

**RANCANG BANGUN JARINGAN SENSOR NIRKABEL UNTUK
PEMANTAUAN KADAR GAS CO, CO₂ DAN SUHU
MENGUNAKAN *TRANSMITTER-RECEIVER*
NRF24L01+ BERBASIS ARDUINO**

(Skripsi)

Oleh

Doni Mailana Pangestu



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN JARINGAN SENSOR NIRKABEL UNTUK PEMANTAUAN KADAR GAS CO, CO₂ DAN SUHU MENGGUNAKAN TRANSMITTER-RECEIVER NRF24L01+ BERBASIS ARDUINO

Oleh

DONI MAILANA PANGESTU

Sistem pemantauan gas CO, CO₂ dan suhu menggunakan jaringan sensor nirkabel dapat memberikan informasi pemantauan dari 3 titik pengukuran yang berbeda secara *realtime* dengan kecepatan 250 kbps dan dilengkapi program *interface* yang dibuat menggunakan Microsoft Visual Studio 2013. Sistem pengirim terdiri dari 3 buah perangkat keras dan sistem penerima berjumlah 1 buah perangkat keras. Semua sistem dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560. Pengujian sensor MQ-7 dan sensor MQ-135 menggunakan alat StarGas 898 serta pengujian sensor DHT-22 menggunakan Termometer HTC-2. Proses pengujian sensor hanya untuk mendapatkan persamaan konversi dan setelah alat dirakit, alat tidak dikalibrasi ulang. Pengukuran kadar gas CO, CO₂ dan suhu dilakukan di area parkir sepeda motor basement Mall Boemi Kedaton dan di area parkir sepeda motor belakang Mall Ramayana Rajabasa sebanyak 3 kali pengukuran perhari (pagi, siang, sore) selama 7 hari. Data hasil pengukuran dari 3 titik pengirim dikirimkan secara *wireless* menggunakan modul nRF24L01+ ke titik penerima untuk ditampilkan ke *Personal Computer* (PC) serta disimpan kedalam *database* Microsoft Access. Jarak pengiriman terjauh pada pengujian tanpa penghalang (*line of sight*) diperoleh sebesar 375 meter dan pada pengujian dengan adanya penghalang (*non line of sight*) diperoleh sebesar 151 meter.

Kata Kunci: Jaringan Sensor Nirkabel, Sensor gas, Arduino Mega 2560, nRF24L01+, *Interface*.

ABSTRACT

DESIGN OF WIRELESS NETWORK SENSOR SYSTEM FOR MONITORING THE CONCENTRATION OF CO, CO₂ GAS AND TEMPERATURE USING TRANSMITTER-RECEIVER NRF24L01+ BASED ON ARDUINO

BY

DONI MAILANA PANGESTU

The CO, CO₂ gas and temperature monitoring system were using a wireless sensor network can provide monitoring information from 3 different measurement points in realtime with speeds of 250 kbps and equipped with interface programs created by Microsoft Visual Studio 2013. The system for sending consists of 3 pieces of hardware and systems the receiver is 1 piece of hardware. All systems are controlled by the microcontroller Arduino Mega 2560. Testing of MQ-7 sensors and MQ-135 sensors uses StarGas 898 devices and DHT-22 sensor testing using HTC-2 Thermometers. The sensor testing process is only to get the conversion equation and after the tool is assembled, the tool is not recalibrated. Measurements of CO, CO₂ and temperature levels were carried out in the Boemi Kedaton Mall basement parking area and in the motorcycle parking area behind the Ramayana Rajabasa Mall 3 times a day (morning, afternoon, evening) for 7 days. Measurement data from 3 sending points are sent wirelessly using the nRF24l01 + module to the receiving point to be displayed to the Personal Computer (PC) and stored into the Microsoft Access database. The distance of the furthest shipping on the line of sight is 375 meters and the non line of sight is 151 meters.

Keywords: *Wireless Sensor Network, Gas Sensors, Arduino Mega 2560, nRF24l01+, Interface.*

**RANCANG BANGUN JARINGAN SENSOR NIRKABEL UNTUK
PEMANTAUAN KADAR GAS CO, CO₂ DAN SUHU MENGGUNAKAN
TRANSMITTER-RECEIVER NRF24L01+
BERBASIS ARDUINO**

Oleh

DONI MAILANA PANGESTU

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

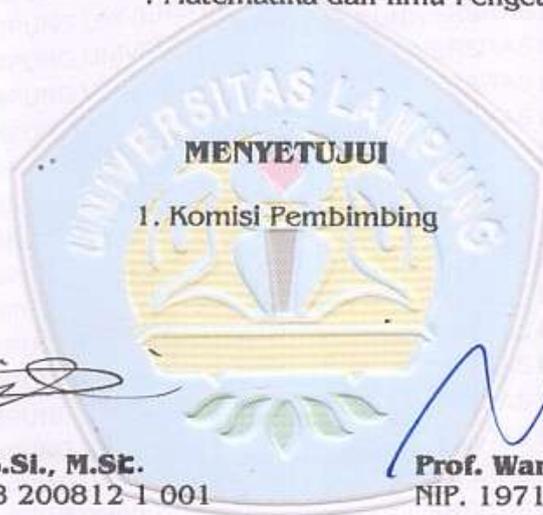
Judul Skripsi : **Rancang Bangun Jaringan Sensor Nirkabel Untuk Pemantauan Kadar Gas CO, CO₂ dan Suhu Menggunakan Transmitter-Receiver NRF24101+ Berbasis Arduino**

Nama Mahasiswa : **Doni Mailana Pangestu**

Nomor Pokok Mahasiswa: 1317041011

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 19820618 200812 1 001

Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.
NIP. 19710212 199512 1 001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

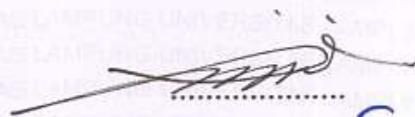
Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

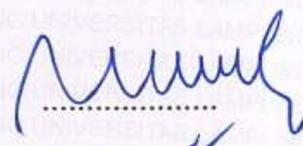
Ketua

: **Dr. Junaldi, S.Si., M.Sc.**



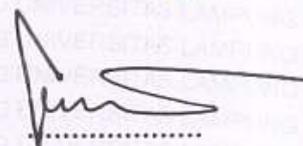
Sekretaris

: **Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP. 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 27 Mei 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Juni 2019



Doni Mailana Pangestu
NPM. 1317041011

RIWAYAT HIDUP



Penulis yang bernama lengkap Doni Mailana Pangestu dilahirkan pada tanggal 12 Mei 1995 di Desa Gisting Bawah, Kec. Gisting, Kab. Tanggamus, anak keempat dari pasangan Bapak Priyanto S. dan Ibu Siti Nuryani.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD N 1 Purwodadi pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 1 Gisting pada tahun 2010 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA N 1 Sumberejo pada tahun 2013. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN pada tahun 2013. Penulis mengambil KBK Instrumentasi pada Jurusan Fisika. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam (Persero) Tarahan tepatnya di bagian *Power Plant* PLTU Bukit Asam 2x8 MW dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sumber Agung, Kec. Bandar Surabaya, Kab. Lampung Tengah.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Garuda BEM FMIPA Unila pada tahun 2013/2014, Anggota Bidang Kominfo HIMAFI FMIPA Unila tahun 2015/2016, Anggota PIC (*Physics Instrument Club*) tahun 2015/2016. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum Sains Dasar Fisika, Fisika Komputasi dan Fisika Inti.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Dari hati yang terdalam dan kerendahan hati serta rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kasih sayang dan segala nikmat-Nya, kupersembahkan karya kecil ini kepada:

Kedua orang tua tersayang, **Bapak Priyanto S.** dan **Ibu Siti Nuryani.**
“Terima kasih atas kasih sayang, pengorbanan serta doa yang selalu dipanjatkan untuk kelancaran dan keberhasilanku”

Kakak-Kakakku **Riska Juniar, Devi Novitasari, Dona Mailani Pangestika**
beserta **Keluarga Besarku**
“Terima kasih semuanya selalu memberikan motivasi dan saran”

Serta Almamater Tercinta
“**UNIVERSITAS LAMPUNG**”

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga sanantiasa tercurahkan kepada baginda Nabi Besar Muhammad SAW beserta seluruh keluarga dan sahabatnya yang merubah pada zaman yang gelap menjadi zaman yang terang seperti sekarang ini. Dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang selalu tulus mendukung, membantu, membimbing dan mendo'akan dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu, yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan selalu mendo'akan agar diberikan kelancaran dalam proses penyelesaian Skripsi ku ini;
2. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. sebagai Pembimbing I yang telah dengan sabar membimbing dan memberikan motivasi, nasehat, masukkan ide, serta pengalaman-pengalamannya;
3. Bapak Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D. sebagai Pembimbing II atas ketersediaanya memberikan bimbingan, kritik maupun saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. sebagai Pembahas yang telah memberikan masukkan serta saran-saran selama penulisan skripsi ini;

5. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D selaku Pembimbing Akademik;
6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika dan Seluruh Dosen serta Staf Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung;
7. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung;
8. Kakak-kakak Ku Riska Juniar, Devi Novitasasi dan Dona Mailani Pangestika yang selalu memberikan motivasi, semangat serta selalu ada pada saat suka dan duka;
9. Bapak Fitra yang telah memberikan bantuan serta izin pada saat pengambilan data lapangan di area Parkir Sepeda Motor Mall Boemi Kedaton.
10. Bapak Lasto yang telah memberikan bantuan serta izin pada saat pengambilan data lapangan di area Parkir Sepeda Motor Mall Ramayana Rajabasa.
11. Kakak-Kakak Fisika 2011 Kak Edo, Kak Yuri, Kak Heri yang selalu memberikan semangat dalam proses penyelesaian skripsi ini.
12. Teman-teman Fisika 2013 Fauza, Rio, Agung, Randi, Ilwan, Tanto, Neta, Letia, Defri, Azmi, Rizky, Ridho, Adit, Ratna, Maria, Isma, Lita dan teman-teman lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu;
13. Adik-adik Fisika 2014 & Fisika 2015 Angga, Yulian, Efendi, Hesti, Rani, Aftiyah, Tomy, Wahyu, Indah dan adik-adik lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu;
14. Teman-teman Teknik Mesin 2013 Prasetyo Budiyanto, Tata Kurniawan, Didi Marsoni, Kadek Sukanadi, I Putu Dharma Wijaya;

15. Teman-teman KKN Sumber Agung yang selalu tanya kapan wisuda
Nurhidayat, Danu Firmansyah, Resti Anggraini, Khoirunnisa, Gardina Jufi
Andini dan Murtika Sari Reisy Shinta.

MOTTO

“Pengetahuan adalah senjata paling hebat untuk mengubah dunia”

(Nelson Mandela)

KATA PENGANTAR

Assalamu''alaikum Warohmatulllah Wabarakatuh,

Alhamdulillah rabbil''alamin. Segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa memberikan nikmat iman serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini berjudul “Rancang Bangun Jaringan Sensor Nirkabel Untuk Pemantauan Kadar Gas CO, CO₂ dan Suhu Menggunakan *Transmitter-Receiver* NRF24L01+ Berbasis Arduino”

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mendapat gelar Sarjana Sains dari Universitas Lampung. Penulis menyadari skripsi ini masih banyak kelemahan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun terhadap kelanjutan dan hasil yang akan dicapai. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 21 Juni 2019
Penulis

Doni Mailana Pangestu

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
SANWACANA	ix
MOTTO	xii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
 I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	6
1.5. Batasan Masalah.....	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait	8
2.2. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	13
2.3. Pencemaran Udara	14
2.4. Sumber Pencemaran Udara	16
2.5. Bahan Pencemar Udara	18
2.6. Karbon Monoksida (CO)	19
2.7. Karbon Dioksida (CO ₂)	20
2.8. Suhu	22
2.9. Sistem <i>Monitoring</i>	23
2.10. Jaringan Sensor Nirkabel (JSN)	24
2.10.1. Pengertian dan Perkembangan JSN	24
2.10.2. Arsitektur JSN	26
2.10.3. Bagian-bagian WSN	27
2.11. Arduino Mega 2560 R3	27
2.12. <i>Software</i> Arduino	29
2.13. Modul <i>Wireless</i> nRF24l01+	31
2.14. Sensor MQ-7	33
2.15. Sensor MQ-135	34
2.16. Sensor DHT-22	35
2.17. Modul RTC DS-3231	37
2.18. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	38
2.19. Microsoft Visual Studio 2013	39
2.20. Microsoft Office Access Database	40

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	43
3.2. Alat dan Bahan	43
3.3. Prosedur Penelitian	44
3.3.1. Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	47
3.3.2. Perancangan Rangkaian Keseluruhan	49
3.3.3. Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	54
3.3.4. Perancangan Aplikasi <i>Interfacing</i>	56
3.3.5. Kalibrasi Sensor	58
3.3.6. Teknik Pengambilan Data	62

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Realisasi Alat	63
4.2. Analisis Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	65
4.2.1. Program Mikrokontroler Arduino	65
4.2.2. Program <i>Interfacing</i> dan <i>Database</i>	80
4.3. Analisis Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	92
4.3.1. Sistem Catu Daya	92
4.3.2. Pengujian LCD 20x4	94
4.3.3. Pengujian Sensor MQ-7	95

4.3.4.	Pengujian Sensor MQ-135	98
4.3.5.	Pengujian Sensor DHT-22	101
4.3.6.	Sistem Pengiriman Data.....	104
4.4.	Analisis Sistem Secara Keseluruhan	108
4.4.1.	Hasil Pengukuran Gas CO, Gas CO ₂ dan Suhu di Area Parkir Sepeda Motor Basement Mall Boemi Kedaton.....	108
4.4.2.	Hasil Pengukuran Gas CO, gas CO ₂ dan Suhu di Area Parkir Sepeda Motor Mall Ramayana Rajabasa	117

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan.....	127
5.2.	Saran.....	128

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Rancangan perangkat keras sistem pemantauan kelembaban tanah menggunakan sensor nirkabel berbasis Arduino Uno.....	9
Gambar 2.2. Aplikasi antar muka (<i>interface</i>) pengolahan data masuk pemantau data jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk peringatan dini terhadap banjir	10
Gambar 2.3. Hasil perakitan setiap node (<i>node</i>) pada jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk pemantauan suhu dan kelembaban pada tanaman jarak.	11
Gambar 2.4. Proses pengukuran ECG untuk dua orang pasien menggunakan nRF24I01+.	12
Gambar 2.5. Hasil alat pemantauan keadaan suatu lingkungan (A) node (<i>node</i>) jaringan sensor nirkabel (JSN), (B) sensor pada setiap node, (C) program antar muka (<i>interface</i>) pada alat pemantauan keadaan suatu lingkungan.....	13
Gambar 2.6. Proses dalam sistem pemantauan (<i>monitoring</i>).....	23
Gambar 2.7. Arsitektur JSN secara umum.....	26
Gambar 2.8. Arduino Mega2560 R3	29
Gambar 2.9. Tampilan perangkat lunak (<i>software</i>) Arduino IDE	30
Gambar 2.10. Modul <i>Transmitter-Receiver</i> nRF24I01+.....	32
Gambar 2.11. Sensor MQ-7	34
Gambar 2.12. Sensor Kualitas Udara MQ-135	35
Gambar 2.13. Sensor DHT-22	36
Gambar 2.14. Bentuk fisik DS-3231 dan keterangan kaki-kakinya	38

Gambar 2.15. <i>Liquid crystal display (LCD) Character 20x4</i>	39
Gambar 2.16. Tampilan IDE <i>Microsoft Visual Studio 2013</i>	40
Gambar 2.17. Tampilan antar muka pengguna <i>Microsoft Acces Database 2007</i>	41
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 3.2. Blok diagram perangkat keras (<i>hardware</i>).....	47
Gambar 3.3. Skema rancangan rangkaian keseluruhan	49
Gambar 3.4. Skema rangkaian <i>Node 1, Node 2 dan Node 3</i>	52
Gambar 3.5. Skema rangkaian pada <i>coordinator (receiver)</i>	54
Gambar 3.6. Diagram alir perancangan perangkat lunak (<i>software</i>)	55
Gambar 3.7. Diagram alir perancangan aplikasi <i>interfacing</i>	57
Gambar 3.8 Tabung kalibrasi sensor MQ-7 dan sensor MQ-135	58
Gambar 3.9 alat-alat yang digunakan dalam proses kalibrasi.....	60
Gambar 3.10 (a) Kalibrasi Sensor DHT-22 dengan Thermometer HTC-2 pada waktu pagi hari, (b) Kalibrasi Sensor DHT-22 dengan Thermometer HTC-2 pada waktu siang hari, (c) Kalibrasi Sensor DHT-22 dengan Thermometer HTC-2 pada waktu malam hari	61
Gambar 4.1 Perangkat keras pengirim (a) Tampak Atas (b) Rangkaian Terpasang.....	63
Gambar 4.2 Perangkat keras penerima (a) Tampak atas (b) Rangkaian Terpasang.....	64
Gambar 4.3 Struktur <i>database</i> pada program <i>Interface</i>	80
Gambar 4.4 Hasil desain program <i>Interface</i>	81
Gambar 4.5 Hasil konversi dari <i>database</i> Microsoft Acces menjadi <i>Sheet</i> Microsoft Excel.....	91
Gambar 4.6 Rangkaian modul penaik tegangan (<i>step up</i>) XL6009	93
Gambar 4.7 Skema rangkaian catu daya	93

Gambar 4.8 Hasil pengujian rangkaian LCD 16x4.....	94
Gambar 4.9 Alat ukur StarGas 898	95
Gambar 4.10 Grafik kalibrasi keluaran ADC sensor MQ-7 dengan kadar gas CO	96
Gambar 4.11 Grafik kalibrasi keluaran ADC sensor MQ-135 dengan kadar gas CO ₂	99
Gambar 4.12 (a) Grafik hubungan antara nilai suhu sensor DHT-22 di node 1 dengan Thermometer HTC-2, (b) Grafik hubungan antara nilai suhu sensor DHT-22 di node 2 dengan Thermometer HTC-2, (c) Grafik hubungan antara nilai suhu sensor DHT-22 di node 3 dengan Thermometer HTC-2.....	103
Gambar 4.13 (a) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 1, (b) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 2, (c) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 3	109
Gambar 4.14 (a) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO ₂ di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 1, (b) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO ₂ di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 2, (c) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO ₂ di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 3	112
Gambar 4.15 (a) Grafik rata-rata hasil pengukuran suhu di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 1, (b) Grafik rata-rata hasil pengukuran suhu di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 2, (c) Grafik rata-rata hasil pengukuran suhu di area parkir sepeda motor Basement Mall Boemi Kedaton pada node 3	115
Gambar 4.16 (a) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 1, (b) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 2, (c) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 3.....	118

Gambar 4.17 (a) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO₂ di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 1, (b) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO₂ di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 2, (c) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas CO₂ di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 3..... 121

Gambar 4.18 (a) Grafik rata-rata hasil pengukuran suhu di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 1, (b) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas suhu di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 2, (c) Grafik rata-rata hasil pengukuran gas suhu di area parkir sepeda motor Mall Ramayana Rajabasa pada node 3..... 124

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Data spesifikasi <i>Board</i> Arduino Mega 2560 R3.	28
Tabel 2.2. Data karakteristik <i>transceiver</i> nRF24101+	33
Tabel 3.1. Hasil pengujian sensor MQ-7	60
Tabel 3.2. Hasil pengujian sensor MQ-135	60
Tabel 3.3. Hasil kalibrasi sensor DHT-22.....	61
Tabel 3.4. Rancangan hasil pengambilan data sensor MQ-7	62
Tabel 3.5. Rancangan hasil pengambilan data sensor MQ-135	62
Tabel 3.6. Rancangan hasil pengambilan data sensor DHT-22	62
Tabel 4.1 Data efek gas CO terhadap kesehatan tubuh manusia	111
Tabel 4.2 Data efek gas CO ₂ terhadap kesehatan tubuh manusia	114
Tabel 4.3 Indeks temperatur.....	117
Tabel 4.4 Indeks Kenyamanan.....	117

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Udara merupakan suatu sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya. Ketergantungan makhluk hidup akan ketersediaan udara yang berkualitas, menuntut makhluk hidup khususnya manusia untuk selalu menjaga kualitas udara yang layak (Susmono, 2012). Kualitas udara adalah salah satu faktor utama yang menentukan kesehatan. Kebutuhan manusia dengan udara bersih adalah sebuah prioritas yang tidak bisa dianggap hal yang sederhana. Udara merupakan materi yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata, namun jika terjadi pencemaran, efek dari pencemaran udara bisa langsung dirasakan (Dharmawan, 2014).

Pencemaran udara yaitu kondisi dimana kualitas udara menjadi rusak dan terkontaminasi oleh zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Pencemaran udara terjadi akibat pembakaran yang tidak sempurna dari mesin kendaraan maupun proses industri yang menghasilkan gas-gas yang mengandung zat yang tidak baik bagi kesehatan akibat dari pembakaran (Agustinus, 2015).

Gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) merupakan jenis gas sisa pembakaran yang tidak baik untuk kesehatan manusia karena gas-gas tersebut dapat meracuni tubuh. Gas CO dapat membuat sesak nafas, hal ini dikarenakan oksigen yang seharusnya disalurkan oleh *hemoglobin* keseluruh tubuh tidak dapat dialirkan. Kendala ini dikarenakan *hemoglobin* lebih mudah mengikat CO dari pada oksigen sedangkan gas CO₂ pada konsentrasi tertentu dapat membuat kepala pusing (Nebath, 2014). Gas CO₂ juga merupakan salah satu gas rumah kaca yang apabila konsentrasinya meningkat akan menyebabkan kenaikan temperatur di Bumi, dan selanjutnya menyebabkan perubahan iklim global (Awaludin *et al.*, 2010).

Faktor yang mempengaruhi terjadinya pencemaran udara senyawa CO dan CO₂ bisa secara alamiah maupun buatan atau kegiatan manusia. Faktor secara alamiah berasal dari letusan gunung api, respirasi, dekomposisi bahan organik, dan sumber lainnya. Sementara faktor buatan dari kegiatan manusia yaitu transportasi, industri, penggundulan dan pembakaran hutan, pembakaran sampah dan lainnya (Asmara, 2016). Gas CO dan CO₂ tidak berbau dan tidak dapat dilihat, oleh karena itu manusia tidak akan mengetahui akan adanya gas-gas tersebut disekitarnya, manusia baru bisa mengetahui bila sudah merasakan dampaknya (Nebath *et al.*, 2015). Untuk itu diperlukan suatu proses pemantauan kualitas udara untuk mendeteksi gas-gas tersebut dengan memberikan informasi berupa nilai kadar gas CO, CO₂ dan suhu secara terus menerus (*real time*) serta diharapkan dapat meningkatkan kualitas kehidupan manusia.

Dengan perkembangan sensor dan transduser dalam dunia elektronika maka pada saat ini sudah banyak ditemukan sensor-sensor untuk memudahkan pengukuran besaran-besaran fisis untuk pendeteksian gas-gas polutan. Sensor MQ-7 merupakan sensor gas yang digunakan dalam peralatan untuk mendeteksi gas CO dalam kehidupan sehari-hari, industri, atau kendaraan bermotor. Sensor gas MQ-7 memiliki fitur sensitivitas yang tinggi terhadap CO, stabil, dan berumur panjang. Sensor ini menggunakan catu daya rangkaian 5 VDC, jarak pengukuran 20 – 2000 PPM untuk mampu mengukur gas karbon monoksida (Agustinus, 2015).

Untuk membuat alat pendeteksi gas-gas tersebut diperlukan suatu jaringan dari gabungan beberapa sensor yang nantinya akan mengirimkan data sensor secara bersamaan dan secara terus-menerus. Jaringan sensor nirkabel (JSN) merupakan jaringan nirkabel yang terdiri dari beberapa alat sensor yang saling bekerja sama untuk memonitor fisik dan kondisi lingkungan seperti temperatur, air, suara, getaran atau gempa, polusi udara dan lain-lain ditempat yang berbeda. Perkembangan sensor nirkabel pada awalnya digunakan oleh pihak militer sebagai aplikasi untuk keperluan pengawasan. Namun saat ini banyak digunakan oleh masyarakat umum antara lain untuk aplikasi lingkungan, memonitor tempat tinggal dan digunakan untuk aplikasi kesehatan (Pambudi, 2014).

Pada penelitian sebelumnya, sudah berhasil dirancang jaringan sensor nirkabel (JSN) oleh Pambudi (2014) untuk memonitoring suhu dan kelembaban pada tanaman jarak. Penelitian ini mampu mengirimkan data dengan 2 jenis *transmitter*. Komunikasi nirkabel menggunakan modul Xbee dan Xbee *Shield* dengan jarak maksimal pengiriman data sensor di luar ruangan (*outdoor*) yaitu 100 meter. Penelitian tentang JSN juga dilakukan oleh Asriya (2016) untuk pemantauan

kelembaban tanah berbasis Arduino Uno. Penelitian ini dapat mengirimkan data sebanyak 1 jenis *transmitter* dengan menggunakan modul *transmitter-receiver* nRF24l01+ untuk komunikasi pengiriman data. Jarak maksimal komunikasi pengiriman data sensor mencapai 200,1 meter untuk pengiriman di luar ruangan (*outdoor*). Penelitian lain tentang pemantauan dengan JSN juga dilakukan oleh Unsal (2016) untuk memonitoring keadaan suatu lingkungan dengan menggunakan *transmitter-receiver (transceiver)* nRF24l01+ untuk pengiriman data 3 buah sensor yaitu sensor MQ-4, MQ-7 dan DHT-11. Perangkat keras yang dibuat terdiri dari 2 buah node *transmitter*, 3 buah node *repeater* dan 1 buah node *receiver* untuk komunikasi pengiriman data sensor. Jaringan sensor nirkabel (JSN) dilengkapi dengan aplikasi *interface* yang dibuat dengan menggunakan *software Visual C# Microsoft Visual Studi .NET 2013* untuk menampilkan data dalam bentuk grafik dan nilai sensor.

Berdasarkan uraian di atas, kami mencoba merancang suatu sistem jaringan sensor nirkabel (JSN) yang mampu mengirimkan sebanyak 3 jenis data sensor secara bersamaan, multi node (*Node*) dan terus-menerus (*real time*). Sistem dibangun untuk mendeteksi gas-gas polutan berbahaya yaitu gas CO, gas CO₂ dan temperatur dengan menggunakan komunikasi 4 modul radio *transceiver* nRF24l01+ berbasis Arduino. Sistem pemantauan ini terdiri dari 3 buah node *transmitter* dan 1 buah node *receiver* yang akan memanfaatkan LCD 20x4 untuk menampilkan data sensor dan menggunakan modul *Real Time Clock (RTC) DS-3231* untuk menampilkan tanggal dan waktu pemantauan (*monitoring*) serta Microsoft Excel sebagai media pengolahan data. Sistem juga dilengkapi dengan program antar muka (*interfacing*) yang dibuat dari program *Visual Basic*

Microsoft Visual Studio .NET 2013 untuk menampilkan dan menyimpan data pengukuran pada *database* di komputer (PC).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang suatu sistem jaringan sensor nirkabel yang dapat mendeteksi gas CO, gas CO₂ dan suhu lingkungan menggunakan gelombang radio nRF24l01+ secara *real time*;
2. Bagaimana mengkomunikasikan 4 buah modul radio frekuensi nRF24l01+ pada jaringan sensor nirkabel;
3. Bagaimana mengkoneksikan sistem jaringan sensor nirkabel dengan program *user interface* (UI) *Visual Studio .NET 2013* dan menyimpan pada *database Microsoft Office Acces Database* di komputer (PC);
4. Bagaimana memvalidasi hasil pengukuran sensor MQ-7, sensor MQ-135 dan sensor DHT-22 dengan alat yang sudah terkalibrasi.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merealisasikan suatu alat dengan menggunakan sistem jaringan sensor nirkabel untuk mendeteksi gas CO, gas CO₂, dan suhu lingkungan dengan menggunakan komunikasi modul gelombang radio nRF24l01+ berbasis *Arduino* secara *real time*;
2. Membuat sistem komunikasi 4 buah modul radio frekuensi nRF24l01+ pada jaringan sensor nirkabel;

3. Membuat sistem komunikasi antara alat dengan program antar muka (*interface*) di *PC Client*;

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memudahkan dalam memantau keadaan kualitas udara yang terdiri dari parameter nilai kadar gas CO, gas CO₂, dan suhu lingkungan di suatu area yang sulit dijangkau oleh pergerakan manusia;
2. Sebagai petunjuk dalam penentuan keadaan kualitas udara di suatu daerah-daerah industri maupun di daerah perkotaan yang keadaan udaranya sering terjadi pencemaran;
3. Dapat memantau informasi pengukuran secara nirkabel dan *real time* pada jarak tertentu.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

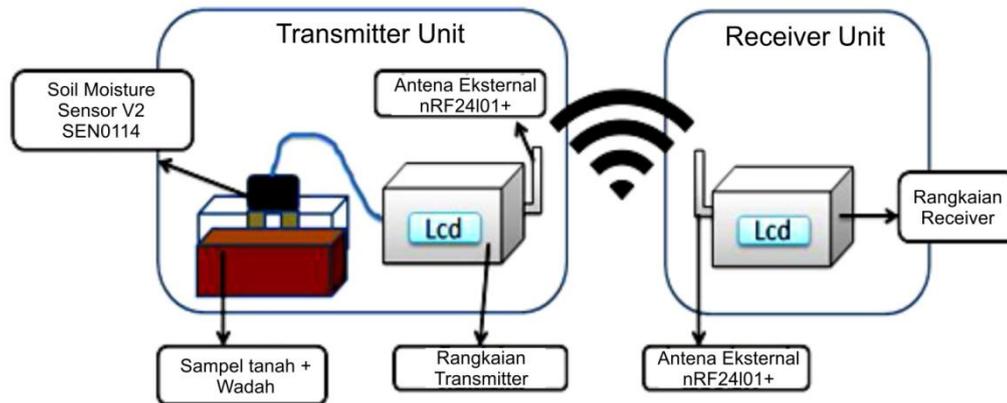
1. Menggunakan sensor MQ-7 untuk mendeteksi dan mengukur kadar gas CO;
2. Menggunakan sensor MQ-135 untuk mendeteksi dan mengukur kadar gas CO₂;
3. Menggunakan sensor DHT-22 untuk mengukur nilai parameter suhu;
4. Tipe mikrokontroler Arduino yang digunakan yaitu Arduino Mega 2560 R3;
5. Komunikasi pengiriman data menggunakan 4 buah modul radio *transceiver* nRF24l01+;

6. *Software* yang digunakan untuk membuat program antar muka (*interface*) dan penyimpanan data pemnataan menggunakan *Visual Studio.NET* 2013 dan *Microsoft Acces Database*;
7. Proses kalibrasi sensor MQ-7 dan sensor MQ-135 tidak menggunakan sampel gas murni tetapi menggunakan sampel gas buang kendaraan bermotor.
8. Proses kalibrasi hanya dilakukan sekali yaitu hanya untuk menentukan persamaan konversi dari ADC ke ppm pada program Arduino dan setelah alat terealisasi proses kalibrasi alat tidak dilakukan kembali.
9. Pembahasan tentang prinsip kerja secara umum.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

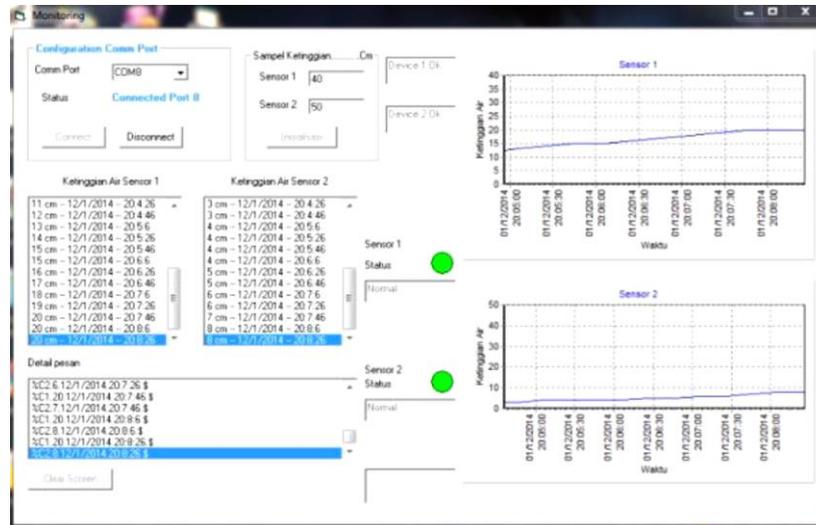
Penelitian terkait tentang sensor nirkabel telah banyak dilakukan, salah satunya yaitu yang dilakukan oleh Asriya (2016) yaitu merancang sistem pemantauan kelembaban tanah menggunakan sensor nirkabel berbasis Arduino Uno. Rancangan perangkat keras pada sistem ini terdiri dari satu unit pengirim (*transmitter*) yang dilengkapi oleh sensor kelembaban tanah SEN0114 V2 dan satu unit penerimaan (*receiver*). Semua unit dikendalikan dengan menggunakan Arduino Uno. Data kelembaban tanah dikirim oleh unit *transmitter* ke unit *receiver* menggunakan *transceiver* nRF24L01+ yang memanfaatkan gelombang radio sebagai media pengiriman. Hasil deteksi nilai kelembaban tanah pada sensor ditampilkan oleh LCD 16x2 karakter. Hasil pengujian sensor kelembaban tanah memperlihatkan bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan kelembaban tanah pada *moisture* meter adalah linier dengan nilai regresi sebesar 0,9758. Berdasarkan pengujian *transceiver*, jarak terjauh pengiriman data yang dapat diterima oleh *receiver* di luar ruangan tanpa ada penghalang adalah 200,1 m. Pada pengujian variasi sudut pengiriman, data dapat diterima oleh unit *receiver* pada sudut $\geq 26,56^\circ$. Apabila sudut lebih kecil dari $26,56^\circ$ data masih dapat diterima dengan adanya *delay* hingga sudut $11,31^\circ$.



Gambar 2.1. Rancangan perangkat keras sistem pemantauan kelembaban tanah menggunakan sensor nirkabel berbasis Arduino Uno (Asriya, 2016).

Penelitian tentang jaringan sensor nirkabel (JSN) juga dilakukan oleh Kautsar (2014), yaitu merancang aplikasi pemantau data JSN untuk peringatan dini terhadap banjir. Rancang perangkat keras pada sistem ini menggunakan 2 buah sensor *ultrasonic* yang digunakan untuk mengukur nilai ketinggian air ditempat yang berbeda dan menggunakan 4 buah Arduino Uno sebagai kontrolernya. Data-data tersebut dikirimkan secara nirkabel dari satu node ke node yang lain menggunakan modul Xbee. Data tersebut berasal dari node (*node*) pengirim yang bertanggung jawab untuk mencatat ketinggian dan waktu yang disebut dengan *node* sensor lalu dikirimkan ke *node* lainnya sampai data diterima oleh *end device* yang kemudian dikirimkan ke komputer untuk ditampilkan pada *software Visual Basic* dengan memanfaatkan komunikasi serial untuk menghubungkan antara *end device* dan komputer. Dalam aplikasi antar muka (*interface*) ini menghasilkan sistem untuk menampilkan status tingkat air sungai (*prototype*), status perangkat, peringatan saat banjir dan perkiraan waktu terjadinya banjir terjadi. Perkiraan waktu yang diperoleh dari perhitungan rata-rata kecepatan perubahan muka air

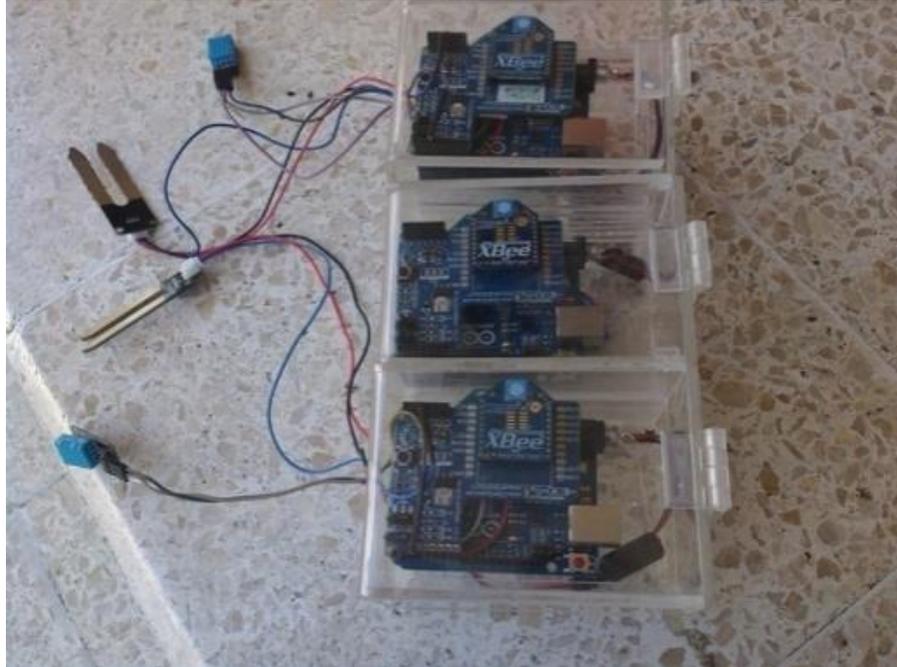
sebelumnya. Data-data dari ketinggian air dan waktu dapat langsung disimpan kedalam *file* Ms. Excel dengan format ekstensi *.csv.



Gambar 2.2. Aplikasi antar muka (*interface*) pengolahan data masuk pemantau data jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk peringatan dini terhadap banjir (Kautsar, 2014).

Pambudi (2011) juga merancang JSN untuk memonitoring suhu dan kelembaban pada tanaman jarak. Perancangan perangkat keras pada penelitian ini terdiri dari 2 buah sensor kelembaban tanah SEN0114 dan 2 buah sensor DHT-11. Semua unit sensor dikendalikan oleh 3 buah Arduino Uno yang dihubungkan pada 3 buah modul Xbee sebagai node 1 (*node 1*) dan node 2 (*node 2*) dan *coordinator* untuk menunjang pengiriman data secara nirkabel. Data dari masing-masing *end point* tersebut kemudian dikirimkan ke modul Xbee *coordinator* yang telah dihubungkan dengan *router user* dan komputer untuk menampilkan data suhu dan kelembaban yang dikirim pada serial monitor. Jarak maksimum pengiriman data yang mampu dijangkau oleh masing-masing *end point* dan *coordinator* mencapai 100 meter dengan persentase rata-rata kesalahan (*error*) untuk pengiriman data sensor DHT-11 pada node 1 sebesar 3,87 % pada node 2 sebesar 0,43 %

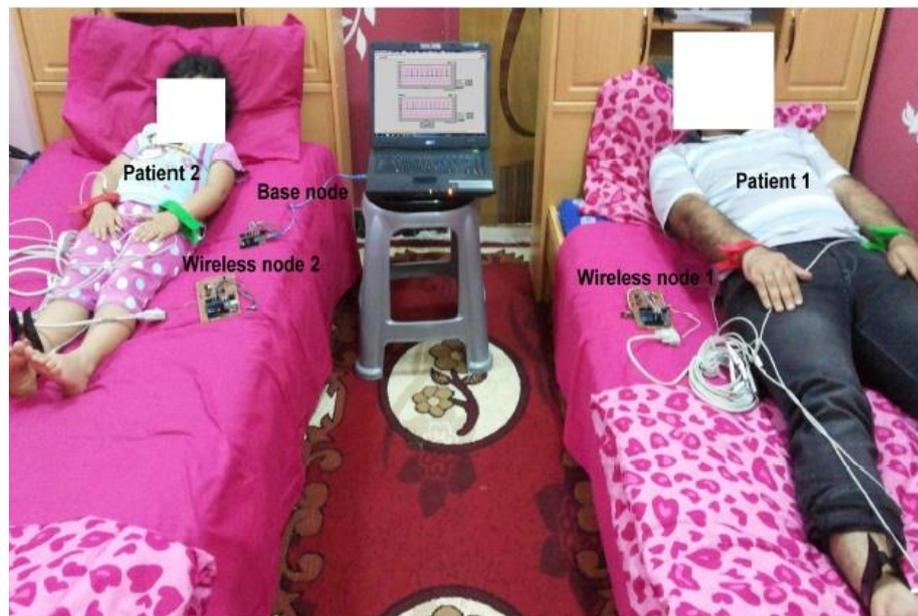
sedangkan persentase rata-rata kesalahan (*error*) untuk sensor kelembaban tanah SEN0114 pada node 1 sebesar 4 % dan pada node 2 sebesar 5,14 %.



Gambar 2.3. Hasil perakitan setiap node (*node*) pada jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk pemantauan suhu dan kelembaban pada tanaman jarak (Pambudi, 2014).

Ahmed (2016) merancang suatu jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk dimanfaatkan dibidang kesehatan. Alat yang dihasilkan merupakan sistem pemantauan kesehatan berupa sinyal EKG dari pasien yang bisa digunakan di ruang perawatan. Alat ini menggunakan *Amplifier AD620* mendeteksi sinyal EKG pasien yang dipilih karena *noise* yang rendah. Sinyal EKG pasien di ruang perawatan intensif diukur melalui 3 buah node sensor nirkabel dan 1 buah node penerima (*receiver*) terhubung ke komputer ruang perawatan melalui *port* USB. Sinyal EKG dikirm secara nirkabel ke node penerima (*receiver*) menggunakan modul nirkabel nRF24L01+ sehingga staf perawat dapat memantau informasi sinyal EKG untuk setiap pasien yang berada di ruang perawatan intensif secara

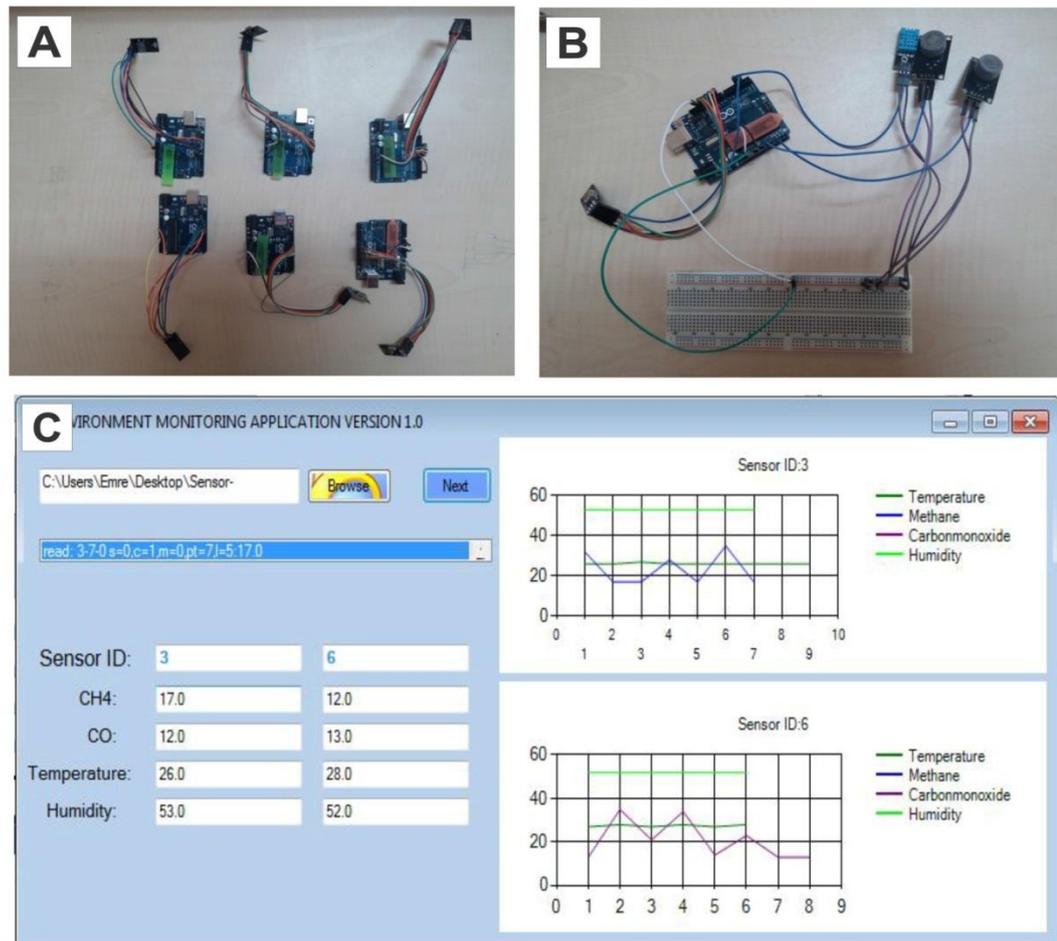
real time. Jenis jaringan sensor nirkabel (JSN) yang digunakan pada alat ini yaitu tipe topologi *star* yang dirancang untuk mengumpulkan sinyal EKG. Alat ini menggunakan kontroller ATmega328 MCU pada *board* Arduino Uno dengan program antar muka sinyal EKG terhubung pada jaringan internet dan mentransfer sinyal EKG ke dokter jarak jauh, dengan memanfaatkan *Virtual Privat Network* (VPN) untuk menghubungkan komputer ruang perawatan dan komputer dokter.



Gambar 2.4. Proses pengukuran ECG untuk dua orang pasien menggunakan nRF24I01+ (Ahmed, 2015).

Ünsal (2016) merancang suatu jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk sistem pemantauan keadaan suatu lingkungan. Alat yang dirancang terdiri dari 3 jenis sensor yaitu sensor MQ-4 untuk mendeteksi gas metana, sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO dan sensor DHT-11 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban. Semua unit sensor tersebut dikendalikan oleh Arduino Uno yang terhubung dengan modul nRF24I01+ yang terdiri dari 2 buah node *transmitter*, 3 buah node *repeater* dan 1 buah node *receiver* untuk komunikasi pengiriman data sensor. Alat ini dilengkapi juga dengan program antar muka (*interface*) yang dibuat

menggunakan *software* Visual C# di *Microsoft Visual Studio .NET* 2013 untuk menampilkan data pemantauan berupa sensor ID, nilai-nilai sensor dan grafik dari nilai sensor secara *real time*. Jarak pengiriman maksimum yang dihasilkan pada pengujian area terbuka (*open area*) mencapai 75 meter.



Gambar 2.5. Hasil alat pemantauan keadaan suatu lingkungan (A) node (*node*) jaringan sensor nirkabel (JSN), (B) sensor pada setiap node, (C) program antar muka (*interface*) pada alat pemantauan keadaan suatu lingkungan (Ünsal, 2016).

2.2. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian Unsal (2016) merancang suatu jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk memonitoring keadaan suatu lingkungan dengan menggunakan *transmitter-*

receiver (transceiver) nRF24l01+ untuk pengiriman data 3 buah sensor yaitu sensor MQ-4, MQ-7 dan DHT-11. Perangkat keras yang dibuat terdiri dari 2 buah node *transmitter*, 3 buah node *repeater* dan 1 buah node *receiver* untuk komunikasi pengiriman data sensor. Jaringan sensor nirkabel (JSN) dilengkapi dengan aplikasi *interface* yang dibuat dengan menggunakan *software Visual C# Microsoft Visual Studi .NET 2013* untuk menampilkan data dalam bentuk grafik dan nilai sesor.

Pada penelitian ini, penulis mencoba membuat suatu jaringan sensor nirkabel (JSN) untuk pemantauan keadaan udara menggunakan 3 buah sensor yaitu sensor MQ-7 (CO), MQ-135 (CO₂) dan DHT-22 (suhu), serta menggunakan *transmitter-receiver (transceiver) nRF24l01+* sebagai media komunikasi pengiriman data sensor. Perangkat keras yang dibuat terdiri dari 3 buah node *transmitter* dan 1 buah node *receiver*. Jaringan sensor nirkabel (JSN) dilengkapi dengan aplikasi *interface* yang dibuat dengan menggunakan *software Visual Basic Microsoft Visual Studio .NET 2013* yang dihubungkan dengan *Microsoft Access Database* untuk penyimpanan data *monitoring*. Aplikasi *interface* dilengkapi dengan fitur *Auto Save* data sensor yang dapat di atur waktu penyimpanannya sehingga memudahkan pengguna untuk melakukan penyimpanan data. Selain itu, penyimpanan data pemantauan dapat di ekspor ke format *Microsoft Excel* untuk memudahkan pengguna dalam pengolahan data hasil pemantauan.

2.3. Pencemaran Udara

Udara dikatakan telah tercemar apabila telah terjadi perubahan terhadap komposisi di atas terutama terjadi penambahan gas lain yang menimbulkan

gangguan. Hal ini sesuai dengan definisi Undang-Undang No : 4 tahun 1982 tentang pokok-pokok pengelolaan lingkungan hidup, yaitu :

“Pencemaran udara adalah adanya atau masuknya salah satu atau lebih zat pencemar di udara dalam jumlah dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan pada manusia, hewan, tumbuhan, dan benda-benda lainnya.”

Untuk mengetahui tingkat pencemaran, ditetapkan suatu standar kualitas udara yang dikenal sebagai “Baku Mutu Udara”. Pada hakekatnya baku mutu udara merupakan tuntunan bahwa apabila kualitas udara mendekati atau memenuhi persyaratan seperti tersebut dalam baku mutu, maka tidak akan terjadi kerusakan atau kerugian yang diakibatkan oleh udara. Pencemaran udara mempunyai berbagai dampak terhadap semua segi kehidupan, antar lain terhadap kesehatan manusia, hewan, tanaman maupun dampak terhadap material. Dampak bagi kesehatan manusia seperti gangguan pernapasan, gangguan emosi, anorexia, depresi mental di pusat pernapasan dan pusat sistem syaraf (Prayudi, 2001).

Pencemaran udara merupakan permasalahan yang rumit, karena menyangkut hal-hal yang berkaitan dengan karakteristik fisik, sumber emisi zat pencemar (macam sumber, laju pencemaran, kecepatan dan tinggi emisi, elemen iklim yang mempengaruhi penyebaran zat pencemar di lokasi di mana zat pencemar diemisikan maupun kondisi iklim lokal di daerah penerima pencemaran udara). Udara sebagai salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, merupakan kebutuhan utama bagi manusia, hewan dan tanaman dalam mempertahankan hidupnya. Oleh karena itu udara perlu dijaga kebersihannya, melalui pemantauan, pengaturan dan pembatasan pemanfaatannya sehingga tidak melampaui batas yang masih diperkenankan bagi kehidupan. Polusi udara dapat

disebabkan oleh aktivitas manusia yaitu antara lain oleh industri, alat transportasi, pembangkit energy listrik, aktivitas rumah tangga dan perkantoran. Diantara sumber polutan tersebut kendaraan bermotor merupakan sumber polutan terbesar, dimana pada kota besar 98% polutan udara berasal dari kendaraan bermotor (Santi, 2001).

2.4. Sumber Pencemaran Udara

Pencemaran udara terjadi akibat dilepaskannya zat pencemar dari berbagai sumber ke udara. Sumber-sumber pencemaran udara dapat bersifat alami ataupun dapat pula antropogenik (aktivitas manusia). Peraturan pemerintah mengenai pengelolaan udara di Indonesia pada PP No. 41/1999 mendefinisikan sumber pencemaran udara sebagai setiap usaha dan atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara dengan menyebabkan udara tidak berfungsi sebagaimana mestinya, dan kemudian peraturan pemerintah ini menggolongkan sumber pencemaran udara atas lima, yaitu:

1. Sumber bergerak: sumber emisi yang bergerak atau tetap pada suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor;
2. Sumber bergerak spesifik: serupa dengan sumber bergerak namun berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal, laut dan kendaraan berat lainnya;
3. Sumber tidak bergerak: sumber emisi yang tetap pada suatu tempat.
4. Sumber tidak bergerak spesifik: serupa dengan sumber tidak bergerak namun berasal dari kebakaran hutan dan pembakaran sampah;

5. Sumber gangguan: sumber pencemar yang menggunakan media udara atau padat untuk penyebarannya, sumber ini berupa dari kebisingan, getaran, kebauan dan gangguan lain. (Basri, 2010).

Di dunia dikenal zat pencemar udara utama yang berasal dari kegiatan manusia berupa gas buangan hasil pembakaran bahan bakar fosil dan industri. Perkiraan persentase komponen pencemar udara utama di Indonesia khususnya transportasi dan industri yaitu:

- a. Karbon Monoksida (CO) 70,50%;
- b. Sulfur Oksida (SO_x) 0,9%;
- c. Nitrogen Oksida (NO_x) 8,9%;
- d. Partikulat sebesar 1,33%;
- e. Hidrokarbon (HC) 18,34%;
- f. Gas rumah kaca (CH₄, CO₂, dan N₂O), tersebar dalam nilai persentase sumber utama.

Bahan bakar minyak paling banyak mengandung Hidrokarbon jenuh dan sedikit belerang. Bahan bakar minyak yang baik adalah yang mengandung sedikit belerang. Bahan bakar mobil yang secara umum disebut bensin adalah senyawa HC yang kandungan oktana atau isooktannya tinggi. Dalam pembakaran bensin di dalam mesin mobil terjadi reaksi kimia seperti ditunjukkan oleh persamaan (2.1):



Angka 3,76 adalah harga perbandingan nitrogen dan oksigen di udara sebab pembakaran disini melibatkan N₂ di udara. Bila reaksi yang terjadi seperti di atas, reaksi pembakarannya disebut proses pembakaran yang stoikiometris dimana semua atom oksigen bereaksi sempurna dengan bahan bakar. Reaksi pembakaran

yang stoikimetris seperti di atas dapat terjadi secara teoritis, namun dalam kenyataannya reaksi yang terjadi hanya menghasilkan CO₂ dan H₂O saja. Karena adanya suhu tinggi pada pembakaran tersebut maka terjadi pula gas- gas lainnya seperti: H, C, CO, NH₃, NO, NO₂, SO₂, SO₃, H₂SO₄, OH, dan O₃. Dengan udara luar hasil pembakaran bahan bakar fosil dapat menghasilkan komponen pencemar udara yang banyak. Apabila pada pembakaran tersebut jumlah oksigen yang digunakan kurang dari keperluan UPB (Udara/bahan bakar), maka ada sebagian bahan bakar fosil yang tak terbakar dan akan ikut keluar sebagai pencemar hidrokarbon (HC) (Sugiarti, 2009).

2.5. Bahan Pencemar Udara

Dilihat dari ciri fisik, bahan pencemar dapat berupa:

- a. Partikel (debu, aerosol, timah hitam);
- b. Gas (CO, CO₂, NO_x, SO_x, H₂S dan HC);
- c. Energi (suhu dan kebisingan).

Berdasarkan dari kejadian, terbentuknya pencemar terdiri dari:

- a. Pencemar primer (yang diemisikan langsung dari sumbernya);
- b. Pencemar sekunder (yang terbentuk karena reaksi di udara antara berbagai zat).

Pola emisi akan menggolongkan pencemar dari sumber node (*point source*), sumber garis (*line source*) dan sumber area (*area source*). Dilihat secara kimiawi, banyak sekali macam bahan pencemar tetapi yang biasanya menjadi perhatian adalah pencemar utama (*major air pollutants*) yaitu golongan oksida karbon (CO, CO₂), oksida belerang (SO₂, SO₃), dan oksida nitrogen (N₂O, NO, NO₃) senyawa

hasil reaksi fotokimia, partikel (asap, debu, asbestos, metal, minyak, garam sulfat), senyawa inorganik (HF, H₂S, NH₃, H₂SO₄, HNO₃), hidrokarbon (CH₄, C₄H₁₀) unsur radio aktif (Titanium, Radon), dan energi panas (suhu, kebisingan).

Gas diudara dengan reaksi fotokimia dapat membentuk bahan pencemar sekunder, misalnya peroxy radikal dengan oksigen akan membentuk Ozon dan Nitrogen dioksida berubah menjadi Nitrogen Monoksida dengan Oksigen dan sebagainya. Pemaparan terhadap manusia pada umumnya melalui pernafasan dan cara penanggulangannya terutama dengan mengurangi pembebasan bahan pencemar secara langsung ke udara, misalnya dengan menggunakan penyerap gas (*gas scrubber*), alat tambahan pada knalpot dan lain – lain. Partikel dengan ukuran antara 0,01 – 5 µm merupakan sumber pencemar udara yang utama karena keadaanya tidak terlihat secara nyata dan terus berada pada atmosfer untuk waktu yang cukup lama. Dampak negatif dari bahan – bahan ini biasanya berupa gangguan pada bahan – bahan bangunan, tanaman, hewan serta manusia (Ratnani, 2008).

2.6. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna dari material yang berbahan dasar karbon seperti kayu, batu bara, bahan bakar minyak dan zat-zat organik lainnya (Soekamto, 2008).

Gas CO merupakan gas beracun, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karena sifatnya yang tidak berbau, CO biasanya bercampur dengan gas-gas lain

yang berbau sehingga CO dapat terhirup secara tidak sadar bersamaan dengan terhirupnya gas lain yang berbau. CO merupakan salah satu polutan yang terdistribusi paling luas di udara. Setiap tahun, CO dilepaskan ke udara dalam jumlah yang paling banyak di antara polutan udara yang lain, kecuali gas CO₂. Di daerah dengan populasi tinggi, rasio percampuran gas CO bisa mencapai 1 hingga 10 ppm (Yuliando, 2017).

Gas CO dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan juga dapat menyebabkan kematian. Gas CO apabila terhisap ke dalam paru-paru akan mengikuti peredaran darah dan akan menghalangi masuknya gas oksigen (O₂) yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini dapat terjadi karena gas CO bersifat racun metabolis, ikut bereaksi secara metabolis dengan darah menjadi Karboksihemoglobin (COHb). Ikatan karboksihemoglobin jauh lebih stabil dari pada ikatan oksigen dengan darah (oksihemoglobin). Keadaan ini menyebabkan darah menjadi lebih mudah menangkap CO dan menyebabkan fungsi vital darah sebagai pengangkut oksigen terganggu. Konsentrasi CO₂ di udara sekitar 80 ppm dan konsentrasi COHb dalam darah sekitar 13%, maka seseorang akan sulit bernapas, bila konsentrasi semakin tinggi serta terjadi dalam waktu lama dapat berakibat seseorang pingsan bahkan sampai kematian. Keracunan kronis akan mengakibatkan gangguan syaraf pusat dengan gejala fisik dan gangguan mental (Yulianti, 2013).

2.7. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida merupakan senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen (O₂) yang terikat secara kovalen dengan atom karbon (C) sebagai buangan dari

sisanya hasil pembakaran Karbon yang sempurna. Karbon dioksida (CO_2) mempunyai sifat menyerap sinar panas matahari yaitu inframerah sehingga membuat suhu udara di permukaan bumi tinggi karenanya (Sihotang, 2010).

Dalam proses terbentuknya gas CO_2 di udara, senyawa karbon bereaksi dengan oksigen menggunakan energi sinar matahari kemudian terbentuklah gas CO_2 . Bila pembakaran karbon sempurna akan menghasilkan gas CO_2 namun jika pembakaran karbon tidak sempurna karena kurangnya oksigen maka akan menghasilkan gas CO yang bersifat racun. Selain dipengaruhi oleh faktor alamiah maupun buatan, tanaman hijau juga menghasilkan gas CO_2 pada malam hari, karena pada malam hari tidak terdapat sinar matahari untuk proses fotosintesis. Sehingga tumbuhan hijau hanya bisa melakukan respirasi dengan menyerap O_2 dan mengeluarkan CO_2 seperti halnya respirasi pada makhluk hidup umumnya.

Meskipun gas CO_2 tidak bersifat racun dan tidak berdampak langsung pada kesehatan manusia. Pada konsentrasi 3% berdasarkan volume di udara, karbon dioksida (CO_2) bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah dan denyut nadi serta menurunkan daya dengar. Pada konsentrasi sekitar 5% berdasarkan volume, menyebabkan stimulasi pusat pernafasan, pusingpusing, kebingungan, dan kesulitan pernafasan yang diikuti sakit kepala dan sesak nafas. Pada konsentrasi 8%, menyebabkan sakit kepala, keringatan, penglihatan buram, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama 5-10 menit (Asmara, 2016).

2.8. Suhu

Suhu merupakan karakteristik inherent, yang dimiliki oleh suatu benda yang berhubungan dengan panas dan energi. Jika panas dialirkan pada suatu benda, maka suhu benda tersebut akan meningkat dan akan menurun jika benda tersebut kehilangan panas. Pada dasarnya hubungan antara suatu panas (energi) dengan suatu suhu tidak merupakan suatu konstanta, karena besarnya peningkatan suhu akibat penerimaan panas dalam jumlah tertentu akan dipengaruhi oleh daya tampung panas (*heat capacity*) yang dimiliki oleh benda penerima tersebut. Sedangkan suhu udara akan berfluktuasi dengan nyata setiap periode 24 jam. Fluktuasi suhu udara berkaitan erat dengan proses pertukaran energi yang berlangsung di atmosfer. Serapan energi radiasi matahari akan menyebabkan suhu udara meningkat. Suhu udara harian maksimum tercapai beberapa saat setelah intensitas cahaya maksimum tercapai. Intensitas cahaya maksimum tercapai pada saat berkas cahaya jatuh tegak lurus yakni pada waktu tengah hari (Lakitan, 1994).

Secara mikroskopis suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik dalam perpindahan maupun gerakan ditempat berupa getaran. Semakin tinggi energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi suhu benda tersebut. Suhu disebut juga sebagai temperatur yang diukur dengan termometer (Vitallenko, 2011).

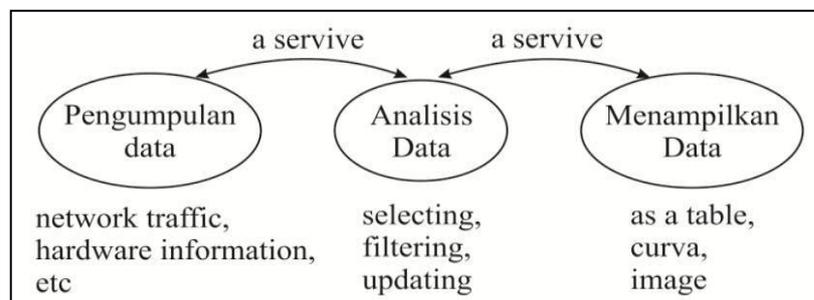
Suhu merupakan gambaran umum keadaan energi suatu benda, namun tidak semua bentuk energi yang dikandung suatu benda dapat diwakili oleh suhu. Pada atmosfer peningkatan panas laten akibat penguapan tidak menyebabkan kenaikan

suhu udara, tetapi penguapan menurunkan suhu udara karena proporsi panas terasa menjadi berkurang. Satuan suhu yang umum dikenal ada empat macam yakni Celcius, Fahrenheit, Reamur dan Kelvin (Handoko, 1995).

2.9. Sistem *Monitoring*

Sistem pemantauan (*monitoring*) merupakan suatu proses untuk mengumpulkan data dari berbagai sumber daya. Biasanya data yang dikumpulkan merupakan data yang *real time*. Secara garis besar tahapan dalam sebuah sistem pemantauan terbagi ke dalam tiga proses besar seperti terlihat pada Gambar 6 yaitu:

1. Proses di dalam pengumpulan data *monitoring*;
2. Proses di dalam analisis data *monitoring*;
3. Proses di dalam menampilkan data hasil *monitoring*.



Gambar 2.6. Proses dalam sistem pemantauan (*monitoring*) (Ohara, 2005).

Aksi yang terjadi diantara proses-proses dalam sebuah sistem pemantauan adalah berbentuk *service*, yaitu suatu proses yang terus menerus berjalan pada interval waktu tertentu. Proses yang terjadi pada suatu sistem pemantauan dimulai dari pengumpulan data seperti data dari *network traffic*, informasi *hardware*, dan lain-lain yang kemudian data tersebut dianalisis pada proses analisis data dan akhirnya data tersebut akan ditampilkan. Beberapa aplikasi sistem pemantauan

(*monitoring*), akses akan dibatasi dari *localhost* terminal saja. Pertanyaannya apakah bisa dilakukan pemantauan dari jarak jauh, dimana semua data yang dikumpulkan dari terminal komputer yang berada di lokasi berada dengan instrumennya misalnya dengan menggunakan jaringan *Local Area Network* (LAN) atau bahkan internet. Untuk menjalankan sistem pemantauan yang seperti sangat memungkinkan sekali dapat dilakukan dengan menggunakan program antar muka (*interface*) yang dapat menjembatani pengguna melalui *web browser* pada *remote terminal*. Program antar muka (*interface*) ini disebut *Common Gateway Interface* (CGI) yang biasanya tersedia pada *Linux* (Ohara, 2005).

2.10. Jaringan Sensor Nirkabel (JSN)

2.10.1. Pengertian dan Perkembangan JSN

Jaringan sensor nirkabel (JSN) adalah suatu jaringan yang terbentuk oleh *node* sensor yang terhubung satu sama lain secara nirkabel. Untuk menggunakan JSN diperlukan suatu perangkat yang dapat mengirim dan menerima data secara akurat dan dapat dioperasikan pada berbagai lingkungan. Perangkat yang digunakan sebagai media transmisi secara nirkabel tersebut adalah modul *transceiver*. Ada beberapa pertimbangan ketika modul *transceiver* digunakan dalam sistem JSN. Dalam merancang jaringan sensor nirkabel (JSN), perancang harus memutuskan berapa banyak data dan seberapa sering data dikirimkan (Fajriansyah, 2016).

Jaringan sensor nirkabel (JSN) merupakan kumpulan sejumlah *node* (*node*) yang diatur dalam sebuah jaringan kerjasama. Masing-masing *node* (*node*) dalam jaringan sensor nirkabel biasanya dilengkapi dengan radio *transceiver* atau alat

komunikasi nirkabel lainnya, mikrokontroler kecil, dan sumber energi seperti baterai. Banyak aplikasi yang bisa dilakukan menggunakan jaringan sensor nirkabel, misalnya pengumpulan data kondisi lingkungan, pemantauan keamanan, dan *node tracking scenarios* (Hill, 2003).

Perkembangan teknologi semakin mengarah kepada konektivitas lingkungan fisik. Kebanyakan observasi yang dilakukan di lapangan melibatkan banyak faktor dan parameter-parameter untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan akurat. Jika peneliti hendak mengambil informasi langsung di lapangan, maka kendalanya adalah dibutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama untuk mendeteksi fenomena yang muncul sehingga menyebabkan kemampuan yang tidak efisien dan tidak praktis. Dengan adanya teknologi JSN, memungkinkan peneliti untuk mendapat informasi yang maksimal tanpa harus berada di area sensor. Informasi dapat diakses dari jarak jauh melalui *gadget* seperti *laptop*, *remote device*, *server* dan sebagainya.

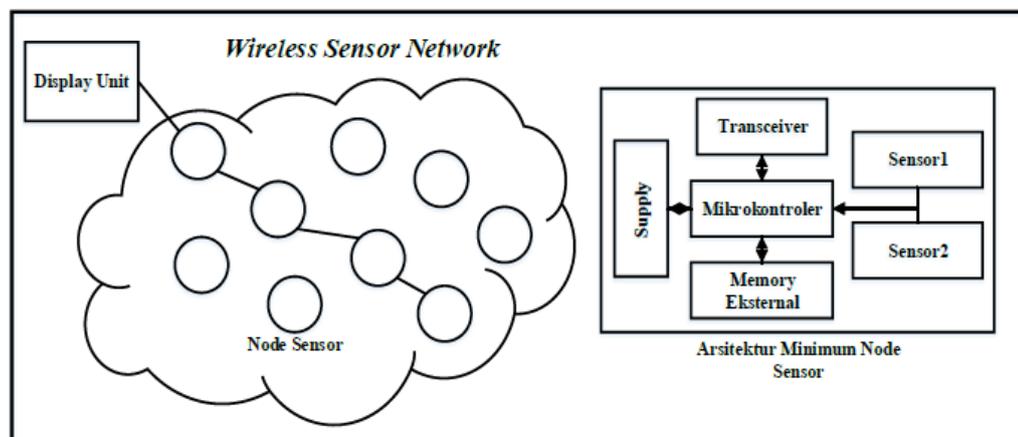
Berikut adalah beberapa keuntungan yang bisa diperoleh dari teknologi JSN.

1. Praktis karena tidak perlu ada instalasi kabel yang rumit dan dalam kondisi geografi tertentu sangat menguntungkan dibanding *wired* sensor;
2. Sensor menjadi bersifat *mobile*, artinya pada suatu saat dimungkinkan untuk memindahkan sensor untuk mendapat pengukuran yang lebih tepat tanpa harus khawatir mengubah desain ruangan maupun susunan kabel ruangan;
3. Meningkatkan efisiensi secara operasional;
4. Mengurangi total biaya sistem secara signifikan;
5. Dapat mengumpulkan data dalam jumlah besar;

6. Konfigurasi *software* lebih mudah;
7. Memungkinkan komunikasi digital 2 arah. (Ilmi, 2014).

2.10.2. Arsitektur JSN

Pada JSN, node (*node*) sensor disebar dengan tujuan untuk menangkap adanya gejala atau fenomena yang hendak diteliti. Jumlah node (*node*) yang disebar dapat ditentukan sesuai kebutuhan dan tergantung beberapa faktor misalnya luas area, kemampuan sensing node (*node*), dan sebagainya. Tiap node (*node*) dalam JSN dapat melakukan pemantauan lingkungan terbuka secara langsung dengan memanfaatkan beberapa macam sensor. (Mittal, 2010). Arsitektur JSN secara umum dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Arsitektur JSN secara umum (Fajriansyah, 2016).

Pada **Gambar 2.7** dapat dilihat, node (*node*) sensor yang berukuran kecil disebar dalam di suatu area sensor. Node (*node*) sensor tersebut memiliki kemampuan untuk meneruskan data yang dikumpulkan ke node (*node*) lain yang berdekatan. Data dikirimkan melalui transmisi radio akan diteruskan menuju *base station* atau

gateway yang merupakan penghubung antara node (*node*) sensor dan pengguna (*user*).

2.10.3. Bagian-bagian WSN

Jaringan sensor nirkabel (JSN) terbagi atas 5 (lima) bagian, yaitu.

- a) *Transceiver*, berfungsi untuk menerima/mengirim data kepada *device* lain;
- b) Mikrokontroler, berfungsi untuk melakukan fungsi perhitungan, mengontrol dan memproses *device* yang terhubung dengan mikrokontroler;
- c) *Power source*, berfungsi sebagai sumber energi bagi sistem nirkabel sensor secara keseluruhan;
- d) *External memory*, berfungsi sebagai tambahan memori bagi sistem sensor nirkabel, pada dasarnya sebuah unit mikrokontroler memiliki unit *memory* sendiri;
- e) Sensor, berfungsi untuk men-sensing besaran-besaran fisis yang hendak diukur. Sensor adalah suatu alat yang mampu untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain, dalam hal ini adalah mengubah dari energi besaran yang diukur menjadi energi listrik yang kemudian diubah oleh ADC menjadi deretan pulsa terkuantisasi yang kemudian bisa dibaca oleh mikrokontroler. (Ilmi, 2014).

2.11. Arduino Mega 2560 R3

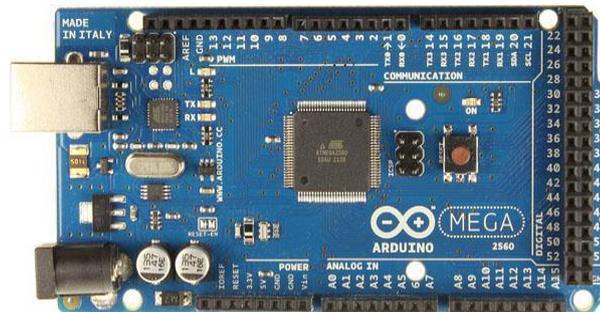
Arduino adalah *platform* pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open-source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan bagi para seniman,

desainer, dan siapapun yang tertarik dalam menciptakan objek atau lingkungan yang interaktif. Arduino merupakan *platform* yang terdiri dari perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat keras Arduino sama dengan mikrokontroler pada umumnya hanya pada Arduino ditambahkan penamaan pin agar mudah diingat. Perangkat lunak Arduino merupakan *software open source* sehingga dapat di download secara gratis. *Software* ini digunakan untuk membuat dan memasukkan program ke dalam Arduino. Pemrograman Arduino tidak sebanyak tahapan mikrokontroler konvensional karena Arduino sudah didesain mudah untuk dipelajari, sehingga para pemula dapat mulai belajar mikrokontroler dengan Arduino (Arifin, 2016).

Komponen utama didalam papan Arduino adalah sebuah mikrokontroler 10 bit dengan merk ATmega yang dibuat oleh Atmel *Corporation*. Berbagai papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, sebagai contoh Arduino Uno menggunakan ATmega328 sedangkan pada Arduino Mega 2560 yang lebih canggih menggunakan ATmega 2560. Adapun data teknis board Arduino Mega 2560 ditunjukkan pada **Tabel 2.1**:

Tabel 2.1. Data spesifikasi *Board* Arduino Mega 2560 R3.

Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Masukkan (rekomendasi)	7-12 V
Tegangan Masukkan (limit)	6-20 V
Pin Digital (I/O)	54 (14 diantaranya merupakan pin keluaran PWM)
Pin Analog	16
Arus DC per Pin I/O	20 mA
Arus DC untuk Pin 3.3V	50 mA
Memori <i>Flash</i>	256 KB (dimana 8 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz



Gambar 2.8. Arduino Mega2560 R3 (Arifin, 2016).

Salah satu keunggulan terbesar model Mega 2560 adalah ukuran *flash memory* yang mencapai 256 KB, delapan kali lebih besar dari ruang memori Arduino Uno, sehingga model Arduino Mega 2560 menjadi *platform* target proyek perangkat lunak yang kompleks. Model Mega 2560 ini memiliki tidak kurang dari 54 pin digital input/output, 15 pin *output* analog yang digunakan untuk *Pulse Width Modulation* (PWM) dan 16 pin *input* analog. Karakteristik lainnya model Mega 2560 memiliki empat port komunikasi serial, sebuah *port* komunikasi SPI, dan total enam interupsi *hardware*. Mirip dengan model Uno, model Mega mengimplementasikan LED terintegrasi dan tombol *reset* eksternal. Model Mega diberikan daya melalui konektor USB atau melalui konektor eksternal yang mendukung jangkauan tegangan yang sama dengan model Uno yaitu rekomendasi 7-12 V atau 6-20 V juga masih diterima (Soleh, 2016).

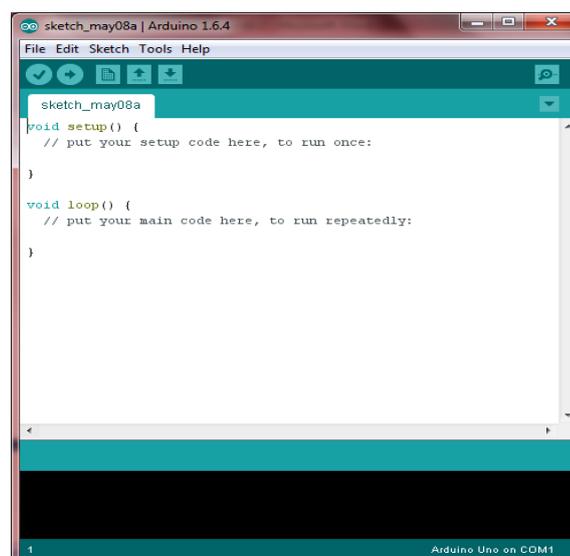
2.12. Software Arduino

Arduino diciptakan untuk para pemula bahkan yang tidak memiliki *basic* bahasa pemrograman sama sekali karena menggunakan bahasa C++ yang telah dipermudah melalui *library*. Arduino menggunakan perangkat lunak pengolahan

(*software processing*) yang digunakan untuk menulis program kedalam Arduino. *Processing* sendiri merupakan penggabungan antara bahasa C++ dan Java. *Software* Arduino ini dapat dipasang (*install*) di berbagai *operating system* (OS) seperti: LINUX, Mac OS, Windows. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi kombinasi dari perangkat keras, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory* mikrokontroler. *Software* IDE Arduino terdiri dari 3 (tiga) bagian:

- a) *Editor program*, untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*. *Listing* program pada Arduino disebut *sketch*;
- b) *Compiler*, modul yang berfungsi mengubah bahasa *processing* (kode program) kedalam kode biner karena kode biner adalah satu-satunya bahasa program yang dipahami oleh mikrokontroler;
- c) *Uploader*, modul yang berfungsi memasukkan kode biner kedalam memori mikrokontroler.

(Arifin, 2016).



Gambar 2.9. Tampilan perangkat lunak (*software*) Arduino IDE

2.13. Modul *Wireless* nRF24l01+

Transceiver nRF24L01+ adalah sebuah modul komunikasi jarak jauh yang memanfaatkan pita gelombang Radio Frekuensi 2,4 GHz ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Modul ini menggunakan antarmuka SPI untuk berkomunikasi. nRF24L01+ merupakan *transceiver* yang terdiri dari *frequency synthesizer* yang terintegrasi, penguat tegangan (*power amplifier*), osilator kristal, modulator, demodulator, dan *enhanced shockburst protocol engine*. Transmisi sinyal tanpa kabel menggunakan pemancar sebagai media untuk penyebaran sinyal informasi yang termodulasi dengan gelombang elektromagnetik. Pemanfaatan gelombang elektromagnet dalam menyebarkan sinyal informasi memiliki keuntungan karena penjalaran gelombang elektromagnetik tidak membutuhkan medium transmisi. Sistem telemetri nirkabel terdiri atas 2 unit utama yaitu unit pemancar (*transmitter*) dan unit penerima (*receiver*). Pemancar menggunakan frekuensi gelombang radio pada prinsipnya mengirim sinyal modulasi yang ditransmisikan melalui media udara. Sinyal modulasi yang dipancarkan dibagian *transmitter* ke udara diterima oleh bagian penerima (*receiver*). Kemudian sinyal modulasi yang sudah diterima bagian penerima disalurkan ke *input modulator* untuk melalui proses selanjutnya sampai sinyal termodulasi tersebut menjadi sinyal informasi (Asriya, 2016). Berikut ini merupakan gambar modul *transceiver* nRF24l01+.



Gambar 2.10. Modul *Transmitter-Receiver* nRF24101+

Modul nRF24101+ adalah *transceiver* radio 2,4 GHz dengan kecepatan data maksimal 2 Mbps dan jarak tempuhnya 1 km di area terbuka dan area tertutup 70-100 meter. Untuk mendapatkan peningkatan jangkauan, kecepatan data dapat diatur menjadi 256 kbps (Rahim, 2016). *Transceiver* terdiri dari synthesizer frekuensi terintegrasi, *power amplifier*, osilator kristal, demodulator, modulator dan *engine ShockBurst* yang disempurnakan. Selain itu, nRF24101+ juga menawarkan solusi perangkat keras *on-chip* inovatif yang disebut *multiceiver* yang dapat mendukung hingga enam perangkat nirkabel yang berkomunikasi secara bersamaan. Hal ini membuatnya ideal untuk membangun jaringan nirkabel dalam berbagai macam aplikasi. Daya keluaran, saluran frekuensi, dan penyiapan protokol mudah diprogram melalui SPI-bus. Konsumsi saat ini sangat rendah, hanya 8.5 mA pada daya keluaran -6 dBm dan 12.5 mA dalam mode RX. Modus built-in seperti *Power Down* (arus 400 nA) dan Siaga (32 μ A pada wake-up 130 μ s), membuat penghematan daya yang signifikan mudah direalisasikan. Kecepatan transfer data dapat dipilih antara 250 kB/s, 1 MB/s dan 2 MB/s (Sonavane, 2009). Adapun data karakteristik *transceiver* nRF24101+ terdapat pada **Tabel 2.2.**

Tabel 2.2. Data karakteristik *transceiver* nRF24l01+ (Fu, 2012).

Tegangan Catu Daya Minimal	1.9 V
Tegangan Catu Daya Maksimal	3.7 V
Kecepatan Maksimum Transfer Data	2000 kbps
Konsumsi Arus yang digunakan pada Mode Emisi (0dBm)	11.3 mA
Konsumsi Arus yang digunakan pada Mode Menerima Data (2000 kbps)	12.3 mA
Rentang Suhu	-40~+85°C
Sensitivitas pada kecepatan transfer data 1000 kbps	-85 dB
Konsumsi Arus pada Mode power down	900 nA

2.14. Sensor MQ-7

Sensor MQ-7 adalah sensor yang dapat mendeteksi gas CO dengan sensitivitas yang tinggi. Sensor MQ-7 merupakan sensor gas CO yang berfungsi untuk mengetahui konsentrasi gas CO, dimana sensor ini salah satunya dipakai dalam memantau gas CO. Sensor ini mempunyai sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat. Keluaran yang dihasilkan oleh sensor ini adalah berupa sinyal analog, sensor ini juga membutuhkan tegangan searah (DC) sebesar 5 V. Pada sensor ini terdapat nilai resistansi sensor (R_s) yang dapat berubah bila terkena gas dan juga sebuah pemanas yang digunakan sebagai pembersihan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar (Nebath, 2014).

Bahan detektor gas adalah Metal Oxida SnO_2 , dimana ketika bahan Metal Oxida dihangatkan pada temperatur tertentu, oksigen akan diserap pada permukaan kristal dan bermuatan negatif. Hal ini disebabkan karena permukaan kristal mendonorkan elektron pada oksigen yang terdapat pada lapisan luar sehingga oksigen bermuatan negatif. Permukaan luar kristal akan bermuatan positif

sehingga membuat tegangan permukaan menghambat aliran laju elektron. Sensor MQ-7 memiliki enam pin dua diantaranya digunakan untuk menghasilkan keluaran data Analog, dua untuk catu daya dan dua diantaranya sebagai penyedia dari *heating current*. Tiga pin terhubung pada sumber tegangan, satu pin terhubung pada arduino sebagai pemberi sinyal, dan dua pin terhubung pada resistor 10 k Ω dan *ground* (Sarungallo, 2017). Sensor MQ-7 ditunjukkan pada

Gambar 2.11:



Gambar 2.11. Sensor MQ-7 (Nebath, 2014).

Sensor MQ-7 mampu mengukur gas CO dari 20 ppm sampai 2000 ppm di udara. Sensor ini memiliki keluaran arus linier dalam kisaran 4 mA-20 mA (nilai minimum dan maksimum). *Output* 4 mA sesuai dengan gas tingkat nol dan 20 mA sesuai dengan tingkat gas maksimum (+5 V). Sirkuit pengkondisian sinyal sederhana dirancang untuk mengubah kisaran 4 mA-20 mA menjadi 0-5 V agar sesuai dengan rentang voltase konverter analog-ke-digital built-in di mikrokontroler (Raju, 2013).

2.15. Sensor MQ-135

Sensor gas MQ-135 adalah jenis sensor kimia yang sensitif terhadap senyawa CO₂. Sensor ini bekerja dengan cara menerima perubahan nilai resistansi (analog)

bila terkena gas. Sensor ini memiliki daya tahan yang baik untuk penggunaan penanda bahaya polusi karena praktis dan tidak memakan daya yang besar.



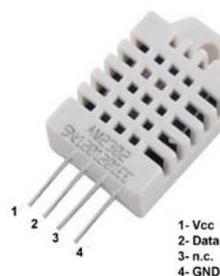
Gambar 2.12. Sensor Kualitas Udara MQ-135 (Sugianto, 2014).

Bahan Sensitif yang digunakan pada sensor MQ135 adalah SnO_2 . Konduktivitas bahan ini lebih rendah dibandingkan dengan konduktivitas udara bersih. Konduktivitas sensor meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas pencemar yang terdeteksi.. Jangkauan deteksi 10-1000 ppm dengan voltase sekitar $5,0 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V AC}$ atau DC. Keunggulan sensor ini adalah rentang umur panjang, biaya rendah, rangkaian *driver* sederhana dan sensitivitas yang baik terhadap gas beracun. Sensor gas MQ 135 banyak digunakan pada alarm gas industri, detektor gas portabel dan alarm gas domestik (Nayak, 2017).

2.16. Sensor DHT-22

DHT-22 merupakan sensor pengukur suhu dan kelembaban relatif dengan keluaran berupa sinyal digital serta memiliki 4 pin yang terdiri dari *power supply*, *data signal*, *null*, dan *ground*. DHT-22 memiliki akurasi yang lebih baik daripada DHT-11 dengan galat relatif pengukuran suhu 4% dan kelembaban 18% (Islam *et al.*, 2016).

Sensor DHT-22 merupakan sensor suhu dan kelembaban dari Aosong Electronic yang terdiri dari dua bagian yaitu sensor kelembaban kapasitif dan *thermistor*. Sensor ini tidak memerlukan rangkaian pengendali sinyal dan ADC karena menggunakan cip mikropengendali dengan keluaran sinyal digital (Septadi, 2016). DHT-22 atau bisa disebut AM-2302 adalah sensor suhu dan kelembaban seperti DHT-11 tetapi memiliki keunggulan diantaranya: keluarannya sudah berupa sinyal digital dengan perhitungan dan konversi oleh MCU 8 *bit*. terpadu Sensor terkalibrasi secara akurat dengan kompensasi suhu di ruang penyesuaian dengan nilai koefisien kalibrasi tersimpan dalam memori OTP terpadu (DHT-22 lebih akurat dan presisi dibanding dengan DHT-11). Rentang pengukuran suhu -40 sampai 80°C (akurasi 0,5). Rentang pengukuran kelembaban 0 sampai 100% (akurasi 2%). Rentang catu daya 3,3 – 6 VDC (tipikal 5 VDC). Konsumsi arus pada saat pengukuran antara 1 hingga 1,5 mA. Konsumsi arus pada *mode* siaga adalah 40 sampai 50 mA. Sinyal keluaran digital lewat bus tunggal dengan kecepatan 5 ms / operasi (*MSB-first*). Sensitivitas sebesar 0,1% untuk pengukuran suhu dan kelembaban (Andhika, 2017). Bentuk dari DHT-22 bisa dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13. Sensor DHT-22 (Andhika, 2017).

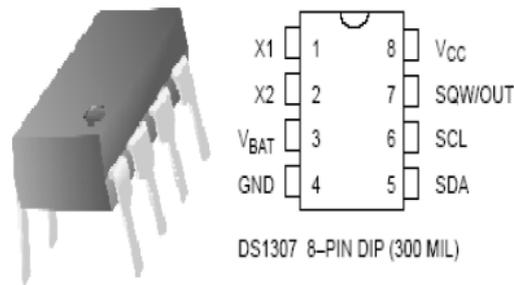
Sensor ini terbukti bisa diandalkan dan stabil. Output dari DHT-22 adalah sinyal digital yang sudah dikalibrasi dan dapat dihubungkan langsung ke pin port

Arduino. Sensor DHT-22 menggunakan teknologi penginderaan-teknik pengumpulan-sinyal dan kelembaban eksklusif yang dapat mengkalibrasi secara otomatis. Dengan ukurannya yang kecil, konsumsi daya rendah, dan kemampuan untuk berfungsi dalam semua jenis aplikasi perangkat keras. Sensor DHT-22 cocok digunakan sebagai sensor pemantauan kekeringan (Gaddam & Esmael, 2014).

2.17. Modul RTC DS-3231

Pewaktuan secara digital dibutuhkan pada sistem pantauan nilai yang berdasarkan waktu. Setiap kejadian pengamatan akan dikorelasikan dengan waktu. RCT (*Real Time Clock*) merupakan perangkat elektronik yang berupa sebuah IC digital yang bekerja seperti jam digital namun dilengkapi sistem kalender tahunan. Ada beberapa jenis IC RTC dari berbagai produsen yang masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan. Pada umumnya IC RTC tipe DS-3231 produksi DALLAS adalah jenis yang sering digunakan (Novianta, 2011).

DS-3231 tidak memiliki keterbatasan dalam penulisan ulang, tetapi DS-3231 membutuhkan baterai untuk menyimpan data dan menjalankan jam. Apabila baterai tidak dipasang, maka semua data yang ada pada DS-3231 akan hilang (Khoswanto, 2003). Modul ini mampu menyimpan data tanggal dan waktu (tahun kabisat dan di bawah) dengan akurasi detik sampai tahun 2100 (Koprda, 2015). Secara fisik DS-3231 seperti pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14. Bentuk fisik DS-3231 dan keterangan kaki-kaknya (Novianta 2011).

Fitur-fitur pada DS-3231:

- a. *Real-time clock* (RTC) menghitung detik, menit, jam, tanggal, bulan dan hari dan tahun valid sampai tahun 2100;
- b. Ram *5-byte, nonvolatile* untuk menyimpan data;
- c. 2 jalur serial *interface* (I2C);
- d. Keluaran gelombang kotak yang deprogram;
- e. *Automatic power-fail detect and switch*;
- f. Konsumsi arus hanya 500mA pada baterai internal;
- g. Mode dengan *oscillator running*;
- h. Range suhu: -40°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$. (Syofian, 2015).

2.18. LCD (*Liquid Crystal Display*)

Liquid crystal display (LCD) merupakan sejenis *crystal* yang akan berpendar jika diberi tegangan tertentu, sehingga perpendaran tersebut dapat diatur untuk membentuk karakter, angka, huruf dan lain sebagainya (Putro, 2012). Layar LCD merupakan media penampil data yang sangat efektif dalam suatu sistem elektronik. Agar sebuah pesan atau gambar dapat tampil pada layar LCD,

diperlukan sebuah rangkaian pengatur *scanning* dan pembangkit tegangan sinus. Rangkaian yang cukup rumit ini awalnya sering menjadi kendala bagi pemula elektronika dalam menggunakan layar LCD. Beberapa perusahaan elektronik seperti Hitachi, Seiko dan Tian Ma (Syofian, 2015). Secara fisik bentuk LCD 20x4 dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.

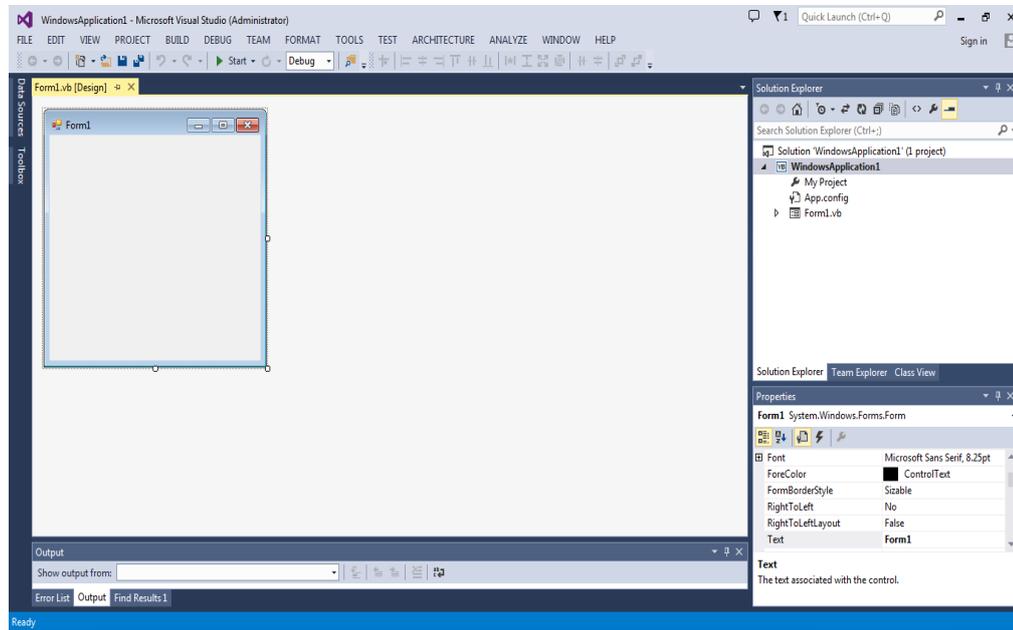


Gambar 2.15. *Liquid crystal display (LCD) Character 20x4* (Putro, 2012).

2.19. Microsoft Visual Studio 2013

Visual Studio Community 2013 merupakan keluarga *Visual Studio* yang merupakan *tools* (alat) yang dibuat oleh *Microsoft* untuk membangun aplikasi berbasis *.Net Framework*. Alat tersebut menyediakan fitur-fitur yang sangat lengkap dan terintegrasi untuk memenuhi kebutuhan pengembangan aplikasi dan kustomisasi produk *Microsoft* yang sudah tersedia seperti *Microsoft Office* dan *SharePoint*. Menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic .NET*. *Visual basic* merupakan *high-level* programming, adalah pemrograman yang telah menggunakan *scripts* “bahasa manusia” sehingga lebih mudah dimengerti, terutama oleh orang awam. Secara umum, ekosistem *Visual Basic* sudah terbentuk. Referensi yang melimpah, contoh *script* yang banyak ditemukan, dan aplikasi-aplikasi pendukung yang bisa di-*install* secara terpisah untuk

“memperkuat” daya-mampu *Visual Basic* (Marwan, 2013). Tampilan IDE program *Microsoft Visual Studio 2013* dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2.16. Tampilan IDE *Microsoft Visual Studio 2013*

2.20. Microsoft Office Access Database

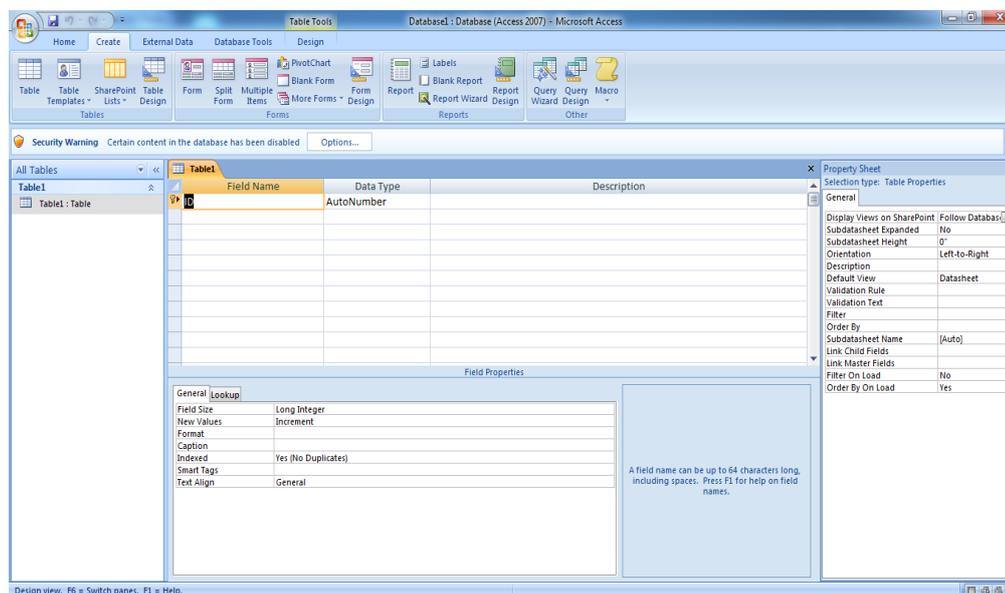
Microsoft Access adalah salah satu *Microsoft Office Suite* yang diciptakan dan dibuat dan menangani suatu *database*. *Microsoft Access* merupakan salah satu aplikasi *Microsoft Office* yang secara khusus dikembangkan untuk kebutuhan pemrograman *database*. *Microsoft Access* merupakan program *database* digunakan untuk pengolahan berbagai jenis data. *Microsoft Access* memiliki beberapa komponen yang mendukung akan pembuatan *database* atau pangkalan data diantaranya *table*, *field*, *query*, *form*, dan data yang dibutuhkan. *Microsoft Access* memiliki komponen sebagai berikut:

1. *Table* berfungsi sebagai tempat penyimpanan kumpulan data yang sejenis;
2. *Query* berfungsi sebagai bahasa untuk memanipulasi terhadap *database*;

3. *Form* berfungsi memasukkan dan mengubah data atau informasi yang ada dalam suatu *database* dengan menggunakan tampilan formulir;
4. *Report* berfungsi untuk menampilkan, mencetak data atau informasi.

(Oktaviani, 2015).

Tampilan *User Interface Microsoft Acces Database 2007* dapat dilihat pada **Gambar 2.17**.



Gambar 2.17. Tampilan antar muka pengguna *Microsoft Acces Database 2007*

Microsoft Access merupakan salah satu program pengelola *database* yang sangat populer dan banyak digunakan saat ini. Kemudahan dalam mengelola berbagai jenis *database* serta *user interface* yang menarik membuat *Microsoft Access* menjadi salah satu yang terbaik dalam hal ini. Seiring dengan perkembangan waktu, *Microsoft Access* turut berkembang menyesuaikan dengan kebutuhan *user*. *Microsoft Access* merupakan *software* yang sangat cocok digunakan untuk mengelola berbagai jenis *database* dan telah terintegrasi dengan *Microsoft Visual Studio .NET* sehingga memudahkan pembuatan program. *Database Microsoft*

Access memiliki tujuh bentuk objek, yaitu *tables*, *queries*, *forms*, *reports*, *pages*, *macros* dan *modules*. Tabel adalah sekumpulan data atau informasi spesifik tentang subjek tertentu yang disusun dalam bentuk kolom dan baris. Tabel adalah komponen utama dalam sebuah *database*. Adapun cara membuat tabel pada *Microsoft Access* adalah sebagai berikut:

1. Pada jendela *database*, klik *icon table* yang berada di bawah *Objects*
2. Klik *icon New*. Kotak dialog *New Table* akan muncul
3. Klik *Design New*, lalu klik Ok. Tampilan *Design View* akan muncul
4. Isi *field-field* untuk membentuk tabel
5. Simpan dan beri nama tabel.

Query pada *Microsoft Access* digunakan untuk manipulasi data dan mengendalikan manipulasi data tersebut melalui suatu bahasa. Bahasa yang digunakan adalah *Structured Query Language (SQL)*. *Query* umumnya digunakan untuk memanipulasi data, *record*, dan *field* yang terletak dalam satu atau beberapa tabel *query*. Anda dapat menggunakan *query* untuk melihat, mengubah, dan menganalisis data dalam berbagai cara. Anda juga dapat menggunakan *query* sebagai sumber untuk *record-record* yang digunakan pada *form* dan *report*. Beberapa *query* yang terdapat pada *Microsoft Access* adalah *Select Query*, *Parameter Query*, *Crosstab Query* dan *Action Query* (Rahadian, 2011).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, Halaman Parkir Motor Mall Boemi Kedaton dan Halaman Parkir Motor Mall Ramayana Rajabasa yang dimulai pada bulan November 2017 sampai dengan Oktober 2018.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Komputer (PC) atau *Notebook* digunakan untuk menyimpan data (*database*) *monitoring* dan sebagai media pemantauan untuk mengakses aplikasi *interface*;
2. Sensor MQ-7 digunakan untuk mengukur dan mendeteksi gas Karbon Monoksida (CO);
3. Sensor MQ-135 digunakan untuk mengukur dan mendeteksi gas Karbon Dioksida (CO₂);
4. Sensor DHT-22 digunakan untuk mengukur suhu;

5. *Transceiver* nRF24l01+ digunakan sebagai pengirim dan penerima data;
6. Arduino digunakan sebagai sistem kontrol *input output* (I/O) untuk pembacaan data sensor dan mengatur proses pengiriman dan penerimaan data;
7. Arduino IDE digunakan sebagai perangkat lunak untuk membuat program pada Arduino;
8. RTC DS-3231 digunakan sebagai komponen pewaktuan;
9. LCD 20x4 digunakan sebagai media penampil keluaran sensor;
10. Baterai/Powerbank digunakan sebagai sumber tegangan yang dibutuhkan pada Arduino dan sensor;
11. Kabel penghubung digunakan sebagai media penghubung antar komponen.
12. Kabel USB tipe A to USB tipe B digunakan sebagai media penghubung antara komputer dan Arduino (*receiver*);
13. *Box* persegi berfungsi sebagai tempat arduino dan sensor;
14. *Microsoft Visual Studio* 2013 digunakan sebagai *software* pembuatan *interface* penerima data dari Arduino;
15. *Microsoft Office Access Database* digunakan sebagai *software* untuk menyimpan data (*database*) hasil *monitoring*;
16. *Microsoft Office Excel* digunakan sebagai *software* untuk pengolahan data hasil pemantauan.

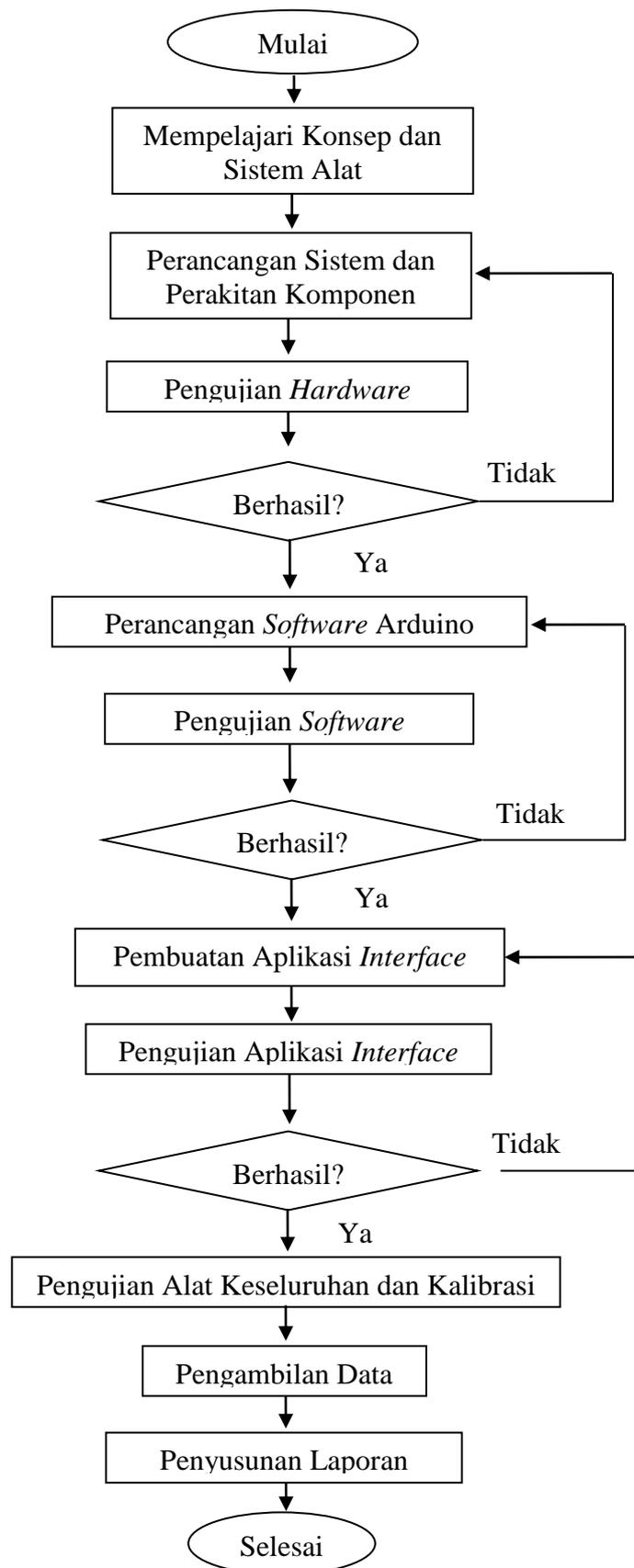
3.3. Prosedur Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Perancangan pembuatan perangkat keras (*hardware*);

2. Perancangan perangkat lunak (*software*) untuk Arduino;
3. Pembuatan aplikasi *interface*.

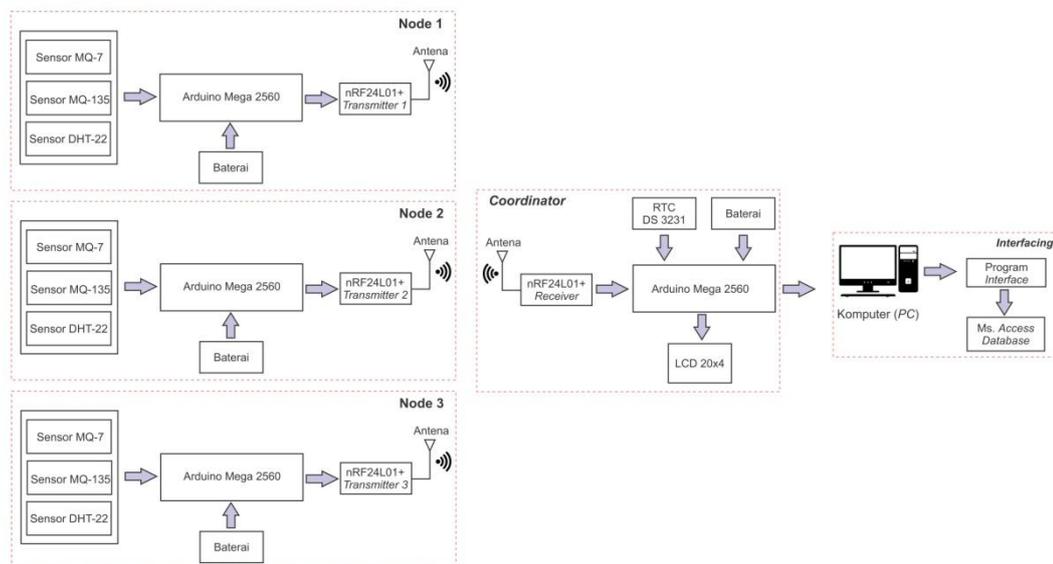
Pada penelitian ini dilakukan beberapa langkah dalam perancangan alat dengan tujuan untuk mengetahui tahapan-tahapan dalam mengerjakan alat sampai dengan selesai. Tahapan pertama yaitu mempelajari konsep dari sistem alat yang akan dibuat, perancangan sistem dan perakitan komponen, dan pengujian *hardware*. Jika *hardware* berhasil dibuat maka dilanjutkan ke tahapan pembuatan *software* pada Arduino. Pada tahapan pembuatan *software* terdiri dari perancangan dan pemrograman *software* pada Arduino IDE, kemudian dilakukan pengujian dan kalibrasi alat. Jika berhasil maka selanjutnya dilakukan pembuatan aplikasi *interface*. Apabila sudah berhasil maka dilanjutkan dengan pengujian alat secara keseluruhan, pengambilan data dan penyusunan laporan. Adapun langkah-langkah kerja pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3.1. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras (*hardware*) merupakan tahap penyusunan komponen-komponen elektronika menjadi satu kesatuan sistem agar dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari sensor MQ-7, sensor MQ-135, sensor DHT-22, Arduino Mega 2560, *transceiver* nRF24L01+, LCD 20x4, *Real Time Clock* (RTC) DS-3231, dan Baterai. Diagram blok perancangan perangkat keras pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2. Blok diagram perangkat keras (*hardware*)

Pada **Gambar 3.2** merupakan blok diagram perangkat keras (*hardware*) terbagi menjadi 5 bagian yaitu blok diagram *Node 1*, *Node 2*, *Node 3*, *Coordinator* dan blok diagram *interfacing*. Pada bagian *Node 1*, *Node 2* dan *Node 3* terdiri dari sensor MQ-7, sensor MQ-135, sensor DHT-22, Arduino Mega 2560, *transceiver* nRF24L01+ (*transmitter*), dan baterai. Pada blok tersebut, terdapat sensor MQ-7 merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi gas karbon monoksida (CO),

terdapat juga sensor MQ-135 yang digunakan untuk mendeteksi gas karbon dioksida (CO₂), dan sensor DHT-22 berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur keadaan suhu lingkungan. Sensor MQ-7 dan MQ-135 tersebut menghasilkan keluaran berupa data analog yang kemudian dihubungkan pada pin Analog *input* pada Arduino Mega 2560 sedangkan sensor DHT-22 menghasilkan keluaran berupa data digital yang dapat langsung dibaca oleh Arduino dengan menghubungkan pin Data *output* sensor ke pin digital *input* pada Arduino Mega 2560.

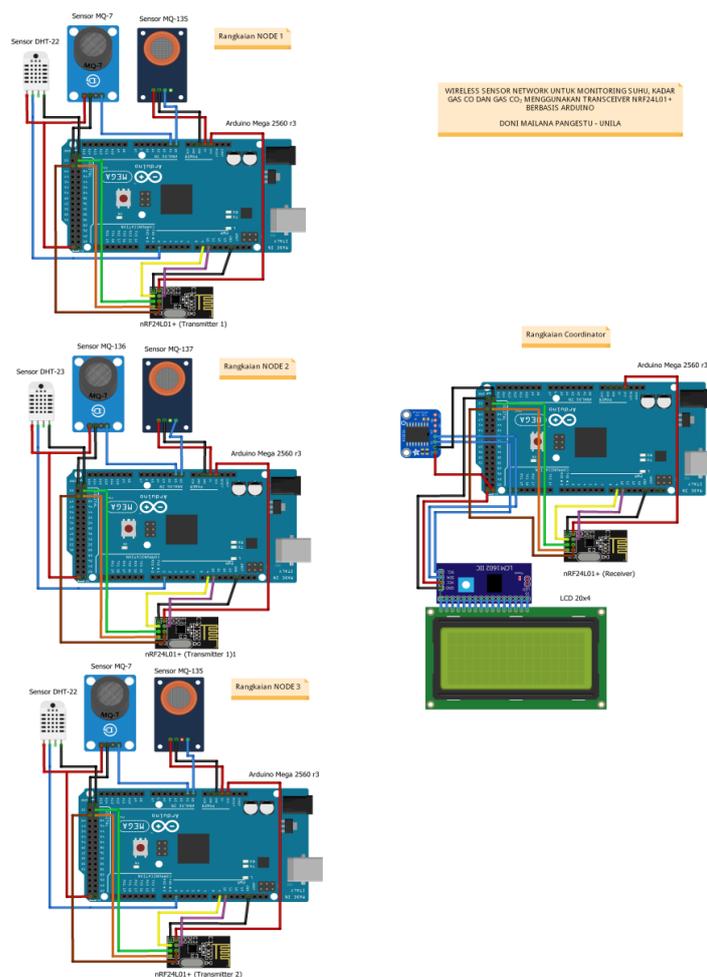
Data keluaran dari tiga sensor tersebut kemudian diolah oleh Arduino dan *output* data ketiga sensor dikirim menggunakan modul *transceiver* nRF24L01+ (*transmitter 1, transmitter 2, transmitter 3*) yang akan diterima oleh modul *transceiver* nRF24L01+ (*receiver*). Pada bagian *coordinator* terdapat *receiver* berupa modul *transceiver* nRF24L01+ yang berfungsi untuk menerima data dari *Node 1, Node 2* dan *Node 3*, selanjutnya data dari kedua *Node* tersebut dibaca oleh Arduino Mega 2560. Hasil pembacaan data dari *node-node* tersebut kemudian diolah oleh Arduino untuk ditampilkan ke LCD 20x4. Selain itu, data hasil *monitoring* dikirimkan ke *port serial* agar data tersebut dapat terbaca oleh computer dan disimpan pada database Microsoft Access Database. Pada blok *coordinator* ini juga dilengkapi dengan modul *Real Time Clock* (RTC) DS-3231 yang berfungsi sebagai modul pewaktuan pada saat pengambilan data yang ditampilkan pada LCD 20x4.

Pada blok *interfacing*, data sensor dari Arduino *coordinator* dikirimkan ke *port serial* komputer dengan menggunakan kabel USB tipe A to USB tipe B. Untuk

membaca data serial tersebut diperlukan aplikasi *interface* untuk pembacaan data serial, aplikasi tersebut dibuat menggunakan *software Microsoft Visual Studio* yang telah dihubungkan dengan *Microsoft Access Database* agar data pembacaan dari *port serial* dapat langsung disimpan kedalam *file database* komputer.

3.3.2. Perancangan Rangkaian Keseluruhan

Rangkaian keseluruhan dari perangkat keras (*hardware*) pembacaan data, sistem pengiriman data dan penyimpanan data terdiri dari 4 bagian yaitu rangkaian *Node 1*, rangkaian *Node 2*, rangkaian *Node 3*, dan rangkaian *coordinator*. Secara umum skema rangkaian keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3. Skema rancangan rangkaian keseluruhan

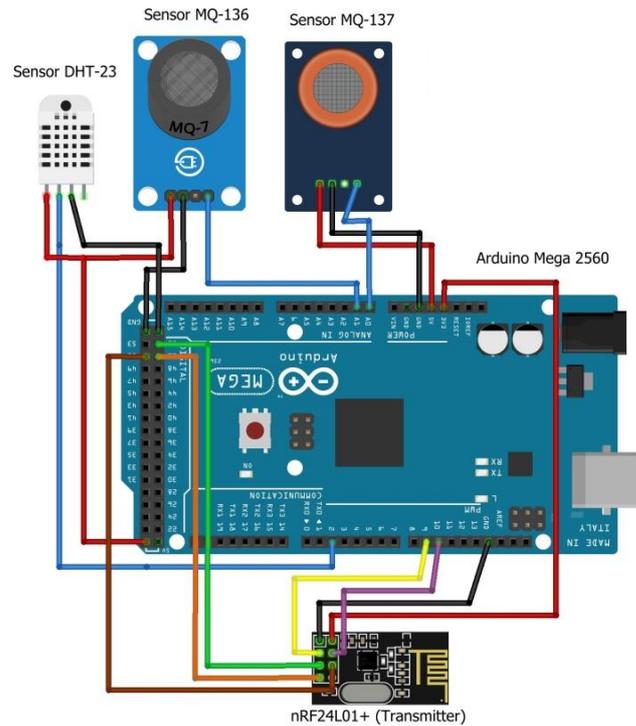
Pada **Gambar 3.3** Node 1, Node 2, Node 3 mempunyai skema rangkaian dan komponen-komponen yang sama. Node-node tersebut terdiri dari beberapa rangkaian antara lain rangkaian sensor MQ-7, rangkaian sensor MQ-135, rangkaian sensor DHT-22, dan rangkaian *transceiver* nRF24L01+. Rangkaian sensor MQ-7 berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur gas CO. Sensor ini menghasilkan keluaran berupa data analog yang dikonversi menjadi data digital dan dilakukan perhitungan sehingga menghasilkan keluaran berupa satuan gas ppm (*part per million*). Sensor MQ-7 mempunyai 4 buah pin yaitu pin VCC, GND, NC, dan AO (*Analog Output*). Pin VCC dihubungkan pada pin output 5 V pada Arduino kemudian pin GND dihubungkan pada pin *ground* pada Arduino sedangkan pin AO (*Analog Output*) dihubungkan pada pin Analog (pin A0) Arduino dan digunakan sebagai inputan pembacaan data sensor CO.

Rangkaian sensor MQ-135 berfungsi untuk mengukur dan mendeteksi gas CO₂. Sensor ini menghasilkan keluaran berupa data analog yang nantinya dikonversi menjadi data digital pada Arduino dan dilakukan perhitungan sehingga menghasilkan keluaran berupa satuan gas ppm (*part per million*). Sensor MQ-135 mempunyai 4 buah pin yaitu pin VCC, GND, NC, dan AO (*Analog Output*). Pin VCC dihubungkan pada pin output 5 V pada Arduino kemudian pin GND dihubungkan pada pin *ground* pada Arduino sedangkan pin AO (*Analog Output*) dihubungkan pada pin Analog (pin A1) Arduino, yang akan digunakan sebagai inputan pembacaan data sensor CO₂.

Rangkaian sensor DHT-22 berfungsi untuk mengukur keadaan suhu suatu lingkungan. Keluaran dari sensor ini berupa data digital yaitu nilai dari

pengukuran suhu dengan satuan Celcius (°C) dan dapat langsung dibaca oleh Arduino dengan menghubungkan pada pin digital *input* Arduino. Sensor DHT-22 mempunyai 4 buah yaitu pin VCC, DATA, NC dan GND (*ground*). Pin VCC dihubungkan pada pin *output* 5 V pada Arduino kemudian pin DATA dihubungkan pada pin digital *input* (pin D2), pin GND dihubungkan pada pin *ground* Arduino sedangkan untuk pin NC pada sensor DHT-22 tidak digunakan.

Rangkaian nRF24L01+ merupakan rangkaian yang berperan dalam proses komunikasi pengiriman data sensor. Modul *transceiver* nRF24L01+ mempunyai kemampuan yang baik dalam proses pengiriman data karena modul ini mempunyai frekuensi radio sebesar 2,4 GHz sehingga dalam proses transmisi data dapat terkirim dengan baik dengan *noise* yang sangat rendah. Pada masing-masing *Node* modul yang digunakan, masing-masing sudah diberi alamat *Node* (*Address*) sehingga dalam proses pengiriman data ke *receiver*, gelombang radio dari masing-masing *Node* tidak akan saling mengganggu. Modul *transceiver* ini mempunyai 8 buah pin yaitu pin VCC, GND, CE, CSN, MISO, MOSI, SCK dan IRQ. Pin VCC dihubungkan pada pin *output* 3,3 V pada Arduino, pin GND dihubungkan pada pin *ground* Arduino, pin CE dihubungkan pada pin digital *input* (pin D9), pin CSN dihubungkan pada pin digital input (pin D10), pin MISO dihubungkan pada pin digital *input* (pin D50), pin MOSI dihubungkan pada pin digital *input* (pin D51) dan pin SCK dihubungkan pada pin digital *input* (pin D52) sedangkan untuk pin IRQ tidak digunakan. Secara umum skema rangkaian untuk *Node 1*, *Node 2*, *Node 3* ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



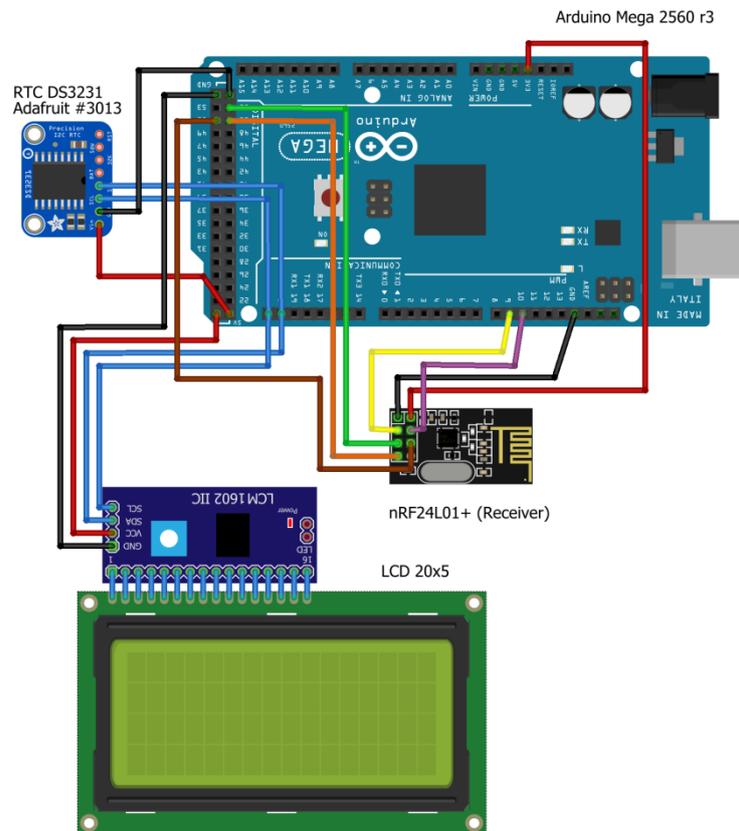
Gambar 3.4. Skema rangkaian *Node 1*, *Node 2* dan *Node 3*

Blok *coordinator* terdiri dari beberapa antara lain rangkaian *transceiver* nRF24L01+ (*receiver*), rangkaian RTC (*Real Time Clock*) DS-3231 dan rangkaian LCD IIC 20x4. Rangkaian *transceiver* nRF24L01+ (*receiver*) merupakan rangkaian yang berperan dalam proses komunikasi penerimaan data sensor dari *Node 1* dan *Node 2*. *Receiver* ini juga sudah diberikan alamat (*Address*) sehingga dalam proses komunikasi dengan *Node 1*, *Node 2* dan *Node 3* data yang dikirimkan akan diterima dengan baik dan mampu dibedakan karena alamat dari masing-masing *Node* sudah dibuat berpasang-pasangan antara *transmitter* dan *receiver*. Modul *transceiver* ini mempunyai 8 buah pin yaitu pin VCC, GND, CE, CSN, MISO, MOSI, SCK dan IRQ. Pin VCC dihubungkan pada pin *output* 3,3 V pada Arduino, pin GND dihubungkan pada pin *ground* Arduino, pin CE dihubungkan pada pin digital *input* (pin D9), pin CSN dihubungkan pada pin digital *input* (pin D10), pin MISO dihubungkan pada pin digital *input* (pin D50),

pin MOSI dihubungkan pada pin digital *input* (pin D51) dan pin SCK dihubungkan pada pin digital *input* (pin D52) sedangkan untuk pin IRQ tidak digunakan atau NC.

Rangkaian RTC (*Real Time Clock*) DS-3231 merupakan rangkaian yang berfungsi untuk memberikan informasi pewaktuan pada saat pengambilan data. Modul ini sudah dilengkapi dengan baterai 3 V yang berfungsi untuk melakukan penyimpanan *setting* pewaktuan sehingga informasi waktu maupun tanggal akan tetap berjalan meskipun modul tidak diberikan tegangan VCC. Modul ini mempunyai 4 buah pin yaitu pin VCC, GND, SDA dan SCL. Pin VCC dihubungkan pada pin *output* 5 V pada Arduino, pin GND dihubungkan pada pin *ground* Arduino, pin SDA dihubungkan pada pin SDA *Communication* (pin D20) dan pin SCL dihubungkan pada pin SCL *Communication* (pin D21).

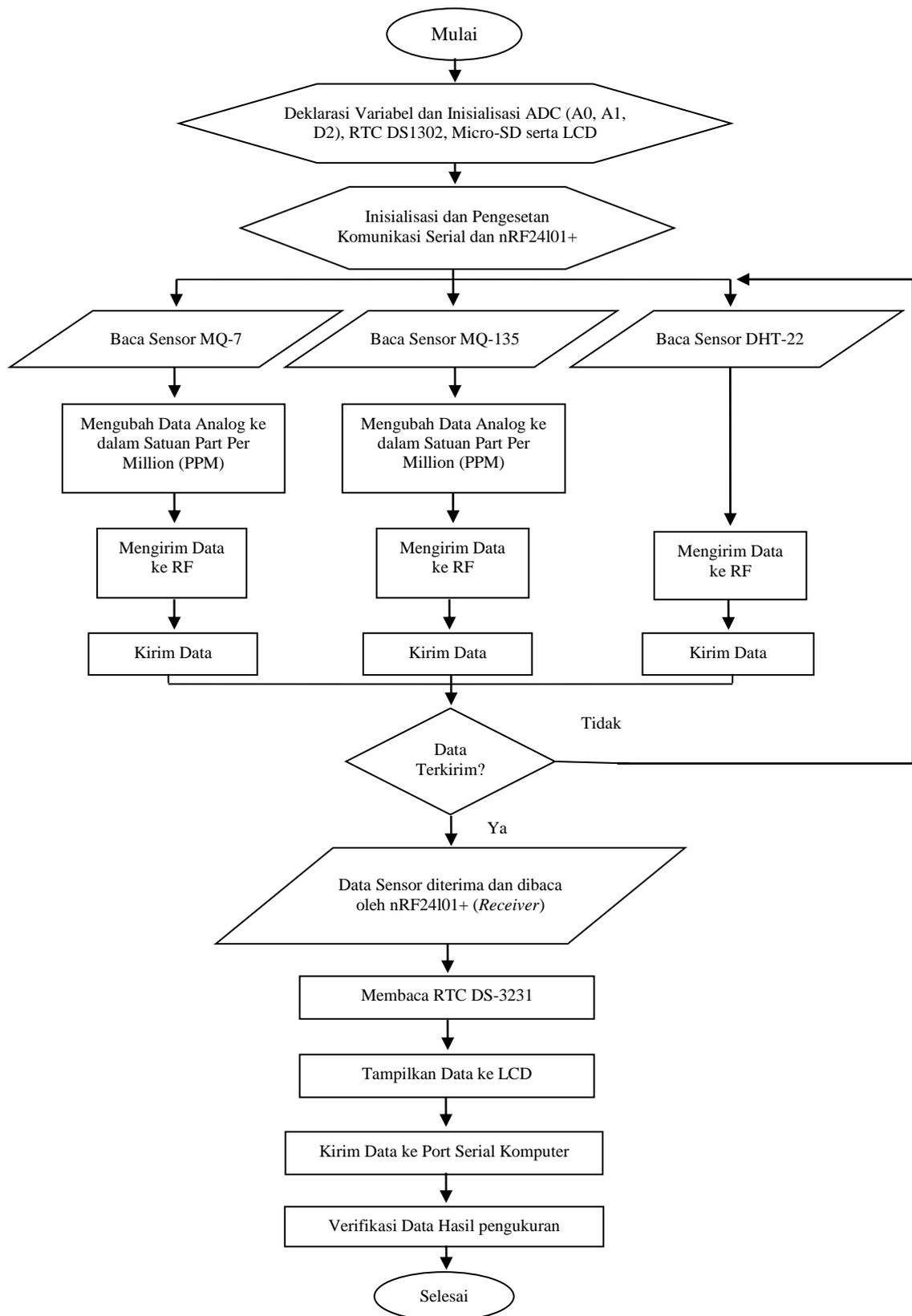
Rangkaian LCD 20x4 berfungsi sebagai media untuk menampilkan data hasil pengiriman dari Node 1, Node 2 dan Node 3 serta untuk menampilkan informasi pewaktuan berupa jam dan tanggal pengambilan data. Modul ini sudah dilengkapi dengan IC I2C yang berfungsi untuk memudahkan pengguna untuk menghubungkan LCD dengan Arduino karena pin yang digunakan pada modul ini hanya berjumlah 4 pin. Modul ini mempunyai 4 buah pin yaitu pin VCC, GND, SDA dan SCL. Pin VCC dihubungkan pada pin *output* 5 V pada Arduino, pin GND dihubungkan pada pin *ground* Arduino, pin SDA dihubungkan pada pin SDA *Communication* (pin D20) dan pin SCL dihubungkan pada pin SCL *Communication* (pin D21). Secara umum skema rangkaian *coordinator (receiver)* ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5. Skema rangkaian pada *coordinator (receiver)*

3.3.3. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

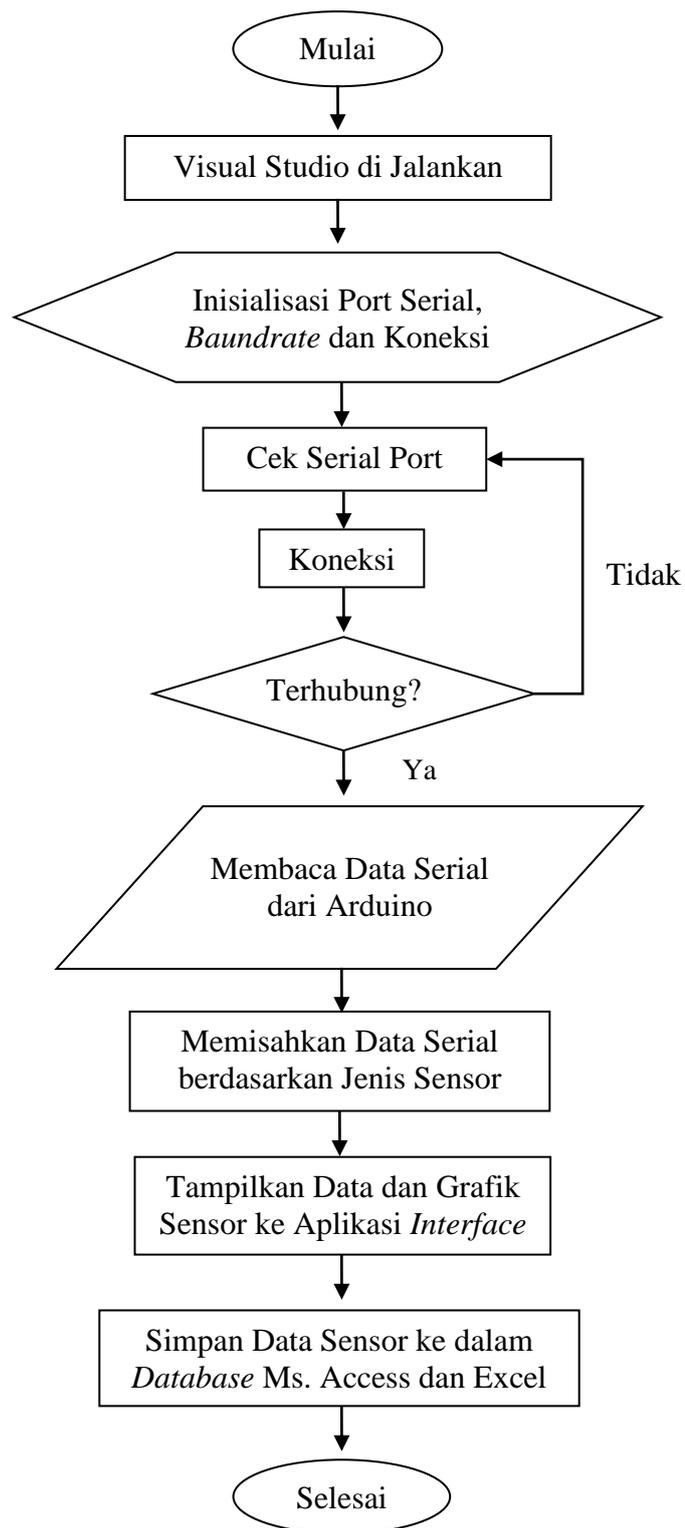
Pada penelitian ini pembuatan perangkat lunak untuk Arduino Mega 2560 menggunakan *software* Arduino IDE versi 1.6.7, *software* ini menggunakan bahasa pemrograman C++ yang mudah dipahami dan telah dilengkapi dengan *library* serta contoh-contoh program didalamnya. Arduino IDE berperan dalam penulisan program, meng-*compile* program menjadi kode biner dan meng-*upload* program ke dalam *memory* mikrokontroler. Diagram alir perancangan perangkat lunak (*software*) dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6. Diagram alir perancangan perangkat lunak (*software*)

3.3.4. Perancangan Aplikasi *Interfacing*

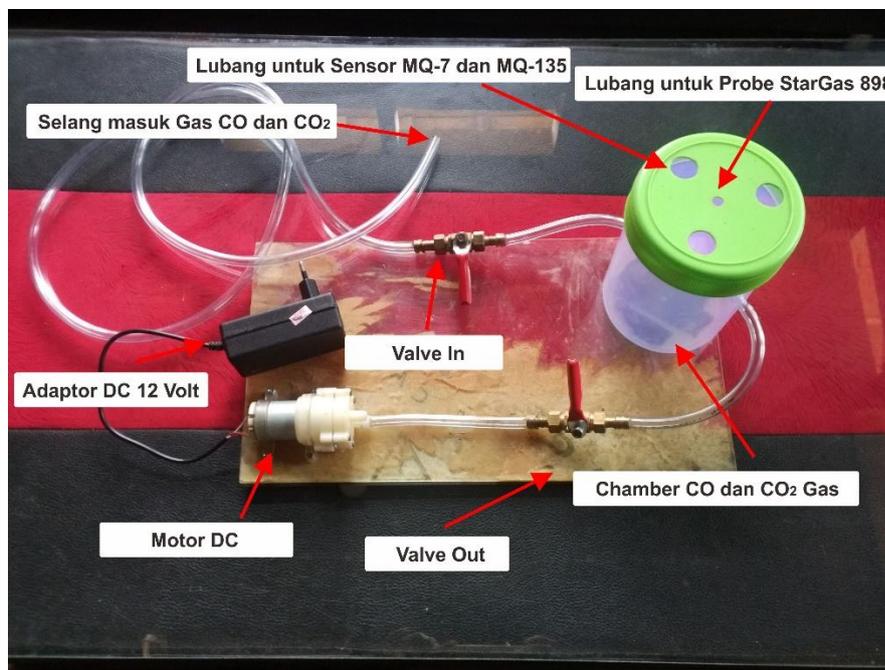
Aplikasi *interfacing* disini merupakan aplikasi yang akan mengatur komunikasi antara *receiver* (*Coordinator*) dengan komputer (PC), yaitu melakukan pengaturan *port* yang akan digunakan untuk jalur pembacaan data serta input data kedalam komputer. Aplikasi *interfacing* ini bisa juga digunakan untuk melakukan kontrol terhadap data masukan yang disimpan dalam *database*. Pada penelitian ini, pembuatan aplikasi *interface* menggunakan *software* pemrograman visual *user interface* (UI) yaitu Microsoft Visual Studio 2013 yang dikombinasikan dengan *Microsoft Access Database* sebagai *software* penyimpanan data-data sensor hasil pengukuran. Diagram alir perancangan aplikasi *interfacing* dapat dilihat pada **Gambar 3.7.**



Gambar 3.7. Diagram alir perancangan aplikasi *interfacing*

3.3.5. Kalibrasi Sensor

Untuk mempermudah proses kalibrasi, digunakan sebuah tabung tertutup yang berfungsi sebagai tempat untuk menampung sampel gas CO agar tidak tercampur dengan gas lingkungan. Tabung tersebut terdiri dari selang berfungsi sebagai media untuk menyalurkan sampel gas, tabung untuk menampung sampel gas, lubang untuk meletakkan sensor MQ-7 dan probe alat StarGas 898, *valve in* / *valve out* berfungsi sebagai pengatur gas masuk dan keluar tabung sampel, kemudian motor DC digunakan untuk membuang/mengosongkan gas pada tabung sampel serta adaptor 12 V digunakan sebagai sumber tegangan untuk menggerakkan motor DC. Adapun susunan dari komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



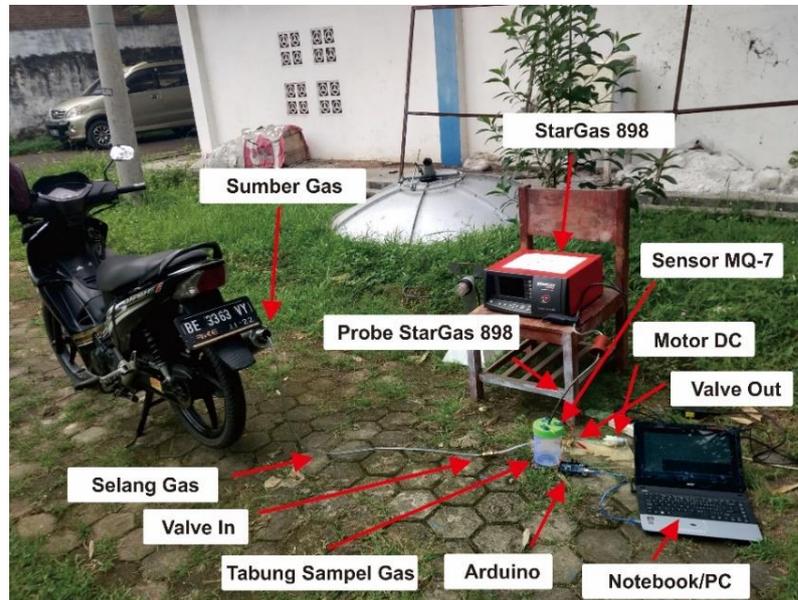
Gambar 3.8 Tabung kalibrasi sensor MQ-7 dan sensor MQ-135

Proses kalibrasi diawali dengan menghidupkan alat StarGas 898 dengan menekan tombol *power ON/OFF*. Sebelum digunakan alat StarGas 898 terlebih dahulu di

warming up (dipanaskan) dengan memilih menu *Auto Zero* pada layar. Proses *Auto Zero* membutuhkan waktu sekitar 2–3 menit, proses ini juga berfungsi untuk membuang gas sisa pengukuran sebelumnya dan mengnolkan nilai-nilai sensor. Setelah proses *Auto Zero* selesai, proses selanjutnya yaitu menghidupkan notebook (PC) untuk menghidupkan Arduino Mega 2560 dan sensor MQ-7 serta melakukan pemanasan pada ketiga sensor MQ-7 yang akan dipakai, proses pemanasan ini membutuhkan waktu 5-10 menit sampai keluaran ADC sensor mempunyai keluaran yang stabil.

Setelah proses *Auto Zero* dan pemanasan ketiga sensor MQ-7 selesai, tahap selanjutnya yaitu memasukkan sampel gas CO yang berasal dari sepeda motor. Pada tahap ini, mesin sepeda motor terlebih dahulu dihidupkan sampai putaran mesin sepeda motor menjadi stabil. Setelah putaran mesin stabil, barulah selang gas sampel dimasukkan ke lubang knalpot sepeda motor dan membuka *valve in*. Secara bersamaan respon naik dari ketiga sensor MQ-7 disimpan per detik pada *database* Microsoft Access di notebook dan respon dari alat StarGas 898 direkam menggunakan kamera telepon seluler (HP). Waktu pengisian sampel gas CO selama 10 detik dan setelah 10 detik *valve in* di tutup. Respon ketiga sensor MQ-7 dan alat StarGas 898 dilihat sampai angka pembacaan pada alat StarGas 898 tidak bergerak naik dan setelah angka pembacaan konstan, *valve out* dibuka bersamaan dengan motor DC dihidupkan untuk membuang gas sampel yang berada di tabung sampel untuk melihat respon turun dari ketiga sensor MQ-7 dan alat StarGas 898 sampai keluaran kedua sensor tersebut tidak berubah (konstan). Selanjutnya, *valve out* kembali ditutup dan *valve in* dibuka kembali selama 10 detik untuk melihat respon naik turun dan respon turun dari ketiga sensor MQ-7 dan alat StarGas 898.

Agar data hasil kalibrasi tersebut valid, tahap-tahap tersebut diulang sampai 3 kali pengulangan. Adapun susunan dari alat-alat yang digunakan dalam proses kalibrasi dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 alat-alat yang digunakan dalam proses kalibrasi

Rancangan tabel hasil kalibrasi untuk sensor MQ-7 dan sensor MQ-135 yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2**

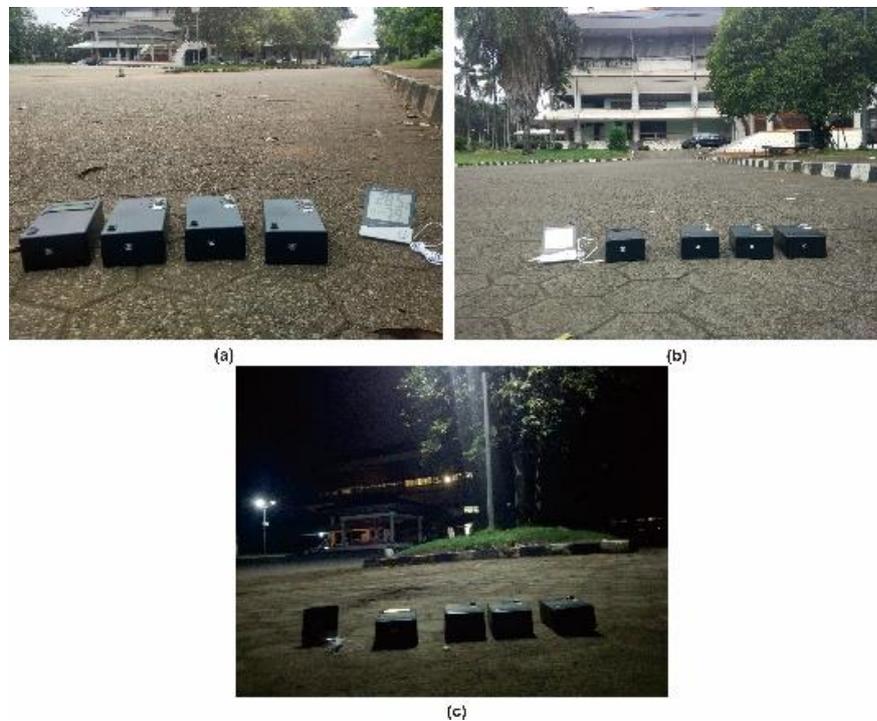
Tabel 3.1. Hasil pengujian sensor MQ-7

No	Sensor MQ-7 (ppm)			Rata-rata (Nilai ADC)	Star Gas 898 (ppm)	Error (%)
	ADC 1	ADC 2	ADC 3			

Tabel 3.2. Hasil pengujian sensor MQ-135

No	Sensor MQ-135 (ppm)			Rata-rata (Nilai ADC)	Star Gas 898 (ppm)	Error (%)
	ADC 1	ADC 2	ADC 3			

Untuk kalibrasi sensor suhu, proses kalibrasi dilakukan dengan cara meletakkan ketiga sistem sensor DHT-22 dan termometer HTC-2 yang sudah terkalibrasi di suatu lingkungan terbuka dengan cara memvariasikan waktu pengambilan data untuk melihat perubahan suhu yang terdeteksi pada sistem sensor dan thermometer HTC-2 serta membandingkannya. Waktu pengambilan data divariasikan pada tiga waktu yang berbeda yaitu dilakukan pada waktu pagi hari, siang hari dan malam hari.



Gambar 3.10 (a) Kalibrasi Sensor DHT-22 dengan Thermometer HTC-2 pada waktu pagi hari, (b) Kalibrasi Sensor DHT-22 dengan Thermometer HTC-2 pada waktu siang hari, (c) Kalibrasi Sensor DHT-22 dengan Thermometer HTC-2 pada waktu malam hari

Tabel 3.3. Hasil kalibrasi sensor DHT-22

No	Sensor DHT-22 (°C)			Thermometer HTC-2 (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
	Node 1	Node 2	Node 3			

3.3.6. Teknik Pengambilan Data

Data yang akan diambil pada penelitian ini yaitu berupa kadar karbon monoksida (CO ppm), karbon dioksida (CO₂ ppm) dan suhu (°C) yang dikirim secara *wireless* dari Node 1, Node dan Node 3 ke koordinator (*receiver*). Node 1, Node 2 dan Node 3 diletakkan pada 3 node lokasi yang berbeda-beda. Data yang dikirimkan dari node-node tersebut dapat dilihat dengan membuka *file data logger* hasil perekaman data dapat diakses dengan menghubungkan bagian *receiver* data dengan aplikasi *interface* pada komputer (PC). Rancangan tabel hasil pengujian yang digunakan pada penelitian ini seperti pada **Tabel 3.4**, **Tabel 3.5** dan **Tabel 3.6**.

Tabel 3.4. Rancangan hasil pengambilan data sensor MQ-7

No	Tanggal	Waktu	Kadar Karbon Monoksida (ppm)		
			Node 1	Node 2	Node 3

Tabel 3.5. Rancangan hasil pengambilan data sensor MQ-135

No	Tanggal	Waktu	Kadar Karbon Dioksida (ppm)		
			Node 1	Node 2	Node 3

Tabel 3.6. Rancangan hasil pengambilan data sensor DHT-22

No	Tanggal	Waktu	Suhu (°C)		
			Node 1	Node 2	Node 3

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Modul radio frekuensi nRF24I01+ pada node 1, node 2 dan node 3 telah berhasil mengirimkan data dan dikomunikasikan ke node penerima membentuk topologi jaringan sensor nirkabel dengan kecepatan transmisi data 250 kbps;
2. Sistem *interfacing* yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak Microsoft Visual Studio 2013 telah berhasil mengirimkan data ke personal komputer (PC) dengan menggunakan komunikasi serial USB sehingga data dari node penerima dapat dibaca dan disimpan ke dalam database Microsoft Office Access;
3. Aplikasi *interface* yang dibuat mampu menampilkan data dalam bentuk grafik *realtime* dan tabel *database* dapat langsung di konversi ke format Microsoft Office Excel untuk memudahkan pengguna dalam proses pengolahan data;

4. Jarak pengiriman terjauh pada pengujian tanpa penghalang (*line of sight*) diperoleh sejauh 375 meter dan pada pengujian dengan adanya penghalang (*non line of sight*) diperoleh sejauh 151 meter.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, kesimpulan dan pengalaman yang diperoleh selama melakukan penelitian, penulis menyarankan hal-hal berikut ini.

1. Dalam proses kalibrasi sensor MQ-7 dan sensor MQ-135 disarankan menggunakan gas CO murni dan gas CO₂ murni untuk memperoleh hasil kalibrasi yang lebih akurat dan lebih valid.
2. Sistem *interfacing* dapat dikembangkan ke *website* sehingga data hasil pemantauan gas CO, gas CO₂ dan suhu lingkungan dapat diakses secara global.
3. Sensor gas CO dan gas CO₂ dapat dikembangkan dengan menggunakan sensor yang khusus mendeteksi gas tersebut seperti sensor ZE-15-CO (CO) dan sensor MHZ19 (CO₂) sehingga menghasilkan data pengukuran yang lebih *real* dan mempunyai sensitivitas tinggi serta memudahkan pengguna dalam proses kalibrasi sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus, L. (2015). Rancang Bangun Prototype Pendeteksi Kadar Co Sebagai Informasi Kualitas Udara Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Coding Sistem Komputer Untan*, 03(2), 44–53.
- Ahmed, H. S. (2015). Wireless Sensor Network for Medical Applications. *Iraq J. Electrical and Electronic Engineering*, 11(1), 49–59.
- Andhika, I. A. B. (2017). Monitoring Suhu Pemanas Portable Berbasis Arduino Yang Terintegrasi dengan Android. (*Skripsi*). Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Arifin, J. (2016). Perancangan Muottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama. ISSN 1858 – 2680*, 12(1), 89–98.
- Asmara, I. T. (2016). Kajian Pencemaran Udara CO₂ di Kota Surakarta (Studi Kasus Di Jalan Adi Soemarmo, Jalan Slamet Riyadi dan Jalan Dr . Radjiman). (*Skripsi*). Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Asriya, P. (2016). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Menggunakan Wireless Sensor Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Fisika Unand*, 5(4), 327–333.
- Awaludin, A., Nugroho, G. A., Latief, C., Budiyo, A., Pusat, P., & Sains, P. (2010). Rancang Bangun Alat Pengukur Dan Sistem Jaringan Data Co 2 Di Indonesia Berbasis Web. *Jurnal Sains Dirgantara*, 8(1), 79–101.
- Basri, I. S. (2010). Pencemaran udara dalam antisipasi teknis pengelolaan sumberdaya lingkungan. *Jurnal SMARTek*, 8(2), 120–129.
- Dharmawan, T. R. (2014). Perancangan dan Realisasi Sistem Sensor Pada Mobile Monitoring Berbasis Android. (*Tugas Akhir*). Universitas Telkom Bandung.
- Fajriansyah, B. (2016). Evaluasi Karakteristik XBee Pro dan nRF24L01+ sebagai Transceiver Nirkabel. *Elkomika*, 4(1), 83–97.

- Fu, Z. (2012). The Control System Design of The Wheel-Legged Robot. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 2(9), 15–19.
- Gaddam, A., & Esmael, W. F. (2014). Designing a Wireless Sensors Network for Monitoring and Predicting Droughts. *Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology*, 210–215.
- Hill, J. (2003). *System architecture for wireless sensor networks. (Thesis)*. Univerisy Of California Berkeley.
- IImi, A. A. (2014). Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Sebagai Informasi Gas Karbon Monoksida pada Jaringan Sensor Nirkabel. *Journal of Control and Network Systems*, 3(2), 36–41.
- Islam, H. I., Nabilah, N., Atsaurry, S. S., Saputra, D. H., Pradipta, G. M., Kurniawan, A., ... Irzaman. (2016). Sistem Kendali Suhu dan Pemantauan Kelembaban Udara Ruangan Berbasis Arduino Uno dengan Menggunakan Sensor DHT22 dan Passive Infrared (Pir). *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 5, 119–124.
- Kautsar, M. S. (2014). Rancang Bangun Aplikasi Pemantau Data Wireless Sensor Network untuk Peringatan Dini Terhadap Banjir. *Journal of Control and Network Systems*, 3(2), 26–35.
- Khoswanto, H. (2003). Odometer Digital untuk Kendaraan dengan Mikrokontroler MCS51. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 75–82.
- Koprda, S. (2015). New Trends and Developments in Automotive in Agriculture. *COMPUSOFT*, 4(2), 1492–1494.
- Marwan, D. (2013). Pengembangan Media Praktikum Software Visual Studio 2013 pada Materi Metode Harga Pokok Pesanan dan Proses. *(Skripsi)*. Universitas Negeri Surabaya.
- Nayak, R. (2017). Iot Based Air Pollution Monitoring System. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 3(4), 571–575.
- Nebath, E. (2014). Rancang Bangun Alat Pengukur Gas Berbahaya CO Dan CO₂ di Lingkungan Industri. *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, 65–72.
- Novianta, M. A. (2011). Sistem Data Logger Curah Hujan Dengan Model Tipping Bucket Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi*, 4(2), 161–166.
- Ohara, G. . (2005). Aplikasi Sistem Monitoring Berbasis Web untuk Open Cluster. *(Tugas Akhir)*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom Bandung.

- Oktaviani, H. H. (2015). Pembuatan Pangkalan Data Arsip Menggunakan Microsoft Access pada Seksi Pemberitaan. *Jurnal Ilmu Informasi Perpustakaan Dan Kearsipan*, 4(1), 1–8.
- Pambudi, K. W. (2014). Rancang Bangun Wireless Sensor Network untuk Monitoring Suhu dan Kelembaban Pada Lahan Tanaman Jarak. *Journal of Control and Network Systems*, 3(2), 09-17.
- Prayudi, T. (2001). Kualitas Debu dalam Udara sebagai Dampak Industri Pengecoran Logam Ceper. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(2), 168–174.
- Putro, I. A. E. (2012). Rancang Bangun Alat Ukur Emisi Gas Buang , Studi Kasus : Pengukuran Gas Karbon Monoksida (CO). (*Skripsi*). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Rahadian, F. (2011). Sistem Pengelolaan Database Siswa Menggunakan Pemrograman Visual Studio .Net. *Jurnal Pendidikan Dompot Dhuafa Edisi I*, 1–14.
- Rahim, Z. (2016). Design and Implementation of a Low Cost Wireless Sensor Network using Arduino and nRF24L01+. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 5(5), 2278–2882.
- Rajiah, K. (2011). Clinical manifestation, effects, diagnosis, monitoring of carbon monoxide poisoning and toxicity. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(2), 259–263.
- Raju, P. V. (2013). Pollution Monitoring System using Wireless Sensor Network in Visakhapatnam, 4(April), 591–595.
- Ratnani, R. D. (2008). Teknik Pengendalian Pencemaran Udara yang Diakibatkan oleh Partikel. *Momentum*, 4(2), 27–32.
- Santi, D. N. (2001). Pencemaran Udara oleh Timbal (Pb) serta Penanggulangannya. (*Skripsi*). Universitas Sumatera Utara Medan.
- Sarungallo, S. K. (2017). Rancang Bangun Alat Ukur Uji Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis Mikrokontroler. *Teknologi Elektro*, 16(1), 141–145.
- Sciences, E. R. (2017). Review of In-Cabin Carbon Dioxide Levels. *En RiskS*, 20-22.

- Septadi, A. H. (2016). Rancang Bangun Thermohygrometer Digital Menggunakan Sistem Mikropengendali Arduino dan Sensor DHT22. *Prosiding SNST Ke-6*, 83–88.
- Setyowati, D. L. (2008). Iklim Mikro dan Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau di Kota Semarang. *J. Manusia Dan Lingkungan*, 15(3), 125–140.
- Sihotang, R. S. (2010). Pemetaan Distribusi Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) dari Kontribusi Kendaraan Bermotor di Kampus ITS Surabaya. (Skripsi). Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP.
- Soekamto, T. H. (2008). Intoksikasi Karbon Monoksida. *Journal Airlangga University*, 1(1), 1–20.
- Soleh. (2016). Desain dan implementasi smart home system pengendali lampu rumah berbasis arduino mega. *Seminar Riset Teknologi Informasi (SRITI)*, 99–106.
- Sonavane, S. S. (2009). MSP430 and nRF24L01 Based Wireless Sensor Network Design with Adaptive Power Control. *ICGST-CNIR Journal*, 8(2), 11–15.
- Sugianto, A. (2014). Purwarupa Sistem Pemantauan Kualitas Udara secara Daring. (Skripsi). Universitas Widyatama Bandung.
- Sugiarti. (2009). Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia Air Pollutan Gasses and The Influence of Human Healt. *Jurnal Chemica*, 10(1), 50–58.
- Susmono, R. W. (2012). Perancangan dan Realisasi Monitoring Kualitas Udara Jarak Jauh Dengan Komunikasi GPRS. (Tugas Akhir). Universitas Telkom Bandung.
- Syofian, A. (2015). Perancangan dan Pembuatan Jam Digital dengan Output Suara Untuk Tuna Netra Berbasis Mikrokontroler AT89S52. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 4(1), 56–64.
- Ünsal, E. (2016). Low Cost Wireless Sensor Networks for Environment Monitoring. *The Online Journal of Science and Technology*, 6(2), 61–67.
- Vitalenko, F. (2011). Prototipe Alat Pengukur Suhu dan Kelembaban Berbasis Web. (Tugas Akhir). Universitas Sebelas Maret Semarang.
- Yuliando, D. T. (2017). Strategi Pengendalian Pencemaran Gas Karbon Monoksida (CO) oleh Aktivitas Transportasi di Kota Padang, Sumatera Barat. (Thesis). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Yulianti, S. (2013). Analisis Konsentrasi Gas Karbon Monoksida (CO) pada Ruas Jalan Gajah Mada Pontianak. (*Skripsi*). Universitas Tanjungpura Pontianak.