automatic Identification System* (AIS) merupakan perangkat digital yang digunakan sebagai instrumen navigasi dalam pelayaran. Perangkat ini menggabungkan teknologi *Global Positioning System* (GPS), teknologi radio *Very High Frequency* (VHF), dan teknologi informasi dalam satu sistem. AIS memungkinkan pertukaran data pelayaran antara kapal dengan base station dan juga dengan kapal lainnya. Data tersebut antara lain: Identitas Kapal (MMSI, *Call Sign*, dan nama Kapal), posisi kapal, Arah, ukuran dan jenis muatan kapal, serta informasi penting lainnya[8]. Saat merancang AIS, tujuannya adalah untuk membantu navigasi dan kesadaran situasi di antara kapal. Karena itu, menjadi persyaratan untuk semua kapal ukuran 300 ton ke atas pada tahun 2004[9].

Pengiriman pesan AIS terjadi melalui dua kanal VHF, satu kanal pada frekuensi 161,975 MHz dan kanal kedua pada frekuensi 162,025 MHz sebagaimana ditentukan oleh Spesifikasi AIS ITU-R dengan daya pancar sebesar 12,5 W [9]. Perangkat AIS dapat mengirim data dalam tiga cara berbeda: disurvei, ditetapkan, dan secara mandiri. Saat mentransmisikan dengan cara yang disurvei, perangkat meminta data dari perangkat lain, dan perangkat target merespons dengan informasi yang diminta [10].

B. Software Defined Radio

Software Defined Radio (SDR) adalah teknologi yang berkembang pesat dan selalu menarik untuk industri telekomunikasi. Beberapa tahun terakhir, sistem radio analog telah digantikan dengan sistem radio digital untuk berbagai aplikasi radio, yaitu pada militer, sipil, dan untuk komersial. Teknologi SDR diimplementasikan di beberapa fungsi pada sistem radio, seperti modulasi/demodulasi, pengolahan sinyal, pemrograman dan link-layer protocol pada software. Hal ini

sangat membantu pada saat mendesain ulang sistem software radio dimana parameter-parameternya sering diubah-ubah untuk mendapatkan kualitas yang sesuai dengan yang diharapkan[11]. Pada sistem radio yang menggunakan full hardware, ini akan susah dilakukan karena parameter-parameter yang digunakan sudah fix, dan jika ingin mengubah suatu parameter, maka hardware-nya juga harus diganti. Sistem radio yang dibangun menggunakan teknologi SDR, dapat dikembangkan untuk berbagai aplikasi yang menggunakan link-layer yang berbeda protokol dan teknik modulasi/demodulasi. Software Defined Radio (SDR) forum mendefinisikan SDR sebagai radio yang menggunakan software untuk bagian teknik modulasi, wide-band atau narrow-band operation, fungsi keamanan komunikasi (seperti hopping), dan waveform requirement untuk standar saat ini dan yang akan datang pada daerah frekuensi broad band. Singkatnya, Software Defined Radio (SDR) adalah suatu teknologi dimana software dijalankan pada platform hardware, yaitu pada Digital Signal Processing (DSP) processor, dan Field Programmable Gate Array (FPGA), untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi radio seperti proses *modulasi pada transmitter dan proses demodulasi pada receiver*[11].

C. RTL-SDR

Perangkat RTL-SDR adalah receiver radio yang ditentukan perangkat lunak berdasarkan chipset RL2832 ADC dan yang ada di beberapa TV tuner, yang dapat menentukan karakteristik utama perangkat RTL-SDR. Pada saat konfigurasi standar dapat digunakan sebagai dasar untuk merakit receiver radio yang relatif baik untuk berbagai jenis keperluan. RTL-SDR yang akan digunakan selama pengujian ialah perangkat RTL-SDR R820T[12]

D. Universal Software Peripheral

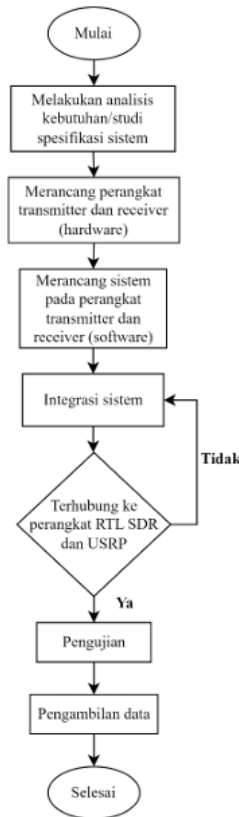
Perangkat Lunak Universal memiliki cakupan dengan frekuensi berkelanjutan dari 70 MHz – 6 GHz. Dirancang untuk sebuah eksperimen dengan biaya yang rendah. USRP terdiri atas motherboard dan daughterboard. Secara garis besar, motherboard USRP terdiri atas FPGA yang menjalankan fungsi sebagai Digital Up Converter (DUC) dan Digital Down Converter (DDC), Analog to Digital Converter (ADC) dan Digital to Analog Converter (DAC) untuk melakukan konversi sinyal analog ke digital dan sebaliknya, serta menyediakan antarmuka untuk berkomunikasi dengan host PC [13].

E. GNU Radio

Radio adalah toolkit perangkat lunak yang menyediakan blok bangunan untuk mengembangkan perangkat lunak radio[14]. GNU Radio dapat digunakan dengan perangkat keras radio yang terdefinisi secara perangkat lunak (SDR) seperti USRP, atau tanpa perangkat keras di lingkungan simulasi. GNU Radio menyediakan pustaka dan runtime yang memungkinkan pengembangan aplikasi radio menggunakan blok bangunan yang dapat diprogram secara grafis melalui antarmuka seperti GNU Radio Companion, atau melalui pemrograman Python dan C++[15].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian adalah proses serta tahap-tahapan dalam sebuah penelitian. Pada alur penelitian ini terdapat tahapan-tahapan untuk memulai perancangan hingga tahapan terakhir penelitian. Mulai dari analisis kebutuhan sistem, merancang perangkat transmitter dan receiver, merancang sistem pada perangkat transmitter dan receiver, integrasi sistem hingga terhubungnya perangkat RTL-SDR dan USRP, tahapan pengujian dan yang terakhir pengambilan data. Adapun tahapan-tahapan tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:



Gambar 1 Flowchart Tahapan Penelitian

A. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis ini dibutuhkan untuk menentukan kebutuhan spesifikasi dari sebuah sistem yang akan digunakan. Spesifikasi ini meliputi perangkat juga sistem apa saja yang akan dibutuhkan, dengan komponen-komponen pendukung yang akan dirancang sampai dengan sistem tersebut diimplementasikan. Analisis kebutuhan ini nantinya akan menentukan masukan yang diperlukan sistem, serta keluaran yang dihasilkan sistem sehingga menghasilkan sebuah perangkat *transmitter* dan *receiver* yang utuh.

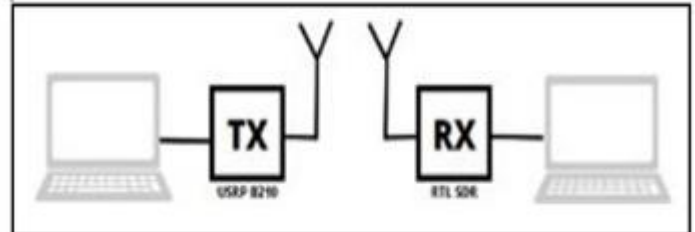
TABEL I
SPESIFIKASI SISTEM

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	USRP	B210
2.	RTL-SDR	Realtek RTL2832U
3.	Frequency center	162 MHZ

No.	Spesifikasi	Keterangan
4.	Jarak	30 m – 20 m

B. Perancangan Perangkat

Setelah melakukan analisis kebutuhan sistem, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perancangan perangkat transmitter dan receiver. Bentuk perancangan dapat ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2 Perancangan Perangkat

Gambar 2 menjelaskan tentang gambaran dari perangkat sistem Transmitter dan Receiver AIS berbasis SDR, di mana perangkat USRP B210 berfungsi sebagai *transmitter* (Tx) dan RTL SDR berfungsi sebagai *receiver* (Rx) yang akan menerima gelombang sinyal. Kemudian gelombang sinyal akan diproses dan dimodifikasi menggunakan GNU Radio.

Pada saat tahapan perancangan desain telah dilakukan seperti Gambar 2 tahapan selanjutnya melakukan konfigurasi menggunakan software GNU Radio. GNU Radio digunakan untuk menyiapkan SDR, karena menyediakan berbagai fungsi pemrosesan sinyal digital. Untuk perancangan ini digunakan GNU Radio versi 3.8.2.0 yang telah diunduh pada sistem operasi Windows.

C. Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan proses perancangan untuk merancang sistem yang ada pada perangkat. Nantinya akan menjadi sebuah produk perangkat lunak yang sesuai untuk menjalankan perangkat keras. Tentunya sistem dibantu oleh sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk mendukung dan dapat menjalankan sistem nantinya. Adapun perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut:

- 1) Windows 11 dan Ubuntu, sebagai sistem operasi
- 2) GNU Radio

Tahapan pertama dengan merancang dari segi receiver (Rx) menggunakan GNU Radio yang dihubungkan ke RTL-SDR, bentuk pemrosesan sinyal digital nantinya akan terproses di dalamnya. Tahapan kedua untuk merancang sistem transmitter (Tx) sama seperti receiver menggunakan perangkat lunak GNU Radio namun ini terhubung ke USRP yang akan membawa sampel sinyal, nantinya ditransmisikan menuju RTL SDR.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

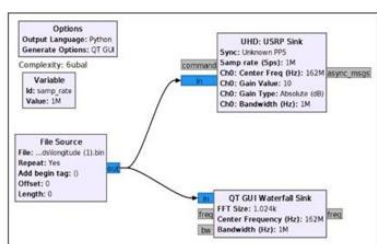
A. Hasil Pembahasan Pesan AIS

Sampel pesan AIS yang akan dikirimkan melalui perangkat keras USRP B210 dibuat secara manual menggunakan AIS *Message Simulator*. Dengan menggunakan Websocket PDU yang merupakan protokol komunikasi yang memungkinkan interaksi dua arah secara *real-time* melalui satu koneksi. Blok diagram ketika dijalankan kita bisa membuka portal web pada

AIS Message Simulator. AIS Message Simulator berisikan nomor MMSI (Maritime Mobile Service Identity) dengan *default* yang disediakan. Tipe pesan AIS bisa dipilih secara manual. Hasil pesan kemudian akan langsung di teruskan ke blok diagram “File Sink” yang sebelumnya sudah membuat folder file dengan format (Sampel.bin). Sampel akan otomatis termodulasi saat melewati blok diagram “GMSK Mod” dan file sampel akan berisikan angka-angka biner.

B. Sistem Transmitter

Skema GNU Radio untuk transmitter, yang ditunjukkan pada Gbr. 5 menyediakan *direct* transmisi file yang telah direkam dan dibuat oleh AIS Message Simulator. File transmisi terhubung dengan perangkat USRP dan Waterfall sink untuk penampil sinyal yang direkam.

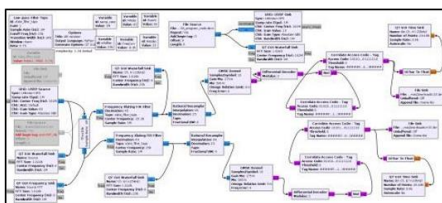


Gbr. 5 Proses Sistem Transmitter

Pada pengujian ini laptop sudah terhubung dengan USRP. File Source di input oleh file yang telah dibuat pada tahap sebelumnya, untuk *center* frekuensi sebesar 162 MHz. Spektrum file yang ditransmisikan.

C. Sistem Receiver

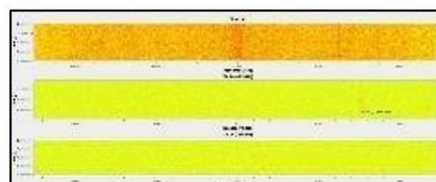
GNU Radio dipilih sebagai perangkat lunak untuk menyiapkan *Software Defined Radio* (SDR), karena memberikan berbagai fungsi pemrosesan sinyal digital dasar. Saat melakukan perancangan sistem menggunakan sistem operasi Ubuntu, dikarenakan *driver* RTL-SDR tidak kompatibel dengan *windows* pada perangkat laptop yang digunakan.



Gbr. 7 Sistem Receiver

Penerimaan sinyal AIS dan fungsi decoding NRZI biner dieksekusi dalam pemrosesan sinyal GNU Radio. Skema penerimaan AIS yang diimplementasikan dapat ditampilkan pada Gbr. 7 blok diagram berwarna abu-abu saat ini dinonaktifkan. Input/Output semua blok memiliki tipe data tersendiri. Blok warna biru untuk data nilai kompleks, ungu untuk data biner, dan oranye untuk data dalam nilai float. Input/Output semua blok memiliki tipe data tersendiri. Blok warna biru untuk data nilai kompleks, ungu untuk data biner, dan oranye untuk data dalam nilai float. Blok diagram ini mencakup langkah-langkah penerimaan sinyal, penyaringan, translasi frekuensi, demodulasi, decoding, dan visualisasi.

1. Penerimaan dan Pemrosesan Awal Sinyal:
Blok USRP Source menerima sinyal pada 162 MHz, dengan laju sampel 1 MHz. Sinyal kemudian dibagi ke jalur yang berbeda untuk diproses.
2. Penyaringan dan Translasi Frekuensi
Sinyal melewati beberapa blok Frequency Xlating FIR Filter dengan frekuensi pusat yang berbeda untuk mengisolasi pita frekuensi tertentu.
3. Resampling
Sinyal yang sudah disaring kemudian diresampling menggunakan blok Rational Resampler untuk menyesuaikan laju sampel.
4. Demodulasi:
Blok GMSK Demod mendemodulasi sinyal GMSK, mengubahnya menjadi sinyal baseband.
5. Dekoding dan Korelasi:
Sinyal yang sudah didemodulasi diproses lebih lanjut melalui blok Differential Decoder. Blok Correlate Access Code - Tag mendeteksi pola spesifik dalam sinyal dan menandainya.
6. Visualisasi dan Output:
Sinyal yang sudah diproses divisualisasikan menggunakan blok QT GUI Waterfall Sink dan QT GUI Time Sink. Data disimpan ke file menggunakan blok File Sink



Gbr.8 Hasil Pengujian AIS

Penerima AIS yang telah diujikan akan menampilkan spektrogram seperti Gbr. 8. Hasil Spektrogram hanya menampilkan frekuensi tengah yang ditunjukkan berwarna merah pada Gbr. 8. Penerimaan AIS masih berjalan dengan sendirinya tanpa adanya sinyal yang diterima, selanjutnya akan dijelaskan pada tahap pengujian antara pengirim dan penerima.

D. Hasil Perangkat Transmitter dan Receiver

Pada Gbr. 9 merupakan hasil dari perangkat dengan satu kesatuan yang utuh antara transmitter dan receiver. Perangkat USRP yang telah diberikan input sampel sinyal pada tahapan sebelumnya sudah bisa ditransmisikan dengan frekuensi AIS sebesar 162 MHz. Kemudian perangkat RTL-SDR akan menerima sinyal tersebut dan diteruskan pada spektrogram GNU Radio receiver AIS pada *software* GNU Radio.



Gbr. 9 Perangkat Transmitter dan Receiver

E. Proses Demodulasi

File Sampel.bin berisi pesan tersimpan yang diterima oleh unit sumber dari perangkat RTL-SDR. Hasil perekam pada sample rate 1 MHz, dengan sentral frekuensi pada 162 MHz. File biner yang dihasilkan berisi data biner yang di demodulasi dan didekodekan NRZI.

```
“000001110011101011110111001110011000101000100000000
0000000010000001011011100011011000000000110110111011
101000000000000110100001011111111110001000000110000
0000000000110”
```

Urutan data yang dihasilkan berisi data pesan AIS, yang dapat dideskripsikan sesuai standar pesan AIS. Setiap segmen bit dibatasi dengan simbol “[”.

```
“000001|11|001110101111011100111001100010|1000|10000000
|0000000001|0|0000010110111000110110000000|00110110111
0111010000000000|001101000010|11111111|110001|00|000|0|
1100000000000000110”
```

TABEL II
PESAN YANG DIDEKODEKAN

Bit	Parameter	Biner	Desimal	Keterangan Dekode
1-6	Message type	000001	1	Class B position report
7-8	Repeat indicator	11	3	Default repeater
9-38	MMSI	0011101011 1101110011 1001100010	2473201 62	mid number 247 - Italy
39-42	Navigation status	1000	8	Under way sailing
43-50	Rate of turn	10000000	128	128 degrees
51-60	Speed over ground	0000000001	1	1 knots
61	Position accuracy	0	0	Low (>=10m)
62-89	Longitude	0000010110 1110001101 10000000	6000000	100.000 degrees East
90-116	Latitude	0011011011 1011101000 00000000	2880000 0	480.000 degrees North

117-128	Course over ground	0011010000 10	834	834 degrees
129-137	True heading	1111111111	511	511 degrees
138-143	Time stamp	110001	49	49 second
144-145	Manuever indicator	00	0	Not available
146-148	Spare	000	0	Not used
149	RAIM-flag	0	0	Not used
150-168	Communication state	1100000000 000000110	393222	Stack of communication state

Menurut sumber web *Marinetraffic* dengan nomor MMSI “247320162”. Kapal ini bernama “Golden Gate” dari negara Itali dengan informasi dasar yang ditampilkan[16].

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, telah diimplementasikan Automatic Identification System (AIS) pada Software Defined Radio. Penelitian berlangsung secara real-time pada saat penerimaan sinyal waktu menggunakan perangkat SDR. Perancangan sistem yang telah dibuat pada bagian receiver dapat menghasilkan output sinyal serta pesan yang diterima dalam bentuk biner. Kemudian data biner yang diterima dilakukan demodulasi agar mendapatkan informasi pesan yang ada, dengan membagi bit biner sesuai standar AIS. Frekuensi yang diterima juga bergeser dari frekuensi tengah yang ditetapkan 162 MHz bergeser sebesar 169,47 MHz, pengaruh dari pergeseran tersebut dikarenakan faktor dalam ruangan, dan juga jarak yang dapat mempengaruhi saat pengambilan data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada dosen pengampu atas bimbingan, ilmu, serta Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada tim SANTIKA (Seminar Nasional Informatika Bela Negara) yang telah menyediakan template penelitian yang digunakan dalam penyusunan paper ini. Template tersebut memberikan panduan yang jelas dan sangat membantu penulis dalam menyusun struktur paper. pengalaman berharga yang diberikan selama penelitian ini. Dosen pembimbing telah memberikan arahan yang sangat berarti dalam perancangan dan pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih atas kesabaran, dedikasi, dan inspirasi yang telah diberikan.

REFERENSI

- [1] Harati-Mokhtari, A., Wall, A., Brooks, P., & Wang, J. \ (2007). *Automatic Identification System (AIS): Data Reliability and Human Error Implications*. *Journal of Navigation*, 60(03), 373.
- [2] Ulversoy, T. (2010). Software Defined Radio: Challenges and Opportunities. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 12(4), 531–550.
- [3] Fjodorov A., "Software Defined Radio Implementation of Marine Automatic Identification System (AIS)". Bachelor's thesis, Tallinn 2017.
- [4] G. Sahay, P. Meghana, V. V. Sravani, T. P. Venkatesh and V. Karna, "SDR based single channel S-AIS receiver for satellites using system generator," 2016 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), Bangalore, 2016, pp. 1-6
- [5] M. B. Sruthi, M. Abirami, A. Manikoth, R. Gandhiraj and K. P. Soman, "Low cost digital transceiver design for Software Defined Radio using RTL SDR," 2013 International Mutli-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s), Kottayam, India, 2013, pp. 852-855
- [6] F. Cabrera, N. Molina, M. Tichavska and V. Araña, "Design of a low cost prototype of automatic identification system (AIS) receiver," 2015 1st URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI ATRASC), Las Palmas, 2015, pp. 1-1
- [7] F.R.G. Cruz, R.C.M. Gania, B.W.C. Garcia, J.C.R. Nob, "Software Defined Radio Implementation of a Single Channel Automatic Identification System Receiver," IEEE Region 10 Conference, TENCON, Jeju, Korea, 28 - 31 Oct 2018, pp. 2447 - 2450.
- [8] International Maritime Organization (IMO). Revised Guidelines for the onboard operational use of shipborne automatic identification systems (AIS). Accessed: 06-06-2023. 2015.
- [9] International Telecommunication Union ITU, ITU-R M.1371-5, "Technical Characteristics for an Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access in the VHF Maritime Mobile Frequency Band", February 2014.
- [10] Organisasi Maritim Internasional (IMO). Pedoman yang Direvisi untuk penggunaan operasional di atas kapal dari sistem identifikasi otomatis (AIS) lintas kapal. Diakses: 05-06-2023. 2015.
- [11] Yani, Kalfika. 2012. Software Defined Radio (SDR). Divisi Pusat Teknologi dan Inovasi. PT Len Industri (Persero) 2012.
- [12] "Tentang RTL-SDR", rtl-sdr.com, 2017. [Online]. Tersedia: <http://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>. [Diakses: 07- Juni- 2023]
- [13] F. R. G. Cruz, R. C. M. Gania, B. W. C. Garcia and J. C. R. Nob, "Implementing Automatic Identification System Transmitter on Software Defined Radio," 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), Baguio City, Philippines, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666288.
- [14] Nychis, G., et al. (2009). "Enabling MAC Protocol Implementations on Software-Defined Radios," *Proceedings of the USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI)*.
- [15] Braun, M., et al. (2010). "A Flexible OFDM Receiver for GNU Radio and USRP," *Proceedings of the International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*.
- [16] "GOLDEN GATE/Passenger Ship", Marinetraffic, 2024. [Online]. Available: https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:281594/mmsi:247320162/imo:0/vessel:GOLDEN_GATE#overview. [Accessed: 03- July- 2024]