Communication Interface Adapter Berbasis Mikrokontroler Arduino Terkendali Sinyal *Dual Tone Multi Frequency*

Ika Setyawibawa¹⁾ dan Arief Goeritno²⁾

¹⁾ PT Panorama Graha Teknologi, Jakarta, INDONESIA

Alumni Konsentrasi Teknik Elektronika pada Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor, JB, INDONESIA

email: ¹⁾ ika_setyo82@gmail.com, ²⁾ arief.goeritno@uika-bogor.ac.id

Abstrak– Telah dipabrikasi dua modul elektronika sebagai *gateway* untuk sebuah sistem *communication interface adapter* (CIA) berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3 terkendali sinyal *dual tone multi frequency*. Sistem CIA bersifat unik, karena sebagai penghubung sistem komunikasi dengan protokol berbeda. Keterwujudan sistem CIA dilakukan melalui tahapan integrasi terhadap perangkat keras dan subsistem pendukung, pemrograman, dan uji verifikasi berupa simulasi. Mikrokontroler Arduino UNO R3 digunakan pada modul *gateway* ke-1, sedangkan Arduino MEGA2560 R3 digunakan pada modul *gateway* ke-2. Pemrograman terhadap sistem mikrokontroler dilakukan melalui 5 (lima) tahapan algoritma, yaitu konfigurasi pin, deklarasi variable dan konstanta, ambil dan kirim data, dan keluaran. Struktur sintaks pemrograman didasarkan kepada Arduino *Integrated Development Environment* (IDE). Uji verifikasi dilakukan dalam bentuk simulasi. Diperoleh hasil simulasi terhadap 6 (enam) kondisi, yaitu a) simulasi terhadap rangkaian deteksi dering, b) simulasi terhadap rangkaian *Voice Operated Transmit* (VOX), c) simulasi rangkaian *off hook* modul pesawat telepon, d) simulasi imulasi terhadap rangkaian *tone decoder*, e) simulasi *dial up* nomor telepon melalui tombol *DTMF* dan rangkaian *IC switching*, dan f) simulasi terhadap rangkaian perekam dan penyimpanan suara, berupa (i) perekaman suara dan (ii) pemutaran kembali suara. Keberhasilan uji verifikasi dengan 6 kondisi telah sebagai petunjuk, bahwa sistem CIA berbasis mikrokontroler Arduino berfungsi sebagaimana yang diharapkan.

Kata Kunci: *communication interface adapter, mikrokontroler Arduino, sinyal dual tone multi frequency*

I. PENDAHULUAN

Keberadaan perangkat sistem telekomunikasi pada era sekarang, meliputi perangkat untuk 4 (empat) sistem [1], yaitu: (i) telepon tetap (*fixed phone*), (ii) telepon bergerak (*mobile phone*), (iii) komunikasi radio (SKR, *Radio Communication System, RCS*) atau dikenal dengan istilah sistem telekomunikasi dengan frekuensi radio, dan (iv) telepon satelit. Sistem telepon tetap atau lebih dikenal dengan *Public Switched Telephone Network* (PSTN) [2-4] sebagai jaringan berbasis rangkaian elektronika dengan layanan konvensional teleponi atau *Plain Old Telephone Service* (POTS) [3,4] yang secara umum diatur oleh standar-standar teknis yang dibuat *the International Telecommunication Union* (ITU) [5] pada Sektor Standardisasi Telekomunikasi atau ITU-T dengan

penggunaan pengalamatan E.163/E.164 yang dikenal dengan nomor telepon [5]. Sistem telepon bergerak, merupakan sistem telekomunikasi berbasis jaringan *Global System for Mobile Communications* (GSM). Pengenalan pertama kali GSM secara komersial dimulai pada Desember 1991 oleh operator pemenang dari Negara Finlandia [6]. Sistem komunikasi radio, merupakan hubungan komunikasi dengan penggunaan media udara dan frekuensi gelombang radio (*radio frequency*) sebagai sinyal pembawa informasi, baik informasi bersifat data atau audio [7,8]. Sistem telekomunikasi dengan telepon satelit (*satellite telephone, satellite phone, atau satphone*), merupakan tipe *mobile phone* yang terhubung ke satelit pada orbitnya, bukan berdasarkan komunikasi terestrial (permukaan bumi) [9,10].

Perbedaan sistem telekomunikasi telah menjadi pilihan dalam pemanfaatannya. Perangkat elektronika sebagai jembatan untuk penggabungan antara sistem teleponi (*fixed phone* dan/atau *mobile phone*) dan sistem komunikasi radio telah menjadi suatu keniscayaan. Penggabungan komunikasi kedua perangkat komunikasi tersebut, dikendalikan oleh pengguna melalui penekanan terhadap tombol pada *keypad* [11] yang dikenal dengan *Dual Tone Multi Frequency* (DTMF) [12,13] yang terdapat pada masing-masing perangkat telepon atau perangkat radio. Sistem *Communication Interface Adapter* (CIA) [14,15] berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF bersifat unik sebagai penghubung sistem komunikasi dengan protokol berbeda. Keberadaan sistem CIA sebagai penghubung antara perangkat komunikasi berbasis sistem komunikasi radio [7,8] dan berbasis teleponi (*fixed phone* atau *mobile phone*) [3,4] yang didasarkan kepada komunikasi di permukaan bumi (*terrestrial*) [9,10].

Berpedoman kepada latar belakang tersebut, maka dibuat modul CIA berjumlah 2 (dua) buah sebagai perangkat *gateway* untuk antarmuka (*interface*). Sebuah *gateway* terhubung ke perangkat komunikasi berbasis frekuensi radio dan sebuah *gateway* lainnya terhubung ke perangkat komunikasi berbasis teleponi (*fixed phone* atau *mobile phone*). Diagram blok modul *gateway* berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF untuk CIA, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Diagram blok modul *gateway* berbasis mikrokontroler terkendali sinyal *DTMF* untuk *CIA*

Berdasarkan Gambar 1 ditunjukkan, bahwa sistem berbasis mikrokontroler [16] dapat dikendalikan secara otomatis oleh pengguna melalui nada-nada *DTMF* [12,13]. Keberadaan *CIA* terhubung ke sebuah mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengolah dan penentu sinyal masukan/keluaran (*I/O*) [14,15] dari rangkaian sensor, rangkaian pendukung, dan rangkaian penggerak relai [17,18]. Pengguna (*end user*) dapat tersambung atau terputus melalui penekanan kode angka pada *keypad* yang terdapat pada perangkat komunikasi yang digunakan. Berpedoman kepada rumusan masalah, maka ditetapkan tujuan penelitian yang meliputi a) memperoleh sistem *CIA* terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3 [19] berbantuan keseluruhan perangkat keras dan subsistem pendukung, b) memperoleh struktur pemrograman terhadap sistem mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3 berbasis Arduino *Integrated Development Environment* [20], dan c) memperoleh uji verifikasi terhadap sistem *CIA* terintegrasi berbasis mikrokontroler melalui pemberian simulasi pada jalur masukan dan pengamatan terhadap jalur keluaran.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk dukungan kepada pelaksanaan metode penelitian, diperlukan bahan penelitian berupa: (i) modul *DTMF* [12,13], modul *Voice Operated Transmit (VOX)* [21], modul perekam *ISD2560* [22], rangkaian *tone decoder* [23], dan modul telepon *PSTN* [3,4], (ii) perangkat radio *transceiver* [8,13,24], (iii) perangkat *GSM to analog phone converter* [25], (iv) *board* mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3 [19,20], (v) sejumlah resistor, sejumlah *IC* 4066, kapasitor, transistor, relai elektromekanik, dan dioda, (vi) *IC* regulator 7805, (vii) catu daya (*power supply* 5 dan 12 Vdc), (viii) *downloader* mikrokontroler, dan (ix) program aplikasi *Easily Application Graphical Layout Editor (EAGLE)* [26]. Alat-alat yang digunakan meliputi: (i) satu set *tools* elektronika, (ii) *avometer*, (iii) bor listrik, (iv) *minidril*, (v) *radio digital test set*, dan (vi) *transmission line tester*.

Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

Berdasarkan Gambar 2 dijelaskan dengan acuan tujuan penelitian. Pengintegrasian sistem berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3 terhadap perangkat keras dan subsistem pendukung, dilakukan melalui pembuatan rangkaian perangkat keras, pengintegrasian modul-modul perangkat keras dan perangkat pendukung pada sistem mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3, dan pengawatan peranti elektronika pada jalur masukan dan keluaran yang terhubung ke sistem radio dan teleponi. Struktur pemrograman terhadap sistem mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3, dilakukan melalui penentuan algoritma dalam bentuk diagram alir dan penulisan sintaks yang berbasis Arduino *IDE*. Pelaksanaan uji verifikasi berupa simulasi terhadap sistem *CIA*, meliputi pemberian kondisi terhadap jalur masukan dan diamati kondisi keluaran. Pemberian kondisi terhadap jalur masukan dilakukan kepada rangkaian detektor dering, rangkaian *Voice Operated Transmit (VOX)*, rangkaian *off-hook* terhadap perangkat telepon, modul *busy tone*, *dial-up* nomor telepon melalui rangkaian *switching*, dan modul perekam dan penyimpanan suara.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram blok hubungan antar modul *gateway* pada sistem *CIA* terintegrasi berbasis mikrokontroler terkendali sinyal *DTMF*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 Diagram blok hubungan antar modul gateway pada sistem CIA terintegrasi berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF

A Sistem CIA Terintegrasi Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3

Sistem CIA terintegrasi berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF merupakan sistem yang terdiri atas beberapa rangkaian dan komponen elektronika yang diintegrasikan menjadi satu kesatuan, agar sistem tersebut dapat beroperasi secara optimal. Sistem CIA terintegrasi berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4 Sistem CIA terintegrasi berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF

Berdasarkan Gambar 4 ditunjukkan, bahwa sistem CIA terintegrasi berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3, meliputi (i) modul gateway A1 yang merupakan antarmuka untuk sistem komunikasi berbasis frekuensi radio, (ii) modul gateway A2 yang merupakan antarmuka untuk sistem komunikasi berbasis teleponi, dan (iii) sistem catu daya.

Board mikrokontroler Arduino UNO R3 difungsikan untuk pengolahan data masukan dan keluaran (I/O) pada modul gateway A1. Koneksi pin-pin jalur masukan dan keluaran pada Arduino UNO R3 di modul gateway A1, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 Koneksi pin-pin jalur masukan dan keluaran pada Arduino UNO R3 di modul gateway A1

Board mikrokontroler Arduino UNO R3 terhubung dengan board mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 di modul gateway A2 melalui pin data TX/RX yang digunakan sebagai jalur komunikasi data secara terus-menerus.

Board mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 difungsikan untuk pengolahan data masukan dan keluaran pada modul gateway A2. Koneksi pin-pin jalur masukan dan keluaran pada Arduino MEGA2560 R3 di modul gateway A2, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 Koneksi pin-pin jalur masukan dan keluaran pada Arduino MEGA2560 R3 di modul gateway A2

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, bahwa selain keterhubungan dengan beberapa rangkaian yang berada di modul gateway A2, board mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 juga terhubung ke board mikrokontroler Arduino UNO R3 di modul gateway A1 melalui pin data TX/RX yang digunakan sebagai jalur komunikasi data secara terus menerus

B Pemrograman terhadap Sistem Mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3

Pemrograman terhadap mikrokontroler Arduino UNO R3 dan Arduino MEGA2560 R3 digunakan aplikasi Arduino IDE yang merupakan aplikasi bawaan dari Arduino dengan penggunaan bahasa pemrograman C. Tahapan pemrograman yang harus dilalui, meliputi penentuan algoritma dan penulisan sintaks.

B.1 Penentuan algoritma

Penentuan algoritma dengan tujuan untuk kemudahan dalam pelaksanaan pemrograman, agar terarah dan terstruktur dengan baik. Algoritma yang dibuat dalam program tertanam (*embedded program*) terhadap sistem CIA berbasis mikrokontroler, dilakukan terhadap mikrokontroler Arduino UNO R3 dan Arduino MEGA2560 R3. Algoritma dibuat dalam bentuk diagram alir. Diagram alir pemrograman sistem CIA terintegrasi berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7 Diagram alir pemrograman sistem CIA terintegrasi berbasis mikrokontroler terkendali sinyal DTMF

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa struktur program pada sistem minimum terdiri atas beberapa tahapan, yaitu: (i) konfigurasi pin, (ii) deklarasi variabel dan konstanta, (iii) program utama, (iv) ambil dan kirim data, dan (v) keluaran.

B.2 Penulisan sintaks

Dalam aplikasi Arduino IDE penulisan sintaks lebih dikenal secara umum dengan istilah *sketch*. Keseluruhan penulisan sintaks didasarkan kepada algoritma.

#1) Konfigurasi pin

Tahapan konfigurasi pin merupakan tahapan penentuan pin yang digunakan sebagai keluaran atau sebagai masukan. Pin digunakan sebagai parameter dalam program di mikrokontroler Arduino UNO R3 dan MEGA2560 R3 yang terhubung ke rangkaian VOX, rangkaian DTMF, rangkaian tone decoder, dan pin Carrier Operated Relay (COR), rangkaian relai, rangkaian perekam dan penyimpan suara,

dan rangkaian IC switch. Penulisan struktur sintaks untuk konfigurasi pin, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Penulisan struktur sintaks untuk konfigurasi pin

Modul Gateway A1	Modul Gateway A2
int fox = A0;	int relay = A5;
int relay = A5;	int q1 = A4;
int q1 = A4;	int q2 = A3;
int q2 = A3;	int q3 = A2;
int q3 = A2;	int q4 = A1;
int q4 = A1;	int dtmf = 11;
int rs = 3;	int play = 7;
int rm = 2;	int ch1 = 4;
int play = 8;	int ch2 = 5;
int ch1 = 11;	int ch3 = 6;
int ch2 = 10;	int rs = 2;
int ch3 = 9;	int rm = 3;
int cor = 12;	int rdet = 43;
int ptt = 13;	int btone = 42;
int lcor = 5;	int hold = A0;
int lptt = 6;	int ltlp = 10;
int lind = 7;	int la1 = 8;
int dtmf = 4;	int lsuara = 9;
	int _0 = 44;
	int _1 = 45;
	int _2 = 46;
	int _3 = 47;
	int _4 = 48;
	int _5 = 49;
	int _6 = 50;
	int _7 = 51;
	int _8 = 52;
	int _9 = 53;

#2) Deklarasi variabel dan konstanta

Deklarasi variabel dilakukan untuk pendeklarasian jenis data yang harus dilakukan. Penulisan struktur sintaks untuk deklarasi variabel dan konstanta, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Penulisan struktur sintaks untuk deklarasi variabel dan konstanta

Modul Gateway A1	Modul Gateway A2
String modul = "01";	String modul = "02";
char i;	const long dialtone = 50;
char dat;	const long ringtone = 35;
int nilai = 0;	const long busytone = 20;
int cont = 0;	unsigned long milis = 0;
String data = "";	String kondisi;
String input = "";	char angka;
unsigned long milis = 0;	String input = "";
	String data = "";
	char i;
	int cont = 0;
	int nilai = 0;
	int dat = 0;

#3) Program utama

Sumber dari semua pengontrolan program terletak di blok program utama. Semua perintah pada program diurutkan di program utama, mulai dari kondisi awal, pengambilan data, dan reaksi atau keluaran dari program yang dibuat. Penulisan struktur sintaks untuk program utama pada modul gateway A1, yaitu:

```

void loop() {
  input = "";
  if(Serial.available() > 0) {data = Serial.readString();}
  if(data == modul) {
    delay(200);
    Serial.print("connected");
    digitalWrite(lind, HIGH);
    telpon();
    data = "";
  }
  while(digitalRead(cor) == LOW and i != 'a') {
    digitalWrite(lcor, HIGH);
    if(digitalRead(dtmf) == HIGH) {nomor(); if(i != 'a') {input += i;}}
    if(i == 'a') {i = ' '; setnomor();}
    Serial.print(digitalRead(q2));
    Serial.print(digitalRead(q3));
  }
}

```

```

    Serial.println(digitalRead(q4));*/
}

```

Untuk modul *gateway* A2, yaitu:

```

void loop() {
    dat = 0;
    input = "";
    if(Serial.available() > 0){data = Serial.readString();}
    if(data == "tutup"){digitalWrite(la1, LOW); data = "";
return;}
    if(data == modul){
        digitalWrite(hold, HIGH);
        Serial.print("02 ready");
        digitalWrite(la1, HIGH);
        while(dat != 60){
            unsigned long awalmilis = millis();
            if(awalmilis - milis >= 100){
                milis = awalmilis;
                dat++;
                if(digitalRead(btone) == LOW){nilai++;}
            }
        }
        digitalWrite(hold, LOW);
        dat = 0;
        if(nilai >= dialtone){Serial.print("o");}
        else {digitalWrite(la1, LOW); Serial.print(" ");}
        nilai = 0;
    }
}

```

#4) Ambil dan kirim data

Ambil dan kirim data merupakan perintah atau ketentuan yang sesuai dengan masukan pada sensor tersebut dikirim untuk dan selanjutnya digunakan sebagai isyarat ke penggerak aktuatur berupa relai. Penulisan struktur sintaks untuk program ambil dan kirim data, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Penulisan sintaks untuk program ambil dan kirim data

Modul Gateway A1	Modul Gateway A2
<pre> void nomor(){ i = ' '; delay(200); int d1 = digitalRead(q1); int d2 = digitalRead(q2); int d3 = digitalRead(q3); int d4 = digitalRead(q4); </pre>	<pre> void nomor(){ i = ' '; delay(200); int d1 = digitalRead(q1); int d2 = digitalRead(q2); int d3 = digitalRead(q3); int d4 = digitalRead(q4); </pre>

#5) Keluaran

Keluaran merupakan reaksi yang diakibatkan oleh masukan data yang diberikan sensor dan dihubungkan ke *pin* pada *port* masukan mikrokontroler. Kondisi keluaran program digunakan untuk penghubungan ke rangkaian relai, rangkaian perekam dan panyimpan suara, dan rangkaian *IC switch*. Penulisan struktur sintaks untuk keluaran, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Penulisan struktur sintaks untuk keluaran

Modul Gateway A1	Modul Gateway A2
<pre> void suara1(){ digitalWrite(ch1, LOW); digitalWrite(ch2, HIGH); digitalWrite(ch3, HIGH); digitalWrite(ptt, LOW); digitalWrite(lptt, HIGH); delay(200); digitalWrite(relay, HIGH); digitalWrite(play, LOW); digitalWrite(ptt, LOW); delay(6000); suaraclear(); } </pre>	<pre> void suara1(){ digitalWrite(ch1, LOW); digitalWrite(ch2, HIGH); digitalWrite(ch3, HIGH); delay(200); digitalWrite(relay, HIGH); digitalWrite(play, LOW); delay(4300); suaraclear(); } </pre>

C Uji Verifikasi

Kepastian rangkaian terpasang di *minimum system* berbasis mikrokontroler terkendali oleh sinyal *DTMF* untuk *CIA* telah beroperasi dengan baik, dilakukan uji verifikasi terhadap beberapa rangkaian dan modul dalam bentuk simulasi. Uji verifikasi pada setiap rangkaian dilakukan dengan cara pemberian masukan dan dilakukan pengamatan pada jalur keluaran dengan peralatan yang sesuai. Uji verifikasi juga berfungsi untuk pengamatan terhadap keberadaan jabat-tangan (*handshaking*) antar modul atau rangkaian. Terdapat 6 (enam) simulasi, yaitu a) simulasi terhadap rangkaian deteksi dering, b) simulasi terhadap rangkaian *Voice Operated Transmit (VOX)*, c) simulasi rangkaian *off/on hook* modul pesawat telepon, d) simulasi imulasi terhadap rangkaian *tone decoder*, e) simulasi *dial up* nomor telepon melalui tombol *DTMF* dan rangkaian *IC switching*, dan f) simulasi terhadap rangkaian perekam dan penyimpanan suara, berupa (i) perekaman suara dan (ii) pemutaran kembali suara.

C.1 Simulasi terhadap rangkaian deteksi dering

Sebelum dilakukan simulasi pengkondisian terhadap rangkaian pendeteksi dering, langkah awal yang harus dilakukan berupa pengukuran nilai tegangan di jalur *speaker* dering pada modul pesawat telepon saat terdapat ada panggilan telepon dan pada saat tidak terdapat panggilan telepon. Hasil pengukuran tegangan ini yang digunakan sebagai dasar penentuan kondisi awal *pin* D43 pada mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3. Simulasi rangkaian dering dilakukan dengan pengubahan logika masukan di *pin* D43 mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 sebagai logika *high* atau *low* sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan. Hasil pengukuran tegangan pada saat terdapat dan tidak terdapat panggilan masuk, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil pengukuran tegangan pada saat terdapat dan tidak terdapat panggilan masuk

Kondisi	Tegangan (Vdc)
Tidak terdapat dering	0,931
Terdapat dering	13,37

C.2 Simulasi terhadap rangkaian *Voice Operated Transmit*

Rangkain *Voice Operated Transmit (VOX)* berfungsi untuk pendeteksian sinyal suara saat komunikasi sedang berlangsung. Keluaran pada *pin* dari rangkaian terhubung ke mikrokontroler di *pin* A0. Untuk keperluan pendeteksian sinyal suara, perlu dilakukan pengaturan pada resistor variabel yang terdapat pada rangkaian, sehingga diperoleh data digital 0 dan 1. Simulasi pada rangkaian *VOX* dilakukan dengan pemberian masukan berupa sinyal suara dengan penggunaan *radio digital test set* Aeroflex tipe 3920 untuk pengaktifan fitur *Audio Frequency Generator (AF Generator)*. Alat ukur disetel pada nilai frekuensi sinyal suara yang dapat didengar manusia, yaitu dalam rentang 20–20 kilohertz dengan level tegangan tidak lebih dari 200 milivolt. *Port* keluaran audio dihubungkan ke *pin* masukan rangkaian *VOX*. Pengetesan dilakukan dengan alat ukur dengan penyetelan nilai frekuensi 1 kilohertz. dengan level 2,314 milivolt.

Tampilan penyetelan pada *Audio Frequency Generator*, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8 Tampilan penyetelan pada *Audio Frequency Generator*

Tampilan saat pengkondisian rangkaian *Voice Operated Transmitt* dengan penerimaan masukan sinyal suara dari alat ukur, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9 Tampilan saat pengkondisian rangkaian *Voice Operated Transmitt* dengan penerimaan masukan sinyal suara dari alat ukur

C.3 Simulasi terhadap rangkaian *off/on hook*

Rangkaian *off/on hook* modul pesawat telepon berupa rangkaian relai yang dipasang pada modul *gateway A2* terhubung ke modul pesawat telepon. Modul penggerak relai digunakan sebagai pengganti *switch off hook* modul pesawat telepon dengan tujuan, agar kondisi *off/on hook* modul pesawat telepon dapat dikendalikan oleh mikrokontroler. Tampilan relai *off/on hook* untuk modul pesawat telepon, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Gambar 10 Tampilan relai *off/on hook* untuk modul pesawat telepon

Simulasi dilakukan pada saat sistem dengan kondisi terima atau tidak terima panggilan. Saat tidak terima panggilan kondisi kaki relai dalam kondisi *Normally Open (NO)* dan saat terima panggilan kondisi kaki relai dalam kondisi *Normally Close (NC)*. Kondisi kaki relai rangkaian *off/on hook*, seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Kondisi kaki relai rangkaian *off/on hook*

Kondisi	Status Kaki Saklar	Keterangan
Saat tidak dilakukan panggilan	<i>Normally Close</i>	<i>on-hook</i>
Saat dilakukan panggilan	<i>Normally Open</i>	<i>off-hook</i>
Saat terima panggilan	<i>Normaly Open</i>	<i>off-hook</i>

C.4 Simulasi terhadap rangkaian *tone decoder*

Keberadaan rangkaian *tone decoder* pada sistem *CIA*, digunakan sebagai sensor berbasis frekuensi *tone* pada jalur telepon pada saat modul pesawat telepon terjadi *on hook* atau *off hook*. Perlakuan terhadap rangkaian berupa pengukuran frekuensi *tone* pada jalur telepon pada (a) saat kondisi modul telepon *PSTN off-hook*, (b) saat penerimaan sinyal sibuk, dan (c) saat modul telepon terjadi panggilan. Nilai frekuensi pada modul pesawat telepon *PSTN* dapat diketahui dengan penggunaan alat ukur *Radio Digital Test Set* merek Aeroflex tipe 3920. Hasil pengukuran frekuensi *tone* pada modul pesawat telepon, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil pengukuran frekuensi *tone* pada modul pesawat telepon

Kondisi	Periode Waktu (detik)	Frekuensi (hertz)
<i>Off-hook</i>	kontinyu	450
sibuk	0,5 detik <i>on</i> ; 0,5 detik <i>off</i>	450
dilakukan panggilan	1 detik <i>on</i> ; 4 detik <i>off</i>	450

C.5 Simulasi terhadap rangkaian tombol *DTMF* dan *IC switching*

Simulasi pengkondisian terhadap rangkaian *DTMF*, digunakan bantuan aplikasi *DTMF Encoder* sebagai generator sinyal frekuensi *DTMF* dan alat ukur *Radio Digital Test Set* merek Aeroflex tipe 3920 untuk penunjukan bentuk gelombang frekuensi sinyal *DTMF* sesuai dengan tombol angka yang ditekan. Tampilan aplikasi *DTMF Encoder* untuk simulasi pengkondisian rangkaian *DTMF*, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

Gambar 11 Tampilan aplikasi *DTMF Encoder* untuk simulasi pengkondisian rangkaian *DTMF*

Tampilan nilai frekuensi sinyal *DTMF* pada saat penekanan angka 1, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.

Gambar 12 Tampilan nilai frekuensi sinyal *DTMF* pada saat penekanan angka 1

C.6 Simulasi terhadap rangkaian perekam dan penyimpan suara

Simulasi terhadap rangkaian perekam dan penyimpan suara berupa a) perekaman suara dan b) pemutaran kembali suara.

a). Perekaman suara

Perlakuan saat perekaman suara berupa penentuan alamat dari suara yang direkam. Jumlah suara yang dapat direkam pada rangkaian perekam dan penyimpan suara, seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Jumlah suara yang dapat direkam pada rangkaian perekam dan penyimpan suara

di modul gateway A1		di modul gateway A2	
Alamat	Suara	Alamat	Suara
0000 0000	Slot tidak tersedia	0000 0000	slot tidak tersedia
0000 1111	02, tersambung, masukan nomor telepon akhiri dengan tanda pagar	0000 1111	masukkan nomor slot
1111 0011	diputus	1111 0011 1111 1100	01 tersambung diputus

Berdasarkan Tabel 8 ditunjukkan, bahwa pengalaman suara yang direkam berupa 8 bit data biner melalui pin A0 sampai A7 dengan langkah-langkah (i) setelah diubah posisi saklar S3 (*play/record*), agar posisi pin P/R terhubung dengan *ground*; (ii) pengubahan posisi saklar S1, agar pin PD tidak terhubung dengan *ground*; (iii) penekanan S2 untuk mulai perekaman dengan berbicara di mikrofon; dan (iv) untuk pengakhiran perekaman, diubah posisi saklar S1, agar pin PD terhubung dengan *ground* dan S2 dilepas.

b). Pemutaran kembali suara

Kondisi sistem saat pemunculan kembali suara, seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Kondisi sistem saat pemunculan kembali suara

Kondisi	Suara	Lokasi
Dari radio HT melakukan penekanan tombol 02# sebelum komunikasi terhubung	"02 tersambung, masukkan nomor telepon akhiri dengan tanda pagar"	Modul gateway A1
Sebelum modul gateway A1 dan modul gateway A2 terhubung kemudian dari radio HT menekan selain tombol 02 sebelum tanda #	"slot tidak tersedia"	Modul gateway A1
Saat modul gateway A1 dan modul gateway A2 terhubung kemudian dari radio HT atau penelpon menekan tombol *, dan rangkaian tone dekoder tidak menerima nada sambung (<i>dial tone</i>)	"diputus"	Modul gateway A1 dan Modul gateway A2
Sebelum modul gateway A1 dan modul gateway A2 terhubung kemudian penelpon menekan selain tombol 01 sebelum tanda #	"slot tidak tersedia"	Modul gateway A1
Sebelum modul gateway A1 dan modul gateway A2 terhubung kemudian rangkaian relai off hook aktif, dan modul pesawat telepon menerima panggilan	"Masukkan nomor slot"	Modul gateway A2
Setelah modul pesawat telepon off hook, penelpon menekan 01# dari perangkat telepon yang digunakan	"01 tersambung"	Modul gateway A2
Setelah modul pesawat telepon off hook, modul gateway A1 dan modul gateway A2 belum terhubung kemudian penelpon menekan selain tombol 01 sebelum tanda #	"slot tidak tersedia"	Modul gateway A2

Berdasarkan Tabel 9 ditunjukkan, bahwa pelaksanaan

pemutaran kembali suara yang telah disimpan, dilakukan dengan cara tidak jauh berbeda dengan cara untuk pelaksanaan perekaman. Proses pemanggilan suara tersimpan pada rangkaian perekam dan penyimpan suara dilakukan oleh mikrokontroler dengan pengaktifan port digital jalur keluaran pada pin D8, D9, D10, dan D11 pada mikrokontroler Arduino UNO R3 di modul gateway A1 dan port digital jalur keluaran pada pin D4, D5, D6, dan D7 pada mikrokontroler Arduino MEGA2560 R3 di modul gateway A2.

Untuk pemutaran kembali suara yang telah direkam, dilakukan dengan langkah-langkah (i) Penentuan alamat suara yang direkam melalui pin A0 sampai A7 berupa kombinasi data 8 bit biner; (ii) Pengubahan posisi saklar S3, agar posisi pin P/R tidak terhubung dengan *ground*; (iii) Pengubahan posisi saklar S1, agar pin PD tidak terhubung dengan *ground*; dan (iv) Penekanan tombol S2, agar suara terekam pada alamat yang sudah ditentukan dapat terdengar di *loudspeaker*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Integrasi sistem minimum berbasis mikrokontroler Arduino sebagai CIA terkendali sinyal DTMF berupa dua buah modul gateway. Kedua modul tersebut, yaitu gateway A1 dan gateway A2 digabung menjadi satu kesatuan sistem yang di dalamnya terdiri atas beberapa rangkaian elektronika. Modul gateway A1 merupakan antarmuka yang terhubung dengan perangkat komunikasi berbasis sistem komunikasi radio, sedangkan modul gateway A2 merupakan antarmuka gateway yang terhubung dengan perangkat komunikasi berbasis teleponi.

Pemrograman terhadap sistem CIA berbasis Arduino IDE, meliputi penentuan algoritma dan penulisan sintaks. Pemrograman merupakan bentuk pengendalian terhadap sistem minimum pada perangkat komunikasi berbasis sistem komunikasi radio dan teleponi (*PSTN* atau *GSM*). Pengendalian berkaitan dengan penyambungan dan pemutusan koneksi perangkat komunikasi berbasis frekuensi radio dan teleponi.

Simulasi meliputi a) pemberian kondisi terhadap jalur masukan rangkaian detektor dering dan diamati kondisi keluaran dari rangkaian tersebut, b) pemberian kondisi terhadap rangkaian Voice Operated Transmit (VOX) dengan pemberian kondisi berupa audio pada jalur masukan dan jalur keluaran dihubungkan ke radio Motorola GM338, c) pemberian kondisi terhadap rangkaian off-hook terhadap perangkat telepon yang terhubung dengan saluran telepon, d) pemberian kondisi terhadap masukan pada jalur masukan modul busy tone dengan nada busy tone dengan frekuensi 425 hertz dalam periode 0,5 detik, e) pemberian kondisi terhadap dial-up nomor telepon melalui rangkaian switching untuk dial-up nomor telepon, dan f) perekaman dan pemutaran kembali suara dengan modul perekam dan penyimpan suara, berupa (i) perekaman suara dan (ii) pemutaran kembali suara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.T.J. Penttinen. "Introduction," in *The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems*. Chichester, WS: John Wiley & Sons, Ltd., 2015, pp. 1-19.
- [2] R. Horak, "Public Switched Telephone Network," in *Telecommunications and Data Communications Handbook*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 200-246.
- [3] B. Kushnick. (2013, January, 7). *What Are the Public Switched Telephone Networks, 'PSTN' and Why You Should Care?*. [Online]. Available: http://www.huffingtonpost.com/bruce-kushnick/public-switched-telephone-networks_b_2377773.html
- [4] Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi, Departemen Perhubungan, (2005, Februari, 4). "Keputusan Direktur Jenderal Pos dan Telekomunikasi Nomor 13/Dirjen/2015, tentang Persyaratan Teknis Perangkat Videophone PSTN, Direktur Jenderal Pos dan Telekomunikasi". [Online]. Tersedia di: http://www.postel.go.id/downloads/41/20120120135504-KEPUTUSAN_DIRJEN_POSTEL_NOMOR_13_2005.pdf
- [5] ITU. "ITU History". [Online]. Available: <http://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>.
- [6] A.A. Huurdeman, "Cellular Radio," in *The Worldwide History of Telecommunications*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2003, p. 529.
- [7] R. Sherman. (1999). *Radio Communication System*. [Online]. Available: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/radio.htm>.
- [8] I. Setyawibawa dan A. Goeritno, "Rancang Bangun Sistem Komunikasi Radio Berbasis *Digital Trunking* Untuk Sarana Komunikasi pada Pengelolaan Jalan Tol Trans Sumatera," di Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Informatika (SNATIF ke-4 Tahun 2017), Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus, 2017, hlm. 181-193.
- [9] Worldwide telecommunications system using satellites, by R.A. Wiedeman and P.A. Monte. (1999, June, 22). U.S. 5915217 A [Online]. Available: <http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US5915217.pdf>
- [10] W.S. Yoon and Y.D. Kim, "Satellite Communications Systems Applications," in *Systems, Controls, Embedded Systems, Energy, and Machines*, Richard C. Dorf, Editor, Boca Raton, FL: CRC Press, 2006, pp. 15.9.-15.28.
- [11] L. Schenker. (1960, January). "Pushbutton Calling with a Two-Group Voice-Frequency Code," in *The Bell System Technical Journal*, (Version of Record Online: 29 Jul 2013). 39 (1), pp. 235-255. [Online]. Available: <https://ia902707.us.archive.org/11/items/bstj39-1-235/bstj39-1-235.pdf>
- [12] F. Durda. (2006). *Dual Tone Multi-Frequency (Touch-Tone®) Reference*. [Online]. Available: <http://nemeses.lonestar.org/reference/telecom/signaling/dtmf.html>
- [13] A.Z. Dodd, *The Essential Guide to Telecommunications*, 5th Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012, p. 183.
- [14] Communications Interface Adapter, by S.F. Davidson, D.G Maglaya, D.A. Sofia, S.J. Collar, J.J. Stone. (1999, Nov., 25). WO Patent 1999060723 A1, [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/WO1999060723A1?cl=en>
- [15] M.A. Seibert, A.J. Culotta, Jr. "Communications interface for wireless communications headset". U.S. Patent 6745014 B1, June 1, 2004.
- [16] M.A. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, *The AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2011, pp. 40-43.
- [17] S.F. Ginting, A. Goeritno, dan R. Yatim, "Kinerja Sistem Pengontrolan Berbantuan Sensor Voice Recognition dan Mikrokontroler ATmega16 untuk Pengoperasian Aktuator," di *Prosiding SNTI V-2016 Universitas Trisakti*, Jakarta, 18 Mei 2016, hlm. 359-365.
- [18] A. Goeritno, dan S.F. Ginting, "Prototipe Sistem Pengontrolan Berbasis Voice Recognition Sensor dan Mikrokontroler untuk Pengoperasian Aktuator," pada *JUTEKS Jurnal Teknik Elektro dan Sains*, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor, vol. 3, no. 2, Oktober 2016. [Online]. 3(2), hlm. 7-15. Tersedia di: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/JUTEKS/article/view/331/eng>.
- [19] B. Massimo and M. Shiloh. (2015, December). *Getting Started with Arduino. (3rd Edition)*. [Online]. Available: http://www.esc19.net/cms/lib011/TX01933775/Centricity/Domain/110/make_gettingstartedwitharduino_3rdedition.pdf
- [20] J. Purdum. (2012, September 10). *Beginning C for Arduino: Learn C Programming for the Arduino and Compatible Microcontrollers*. (1st ed.) [Online]. Available: <http://www.lakos.fs.uni-lj.si/images/Predmeti/MK/2014/Beginning%20C%20for%20Arduino.pdf>.
- [21] Motorola. (2010, Oct., 5). *How to Build Voice Activated Switch*. [Online]. Available: <http://www.circuit-finder.com/categories/sensor/sound-sensor/443/voice-activated-switch>
- [22] Winbond. (2003, June). *ISD2532/40/48/64: Single-Chip, Multiple-Messages, Voice Record/Playback Device 32-, 40-, 48-, and 64-Second Duration*. San Jose, CA: Winbond Electronics Corp. [Online]. Available: <http://www.ozitronics.com/data/ISD2532.pdf>.
- [23] Busy tone detecting method and apparatus, by Z. Weining. (2011). CN Patent 101272420 B, [Online]. Available: https://encrypted.google.com/patents/CN101272420B?cl=en&hl=en&output=html_text.
- [24] T.M. Cover and J.A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Second Edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2006, pp. 524-548.
- [25] S.M. Redl, M.K. Weber, and M.W. Oliphant, *GSM and Personal Communication Handbook*, Norwood, MA: Artech House, Inc., 1998, pp. 172-173.
- [26] CadSoft. *EAGLE Easily Applicable Graphical Layout Editor Manual Version 5*. Palm Beach, FL: CadSoft Computer Inc., pp. 37-80, 2010.