

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GAS PADA
LINGKUNGAN BERBASIS ARDUINO**

(Skripsi)

Oleh

VICTOR FARHAN WIJAYA



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GAS PADA LINGKUNGAN BERBASIS ARDUINO

Oleh

VICTOR FARHAN WIJAYA

Kota besar seperti Bandar Lampung telah tercemar oleh banyaknya gas polutan yang dihasilkan dari asap kendaraan bermotor, asap dari cerobong pabrik, dan penggunaan pupuk kimia. Terlalu banyak gas polutan di udara sangat berbahaya pada lingkungan. Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang dapat memantau kualitas udara. Pada tugas akhir ini dirancang suatu sistem yang dapat memantau gas-gas berbahaya tersebut. Sistem tersebut menggunakan sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu dan kelembaban, sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO dan sensor MG 811 sebagai pendeteksi gas CO₂. Pemroses data menggunakan mikrokontroler Aduino Mega dan media transmisi data nirkabel menggunakan perangkat telemetri XBee S2. Perangkat lunak XAMPP digunakan sebagai Media penampil data pada komputer berbasis WEB. Pengujian dan pengkalibrasian sensor dilakukan di lingkungan terbuka maupun tertutup dengan membandingkan hasil pengukuran dengan instrumen pengukuran standar. Sistem pemantauan yang telah dikembangkan ini telah berhasil menampilkan data suhu, kelembaban, gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida dalam bentuk grafik pada jendela web dengan komunikasi nirkabel. Kadar gas karbon monoksida pada lingkungan yang terbaca oleh sistem memiliki kesalahan rata-rata sebesar 72,082 ppm dan kesalahan rata-rata kadar gas karbon dioksida sebesar 281,36 ppm.

Kata kunci: Pencemaran Udara , DHT22, MQ-7, MG811, Mikrokontroler Arduino Mega, XBee S2, XAMPP.

ABSTRACT

SYSTEM DESIGN GAS MONITORING ENVIRONMENTAL BASED ON ARDUINO

By

VICTOR FARHAN WIJAYA

A big city like Bandar Lampung has been tainted by a number of pollutant gases from motor vehicle fumes, fumes from the factory chimney, and from chemical fertilizers use. A lot of gas pollutants in the air are very harmful to the environment. Because of that we need a tool that can monitor the air quality. In this final project, we have designed a system that can monitor the harmful gases. The system uses DHT22 sensor as the detector of temperature and humidity, the MQ-7 sensor is to detect CO gas and the MG sensor 811 is to detect CO₂. To process the data using microcontroller Arduino Mega and wireless data transmission media using XBee S2 telemetry devices. XAMPP software used as a viewer media on WEB-based data on the computer. Test and calibration sensor was on the open or closed field by compare the result of standard instruments measurement. This monitoring system that have been developed have been successfully display the data as temperature, humidity, carbon monoxide and carbon dioxide gas in the form of graphs on the web with wireless communication window. The levels of carbon monoxide gas on the environment that is readable by the system has an average error of 72.082 ppm and an average error of carbon dioxide gas levels at 281.36 ppm.

Keywords: Air Pollution, DHT22, MQ-7, MG811, Arduino Mega Microcontroller, XBee S2, XAMPP.

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GAS PADA
LINGKUNGAN BERBASIS ARDUINO**

Oleh

VICTOR FARHAN WIJAYA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

**: RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN
GAS PADA LINGKUNGAN BERBASIS
ARDUINO**

Nama Mahasiswa

: Victor Farhan Wijaya

Nomor Pokok Mahasiswa : 1015031084

Program Studi

: Teknik Elektro

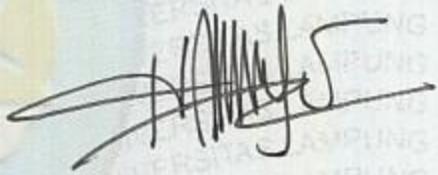
Fakultas

: Teknik

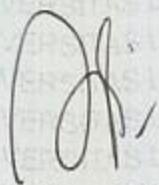
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002


Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19731004 199803 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro


Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

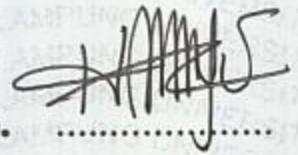
Ketua

: **Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**



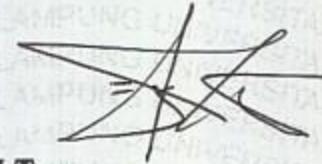
Sekretaris

: **Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **21 September 2016**

SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, Oktober 2016



Victor Farhan Wijaya
NPM 1015031084

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis adalah anak ketiga dari empat bersaudara yang dilahirkan di Yogyakarta pada tanggal 28 Agustus 1991 dari pasangan Bapak Ir. Saiful Fitri Putra Negara dan Ibu Endar Ariswati.

Penulis pertama kali mengenyam pendidikan tingkat sekolah dasar di SD Muhammadiyah 2, lulus tahun 2004, Sekolah Menengah Pertama di SMP N 9 Bandar Lampung, lulus tahun 2007, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Muhammadiyah 2 Bandar Lampung, lulus tahun 2010. Penulis melanjutkan pendidikan keperguruan tinggi di Universitas Lampung pada tahun 2010.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Universitas Lampung pada Jurusan Teknik Elektro melalui jalur UML (Ujian Masuk Lokal). Setelah menginjak semester kelima, penulis memfokuskan diri pada konsentrasi Sistem Isyarat Elektrik khususnya Elektronika. Selama menjadi mahasiswa, penulis menjabat sebagai asisten pada Praktikum Dasar Elektronika dan Asisten pada Praktikum Elektronika Lanjut.

Selama masa kuliah, penulis aktif di lembaga kemahasiswaan yang berada di Jurusan Teknik Elektro, yaitu HIMATRO (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) dan FOPMALA (Forum Penyelam Mahasiswa Lampung).

Dalam masa kuliah, penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. KS (Krakatau Steel) divisi Billet Steel Plant (BSP) dalam jangka waktu satu bulan. Dalam melaksanakan Kerja Praktik, penulis ditempatkan pada bagian pengolahan limbah keluaran peleburan baja (Electric Arc Furnace). Penulis menyelesaikan Kerja Praktik dengan menulis sebuah laporan yang berjudul : “SISTEM KONTROL KONVEYOR BERBASIS PLC *SIEMENS S5-155U* PADA PROSES *DUST TRANSPORT* SISTEM *DEDUSTING ELECTRIC ARC FURNACE*”.



MOTTO

“Berani hidup harus berani menghadapi masalah, jangan takut dan jangan gentar, hadapi dengan benar dan tawakal, karena setiap masalah sudah diukur Allah sesuai kemampuan kita.”

(Aa Gym)

*“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”*

(Al-Quran, Surat Al – Insyirah, 94 : 5 – 6)

“Tidak ada balasan untuk kebaikan selain kebaikan (pula)”

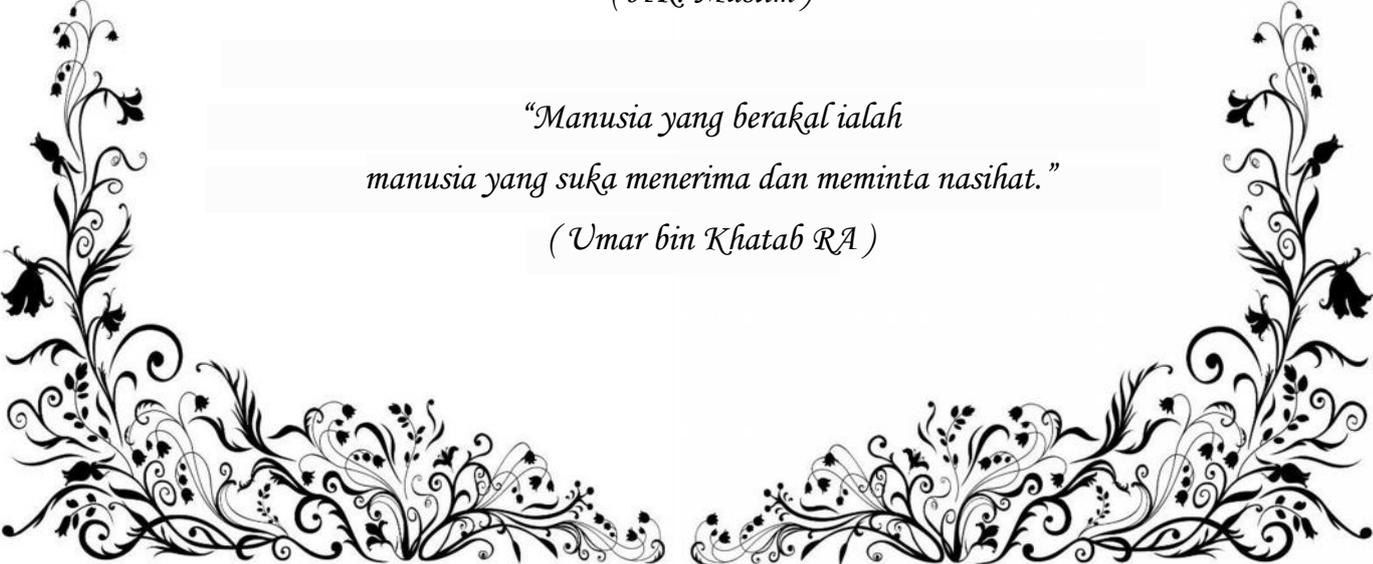
(Al-Quran, Surat Ar – Rahman, 55 : 60)

“Apabila manusia telah meninggal dunia maka terputuslah semua amalannya kecuali tiga amalan : shadaqah jariyah, ilmu yang bermanfaat, dan anak sholih yang mendoakan dia.”

(HR. Muslim)

*“Manusia yang berakal ialah
manusia yang suka menerima dan meminta nasihat.”*

(Umar bin Khatab RA)



PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT, teriring shalawat kepada Nabi Muhammad

SAW Karya tulis ini kupersembahkan untuk:

*Ayah dan Ibuku Tercinta
Saiful Fitri Putra Negara & Endar Ariswati*

*Kakak Serta Adikku Tersayang
Suci Fitri Ani, Johan Kurniawan dan David Sanjaya*

*Orang yang selalu memotivasiku
Risty Febria Rizki*

*Teman-teman kebanggaanku
Rekan-rekan Jurusan Teknik Elektro*

*Almamaterku
Universitas Lampung*

*Bangsa dan Negaraku
Republik Indonesia*

*Terima-kasih untuk semua yang telah diberikan kepadaku. Jazakallah
Khairan.*

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini. Shalawat serta salam disanjungkan kepada Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafaatnya di hari akhir kelak.

Skripsi yang berjudul “**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GAS PADA LINGKUNGAN BERBASIS ARDUINO**” digunakan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam masa perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak hal baik berupa dukungan, semangat, motivasi dan banyak hal yang lainnya. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor
Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik
Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku kepala Jurusan Teknik Elektro
fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing
Utama. Terimakasih atas kesedian waktunya untuk membimbing dan
memberikan ilmu.
5. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing kedua.
Terimakasih atas waktu dan bimbingannya selama mengerjakan tugas akhir

6. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir. Terimakasih atas masukan guna membuat tugas akhir ini menjadi lebih baik lagi.
7. Seluruh Dosen Teknik Elektro, Terimakasih atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama menuntut ilmu di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Keluarga Besar Teknik Elektro, Mbak Ning, Mbak Diah, Mas Daryono , dll, terimakasih atas kebersamaan dan waktu serta ilmu yang telah diberikan.
9. Ayah dan Ibu, Ir. Saiful Fitri Putra Negara dan Endar Ariswati. Tiada kata yang dapat tertulis atas segala pengorbanan yang kalian lakukan untuk hidupku, hanya terimakasih yang tak terkira atas segala yang telah dilakukan untukku.
10. Kakakku Suci Fitri Ani, Johan Kurniawan dan Adiku David Sanjaya terimakasih atas motivasi dan dukunganya agar segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Kepada Risty Febria Rizki terimakasih atas do'a, motivasi, serta hal-hal yang telah membuat penulis semangat untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
12. Fuad Paksi, M. Abidin Amriansyah, Debby Kuncoro Wibowo, Prima Vitna Trianto, Chandra, Andri, Sivam dan Inem yang selalu menemani GOWES setiap minggu di sela-sela waktu libur agar penulis tidak penat dengan dunia perkuliahan.

13. Terimakasih atas waktu untuk bermain PES nya kepada Joelisca Saputra, Nuril Ilmi Tohir, Ibnea Sosipater Ginting, Jefrianto Simamora, Imam Sholeh Maulana dan Melzi Ambar Mazta.
14. Fendi Antoni, M.Yusuf Tamtomi, M. Jerry Jeliandara Suja, Mahendra Pratama, Bagus Gilang Pratama, Yudi Eka Putra, Sofyan, Haki Midia Aliman Hakim, Ipin, Kiki dan Andri Gunawan. Terimakasih atas dukungan dan kerjasamanya dalam terselesaikanya skripsi ini.
15. Abdul Munif Hanafi, Rizki Alandani, dan Sigit Santoso. Terimakasih telah banyak membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga selesai dengan baik.
16. Sahabat Lorong perjuangan (Sofyan, Fendi, Budi, Nuril, Khoirul dan Kiki) terimakasih atas kebersamaanya selama ini.
17. KHUSUS kepada Ryan Noferiawan, C.S.T (PADUKA PENCENG YANG TERHORMAT) terimakasih telah mengajari serta menemani hingga penulis mendapatkan gelar S.T semoga cepat menyusul dan menjadi partner bisnis amin.
18. Kepada Wulan Rahma Izzati terimakasih banyak karna telah merepotkan selama ini.
19. Teman-teman keluarga besar ee.amubaubau 2010 terimakasih atas segala yang telah diberikan.

Semoga apa yang telah diberikan selama ini mendapat balasan yang lebih baik dari dari Allah SWT.

Bandar lampung, Oktober 2016

Penulis,

Victor Farhan Wijaya

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	2
1.4. Rumusan Masalah.....	2
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Hipotesis	3
1.7. Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pencemaran Lingkungan.....	5
2.2. Sistem <i>Monitoring</i>	7
2.3. Arduino	8
2.4. Sensor.....	10
2.4.1. DHT 22	11
2.4.2. MQ-7.....	12
2.4.3. MG-811.....	13
2.5. XBee	14

2.5.1. XBee S2	15
2.6. XAMPP	16

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2. Alat dan Bahan.....	17
3.3. Spesifikasi Alat	18
3.4. Spesifikasi Sistem	19
3.4. Metode Penelitian	20
3.4.1. Studi Literatur	21
3.4.2. Perancangan Sistem JSN.....	22
3.4.3 Pengujian Perangkat Sistem.....	29
3.4.4. Pengukuran Konsumsi Daya.....	35
3.4.5. Analisis dan Kesimpulan	36
3.4.6 . Pembuatan Laporan.....	36

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Prinsip Kerja Sistem	37
4.2. Hasil Pengujian Sensor	40
4.2.1. Hasil Pengujian Sensor Suhu	40
4.2.2. Hasil Pengujian Sensor Kelembaban	41
4.2.3. Hasil Kalibrasi Sensor Gas Karbon Monoksida.....	43
4.2.4. Hasil Kalibrasi Sensor Gas Karbon Dioksida	45
4.3. Pengujian Akuisisi Data.....	47
4.3.1. Pengujian Perangkat Lunak IDE Arduino.....	48
4.3.2. Perangkat Lunak XAMPP.....	48
4.4. Konsumsi Daya Pada Nodal Sensor.....	50

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan	54
5.2. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1. Board Arduino Mega 2560 R3	10
Gambar 2. 2. DHT 22 Sensor Suhu dan Kelembaban	11
Gambar 2. 3. Sensor Gas Karbon Monoksida MQ-7	12
Gambar 2. 4. Bentuk Fisik MG-811	13
Gambar 2. 5. Pin-Pin MG-811	14
Gambar 2. 6. Bagian Dalam Sensor MG-811.....	14
Gambar 2. 7. XBee S2.....	15
Gambar 2. 8. Tampilan XAMPP.....	16
Gambar 3. 1. Perangkat Nodal Sensor.....	19
Gambar 3. 2. Perangkat Nodal Koordinator	19
Gambar 3. 3. Diagram Alir penelitian	21
Gambar 3. 4. Diagram Alir Prosedur Kerja.....	22
Gambar 3. 5. Blok Diagram Sistem Pemantauan	24
Gambar 3. 6. Blok Diagram Nodal Sensor.....	24
Gambar 3. 7. Blok Diagram Nodal Koordinator	25
Gambar 3. 8. Konfigurasi PC setting pada X-CTU	26
Gambar 3. 9. Konfigurasi XBee S2 dengan X-CTU	26
Gambar 3. 10. Diagram Alir Kerja Sistem	28
Gambar 3. 11. Rangkain Skematik Sistem Keseluruhan.....	29
Gambar 3. 12. Metode pengujian sensor suhu DHT 22	30
Gambar 3. 13. Metode pengujian sensor kelembaban DHT 22	31
Gambar 3. 14. Kalibrasi Sensor MQ-7	33
Gambar 3. 15. Kalibrasi Sensor MG811	34
Gambar 3. 16. Metode Pengukuran konsumsi Arus XBee S2.....	35
Gambar 3. 17. Metode Pengukuran Konsumsi Arus Nodal Sensor	36
Gambar 4. 1. Realisasi Perangkat Nodal Sensor	38

Gambar 4. 2. Perangkat Nodal Koordinator	38
Gambar 4. 3. Antarmuka Sistem Pemantauan JSN	39
Gambar 4. 4. Pengujian sensor suhu DHT 22	40
Gambar 4. 5. Pengujian sensor kelembaban DHT 22.....	42
Gambar 4. 6. Grafik Hubungan Sensor MQ-7 dengan E instrument E4500-C ...	44
Gambar 4. 7. Grafik Hubungan Sensor MG811 dengan E instrument E4500-C	46
Gambar 4. 8. Akuisisi Data Perangkat Lunak IDE Arduino	48
Gambar 4. 9. Tampilan Data Saat Merubah Format Serial	49
Gambar 4. 10. Tampilan Data Berupa Grafik	50
Gambar 4. 11. Pengukuran Konsumsi Arus Nodal Sensor.....	51
Gambar 4. 12. Hasil Pengukuran Pada Saat Sistem On	51
Gambar 4. 13. Hasil Pengukuran Pada Saat Sistem Off.....	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1. Karakteristik dan Efek Gas Beracun	6
Tabel 2. 2. Spesifikasi Arduino Mega 2560	10
Tabel 3. 1. Tabel Alat dan Bahan	17
Tabel 4. 1. Hasil Pengujian Sensor Suhu DHT 22	41
Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Sensor Kelembaban DHT 22	42
Tabel 4. 3. Hubungan Keluaran MQ-7 dan E instrument E4500-C	43
Tabel 4. 4. Hasil Kalibrasi Sensor MQ-7	44
Tabel 4. 5. Hubungan Keluaran MG811 dan E instrument E4500-C	45
Tabel 4. 6. Hasil Kalibrasi Sensor MG811.....	47

DAFTAR ISTILAH

- Nodal** : sebutan untuk transceiver gelombang radio yang digunakan untuk mengirim dan menerima data hasil pemantauan dari sensor.
- Nodal sensor** : Komponen kesatuan dari jaringan yang dapat menghasilkan informasi, biasanya merupakan sebuah sensor atau juga dapat berupa sebuah aktuator yang menghasilkan umpan balik pada keseluruhan operasi.
- Protokol** : Aturan dalam komunikasi untuk menunjang terjalannya komunikasi antar berbagai perangkat.
- ZigBee** : Spesifikasi untuk jaringan protokol komunikasi tingkat tinggi, menggunakan radio digitasl berukuran kecil dengan daya yang rendah dan berbasis pada standar IEEE 802.15.4.
- IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers adalah organisasi nirlaba internasional yang merupakan asosiasi profesional utama untuk peningkatan teknologi elektro.
- JSN** : Jaringan Sensor Nirkabel yaitu jaringan sensor yang menggunakan komunikasi nirkabel sebagai media transmisi datanya.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pembangunan yang berkembang dewasa ini, khususnya dalam industri dan teknologi serta meningkatnya jumlah kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil (minyak) menyebabkan udara yang kita hirup di sekitar kita menjadi tercemar oleh gas-gas buangan hasil pembakaran. Udara mempunyai arti yang sangat penting didalam kehidupan dan keberadaan benda lainnya. Sehingga udara merupakan sumber daya alam yang harus dilindungi untuk kehidupan manusia dan makhluk lainnya [1].

Kota besar seperti Bandar Lampung telah tercemar oleh banyaknya gas-gas yang dihasilkan dari asap kendaraan bermotor, asap dari cerobong pabrik, dan penggunaan pupuk kimia terlalu banyak oleh petani yang menghasilkan gas berbahaya pada lingkungan. Untuk mengetahui tingkat pencemaran udara tersebut diperlukan suatu alat yang dapat memantau kualitas udara.

Penelitian yang membahas tentang pemantauan kualitas udara sudah ada seperti yang dikerjakan oleh Muhammad Izzudin Shofar dan Suryono (2014) yang merancang sistem telemetri pemantau gas Karbon Dioksida menggunakan jaringan wifi [2]. Selanjutnya oleh Yulfiani Fikri (2013) yang merancang sistem *monitoring* kualitas udara berbasis mikrokontroler ATmega 8535 dengan komunikasi protokol TCP/IP [3]. Dari kedua penelitian tersebut pemantauan yang dilakukan hanya pada gas karbon dioksida dan nitrogen dioksida saja. Oleh karena itu penulis ingin mengembangkan penelitian di atas dengan merancang sistem yang dapat memantau beberapa gas seperti karbon dioksida, karbon monoksida, serta memantau suhu dan kelembaban pada lingkungan secara nirkabel.

Berdasarkan latar belakang inilah penulis membuat sistem pemantauan gas pada lingkungan berbasis mikrokontroler *Arduino*. Harapannya alat ini dapat menampilkan jumlah kadar gas berbahaya yang tercemar di udara sehingga membantu penduduk kota Bandar Lampung mengetahui dan menyadari bahwa asap kendaraan bermotor, asap cerobong pabrik, dan penggunaan pupuk kimia terlalu banyak sangatlah berbahaya bagi kesehatan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membuat sistem pemantauan gas pada lingkungan berbasis mikrokontroler *Arduino* secara *realtime*.
2. Sistem yang dibuat dapat memantau gas CO, CO₂, suhu dan kelembaban.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang keadaan lingkungan yang tercemar oleh gas CO, CO₂ secara *real time* melalui media komputer.

1.4. Rumusan Masalah

Dengan permasalahan yang telah dijelaskan pada bagian latar belakang, rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini yaitu :

“Bagaimana merancang dan membuat sistem yang dapat memantau dan menampilkan jumlah kadar gas pada lingkungan secara *real time* dengan jaringan sensor nirkabel dan ditampilkan pada WEB .”

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Hanya memantau kadar gas CO, CO₂ serta suhu dan kelembaban.
2. WEB hanya digunakan untuk menampilkan data yang diperoleh dari sensor melalui XBee sebagai telemetrinya.
3. Tidak membahas secara terperinci kinerja dari jaringan komunikasi yang terjadi pada sistem.

1.6. Hipotesis

Sistem yang dirancang diduga dapat melakukan pengukuran dan dapat memantau kadar gas yang terdapat pada lingkungan secara *realtime* dan ditampilkan pada WEB.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai materi tugas akhir ini, maka tulisan ini dibagi menjadi lima bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah, rumusan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori dasar yang menunjang dalam penelitian seperti, pencemaran lingkungan, pencemaran udara, sistem *monitoring*, Arduino beserta perangkat lunaknya, sensor-sensor yang digunakan dan XBee sebagai telemetrinya. .

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian, diantaranya waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, serta prosedur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan hasil dari pengujian dan pengambilan data, serta analisa hasil pengujian tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat simpulan yang diperoleh dari pembuatan dan pengujian alat, dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Lingkungan

Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, makhluk hidup termasuk manusia dan perilakunya yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya. Namun pencemaran lingkungan disuatu kota atau kawasan merupakan salah satu masalah yang kerap muncul. Menurut Undang-undang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup Nomor 32 tahun 2009, polusi atau pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya [1]. Adapun karakteristik dan efek dari gas beracun dapat dilihat pada Tabel 2.1. di bawah ini.

Tabel 2. 1. Karakteristik dan Efek Gas Beracun[4]

KATEGORI	RENTANG (PPM)	CO	NO ₂	OZON (O ₃)	SO ₂	PARTIKEL
Baik	0-50	Tidak Ada Efek	Sedikit Berbau	Luka Pada Beberapa Spesies Tumbuhan Akibat Kombinasi Dengan SO ₂ (Selama 4 Jam)	Luka Pada Beberapa Spesies Tumbuhan Akibat Kombinasi Dengan O ₃ (Selama 4 Jam)	Tidak Ada Efek
Sedang	51-100	Perubahan Kimia Darah, Tetapi Tidak Terdekteksi	Berbau	Luka Pada Beberapa Spesies Tumbuhan	Luka Pada Beberapa Spesie Tumbuhan	Terjadi Penurunan Pada Jarak Pandang
Tidak Sehat	101-199	Peningkatan Pada Kardiovaskular Pada Perokok Yang Sakit Jantung	Bau Dan Kehilangan Warna. Peningkatan Reaktivitas Pembedul Tenggorokan Pada Penderita Asma	Penurunan Kemampuan Pada Atlit Yang Berlatih Keras	Bau, Meningkatnya Kerusakan Pada Tanaman	Jarak Pandang Turun Dan Terjadi Pengotoran Debu Di Mana-Mana
Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatnya Kardiovaskular Pada Orang Bukan Perokok Yang Berpenyakit Jantung Dan Akan Tampak Beberapa Kelemahan Yang Terlihat Secara Nyata	Meningkatnya Sensitivitas Pasien Yang Mempunyai Penyakit Asma Dan Bronkhitis	Olahraga Ringan Mengakibatkan Pengaruh Pernapasan Pada Pasien Yang Berpenyakit Paru-Paru Kronis	Meningkatnya Sensitivitas Pada Pasien Berpenyakit Asma Dan Bronkhitis	Meningkatnya Sensitivitas Pada Pasien Berpenyakit Asma Dan Bronkhitis
Berbahaya	>300	Berbahaya Bagi Semua Populasi				

Udara merupakan campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Dalam udara terdapat oksigen (O₂) untuk bernafas, karbon dioksida untuk proses fotosintesis oleh khlorofil daun dan ozon (O₃) untuk menahan sinar ultra violet. Gas-gas lain yang terdapat dalam udara antara lain gas-gas mulia, nitrogen oksida, methana, belerang dioksida, amonia, hidrokarbon dan gas rumah kaca yang sekarang ini menjadi perhatian besar dunia. Apabila susunan udara mengalami perubahan dari susunan keadaan normal dan kemudian mengganggu kehidupan manusia, hewan serta tumbuhan maka berarti udara telah tercemar. Pembangunan yang berkembang pesat dewasa saat ini, khususnya dalam industri

dan teknologi, serta meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil (minyak) menyebabkan udara yang kita hirup di sekitar kita menjadi tercemar oleh gas-gas buangan hasil pembakaran [5].

Secara umum penyebab pencemaran udara ada dua macam, pertama karena faktor internal (secara ilmiah) seperti debu yang beterbangan akibat tiupan angin, abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berikut gas-gas vulkanik dan proses pembusukan sampah organik dan lain-lain. Kedua karena faktor eksternal (ulah manusia) seperti hasil pembakaran bahan bakar fosil, debu/serbuk dari kegiatan industri dan pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara. Pencemaran udara pada suatu tingkat tertentu dapat merupakan campuran dari satu atau lebih bahan pencemar, baik berupa padatan, cairan atau gas yang masuk terdispersi ke udara dan kemudian menyebar ke lingkungan sekitarnya. Kecepatan penyebaran ini sudah tentu akan tergantung pada keadaan geografi dan meteorologi setempat. Udara yang benar-benar bersih sesuai harapan kesehatan kita terutama di kota-kota besar yang banyak industrinya dan padat lalu lintasnya sangat jauh dari harapan dan tidak akan pernah udara di kota menjadi bersih sebelum konversi bahan bakar fosil menjadi bahan bakar ramah lingkungan. Udara di kota sudah tercemar sehingga dapat merusak lingkungan terutama kesehatan manusia yang akibatnya daya dukung lingkungan juga berkurang sehingga kualitas hidup manusia semakin berkurang, yang diperparah dengan seiring meningkatnya pencemaran tanah dan air di sekitar kita [6].

2.2. Sistem *Monitoring*

Sistem adalah suatu perangkat unsur yang saling terkait sehingga membentuk suatu totalitas. Sedangkan *monitor* merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk memantau, maka sistem *monitoring* merupakan suatu perangkat unsur yang saling terkait dan mempunyai fungsi sebagai alat pemantau. Secara umum pemantauan atau *monitoring* dapat diartikan sebagai suatu aktivitas dalam pengambilan contoh air atau udara secara berkala ataupun secara terus-menerus untuk keperluan menentukan tingkat pencemaran/radiasi. Aktivitas pemantauan merupakan salah

satu tugas pengawasan lingkungan dalam mendeteksi dan mengevaluasi apabila terjadi perubahan kualitas suatu lingkungan [7].

Pada sistem *monitoring* biasanya terdapat suatu alat yang dapat mengendalikan proses dalam memonitor. Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan Mikrokontroler untuk menjalankan sistem monitoring yang terdiri dari beberapa sistem yaitu : sistem *monitoring* suhu, kelembaban, gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida.

2.3. Arduino

Arduino merupakan suatu produk modul pengendali elektronik berbasis *open source* yang menggunakan mikrokontroler Atmel AVR dan memiliki *software* pemrograman sendiri. Proyek Arduino pertama kali dicetuskan pada tahun 2005 di Ivre, Italia. Pembuatan Arduino yang merupakan *open source* ini melibatkan beberapa tim pengembang. Massimo Banzi dan David Cuartielles tampil sebagai *founder* proyek ini, lalu untuk *wiring* ditangani oleh Hernando Barragan yang merupakan *programmer* dan artis asal kolombia. Lalu ada juga IDE (*Integrated Development Environment*) yang diciptakan oleh Casey Reas dan Ben Fry. Selain itu, ada beberapa *programmer* lain yang terlibat seperti Tom Igoe, Gianluca Martino, David Mellis, dan Nicholas Zambetti [8].

Pada tahun 2014, Arduino *board* sudah tersedia dalam berbagai jenis dan pilihan antara lain Arduino Mega, Arduino Mega 2560, Arduino Mega ADK, Arduino Duemilanove, Arduino Leonardo, Arduino Nano, Arduino Diecimila, Arduino FIO, dan Arduino lilypad. Bahkan, Arduino juga sudah menulis *board* terbaru mereka yang berbasis mikrokontroler 32 bit, yaitu Arduino Due.

Selain itu, Arduino juga memiliki perangkat tambahan yang disebut *shield*. *Shield* adalah perangkat tambahan yang dapat dipasang langsung pada *board* Arduino. Dengan *shield* ini, pengguna tidak perlu lagi repot-repot membuat rangkaian baru yang melakukan *soldering* jika ingin membuat perangkat tambahan untuk Arduino, karena *shield* sudah didesain agar sesuai dengan pin-pin yang ada pada *board*

Arduino. Contoh Arduino antara lain : *Ethernet shield* yang digunakan agar Arduino dapat terkoneksi seluler, *Xbee* yang digunakan agar beberapa Arduino berkomunikasi secara *wireless*, dan masih banyak lagi.

Pemrograman Arduino menggunakan bahasa C++ yang telah dipermudah dan disederhanakan melalui *library*. Untuk menulis program ke dalam Arduino, digunakan *software* Arduino IDE. *Software* ini merupakan penggabungan antara bahasa C++ dan Java. *Software* Arduino IDE ini dapat dipasang di berbagai sistem operasi seperti : *LINUX*, *Mac OS*, dan *Windows*. Secara garis besar, *software* Arduino IDE terdiri dari tiga bagian, yaitu :

1. *Editor* program, berfungsi untuk menulis dan merubah program. *Listing* program yang dibuat pada Arduino IDE disebut *sketch*.
2. *Compiler*, berfungsi untuk mengubah kode program ke dalam kode biner, sehingga dapat dipahami oleh mikrokontroler.
3. *Uploader*, berfungsi untuk memasukkan program ke dalam mikrokontroler.

Struktur perintah pada Arduino secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu *void setup* dan *void loop*. *Void setup* berisi perintah yang akan dieksekusi hanya satu kali sejak pertama kali Arduino dihidupkan atau di-*reset*, sedangkan *void loop* berisi perintah yang akan dieksekusi berulang-ulang selama Arduino dalam keadaan menyala.

Tipe Arduino yang akan digunakan penulis adalah Arduino Mega 2560. Modul ini memakai mikrokontroler Atmega 2560 sebagai inti pemrosesannya. Arduino Mega 2560 memiliki tegangan kerja 5 Volt, namun tegangan input yang disarankan adalah 7 Volt hingga 12 Volt. Dalam modul ini sudah terdapat regulator untuk menstabilkan tegangan pada tegangan kerja. Modul ini juga menyediakan pin PWM yang cukup banyak, yaitu 15 pin PWM yang bisa digunakan. Gambar 2.1 berikut ini adalah gambar dari Arduino Mega 2560 yang digunakan pada penelitian ini :



Gambar 2. 1. Board *Arduino Mega 2560 R3*

Spesifikasi Arduino Mega 2560 ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 [8].

Tabel 2. 2. Spesifikasi Arduino Mega 2560

Tipe Mikrokontroler	ATMega 2560
Tegangan Operasi	5 Volt
Tegangan <i>Input</i> yang direkomendasikan	7 - 12 Volt
Batas Tegangan <i>Input</i>	6 – 20 Volt
Jumlah Pin Digital I/O	54 (dengan 15 pin PWM output)
Jumlah Pin Analog <i>Input</i> Pin	16
Arus DC per Pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V Pin	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB, sebanyak 8 KB digunakan oleh bootloader
<i>SRAM</i>	8 KB
<i>EEPROM</i>	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

2.4. Sensor

Sensor adalah komponen yang digunakan untuk mendeteksi suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Sensor merupakan bagian dari *transducer* yang berfungsi untuk melakukan sensing

dan penginderaan. Apabila ada perubahan energi eksternal yang masuk ke bagian *input transducer*, perubahan kapasitas energi yang ditangkap tersebut segera dikirim ke bagian konverter dari *transducer* untuk diubah menjadi energi listrik. Beberapa contoh sensor yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sensor suhu, kelembaban, gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida.

2.4.1. DHT 22

DHT 22 adalah modul sensor suhu dan sensor kelembaban udara yang mempunyai jangkauan pengukuran suhu antara $-40 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan jangkauan pengukuran kelembaban udara $0 - 100\%$ RH. Modul sensor ini memiliki akurasi pengukuran suhu sekitar $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan memiliki akurasi pengukuran kelembaban 2% RH. Adapun gambar sensor yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini diperlihatkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut [9].



Gambar 2. 2. DHT 22 Sensor Suhu dan Kelembaban

Spesifikasi dari DHT 22 adalah sebagai berikut :

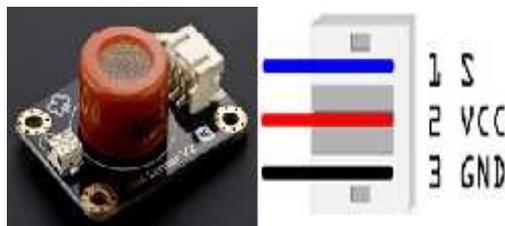
- i. Tegangan *supply* : + 5 Volt
- ii. *Range* temperatur : $-40 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ presisi pengukuran temperatur $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- iii. *Range* kelembaban : $0 - 100\%$ RH presisi pengukuran kelembaban 2% RH

iv. *Output* : Digital

Sensor ini merupakan sensor dengan kalibrasi sinyal digital yang mampu memberikan informasi suhu dan kelembaban. Sensor ini tergolong komponen yang memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik dan termasuk elemen resistif pengukur suhu (NTC). Selain Memiliki kualitas yang sangat baik, respon cepat, dan harga yang terjangkau. DHT 22 juga memiliki fitur kalibrasi yang sangat akurat. Koefisien kalibrasi ini disimpan dalam program memori, sehingga ketika internal sensor mendeteksi sesuatu, maka modul ini membaca koefisien sensor tersebut. Modul ini cocok digunakan untuk banyak aplikasi pengukuran suhu dan kelembaban.

2.4.2. MQ-7

MQ-7 merupakan sensor gas sederhana untuk mendeteksi gas CO (Karbon Monoksida). Sensor ini dapat mendeteksi konsentrasi gas CO mulai dari 20 hingga 2000 ppm. Modul sensor ini sudah dilengkapi dengan potensiometer untuk mengatur sensitivitas dan biasanya digunakan untuk perangkat rumahan, perangkat industri, pengukuran polutan di jalan, maupun kendaraan. Kondisi lingkungan yang disarankan untuk penggunaan sensor ini adalah suhu antara -25 hingga 50 derajat celsius dan kelembaban tidak lebih dari 95% [10]. Adapun gambar sensor yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Sensor Gas Karbon Monoksida MQ-7

Spesifikasi dari MQ-7 adalah sebagai berikut :

- i. *Tegangan Supply* : +5 Volt
- ii. *Interface Type* : Analog
- iii. *Pin Definition* : 1-Ouput, 2-VCC, dan 3-GND
- iv. *Size* : 40x20mm

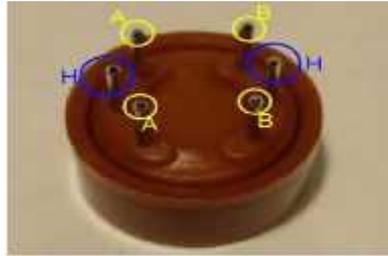
2.4.3. MG-811

MG-811 merupakan sensor yang sensitif untuk mendeteksi gas CO₂ (Karbon Dioksida) namun kurang sensitif terhadap gas CO (karbon Monoksida). Sensor ini bisa diaplikasikan untuk mengontrol kualitas udara di dalam maupun di luar ruangan. Bentuk fisik dari sensor dapat dilihat pada Gambar 2.4. Sensor MG-811 memiliki 6 kaki pin yang terdiri dari 2 pin A, 2 pin B, dan 2 pin pemanas (Gambar 2.5.) [11].

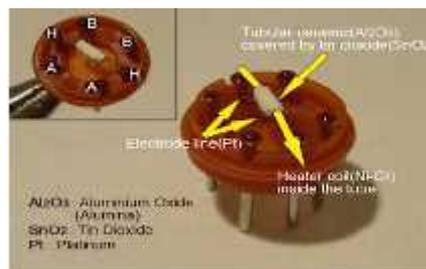
Sensor MG-811 ini di dalam nya terdapat komponen lilian pemanas yang berada dalam pipa keramik Al₂O₃. Struktur sensor terdiri dari bagian elektrolit padat dan pemanas (Gambar 2.6.). Bagian elektrolit terbuat dari kation (Na +) yang berada diantara dua elektroda yang tersusun di atas pemanas. Elemen tersebut berfungsi sebagai pendeteksi gas CO₂.



Gambar 2. 4. Bentuk Fisik MG-811



Gambar 2. 5. Pin-Pin MG-811



Gambar 2. 6. Bagian Dalam Sensor MG-811

2.5. XBee

XBee merupakan modul komunikasi nirkabel yang dibuat oleh Digi International yang mendukung berbagai protokol komunikasi termasuk IEEE 802.15.4 dan ZigBee serta dapat digunakan sebagai pengganti kabel serial [10]. XBee memiliki fitur RF modul kompleks yang menjadi solusi dan sangat baik untuk membangun sebuah JSN. Modul XBee dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui komunikasi serial UART dan juga memiliki pin tambahan yang dapat digunakan untuk aplikasi XBee secara mandiri, misalnya nodal *router* dapat dibangun tanpa mikrokontroler.

XBee diharapkan dapat memperkecil biaya dan menjadi konektivitas berdaya rendah untuk peralatan yang memerlukan baterai untuk hidup selama beberapa bulan sampai beberapa tahun, tetapi tidak memerlukan kecepatan transfer data tinggi. Modul XBee terbagi dalam dua versi yaitu XBee dan XBee-Pro. XBee-Pro memiliki konsumsi daya yang lebih besar

dan memiliki jangkauan komunikasi yang lebih jauh dibandingkan dengan XBee.

2.5.1. XBee S2

XBee S2 merupakan salah satu jenis XBee yang dibuat oleh Digi International yang mendukung protokol komunikasi ZigBee [12]. Berbeda dari seri sebelumnya yaitu XBee S1 hanya dapat melakukan komunikasi dengan topologi *peer* dan *star* saja, sedangkan untuk XBee S2 dapat melakukan jaringan komunikasi dengan topologi *peer to peer*, *star* dan *mesh*. Tampilan XBee S2 dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7. XBee S2

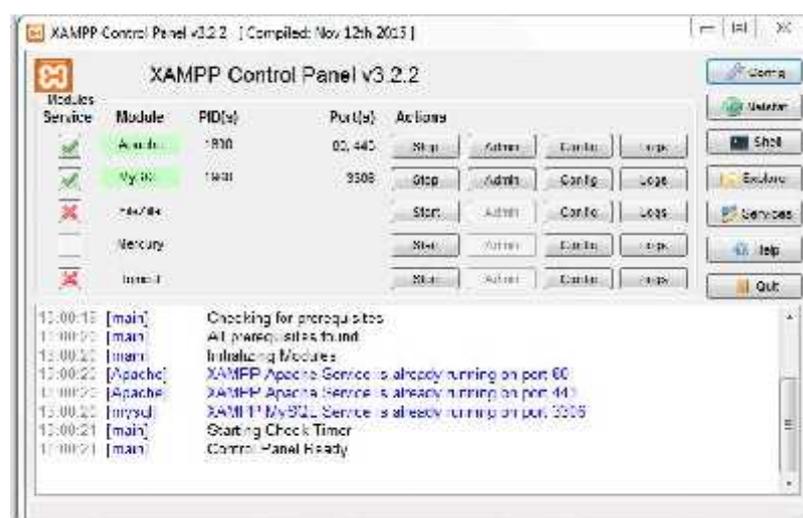
Adapun spesifikasi dari XBee S2 adalah sebagai berikut :

- | | | |
|-------|-----------------------|-----------------------------------|
| i. | RF data rate | : 250 Kbps |
| ii. | Indoor/Urban range | : 40 meter |
| iii. | Outdoor/ RF LOS range | : 120 meter |
| iv. | Transmit power | : 1,25 mW (+1 dBm)/ 2 mW (+3dBm) |
| v. | Frequency band | : 2,4 GHz |
| vi. | Interference immunity | : DSS |
| vii. | Antenna | : Wire |
| viii. | Supply voltage | : 2,1 – 3,6 VDC |
| ix. | Transmit current | : 35 mA/ 45 mA boost mode@ 3,3VDC |
| x. | Receive current | : 38 mA/ 40 mA boost mode@ 3,3VDC |

Pada XBee S2 mendukung protokol komunikasi ZigBee, sehingga menggunakan teknik modulasi *Direct Sequence Spectrum* (DSS) pada *physical layer*, tipe modulasi dalam frekuensi 2,4 GHz menggunakan *Phase Shift Keying* (QPSK) sesuai standar IEEE 802.15.4. dengan adanya *network layer* pada protokol komunikasi ZigBee memungkinkan untuk membentuk topologi jaringan *mesh* maupun *cluster tree*. Sehingga jangkauan jaringan komunikasi dari XBee S2 dapat lebih luas.

2.6. XAMPP

XAMPP adalah perangkat lunak bebas, yang mendukung banyak sistem operasi, merupakan kompilasi dari beberapa program. Fungsinya adalah sebagai server yang berdiri sendiri (*localhost*), yang terdiri atas program Apache HTTP Server, MySQL database, dan penerjemah bahasa yang ditulis dengan bahasa pemrograman PHP dan Perl. Nama XAMPP merupakan singkatan dari X (empat sistem operasi apapun) yaitu Apache, MySQL, PHP dan Perl. Program merupakan web server yang mudah digunakan yang dapat melayani tampilan halaman web yang dinamis [13]. Adapun tampilan perangkat XAMPP dapat dilihat pada Gambar 2.8. di bawah ini .



Gambar 2. 8. Tampilan XAMPP

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan pada bulan Desember hingga September 2016. Perancangan sistem, pengerjaan perangkat keras dan laporan dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini terdiri dari berbagai instrumen, komponen, perangkat kerja serta bahan-bahan yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. berikut ini :

Tabel 3. 1. Tabel Alat dan Bahan

No.	Alat dan Bahan	Kegunaan
1.	Modul Arduino Mega 2560	Sebagai modul pengendali sistem dengan mikrokontroler Atmega 2560
2.	Sensor MQ-7	Sebagai sensor pendeteksi karbon monoksida (CO)
3.	Sensor MG 811	Sebagai sensor pendeteksi karbon dioksida (CO ₂)
4.	Sensor DHT 22	Sebagai sensor pendeteksi suhu dan kelembaban
5.	Resistor	Sebagai hambatan pada rangkaian

No.	Alat dan Bahan	Kegunaan
6.	PCB	Sebagai media rangkaian
7.	Solder dan timah	Alat bantu memasang komponen
8.	Kabel penghubung	Sebagai alat penghubung antar komponen
9.	<i>Personal Computer</i>	Sebagai alat penyimpanan data <i>logger</i> dan media pemantauan
10.	<i>Arduino IDE</i>	Sebagai perangkat lunak untuk membuat program pada <i>Arduino</i>
11.	LCD 20x4	Sebagai media penampil keluaran dari sensor
12.	Xbee Adapter	Sebagai modul untuk mengatur
13.	LED	Sebagai indikator POWER ON
14.	XBee S2	Sebagai perangkat telemetri untuk pengiriman data
15.	Saklar Kecil	Sebagai Saklar ON/OFF Catu daya
16.	<i>XBee Shield</i>	Sebagai komponen eksternal untuk menghubungkan Arduino Mega dengan XBee S2
17.	XAMPP	Sebagai server yang berdiri sendiri (<i>localhost</i>)
18.	Accu 12 Volt	Sebagai Catu daya

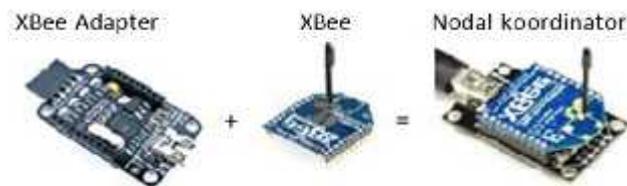
3.3. Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu nodal sensor dan nodal koordinator. Perangkat nodal sensor dalam penelitian ini berfungsi sebagai pengindera suhu, kelembaban, gas CO dan gas CO₂ lingkungan yang selanjutnya keempat data hasil penginderaan tersebut dikirimkan menuju nodal koordinator. Perangkat nodal koordinator berfungsi sebagai penerima data suhu, kelembaban, gas CO dan gas CO₂ dari nodal sensor.

Perangkat nodal sensor pada penelitian ini terdiri dari modul Arduino Mega, XBee S2, sensor DHT22, sensor MQ-7 dan sensor MG 811 yang dapat dilihat pada Gambar 3.1, sedangkan untuk perangkat nodal koordinator terdiri dari XBee adapter dan XBee S2 yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1. Perangkat Nodal Sensor



Gambar 3. 2. Perangkat Nodal Koordinator

Perangkat telemetri XBee S2 pada nodal sensor dikonfigurasi menjadi tipe *router* atau *end device* yang berfungsi untuk mengirimkan data dan perangkat telemetri XBee S2 pada nodal koordinator dikonfigurasi menjadi tipe *coordinator* yang berfungsi menerima data dari *router* atau *end device*.

3.4. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem alat yang dibuat adalah sebagai berikut:

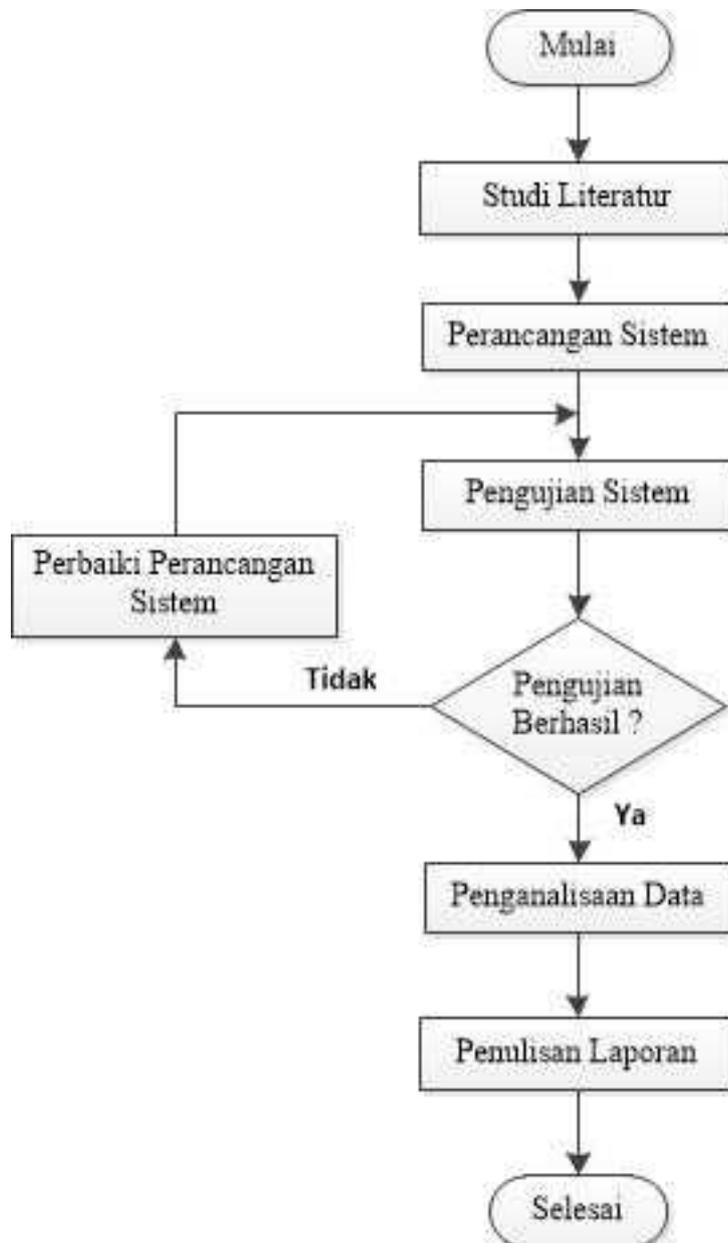
1. Sistem mampu memantau suhu, kelembaban, konsentrasi gas CO dan gas CO₂ di suatu lingkungan. DHT22 sebagai sensor kelembaban dan suhu, MQ-7 sebagai sensor karbon monoksida, MG811 sebagai sensor karbon

dioksida serta modul Arduino Mega sebagai pengolah data dari penginderaan sensor diletakan pada nodal sensor.

2. Pada perangkat nodal sensor, data dari sensor yang telah diolah oleh Arduino dikirimkan dengan menggunakan perangkat telemetri XBee S2 menuju perangkat nodal koordinator yang terhubung dengan komputer melalui XBee *adapter*.
3. Jaringan komunikasi antar perangkat nodal sensor dan nodal koordinator menggunakan jaringan komunikasi *peer to peer* atau yang biasa disebut dengan *point to point*.
4. Menggunakan Accu 12 Volt sebagai sumber tegangan.
5. Sistem pemantauan terhubung dengan komputer dengan komunikasi serial USB dengan XBee adapter.
6. User Interface dibuat dengan menggunakan perangkat lunak XAMPP sebagai *server* sendiri (*localhost*) yang dapat menampilkan data pada komputer berupa WEB.

3.4. Metode Penelitian

Rancang bangun sistem pemantauan gas ini memiliki beberapa tahapan dalam pelaksanaannya, yaitu dapat dijelaskan oleh diagram alir penelitian pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3. 3. Diagram Alir penelitian

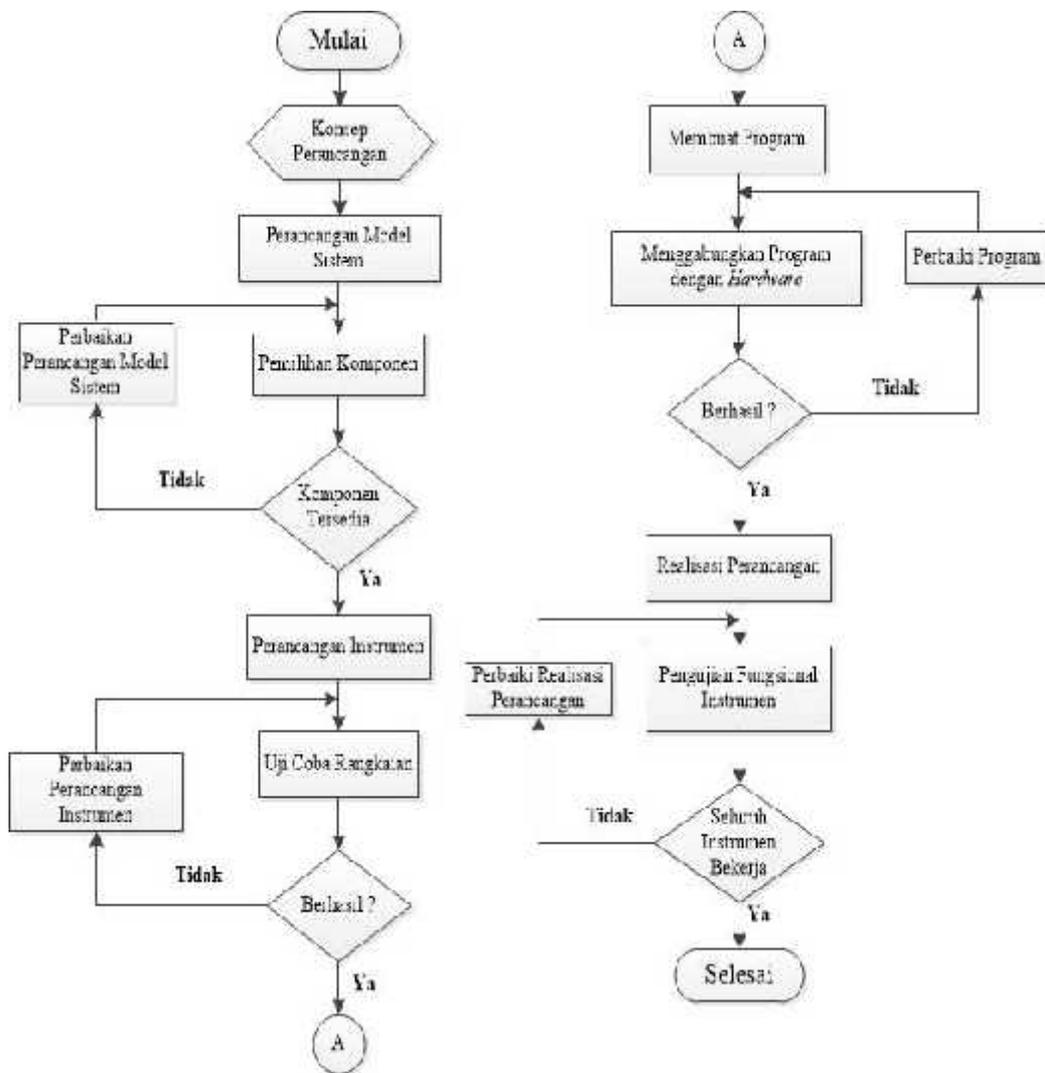
3.4.1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan kajian mengenai rancang bangun jaringan sensor nirkabel (JSN) dan hal-hal yang berkaitan dengan jaringan ini secara umum. Kajian

dikhususkan pada rancang bangun dari JSN yang akan dibangun berupa pengukuran suhu, kelembaban, gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida.

3.4.2. Perancangan Sistem JSN

Pada tahap ini dilakukan perancangan pembuatan sistem JSN. Gambar 3.4 merupakan tahapan dalam pembuatan alat rancang bangun JSN untuk pemantauan suhu, kelembaban, gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam perancangan dan pembuatan tugas akhir ini, sehingga dapat dilaksanakan secara sistematis.



Gambar 3. 4. Diagram Alir Prosedur Kerja

3.4.2.1. Perancangan Pembuatan Sistem

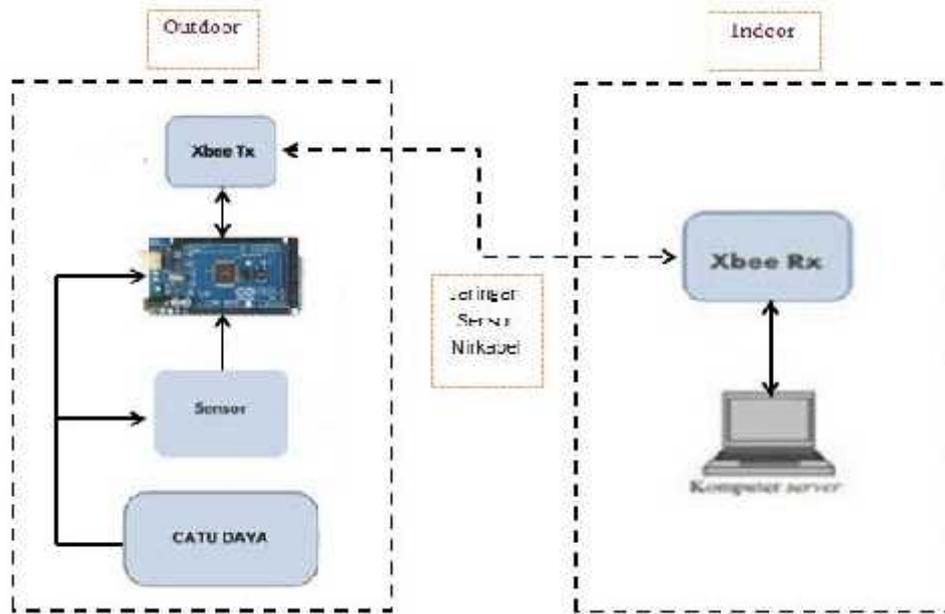
Pembuatan sistem dimulai setelah semua komponen tersedia. Sistem yang dibangun terdiri atas pengirim informasi berupa suhu, kelembaban, gas CO dan gas CO₂, serta penerimaan informasi yang akan ditampilkan pada layar komputer.

Langkah pertama adalah pembuatan nodal sensor sebagai pengirim informasi suhu, kelembaban, gas CO dan gas CO₂. Pembuatan nodal sensor dengan memprogram modul Arduino Mega sebagai pusat pengendalian agar dapat mengolah data yang terbaca oleh masing-masing sensor. Selanjutnya, data tersebut dikirim menggunakan telemetri XBee S2 yang sudah dikonfigurasi dengan perangkat lunak X-CTU. Untuk menghubungkan antara modul Arduino dengan XBee S2 digunakan XBee *Shield*.

Langkah kedua adalah pembuatan nodal koordinator sebagai penerima data suhu, kelembaban, gas CO dan gas CO₂ yang dikirim oleh nodal sensor. Bagian penerimaan ini menggunakan perangkat telemetri yang sama yaitu XBee S2 yang sudah dikonfigurasi. Telemetri XBee S2 pada nodal koordinator dihubungkan dengan XBee adapter yang terhubung dengan komputer menggunakan komunikasi serial, sehingga setelah data diterima oleh XBee S2 dapat ditampilkan di layar komputer.

3.4.2.2. Blok Diagram Sistem Pemantauan

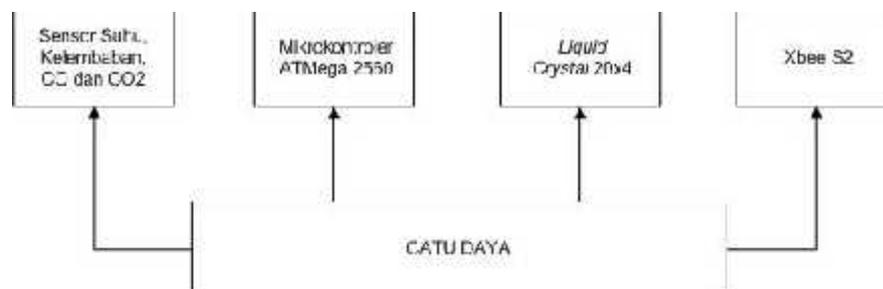
Perancangan blok diagram sistem pemantauan pada Gambar 3.5 berikut ini dibuat untuk mempermudah dalam realisasi alat yang akan dibuat.



Gambar 3. 5. Blok Diagram Sistem Pemantauan

3.4.2.2. Perancangan Model Sistem JSN

Perancangan model sistem jaringan sistem nirkabel (JSN) dilakukan dengan pembuatan perangkat nodal sensor dan nodal koordinator. Perangkat nodal sensor terdiri dari sensor suhu dan kelembaban DHT 22, sensor gas CO MQ-7, sensor gas CO₂ MG 811 dan modul Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali, LCD sebagai media penampilnya, XBee S2 sebagai perangkat telemetri dan catu daya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. sebagai berikut.



Gambar 3. 6. Blok Diagram Nodal Sensor

Pada perangkat nodal koordinator terdiri dari XBee S2 sebagai perangkat telemetri dan XBee adapter sebagai interface yang terhubung dengan komputer server melalui media kabel USB seperti yang ditunjukkan blok diagram pada Gambar 3.7. sebagai berikut.

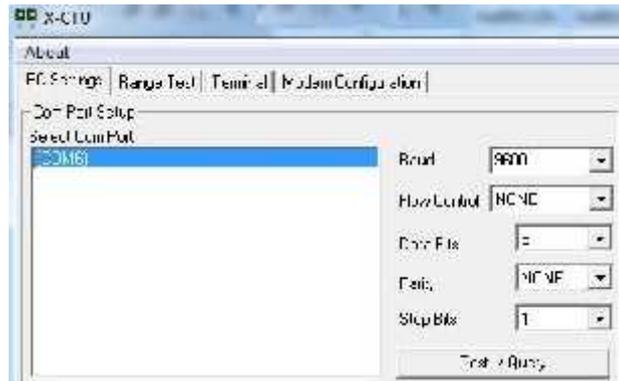


Gambar 3. 7. Blok Diagram Nodal Koordinator

Tahap perancangan mode sistem JSN yang akan dibangun adalah sebagai berikut:

1. Melakukan konfigurasi perangkat telemetri XBee S2 yang berfungsi sebagai nodal sensor dan juga nodal koordinator dengan menggunakan perangkat lunak X-CTU [14]. Sebelum melakukan konfigurasi pada perangkat telemetri XBee S2 terlebih dahulu melakukan setting *COM Port* serial terminal perangkat lunak X-CTU seperti pada Gambar 3.8. dengan mengkonfigurasi parameter yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Baud : 9600
2. Flow Control : none
3. Data bits : 8
4. Parity : none
5. Stop bits : 1



Gambar 3. 8. Konfigurasi PC *setting* pada X-CTU

Konfigurasi dilanjutkan dengan melakukan *setting protocol*, *frame type*, dan parameter - parameter *frame* perangkat telemetri Xbee S2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. di bawah ini.



Gambar 3. 9. Konfigurasi XBee S2 dengan X-CTU

Setting protocol untuk menentukan protokol komunikasi yang digunakan dengan memilih *toolbar* Modem XBEE, pada pilihan XB24-ZB menyatakan perangkat telemetri XBee S2 menggunakan *protocol* ZigBee. *Frame type* untuk menentukan fungsi dari perangkat telemetri XBee S2 baik

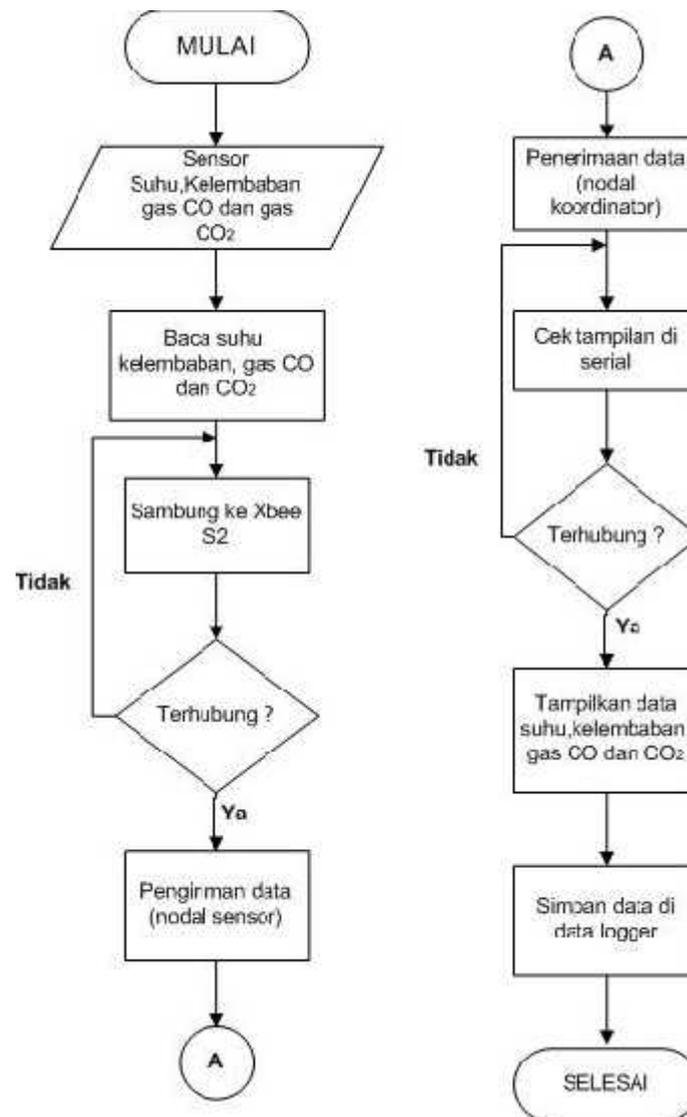
itu sebagai *coordinator*, *end device* maupun *router* dengan memilih *toolbar Function Set* pada X-CTU. *Setting* parameter-parameter *frame* untuk menentukan jaringan komunikasi yang digunakan, pengalamatan dan sebagainya.

2. Membuat program modul Arduino Mega dengan perangkat lunak Arduino.
3. Pada nodal sensor menghubungkan perangkat telemetri XBee S2 dengan XBee *shield* dan modul Arduino Mega menjadi satu perangkat nodal sensor.
5. Pada nodal koordinator menghubungkan perangkat telemetri XBee S2 dengan XBee *adapter* dan menghubungkannya dengan komputer *server*.
6. Melakukan komunikasi antar nodal sensor dengan nodal koordinator.

3.4.2.3. Perancangan Kerja Sistem

Perancangan kerja sistem JSN pada penelitian ini secara garis besar yaitu pengiriman data oleh nodal sensor, penerimaan data oleh nodal koordinator dan tampilan pemantauan sistem pada komputer. Tahapan perancangan kerja sistem ini adalah sebagai berikut :

1. Nodal sensor akan mendeteksi suhu, kelembaban, gas CO dan gas CO₂ di lingkungan sekitar dengan menggunakan DHT22 sebagai sensor kelembaban dan sensor suhu, MQ-7 sebagai sensor gas CO, MG 811 sebagai sensor gas CO₂, kemudian diolah oleh mikrokontroler ATmega 2560 serta dikirim ke nodal koordinator dengan perangkat telemetri XBee S2.
2. Pada nodal koordinator menerima data yang dikirim oleh nodal sensor. Nodal koordinator terhubung dengan komputer menggunakan *interface XBee adapter* secara *serial*, setelah itu data tersebut akan ditampilkan di WEB pada layar monitor dengan menggunakan XAMPP sebagai *localhost*.

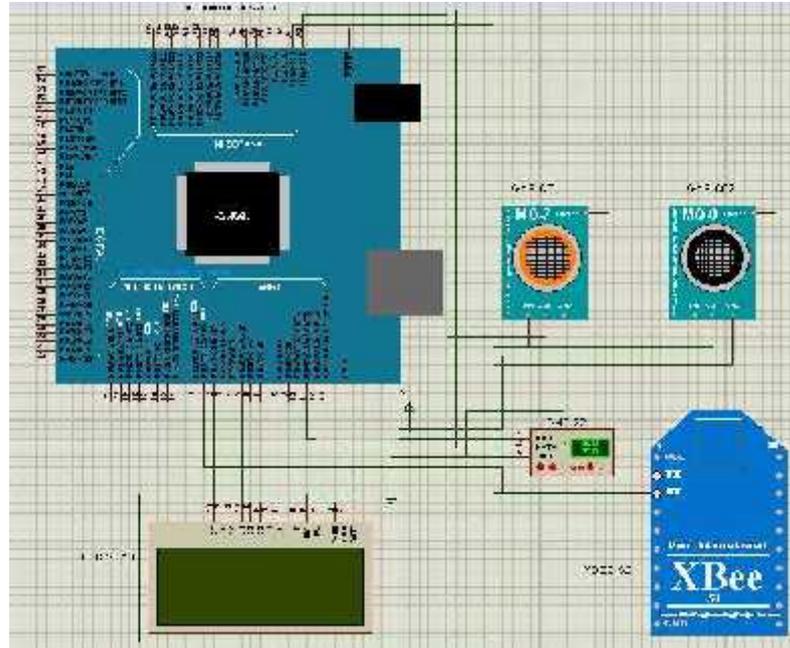


Gambar 3. 10. Diagram Alir Kerja Sistem

3.4.2.4. Perancangan Sistem Keseluruhan

Perancangan sistem keseluruhan merupakan rangkaian mikrokontroler untuk memproses data sensor dan mengirimkan data dari jarak jauh menggunakan perangkat telemetri yaitu modul XBee S2. Perancangan sistem secara keseluruhan dilakukan dengan membuat skematik konfigurasi Arduino Mega dengan sensor suhu dan kelembaban yaitu DHT 22, sensor gas CO yaitu MQ-7, sensor gas CO₂

yaitu MG 811 dan LCD sebagai media penampil data. Adapun skematik dari perancangan sistem keseluruhan dari penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3.11. di bawah ini.



Gambar 3. 11. Rangkain Skematik Sistem Keseluruhan

Dari gambar di atas dapat dilihat rangkaian skematik terdiri dari konfigurasi Arduino dengan beberapa sensor dan LCD. Pada penelitian ini LCD 20x4, sensor MQ-7, sensor MG 811 dan DHT 22 terhubung dengan pin-pin yang sudah tersedia di Arduino Mega. Adapun pin-pin yang digunakan yaitu :

1. LCD 20x4 : pin D2,D3,D4,D5,D11 dan D12
2. MQ-7 : pin A0
3. MG 811 : pin A8
4. DHT 22 : pin D38

3.4.3 Pengujian Perangkat Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem JSN berdasarkan rancangan yang telah dibuat. Pengujian perangkat sistem bertujuan untuk menguji rancangan sistem yang

telah dibuat apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan atau belum. Pengujian dilakukan dari masing-masing tahapan, yaitu pengujian sensor suhu, kelembaban, akuisisi data, kalibrasi sensor gas karbon monoksida, kalibrasi karbon dioksida dan sistem secara keseluruhan.

3.4.3.1. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor DHT 22 yaitu menguji keakuratan sensor DHT 22 dalam pengukuran suhu lingkungan dengan cara membandingkan nilai suhu yang terukur oleh sensor dengan nilai suhu pada alat ukur Krisbow KW06-291. Metode pengujian sensor suhu dilakukan dengan mengukur suhu yang dihasilkan oleh *heater* berupa solder listrik. Adapun skema pengujiannya diperlihatkan pada Gambar 3.12. di bawah ini.

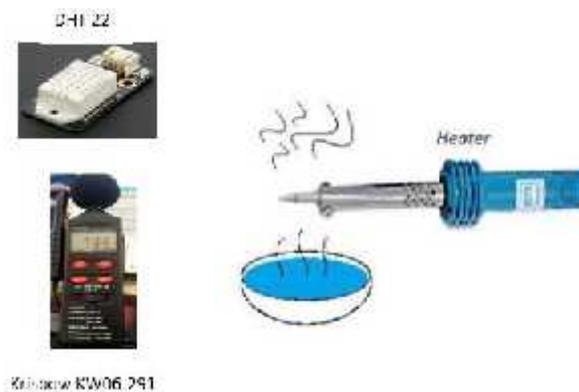


Gambar 3. 12. Metode pengujian sensor suhu DHT 22

Sensor DHT 22 dan alat ukur Krisbow KW06-291 diletakkan pada tempat yang sama yaitu didekat *heater* seperti pada Gambar 3.12. Saat *heater* aktif maka akan terjadi kenaikan suhu, kemudian nilai suhu pada alat ukur suhu Krisbow KW06-291 dan sensor DHT 22 di bandingkan dan dimasukkan ke dalam tabel pengujian.

3.4.3.2. Pengujian Sensor Kelembaban

Pengujian sensor DHT 22 yaitu menguji keakuratan sensor DHT 22 dalam pengukuran kelembaban lingkungan dengan cara membandingkan nilai kelembaban yang terukur oleh sensor dengan nilai kelembaban pada Krisbow KW06-291. Metode pengujian sensor kelembaban dengan cara meletakkan air di dekat *heater*, sehingga kelembaban akan berubah karena kandungan uap air di udara berubah. Kelembaban yang dihasilkan tersebutlah yang kemudian akan diukur. Keluaran dari DHT 22 berupa sinyal digital (1,0), sehingga untuk pembacaan data sensor DHT 22 menggunakan mikrokontroler yang mempunyai *library* khusus untuk sensor DHT 22. Adapun Gambar pengujian kelembaban pada Gambar 3.13. di bawah ini.



Gambar 3. 13. Metode pengujian sensor kelembaban DHT 22

Sensor kelembaban DHT 22 dan Krisbow KW06-291 diletakkan pada tempat yang sama yaitu dekat *heater* dan air seperti Gambar 3.13. Saat *heater* aktif maka akan terjadi kenaikan suhu dan kandungan uap air akan bertambah, sehingga kelembaban akan mengalami perubahan. Nilai kelembaban yang terukur oleh alat ukur Krisbow KW06-291 dan sensor DHT 22 disimpan pada tabel hasil pengujian

3.4.3.3. Pengujian Akuisisi Data

Akuisisi data adalah pengukuran sinyal elektrik dari transduser dan peralatan pengukuran kemudian memasukkannya ke komputer untuk diproses. Pengujian akuisisi pada penelitian ini yaitu pada akuisisi data perangkat lunak Arduino dan XAMPP.

Metode pengujian akuisisi data pada perangkat lunak IDE Arduino dengan cara, Arduino Mega mengirimkan data yang diinginkan pada serial monitor yang merupakan fitur dari perangkat lunak IDE Arduino di komputer dengan membuat *listing program* sebagai berikut:

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);           // setting baudrate 9600
}

void loop() {
  for (int i = 0; i < 100; i++) { // looping 100 kali
    Serial.println("R1ujicoba"); //data yang dikirim
    Serial.println(i);
    delay(1000);                // delay proses 1 detik
  }
  while(1) {}
}
```

Pengujian akuisisi data pada perangkat lunak XAMPP dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat lunak XAMPP mampu menerima data yang dikirimkan oleh perangkat telemetri XBee S2 melalui *interface XBee adapter* secara *serial*. Metode pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan XBee *adapter* dengan komputer, kemudian melakukan komunikasi antara nodal koordinator dengan nodal sensor.

Pada pengujian ini data yang dikirimkan oleh nodal sensor berupa data suhu, kelembaban, kadar gas CO dan CO₂. Nodal sensor mengirimkan data melalui telemetri XBee S2 dan diterima nodal koordinator dengan telemetri yang sama, kemudian nodal koordinator yang terhubung dengan komputer menggunakan *interface XBee adapter* mengirimkan data dengan memberikan data suhu (*temperature*), kelembaban (*humidity*), CO dan CO₂ kepada komputer. Perangkat lunak XAMPP akan membaca data serial yang dikirimkan oleh nodal koordinator dan akan menampilkan data yang diperoleh berupa grafik pada jendela *web*.

3.4.3.4. Kalibrasi Sensor Gas Karbon Monoksida

Kalibrasi sensor MQ-7 dilakukan bertujuan untuk mengetahui sensitivitas dan keakuratan sensor dalam mendeteksi konsentrasi gas karbon monoksida yang ada di lingkungan, dengan cara membandingkan sensor dengan alat ukur yang sudah di standarisasikan. Kalibrasi dilakukan di Balai Riset dan Standardisasi Industri Bandar Lampung (BARISTAND). Metode kalibrasi sensor gas ini dilakukan dengan cara meletakkan sensor MQ-7 dan alat Standar pada ujung knalpot kendaraan bermotor yang menghasilkan asap berupa konsentrasi gas di dalamnya. Adapun gambar kalibrasi sensor gas karbon monoksida ditunjukkan pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3. 14. Kalibrasi Sensor MQ-7

Saat melakukan kalibrasi, sensor MQ-7 dan alat ukur standar diletakan tepat di keluarnya asap dari kendaraan motor. Asap kendaraan bermotor dihasilkan dengan cara meningkatkan rpm pada motor sehingga asap yang dihasilkan berubah-ubah konsentrasinya. Perubahan konsentrasi tersebut dibaca oleh sensor MQ-7 serta alat ukur standarnya dan hasil pembacaannya tersebut disimpan pada tabel hasil kalibrasi.

3.4.3.5. Kalibrasi Sensor Gas Karbon Dioksida

Kalibrasi sensor MG811 dilakukan di Balai Riset dan Standardisasi Industri Bandar Lampung (BARISTAND) yang bertujuan untuk mengetahui sensitivitas dan keakuratan sensor dalam mendeteksi konsentrasi gas karbon dioksida yang ada di lingkungan. Metode kalibrasi sensor gas ini dilakukan dengan cara meletakan sensor MG811 dan alat Standar pada ujung knalpot kendaraan bermotor yang menghasilkan asap berupa konsentrasi gas didalamnya. Adapun gambar kalibrasi sensor gas karbon dioksida ditunjukkan pada Gambar 3.15 berikut.



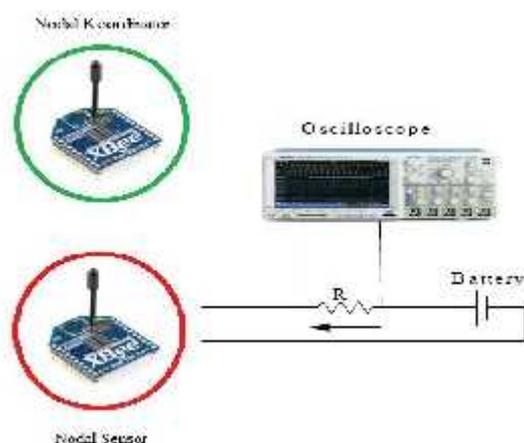
Gambar 3. 15. Kalibrasi Sensor MG811

Asap kendaraan bermotor dihasilkan dengan cara meningkatkan rpm pada motor sehingga asap yang dihasilkan berubah-ubah konsentrasinya. Perubahan konsentrasi tersebut dibaca oleh sensor MG811 serta alat ukur standarnya dan hasil pembacaannya tersebut disimpan pada tabel hasil kalibrasi.

3.4.4. Pengukuran Konsumsi Daya

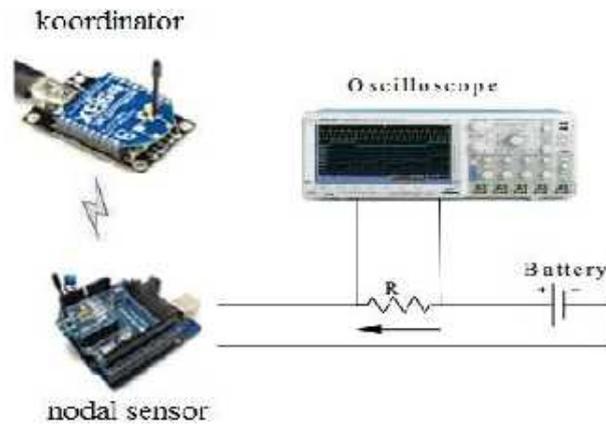
Pengukuran konsumsi daya bertujuan untuk mengetahui konsumsi daya pada telemetri XBee S2 dan nodal sensor. Pengukuran konsumsi daya yang dilakukan dibagi menjadi dua tahap. Pengukuran daya pertama hanya pada perangkat telemetri XBee S2 dan yang kedua pengukuran daya pada nodal sensor, yang terdiri dari sensor, Arduino, XBee shield dan telemetri XBee S2. Berdasarkan besarnya arus yang telah didapatkan, maka dapat diprediksi lifetime dari baterai yang digunakan sebagai catu daya pada nodal sensor.

Adapun pengukuran konsumsi daya pada XBee S2 dilakukan dengan mengetahui besarnya arus pada telemetri XBee S2 saat *transmit* dan *idle* tanpa menggunakan modul Arduino Mega, XBee shield maupun sensor yang ada pada sistem yang dibuat. Pengukuran dengan menggunakan osiloskop digital dengan menggunakan metode seperti pada Gambar 3.16 berikut.



Gambar 3. 16. Metode Pengukuran konsumsi Arus XBee S2

Adapun pengukuran konsumsi daya pada nodal sensor dilakukan dengan mengetahui besarnya konsumsi arus pada nodal sensor yang dibuat. Pengukuran menggunakan osiloskop digital dengan menggunakan metode seperti pada Gambar 3.17 berikut.



Gambar 3. 17. Metode Pengukuran Konsumsi Arus Nodal Sensor

3.4.5. Analisis dan Kesimpulan

Setelah pembuatan alat dan pengujian selesai, langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang didapat dari pengujian alat dan sistem. Proses analisa dari pengujian alat ini dilakukan agar mengetahui kelebihan dan kekurangan sistem untuk mengambil kesimpulan.

3.4.6 . Pembuatan Laporan

Dalam tahap ini dilakukan penulisan laporan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian. Data yang dihasilkan dianalisa dan dilakukan pengambilan kesimpulan dan saran.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan pengujian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah terealisasi pembuatan alat sistem pemantauan gas pada lingkungan menggunakan sensor suhu, kelembaban, gas karbon monoksida dan karbon dioksida berbasis Arduino secara *realtime*.
2. Pada pengujian sistem pemantauan ini terbukti bahwa sensor DHT 22 berfungsi dengan baik sebagai pendeteksi suhu dan kelembaban dengan nilai kesalahan rata-rata yang dihasilkan yaitu 0,14 celcius dan 0,1 % RH.
3. Hasil kalibrasi sensor gas CO tipe MQ-7 dengan alat ukur Instrument E4500-C menghasilkan nilai kesalahan rata-rata sebesar 72,082 ppm.
4. Hasil kalibrasi sensor gas CO₂ tipe MG811 dengan alat ukur Instrument E4500-C menghasilkan nilai kesalahan rata-rata sebesar 281,36ppm.
5. Konsumsi daya pada nodal sensor sistem pemantauan gas ini bila memakai kapasitas baterai sebesar 10000 mAh dapat dipakai selama 156,25 jam.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pemilihan sensor harus diperhatikan lagi, dan seharusnya pada penelitian ini sensor yang digunakan harus dapat mendeteksi konsentrasi gas dari 0 ppm agar sistem pemantauan gas dapat berjalan dengan baik.
2. Pada saat pengkalibrasian sensor, perlu adanya ruangan khusus (laboratorium) yang berisikan gas dengan konsentrasi dapat diatur sesuai kebutuhan sehingga hasil pembacaan sensor lebih presisi terhadap gas yang akan diukur menggunakan alat standarnya.
3. Perlu pergantian *device* pengendali (mikrokontroler) dengan konsumsi daya yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta.
- [2]. Izzudin, M., dkk., 2014. *Sistem Pemantauan Gas Karbon Dioksida (CO₂) Menggunakan Jaringan Wifi*, *Youngster Physics Journal Volume 3 No. 3*, pp. 243-248. Jurusan Fisika. Universitas Diponegoro.
- [3]. Fikri, Yukfiani., 2012. *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535 Dengan Komunikasi Protokol TCP/IP*. Teknik Elektro. Universitas Diponegoro.
- [4]. Keputusan Kepala Bapedal. 1997. *Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemaran Udara No. 107 Tahun 1997*. Indonesia.
- [5]. Sugiarti., 2009. *Gas Pencemar Udara dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia*, *Jurnal Chemical Volume 10 No.1*, pp. 50-51. Jurusan Kimia. Universitas Negeri Makassar.
- [6]. Alamsyah, T., dkk., 2012. *Wireless Measurement Gas, Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Ozon (O₃)*, *Volume 10 No.2*, pp. 157-158. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Jakarta.

- [7]. Sunggono, D., 2008. <http://bahasa.kemdiknas.go.id/kbbi/index.php>.
Access Date: October 14th, 2015.
- [8]. Artanto, Dian., 2012. *Pengenalan Arduino*. Gramedia.
- [9]. Aosong., 2015. DHT Product Manual. Access Date: July 31th, 2015.
- [10]. Hanwei., 2015. Technical Data MQ-7 Gas Sensor. Access Date: August 20th, 2015.
- [11]. Hanwei., 2015. MG 811 CO2 Sensor. Access Date: August 20th, 2015.
- [12]. Digi International Inc., 2015. XBee/XBee-Pro ZB RF Modules Product Manual. Access Date: November 9th, 2015.
- [13]. Februrianti, H., dkk., 2012. *Rancang Bangun Sistem Perpustakaan Untuk Jurnal Elektronik, Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume 17 No.2, pp. 124-132*. Fakultas Teknologi Informasi. Universitas Stikubank.
- [14]. Mause, Danny., 2015. *Rancang Bangun Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Zigbee Untuk Pemantauan Suhu dan Kelembaban*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Lampung.
- [15]. Fitriawan, H., dkk., 2015. *Realization of Zigbee Wireless Sensor Network for Temperature and Humidity Monitoring*. Teknik Elektro. Universitas Lampung.