



TESIS - TE142599

# IMPLEMENTASI ALGORITMA KONSENSUS TERDISTRIBUSI PADA WSN DENGAN NODE BERBASIS NODEMCU ESP8266

GAGUK SUPRIANTO  
0711165003005

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Wirawan DEA

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



TESIS - TE142599

# **IMPLEMENTASI ALGORITMA KONSENSUS TERDISTRIBUSI PADA WSN DENGAN NODE BERBASIS NODEMCU ESP8266**

GAGUK SUPRIANTO  
07111650030005

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Wirawan DEA

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Gaguk Suprianto

NRP. 07111650030005

Tanggal Ujian : 6 Juli 2018

Periode Wisuda: September 2018

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Wirawan, DEA.

NIP: 196311091989031011

(Pembimbing I)

2. Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., Ph.D. (Penguji)

NIP: 197011141993031002

3. Dr. Ir. Suwadi, S.T., M.T.

NIP: 196808181993031002

(Penguji)

4. Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

NIP: 196411301989032001

(Penguji)

5. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

NIP: 196605101992032002

(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

NIP. 197002121995121001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**IMPLEMENTASI ALGORITMA KONSENSUS TERDISTRIBUSI PADA WSN DENGAN NODE BERBASIS NODEMCU ESP8266**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Gaguk Suprianto

NRP. 07111650030005

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# IMPLEMENTASI ALGORITMA KONSENSUS TERDITRIBUSI PADA WSN DENGAN NODE BERBASIS NODEMCU ESP8266

Nama mahasiswa : Gaguk Suprianto  
NRP : 07111650030005  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Wirawan. DEA

## ABSTRAK

Pada aplikasi *Wireless Sensor Network*, membutuhkan banyak sensor untuk memperoleh informasi yang sesuai. Semakin banyak sensor yang digunakan dalam mengamati lingkungan yang sama, maka akan semakin banyak pula variasi data yang dihasilkan. Dengan kata lain, setiap sensor memungkinkan untuk menghasilkan data yang berbeda-beda. Sehingga perlu suatu algoritma untuk menyelesaikan masalah tersebut. Disisi lain, penggunaan prosessor menjadi salah satu aspek penting dalam WSN. Oleh sebab itu, diperlukan prosessor dengan kemampuan fleksibel terhadap perangkat lain.

Dari pertimbangan kasus diatas, maka pada aspek pertama untuk menangani variasi data sensor digunakan algoritma consensus terdistribusi minimum. Sedangkan aspek yang kedua dipilih prosessor tipe mikrokontroller NodeMCU ESP8266 karena fleksibel terhadap perangkat lain, pemrosesan data cepat dan berdaya rendah.

Dari hasil uji coba diperoleh, pada aspek hardware *baudrate* yang efektif adalah 9600 bps. Sedangkan dari aspek software, pada pengujian algoritma konsensus menunjukkan semakin besar perbedaan data sensor tiap *node*, maka iterasi akan semakin lama tercapai. Sedangkan pada uji coba konvergensi dengan 4 node iterasi tercapai pada iterasi ke 14. Pada uji coba akurasi dan kestabilan 4 node diperoleh rata-rata kesalahan keakuratan sebesar 0,61% dan kestabilan node dengan prosentase 60% sampai 100%.

Kata kunci: (Wireless Sensor Network, Konsensus Terdistribusi Minimum, Konvergensi, Prosessor )

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **IMPLEMENTATION OF DISTRBUTED CONSENSUS ALGORITHM ON WSN WITH NODES BASED NODEMCU ESP8266**

By : Gaguk Suprianto  
Student Identity Number : 07111650030005  
Supervisor : Dr. Ir. Wirawan. DEA

## **ABSTRACT**

On application of Wireless Sensor Network, takes a lot of the sensor to obtain the appropriate information. More sensors used in observing the same environment, then the data obtained by each sensor node can be varied. In other words, each sensor makes it possible to produce different data. So need an algorithm to solve the problem. On the other hand, use of processor a being one of the important aspects in WSN. Therefore, needed processor a flexible capability is required.

From the consideration of that cases above, From the consideration of the cases above, then on the first aspect to deal variations of the sensor data used distributed minimum consensus algorithms.. As for the second aspect of a selected type mikrokontroller NodeMCU ESP8266 due to the flexible against other devices, fast data processing and low-power.

From the results of tests obtained, on the hardware aspects of the effective baudrate is 9600 bps. While aspects of software, on testing algorithms consensus showed that the greater the difference of sensor data each node, then the iteration will be gradually achieved. While on trial convergence with 4 node of the iteration is reached at the 14 iteration. At trial the accuracy and stability of 4 nodes obtained an accuracy error average of 0.61% and stability of node with a percentage 60% to 100%.

Key words: wireless sensor network, distributed consensus minimum, convergence, processor.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan KaruniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul:

### **IMPLEMENTASI ALGORITMA KONSENSUS TERDISTRIBUSI PADA WSN DENGAN NODE BERBASIS NODEMCU ESP8266**

Tesis ini merupakan karya tulis yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan program Magister (S2) pada Bidang Keahlian Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Maka tanpa menghilangkan rasa hormat, dengan terselesaikannya penyusunan tesis ini, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Wirawan selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak bimbingan tentang topik ilmu WSN serta kesabaran yang telah turerahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini sesuai target.
2. Prof Gamantyo selaku dosen koordinator Telekomunikasi Multimedia yang telah memberi banyak motivasi agar selalu belajar.
3. Ibu Titik selaku dosen wali yang telah banyak membantu dalam perwalian mahasiswa
4. Bapak dan Ibu dosen penguji dan dosen pengajar terutama di Program Studi Teknik Elektro, Bidang Keahlian Telekomunikasi Multimedia, terimakasih atas segala bimbingannya dan seluruh ilmu yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi S2.
5. Ayah, Ibu dan adik tercinta, yang telah memberikan semangat, motivasi dan doa. Terima kasih tak terhingga kepada mereka.
6. Rekan-rekan S2 Telekomunikasi Multimedia terutama angkatan 2016 atas kebaikannya selama ini dan kerja samanya.
7. Rekan-rekan Lab 406, Lab 205 dan Lab 304 atas kebaikannya selama ini.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tesis ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT semata, dan semua kekurangan yang ada karena keterbatasan dari penulis. Maka

dari itu, segala masukan, kritik, dan saran yang membangun, sangat diharapkan oleh penulis, untuk pengembangan ke arah yang lebih baik. Dan selanjutnya, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xixx
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Kontribusi .....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kajian Penelitian Terkait .....	7
2.2 Wireless Sensor Network.....	8
2.2.1 Arsitektur WSN.....	9
2.3 Graf .....	11
2.4 Topologi Mesh .....	11
2.5 Algoritma Konsensus Terdistribusi .....	12
2.5.1 Bobot Metropolis .....	14
2.5.2 Estimasi Terdistribusi Konsensus Minimum .....	14
2.6 Protokol TDMA .....	16
2.7 HC-12.....	16
2.7.1 Teknik Modulasi HC-12 .....	17
2.8 Processor.....	19
2.8.1 Memory .....	19
2.8.2 Mikrokontroler.....	21

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	23
3.1 Tahapan Penelitian .....	24
3.2 Skenario Lingkungan WSN.....	25
3.3 Skenario Topologi WSN .....	26
3.4 Pemilihan Arsitektur WSN.....	26
3.5 Perancangan Sistem Penginderaan .....	27
3.6 Perancangan Sistem Komunikasi .....	28
3.7 Perancangan Sistem Pengolahan .....	28
3.7.1 Perhitungan Kebutuhan Memory.....	29
3.7.2 Algoritma Operasi Dasar .....	29
3.7.2.1 Sensing Kondisi.....	31
3.7.2.2 ADC.....	31
3.7.2.3 Pengambilan Keputusan.....	32
3.7.3 Algoritma Konsensus Terdistribusi Minimum.....	32
3.7.3.1 Konsensus Minimum.....	33
3.7.3.2 Estimasi Terdistribusi.....	34
3.8 Skenario TDMA .....	35
3.9 Skenario Pengujian Node WSN. ....	36
3.10 Node WSN .....	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	43
4.1 Uji Coba dari Aspek Hardware .....	43
4.1.1 Pengujian Node Dengan Perubahan Baud Rate. ....	43
4.2 Uji Coba dari Aspek Software.....	45
4.2.1 Estimasi Pembobotan Algoritma Konsensus Minimum.....	45
4.2.2 Uji Coba Konvergensi 2 Node. ....	48
4.2.3 Uji Coba Konvergensi 3 Node .....	49
4.2.4 Uji Coba Konvergensi 4 Node. ....	50
4.2.5 Uji Coba Akurasi dan Kestabilan 2 Node. ....	52
4.2.6 Uji Coba Akurasi dan Kestabilan 3 Node. ....	55
4.2.7 Uji Coba Akurasi dan Kestabilan 4 Node. ....	59
BAB 5 KESIMPULAN .....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64



DAFTAR PUSTAKA .....	65
LAMPIRAN.....	67
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	73

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi WSN .....	3
Gambar 2.1 Wireless Sensor Network.....	9
Gambar 2.2 Arsitektur WSN.....	10
Gambar 2.3 Ilustrasi Graf WSN.....	11
Gambar 2.4 Ilustrasi Konsensus.....	13
Gambar 2.5 Ilustrasi Protokol TDMA. ....	16
Gambar 2.6 Modulasi GFSK.....	18
Gambar 2.7 Arsitektur Mikrokontroler.....	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Diagram Fish Bone Penelitian.....	24
Gambar 3.3 Skenario Topologi Mesh .....	26
Gambar 3.4 Blok Diagram Desain WSN. ....	27
Gambar 3.5 Komunikasi HC-12 .....	28
Gambar 3.6 Pembagian Sub Algoritma Pemrograman .....	28
Gambar 3.7 Flowchart Algoritma Operasi Dasar .....	31
Gambar 3.8 Flowchart Algoritma Konsensus Terdistribusi .....	33
Gambar 3.9 Ilustrasi Alokasi Memori.....	34
Gambar 3.10 Ilustrasi Protokol TDMA .....	35
Gambar 3.11 Ilustrasi Pengujian Node WSN. ....	36
Gambar 3.12 Node Prototipe.....	39
Gambar 4.1 Grafik Estimasi Konvergensi 1 .....	46
Gambar 4.2 Grafik Estimasi Konvergensi 2. ....	47
Gambar 4.3 Hasil Konvergensi 2 Node Skenario 1. ....	48
Gambar 4.4 Hasil Konvergensi 2 Node Skenario 2 .....	49
Gambar 4.5 Hasil Konvergensi 3 Node Skenario 1. ....	49
Gambar 4.6 Hasil Konvergensi 3 Node Skenario 2. ....	50
Gambar 4.7 Hasil Konvergensi 4 Node Skenario 1 .....	51
Gambar 4.8 Hasil Konvergensi 4 Node Skenario 2. ....	51
Gambar 4.9 Termometer Digital.. ....	52
Gambar 4.10 Uji Coba 2 Node.....	53

Gambar 4.11 Uji Coba 3 Node .....	57
Gambar 4.12 Uji Coba 4 Node. ....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Sensor DHT-11.....	39
Tabel 3.2 Lanjutan Spesifikasi Sensor DHT-11 .....	40
Tabel 3.3 Spesifikasi EP8266-12F .....	40
Tabel 3.3 Spesifikasi HC-12 .....	41
Tabel 3.4 Spesifikasi LCD16x2 .....	41
Tabel 4.1 Pengujian Baud Rate Pada Lingkungan Indoor .....	44
Tabel 4.2 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi dan Akurasi. 2 Node .....	54
Tabel 4.3 Hasil Uji Coba Pengukuran Kestabilan 2 Node.....	55
Tabel 4.4 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvegensi dan Akurasi 3 Node .....	57
Tabel 4.5 Lanjutan Hasil Uji Coba Konvergensi dan Akurasi 3 Node .....	58
Tabel 4.6 Hasil Uji Coba Pengukuran Kestabilan 3 Node.....	58
Tabel 4.7 Lanjutan Hasil Uji Coba Kestabilan 3 Node.....	59
Tabel 4.8 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi dan Akurasi 4 Node.....	61
Tabel 4.10 Hasil Uji Coba Pengukuran Kestabilan 4 Node.....	62

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era digitalisasi saat ini, keperluan akan pemberitahuan sebuah informasi melalui jaringan nirkabel sangat dibutuhkan masyarakat. Penerapannya saat ini banyak diterapkan pada berbagai bidang mulai dari bidang militer, bidang lingkungan, peralatan rumah tangga dan juga perindustrian [1]. Di bidang militer contohnya, penyebaran yang cepat dan dinamis serta *self-organization* dari jaringan sensor membuat sistem ini menjadi suatu sistem penginderaan yang sangat menjanjikan untuk keperluan militer diantaranya dalam memberi aba-aba, sistem kontrol, dan intelejen. Jaringan sensor juga dapat digunakan untuk mendeteksi penyebaran polutan/bahan kimia asing pada udara dan air, dapat membantu mengidentifikasi jenis, kadar dan lokasi dari polutan. Adapun pada bidang lingkungan sebagai pemantauan tanaman pada *green house*. Sebuah jaringan sensor nirkabel merupakan jaringan yang terdiri dari sejumlah sensor yang disebar baik secara acak maupun dengan mengikuti suatu pola tertentu. Masing-masing sensor dilengkapi oleh sebuah prosesor dan perangkat komunikasi untuk dapat berinteraksi dengan node lainnya. WSN memiliki energi yang terbatas, sehingga efisiensi energi menjadi aspek penting suatu node dalam mengirim informasi dapat terjaga.

Tugas utama dari jaringan sensor nirkabel adalah melakukan penginderaan pada suatu kondisi fisik tertentu. Data yang digunakan untuk menentukan dua atau lebih hipotesa, misal ada atau tidaknya suatu target pada lingkungan yang diamati. Terdapat berbagai macam tipe sensor seperti seismic, thermal, magnetic, infrared, acoustic dan radar. Tipe sensor-sensor tersebut mempunyai kemampuan sesuai dengan fungsinya yaitu untuk memantau kondisi lingkungan yang diamati seperti suhu, getaran, pergerakan dan lain-lain.

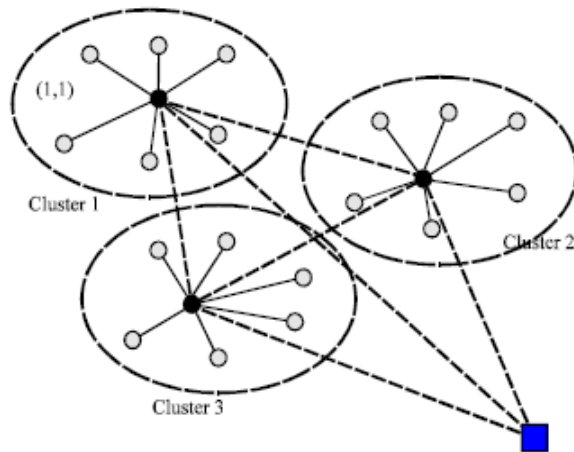
Penerapan WSN sendiri bermacam-macam. Pada thesis ini penerapannya ditujukan untuk teknologi yang sedang berkembang saat ini seperti untuk pemantauan suhu dan kelembaban ruangan pada *smart home*, untuk pemantauan suhu dan kelembaban pada rumah jamur dan pemantauan tanaman pada *green house*. WSN merupakan sekumpulan node dalam mengamati parameter fisik yang

sama yang artinya penerepan WSN dalam sebuah implementasi membutuhkan lebih dari satu sensor. Jika hanya menggunakan satu buah sensor kemungkinan data yang dihasilkan tidak akurat sehingga perlu beberapa sensor untuk mendapatkan data yang akurat untuk disampaikan ke *user*. Akan tetapi penggunaan banyak sensor akan menghasilkan data yang bervariasi. Dari hal tersebut didapatkan kesimpulan bahwa untuk memperoleh informasi dari banyaknya data sensor diperlukan sebuah metode.

Salah satu aspek penting pada WSN yang berkaitan dengan *hardware* adalah pemilihan processor, penggunaan processor menjadi amat penting dalam menerapkan sebuah algoritma dalam membangun sistem jaringan sensor nirkabel. Diperlukan pemilihan processor yang tepat dan sesuai kebutuhan agar tidak terjadi pemborosan dari segi teknis maupun dari segi non teknis. Spesifikasi processor menentukan kemampuannya dalam mengolah algoritma pada WSN. Pada penerapannya, banyak tipe processor yang dihubungkan dengan berbagai macam sensor. Akan tetapi tidak semuanya bisa bekerja sesuai dengan harapan. Terdapat beberapa tipe processor diantaranya PLD (*Programmable Logic Device*), FPGA (*Field Programmable Gate Array*), ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*).

Selain itu salah satu masalah pada jaringan sensor nirkabel adalah keakuratan informasi dari hasil penginderaan. Sensor yang ditempatkan disuatu area yang sama akan menghasilkan variasi data yang berbeda walaupun mengamati parameter fisik yang sama. Oleh sebab itu dibutuhkan kesamaan data atau konvergensi untuk bisa mencapai hasil yang akurat. Maka dari itu dibutuhkan suatu algoritma tertentu untuk mengatasi masalah tersebut. Diantara algoritma yang dapat digunakan adalah algoritma konsensus terdistribusi. Pada penelitian [8] diusulkan sebuah usulan teoritis dimana setiap node sensor menyimpan hasil data pada sebuah memory. Data yang tersimpan tersebut dianalisa hingga menghasilkan sebuah data yang akurat untuk dikirim ke node tetangga. Dari penelitian tersebut menunjukkan peningkatan waktu konvergensi. Pada penelitian tersebut digunakan consensus terdistribusi rata-rata, akan tetapi pada thesis nilai rata-rata diubah menjadi nilai Minimum yang artinya dicari nilai terkecil hasil dari penginderaan sensor.





Gambar 1.1 Ilustrasi WSN

Pada permasalahan yang pertama, pada penelitian sebelumnya [2] menggunakan processor FPGA sebagai platform yang mendukung pengembangan aplikasi sensor nirkabel pada jaringan sensor nirkabel. Penggunaan FPGA [3] memerlukan konsumsi daya yang cukup besar. Pada penelitian lain IC PIC (*Peripheral Interface Controller*) digunakan sebagai processor teknologi *smart home*. Akan tetapi processor tipe ini memiliki jumlah instruksi pemrograman yang terbatas. Sedangkan pada penelitian lain [4], dimana processor ASIC digunakan untuk sistem integrasi pada miniature node WSN, akan tetapi processor tipe ini hanya bisa diisi satu kali program, dengan itu tidak mungkin diterapkan untuk WSN yang menggunakan suatu algoritma karena kemungkinan terjadinya kesalahan. Untuk permasalahan yang berkaitan dengan *hardware* WSN, maka pada thesis ini dipilih processor tipe mikrokontroler. ESP8266 merupakan *board* yang digunakan pada thesis ini. ESP8266 memiliki daya yang cukup rendah dan memiliki kemampuan pengolahan data dan pentransmisi data lebih cepat [5]. Dari segi kebutuhan memori ESP8266 juga mempunyai kapasitas memori hingga 4MB, ini berarti jauh lebih besar dari kapasitas memori yang dimiliki Arduino sebut saja Arduino Mega yang hanya mempunyai memori sebesar 4 Kb. Hal tersebut tentu sangat cocok untuk penerapan algoritma pada WSN.

Sedangkan untuk mengatasi masalah keakuratan data sensor, digunakan sebuah algoritma consensus terdistribusi dengan data Minimum. Maksud dari algoritma ini adalah algoritma akan menentukan nilai terkecil hasil penginderaan beberapa sensor. Data dari node tetangga yang disimpan kedalam sebuah memory

ESP8266. Pemilihan algoritma ini mengacu pada sebuah usulan teoritis pada penelitian [8] dengan beberapa perubahan.

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, algoritma ini akan diimplementasikan pada sebuah *hardware* WSN dengan komunikasi telemetri. Adapun perangkat telemetri yang dipilih adalah modul nirkabel HC-12. Beberapa pertimbangan mengapa digunakan modul HC-12 pada thesis ini. Komunikasi telemetri HC-12 mampu mencapai jarak jangkauan yang lumayan jauh pada kondisi LOS (Line of Sight). Sedangkan bila dibandingkan dengan media infrared, media komunikasi telemetri merupakan teknologi yang mampu menembus dinding, kotak dan berbagai rintangan lain yang tidak dapat dilakukan media infrared. Selain itu perangkat telemetri HC-12 mampu membaca perangkat yang sama secara langsung artinya proses terjadinya komunikasi tidak memerlukan permintaan sebuah koneksi terlebih dahulu berbeda dengan bluetooth biasa yang harus melakukan pairing terlebih dahulu antar perangkat bluetooth yang sejenis atau komunikasi berbasis wifi yang bila menginginkan terjadinya komunikasi harus terlebih dahulu melakukan koneksi ke perangkat yang sama terlebih dahulu, hal ini tentu akan memakan waktu terlebih bila diimplementasikan pada WSN yang menjalankan beberapa node WSN secara bersamaan.

Dari uraian diatas, maka dilakukan dua pokok penelitian. Yang pertama adalah mengembangkan prototype WSN untuk implementasi algoritma consensus. Prototype WSN yang dikembangkan berbasis node ESP8266. Pokok penelitian kedua adalah mendesain dan mengimplementasikan algoritma consensus terdistribusi pada prototype WSN berbasis node ESP8266. Diharapkan algoritma consensus yang telah diusulkan dapat diimplementasikan dalam kondisi nyata dengan penyesuaian terhadap *hardware* yang digunakan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pada penelitian yang akan diusulkan, terdapat beberapa rumusan masalah. Adapun rumusan masalah tersebut antara lain sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang perangkat WSN dengan NodeMCU ESP8266 menggunakan komunikasi HC-12 baik berupa *hardware* dan *software*?
- b. Bagaimana mengimplementasikan algoritma konsensus terdistribusi pada perangkat WSN berbasis node ESP8266?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengembangkan prototype perangkat WSN berbasis NodeMCU ESP8266 untuk implementasi algoritma consensus Minimum.
- b. Mendesain dan mengimplementasikan algoritma consensus terdistribusi Minimum yang telah ditulis pada *software* Arduino IDE pada perangkat WSN berbasis NodeMCU ESP8266.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian yang akan diusulkan adalah sebagai berikut:

- a. Rancangan *hardware* WSN menggunakan prosesor mikrokontroler NodeMCU ESP8266.
- b. Untuk komunikasi antar node menggunakan modul komunikasi HC-12.
- c. Pada sisi topologi menggunakan topologi mesh dimana 4 node WSN akan saling berhubungan untuk bertukar data sensor.
- d. Setiap node dilengkapi sensor untuk mengamati parameter lingkungan. Sensor suhu DHT-11 dipilih untuk mendeteksi kondisi lingkungan yang diamati. Ketidakstabilan keluaran sensor ini digunakan untuk menguji algoritma consensus yang dipilih pada thesis ini.
- e. Data informasi akan ditampilkan pada LCD.
- f. Pemrograman ditulis menggunakan bahasa C++ dengan *software* Arduino IDE.
- g. Algoritma consensus yang dipilih pada thesis ini adalah algoritma consensus terdistribusi Minimum.

### 1.5 Kontribusi

Pada penelitian ini diharapkan bisa menghasilkan kontribusi ilmiah pada bidang WSN. Menunjukkan pemilihan prosesor dan perangkat komunikasi menjadi salah satu aspek penting. Selain itu mengimplementasikan algoritma consensus yang bermula dari usulan teoritis untuk diterapkan pada perangkat nyata WSN dengan beberapa penyesuaian. Sehingga kedepannya diharapkan akan ada penelitian lanjutan yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Untuk kontribusi dalam kehidupan masyarakat diharapkan dengan dibuatnya perangkat WSN dengan algoritma consensus dapat diterapkan untuk membantu kehidupan masyarakat misalnya untuk

penerapan pemantuan suhu dan kelembaban ruangan pada *smart home*, dapat juga sebagai pemantau suhu dan kelembaban pada rumah jamur dan pemantauan tanaman pada *green house*.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Penelitian Terkait

Pada penelitian thesis ini akan mengimplementasikan algoritma konsensus terdistribusi Minimum pada WSN dengan perangkat keras NodeMCUESP8266. Penelitian ini akan mengacu pada beberapa usulan teoritis. Pada penelitian sebelumnya [6] telah diusulkan upaya untuk menemukan konvergensi tercepat dengan desain pembobotan matriks. Namun matriks optimasi tersebut dibatasi oleh konektivitas jaringan, sehingga dapat memperlambat pengiriman data meskipun pembobotan sudah optimal. Dari penelitian [6], dikembangkan ke penelitian yang lebih baru dengan penambahan berupa prediksi informasi secara lokal [7]. Dari penelitian [7] dikembangkan ke penelitian yang menghasilkan konsep yang menyerupai memory [8] yaitu berupa ingatan, untuk mendapatkan perbaikan waktu konvergensi. Berdasarkan usulan teoritis pada penelitian [8] tersebut, algoritma konsensus terdistribusi akan diimplmentasikan pada perangkat keras WSN dengan memanfaatkan memory dari sebuah prosessor. Akan tetapi akan terdapat beberapa penyesuaian terhadap perangkat keras yang digunakan mengingat tidak semua algoritma konsensus bisa diimplementasikan kedalam perangkat keras, bergantung pada spesifikasi dari perangkat keras tersebut misalnya dalam hal sumber daya memori. Dengan menggunakan usulan teoritis [8] diharapkan sistem WSN mampu menemukan konvergensi dalam waktu terpendek. Pada penelitian [9] algoritma konsensus maksimum diteliti untuk memberikan alternatif lain selain algoritma konsensus rata-rata dalam rangka menemukan konvergensi. Pada tesis ini juga mengimplementasikan algoritma konsensus minimum pada *hardware* untuk menemukan konvergensi.

Sedangkan pada aspek *hardware* dipilih prosessor tipe mikorkontroler. Berdasarkan penelitian sebelumnya [10] prosessor mikrokontroller ATmega 32 digunakan untuk memonitor tekanan dengan komunikasi Zigbee. Pada penelitian lain [11] mikrokontroller ATmega324PA dengan *interface* sensor diterapkan pada bidang pertanian dengan sistem WSN. Sehingga dari dua penelitian tersebut, dapat dikatakan prosessor mikrokontroller memiliki fleksibilitas terhadap perangkat lain, selain itu mikrokontroller memiliki sumber daya memori yang cukup. Adapun dari sisi komunikasi, penelitian ini menggunakan media

komunikasi HC-12 untuk transmisi data sensor antar node WSN. Beberapa alasan dalam pemilihan modul komunikasi HC-12 pada thesis ini. Komunikasi telemetri HC-12 mampu mencapai jarak jangkauan yang lumayan jauh pada kondisi LOS (Line of Sight). Sedangkan bila dibandingkan dengan media infrared, media komunikasi telemetri merupakan teknologi yang mampu menembus dinding, kotak dan berbagai rintangan lain yang tidak dapat dilakukan media infrared. Selain itu perangkat telemetri HC-12 mampu membaca perangkat yang sama secara langsung artinya proses terjadinya komunikasi tidak memerlukan permintaan sebuah koneksi terlebih dahulu berbeda dengan bluetooth biasa yang harus melakukan pairing terlebih dahulu antar perangkat bluetooth yang sejenis atau komunikasi berbasis wifi yang bila menginginkan terjadinya komunikasi harus terlebih dahulu melakukan koneksi ke perangkat yang sama terlebih dahulu, hal ini tentu akan memakan waktu terlebih bila diimplementasikan pada WSN yang menjalankan beberapa node WSN secara bersamaan. Dengan demikian proses koneksi antar node menggunakan perangkat wifi dan bluetooth biasa menjadi kurang efisien dalam segi waktu untuk implementasi pada *wireless sensor network* yang memerlukan lebih dari satu node. Oleh sebab itu untuk keperluan komunikasi pada node WSN tesis ini digunakan komunikasi menggunakan HC-12

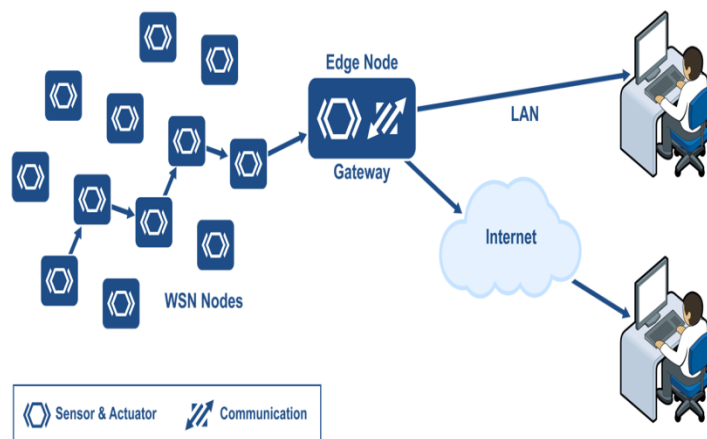
## **2.2 Wireless Sensor Network**

WSN (Wireless Sensor Network) adalah sekumpulan sensor yang saling berinteraksi dimana setiap sensor saling terhubung secara *wireless* yang disebar diberbagai tempat yang bertugas mengamati kondisi lingkungan yang diatur dalam sebuah jaringan kerja sama. WSN terdiri dari jumlah node yang besar, komunikasi antar node, energi, bandwidth dan sumber daya komputasi [12]. Penyebaran sensor dapat dibuat secara acak atau mengikuti suatu pola tertentu yang tersebar disuatu wilayah untuk menangani berbagai aplikasi seperti pengawasan medan perang, monitoring ruangan dll. Selain bertugas melakukan penginderaan, *node* sensor juga melakukan tugas lain yaitu pemrosesan data informasi yang diindera, komunikasi antar node, sebagai media penyimpanan sementara dan menggabungkan data informasi yang telah didapatkan dan data informasi dari node lain (node tetangga).

Perkembangan teknologi semakin mengarah kepada konektivitas lingkungan fisik. Kebanyakan observasi dilapangan yang dilakukan melibatkan

banyak faktor dan parameter-parameter untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan akurat. Kendalanya biasanya adalah biaya yang besar dan waktu yang lama untuk mendeteksi fenomena yang muncul sehingga menyebabkan kemampuan yang tidak efisien dan tidak praktis. Dengan adanya teknologi WSN, memungkinkan untuk memperoleh informasi yang maksimal tanpa harus berada di area sensor, karena informasi dapat diakses melalui jarak jauh seperti laptop.

Pada kondisi dilapangan, *node* WSN bekerja secara *kooperatif*. Artinya dalam sebuah jaringan sensor nirkabel membutuhkan beberapa sensor untuk bisa mencapai hasil yang akurat. Node yang digunakan untuk melakukan penginderaan pertama kali, mengirimkan informasi ke node tetangga yang akan diteruskan ke node lain sebanyak node yang digunakan dalam suatu area yang *disensing* hingga sampai pada *gateway*. Gateway disini sebagai perangkat yang menghubungkan jaringan sensor dengan user, agar user bisa mengakses dan mengontrol jaringan sensor.



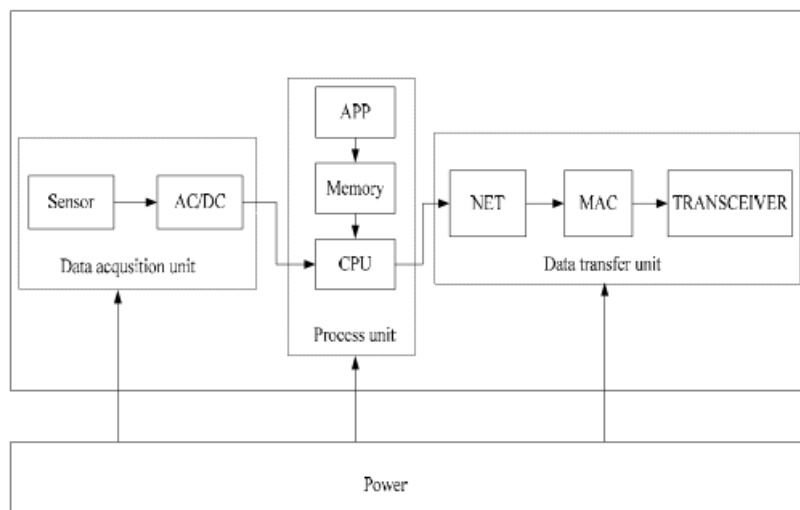
Gambar 2. 1 Wireless Sensor Network

Jaringan sensor nirkabel adalah salah satu bagian dari jaringan telekomunikasi yang merupakan generasi baru dari sistem sensor yang mempunyai keterbatasan energi, pemrosesan data yang lambat dan kapasitas penyimpanan data yang kecil. Teknologi WSN sendiri memungkinkan untuk terhubung secara ad-hoc yang artinya kemampuan perangkat berkomunikasi satu dengan yang lain secara langsung tanpa memerlukan infrastruktur jaringan seperti router atau akses point.

### 2.2.1 Arsitektur WSN

Pada WSN, node merupakan elemen utama yang memiliki tugas penginderaan, pengolahan dan komunikasi. Node disebar dengan tujuan untuk

menangkap adanya gejala atau fenomena yang hendak diteliti. Jumlah node yang disebar dapat ditentukan sesuai kebutuhan dan tergantung dengan beberapa faktor misalnya luas area, kemampuan sensing node, jangkauan dari perangkat komunikasi dan sebagainya. Pada implementasi secara nyata, tipe node WSN dapat melakukan pemantauan lingkungan terbuka secara langsung dengan memanfaatkan beberapa macam sensor. Node WSN biasanya terdiri dari 4 unit, unit pengumpulan data, unit pengolahan data, unit pengirim dan penerima serta unit pengelolaan daya dan energi. Dengan arsitektur seperti itu untuk implementasi pada *hardware* berarti juga membutuhkan 4 unit juga yaitu modul sensor, modul proses, modul komunikasi nirkabel dan modul catu daya [13]. Selain itu node WSN memiliki tugas mengeksekusi protokol komunikasi dan algoritma pemrosesan data [14]. Adapun desain arsitektur WSN seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 2 Arsitektur WSN

Dari gambar diatas, desain sistem WSN dapat dibentuk untuk menjadi sebuah satu kesatuan sistem yang memiliki efisiensi, fleksibel, performansi yang handal dan lain-lain. Pemilihan processor pada WSN sangat penting guna menunjang kinerja dari sistem secara keseluruhan. Tipe processor yang digunakan pada thesis ini adalah mikrokontroller ESP8266. Saat ini pemilihan processor mikrokontroller banyak dipakai untuk memudahkan kegiatan manusia. karena fleksibilitas dari processor mikrokontroller terhadap perangkat lain. Hal tersebut yang menjadi alasan pada penelitian ini memilih menggunakan processor tipe mikrokontroller.

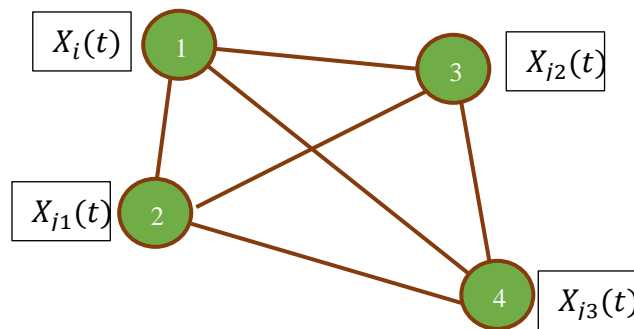


Adapun fungsi dari masing-masing unit Node WSN:

1. Unit Pengolahan menggunakan prosesor mikrokontroler ESP266 yang berfungsi untuk melakukan fungsi perhitungan, mengontrol dan memproses *device* yang terhubung dengan unit pengolahan.
2. Unit Komunikasi (*Transceiver*) yang menggunakan modul HC-12 berfungsi untuk mengirim/menerima data sensor kepada *device* lain sesuai standar protokol IEEE 802.15.4 atau IEEE 802.11 b/g.
3. Unit Penginderaan yang pada tesis ini menggunakan sensor DHT-11 yang berfungsi untuk men-*sensing* besaran fisik berupa suhu.
4. Unit Catu Daya yang menggunakan baterai sebagai sumber energi Node WSN.

### 2.3 Graf

Graf merupakan suatu himpunan benda-benda yang disebut simpul (vertex atau node) yang terhubung oleh edge. Secara umum Graf dapat dinotasikan sebagai  $G=(V,E)$  yang merupakan pasangan  $V$  (vertex) dan  $E$  (Edge) [15]. Suatu graph dikatakan terhubung apabila terdapat suatu edge diantara node tersebut.



Gambar 2. 3 Ilustrasi Graf WSN

Pada tesis ini, pada proses pengujiannya menggunakan 3 skenario yang berbeda. Skenario pertama menggunakan 2 node yang saling terhubung. Yang kedua menggunakan 3 node yang juga terhubung antar node. Yang terakhir menggunakan 4 node. Tujuan dari skenario tersebut untuk memperoleh suatu nilai pembobotan pada algoritma konsensus terdistribusi. Untuk detail skenario uji cobanya dijelaskan pada subbab 3.9.

### 2.4 Topologi Mesh

Pada thesis ini digunakan modul komunikasi telemetri HC-12. Perangkat telemetri HC-12 dapat bekerja secara multichannel yang artinya setiap node WSN yang telah dilengkapi perangkat komunikasi HC-12 dapat saling bertukar

informasi satu sama lain sampai 100 channel. Sehingga penggunaan modul komunikasi HC-12 dapat diterapkan menggunakan topologi mesh dimana node saling terhubung satu sama lain. Pada topologi mesh setiap perangkat dapat berkomunikasi secara langsung dengan perangkat yang dituju. Topologi mesh dapat juga disebut sebagai jaringan peer to peer yang terdiri dari satu koordinator pusat dan beberapa router [16].

Karena pada thesis ini menggunakan modul komunikasi HC-12 pada node WSN, maka modul komunikasi HC-12 dapat digunakan untuk implementasi algoritma konsensus sebagai pertukaran data sensor antar node.

## 2.5 Algoritma Konsensus Terdistribusi

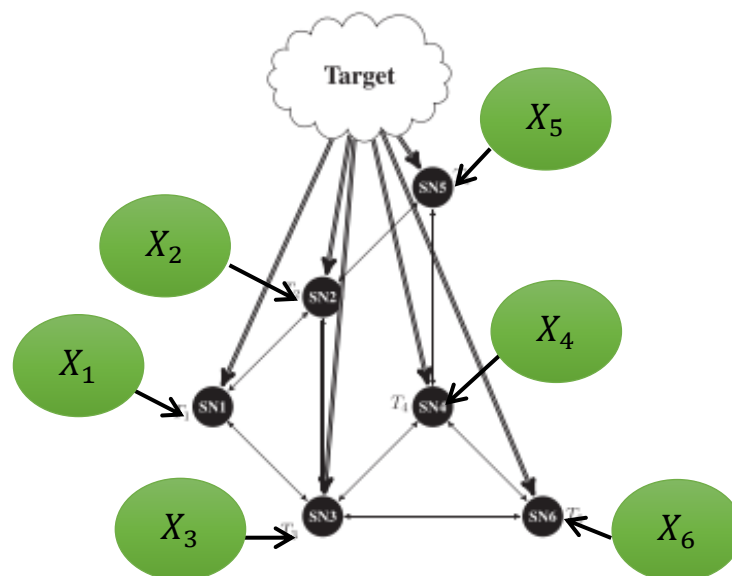
Tujuan dari algoritma consensus terdistribusi adalah untuk melakukan pertukaran informasi local secara iterative antar node dan mencapai keputusan global optimal [17]. Algoritma distribusi (*decentralized*) merupakan algoritma yang lebih menguntungkan dibandingkan pengolahan terpusat (*centralized*) karena daya komputasi menjadi lebih besar dan data informasi lebih tahan apabila terjadi kegagalan node [18].

Algoritma konsensus terdistribusi merupakan suatu algoritma dimana sejumlah sensor yang saling bekerja sama, data yang diperoleh oleh setiap node sensor diperbarui oleh node sensor tetangganya. Tiap node sensor memperoleh data yang berbeda-beda dan belum diketahui apakah hasil yang telah diperoleh sudah akurat. Sejumlah sensor yang saling terhubung tersebut melakukan pendeteksian suatu *event* (kejadian). Hasil dari pendeteksian diberikan kepada sensor tetangganya untuk dilakukan penggabungan sehingga didapatkan hasil data yang akurat dari informasi yang ada. Maka dari itu perlu dipilih algoritma consensus terdistribusi yang berpotensi untuk diimplementasikan pada *hardware* WSN.

Pada beberapa penelitian telah diusulkan beberapa usulan teoretis diantaranya pada penelitian [6] mengusulkan sebuah desain pembobotan dalam bentuk matriks untuk konvergensi cepat. Adapun penelitian [7] usulan penambahan prediksi informasi secara local yang merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya. Setelah itu dikembangkan kedalam sebuah ingatan memory [8]. Pada penerapannya algoritma yang dipilih juga disesuaikan dengan kemampuan processor yang digunakan. mengingat processor WSN memiliki kemampuan komputasi yang terbatas. Dan pada thesis ini mencoba mengimplementasikan

usulan teoritis pada penelitian [8] yang dirasa dapat diimplementasikan pada prototype WSN. Adapun implementasi algoritma pada perangkat nyata memanfaatkan fungsi memory pada prosesor yang digunakan. Pada penelitian tersebut digunakan consensus terdistribusi Minimum,. Jadi, pada thesis ini dipilih algoritma consensus terdistribusi Minimum untuk diterapkan pada *hardware* WSN.

Salah satu permasalahan pada algoritma consensus adalah begitu banyak informasi yang diperoleh dari penginderaan sensor, tetapi belum diketahui data informasi yang diperoleh apakah sudah mencapai akurat. Tujuan dari algoritma consensus ialah untuk mencapai konvergensi data dengan menentukan data sensor Minimum hasil penginderaan sensor dari setiap node artinya dicari nilai terkecil dari hasil penginderaan sensor. Diharapkan dengan algoritma ini didapatkan nilai error probabilitas deteksi yang rendah apabila dibandingkan dengan penggunaan satu buah sensor saja. Pada algoritma ini data yang diperoleh dari hasil penginderaan setiap sensor diperbarui setiap waktu oleh sensor yang terhubung atau terkoneksi dengan sensor tersebut, dalam hal ini disebut sensor tetangga. Algoritma ini menjadi salah satu alternative dari keberagaman data dari banyaknya sensor yang digunakan.



Gambar 2. 4 Ilustrasi Konsensus

Pada ilustrasi diatas menunjukkan arsitektur komunikasi terdistribusi antara peripheral node. Setiap node menghasilkan data nilai skalar dengan mengamati

target (garis tebal). Antar node melakukan konektivitas parsial (garis tipis) dengan energi yang dibatasi.

### 2.5.1 Bobot Metropolis

Pembobotan metropolis merupakan salah satu pembobotan yang sering digunakan pada algoritma konsensus terdistribusi. Pada tesis ini bobot metropolis digunakan pada algoritma konsensus terdistribusi minimum. Setiap node hanya perlu mengetahui *degree* tetangganya untuk menentukan bobot [15].

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{1+\max(d_i, d_j)} & \{i, j \in \varepsilon(t)\} \\ 1 - \sum_{k \in N_i(t)} W_{ik}(t) & i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

Dimana:

$W_{ij}$  = Bobot untuk node i atau node yang melakukan komputasi dan node j atau node tetangga.

$\max(d_i, d_j)$  = *Degree* atau cabang maksimum antara node i dan node j.

$\varepsilon(t)$  = Jumlah node yang saling berhubungan pada waktu ( $t$ ).

$W_{ik}(t)$  = Bobot node i yang tidak terhubung langsung dengan node i.

$W_{ij}$  yang merupakan aspek yang dicari pada tesis ini dapat dihitung dengan mengetahui terlebih dahulu *degree* atau cabang maksimum  $\max(d_i, d_j)$  dari node i dan node j. Sehingga bila node i dan node j sudah diketahui akan dikomputasi pada bagian software untuk memperoleh nilai pembobotan.

### 2.5.2 Estimasi Terdistribusi Konsensus Minimum

Algoritma konsensus memungkinkan semua node bertukar informasi (data sensor) untuk diperbarui dalam rangka menemukan konvergensi atau kesamaan nilai data sensor pada semua node. Pada thesis ini, semua node menyimpan data informasi pada beberapa alamat memory yang telah dialokasikan [8]. Algoritma konsensus minimum bertujuan untuk mencapai kesepakatan data sensor terkecil dari semua node melalui komunikasi lokal antar node WSN. Secara umum, semua node akan mengirimkan pesan berupa informasi data sensor dari masing-masing node tersebut pada periode  $t$ -th, saling bertukar pesan dan melakukan update global setelah menerima semua *value* dari node tetangga.

- ❖ Awal mula node melakukan sensing dan mengirim data sensing ke node yang akan melakukan analisa. Hal berlaku pada semua node.
- ❖ Data Node i dan Node j yang tersimpan pada memori internal NodeMCU ESP8266 dicari nilai yang terkecil atau minimum.
- ❖ Aktivitas perhitungan dari tiap node  $i = 1, 2, \dots, N$  dapat dihitung dengan:

$$x(t) = \min \sum_{i=0}^N x_i \quad (2.2)$$

Dimana:

$x(t)$  = Data sensor minimum atau terkecil yang telah ditentukan pada waktu  $(t)$ .

$\min \sum_{i=0}^N x_i$  = Data sensor minimum atau terkecil dari seluruh data sensor yang tersimpan di memori

- ❖ Setelah menentukan nilai minimum maka node akan melakukan update global dengan persamaan seperti dibawah ini:
- ❖  $x_i(t + 1) = W_{ii} x(t) + \sum_{j \in N_i} W_{ij} x_j(t)$  (2.3)

Dimana:

$x_i(t + 1)$  = Data sensor hasil dari proses update global pada waktu  $(t + 1)$

$W_{ij}$  = Bobot Metropolis untuk node i dan node j.

$x(t)$  = Data sensor minimum atau terkecil.

$\sum_{j \in N_i}$  = Jumlah data sensor node tetangga.

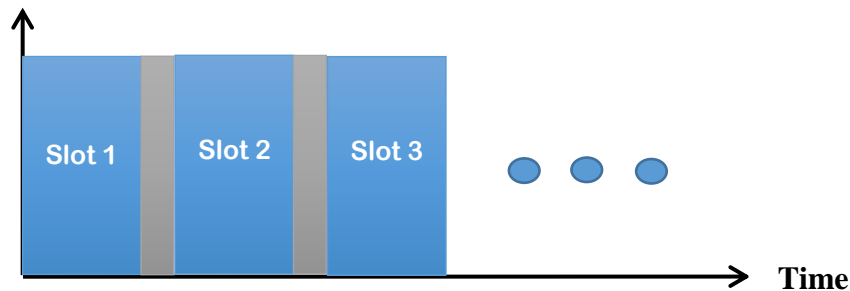
$x_j$  = Data sensor node tetangga

- ❖ Untuk menentukan jumlah data sensor node tetangga  $\sum_{j \in N_i}$  maka perlu diketahui terlebih dahulu jumlah node yang terhubung secara langsung dengan node i.
- ❖ Node melakukan proses consensus minimum dan update global dalam konektivitas simetris.

- ❖ Proses iterasi diatas akan terus berlangsung sampai konvergensi tercapai.

## 2.6 Protokol TDMA

Merupakan suatu teknik yang memberikan satu pita frekuensi untuk dipakai beberapa node. Sehingga kanal-kanal komunikasi dapat dirupakan seperti slot-slot waktu. Slot waktu adalah berapa lama node mendapatkan giliran untuk memakai pita frekuensi. Slot waktu tersebut dibingkai dalam satu periode yang disebut satu frame. Tiap slot waktu dipisahkan oleh jeda waktu yang disebut Guard Time yang berguna sebagai pengamana dan toleransi perpindahan ke slot berikutnya [19]. Karena sifatnya yang kontinyu (tidak terjadi pemakaian pita frekuensi oleh satu slot dalam satu periode), maka teknik ini hanya dapat mengakomodasi data digital



Gambar 2.5 Ilustrasi Slot Protokol TDMA

Protokol TDMA didesain secara permanent pada suatu jaringan. Untuk implementasi pada thesis ini, protokol TDMA mengatur masing-masing node untuk mengirimkan data sensor secara bergantian sesuai desain yang telah dirancang sebelumnya. Keuntungan menggunakan protokol TDMA adalah node tidak perlu bersaing untuk melakukan proses pengiriman, sehingga tidak terjadi tabrakan pengiriman data antar node. Gambar dibawah menunjukkan ilustrasi dari protokol TDMA.

## 2.7 HC-12

Merupakan perangkat komunikasi jarak jauh. Salah satu keunggulan telemetri adalah perangkat ini mampu mampu berkomunikasi dengan banyak perangkat yang sejenis. Artinya perangkat telemetri mampu bekerja secara multipoint tanpa harus melakukan permintaan koneksi. Pada tesis ini dipilih perangkat telemetri HC-12. Perangkat tersebut bekerja pada frekuensi 433 MHz

yang termasuk dalam spesifikasi kanal *Industrial, Scientific and Medical (ISM)*. Operasi *narrowband* dari radio 433 MHz yang berada pada sub-GHz memungkinkan rentang jarak transmisi mencapai jarak dalam orde beberapa kilometer dengan kebutuhan daya rendah. Modul RF *tranceivers* 433 MHz mempunyai jangkauan hingga ratusan meter dalam kondisi indoor dan kondisi outdoor hingga mencapai jarak kilometer [20]. Bila ditinjau dari konsumsi daya, frekuensi 433 MHz membutuhkan energi lebih rendah setiap bitnya dibanding frekuensi yang lebih tinggi. Frekuensi kerja dari perangkat HC-12 dibagi menjadi 100 saluran mulai dari 433.4 MHz hingga 473.0 MHz.

Pada perangkat HC-12 terdapat sebuah antena helix dan memiliki bentuk geometri seperti pegas dengan diameter lilitan serta jarak antar lilitan berukuran tertentu. Kelebihan lainnya dari perangkat HC-12 ialah perangkat tersebut dapat berfungsi sebagai pengirim dan penerima data sekaligus. Dari kelebihan-kelebihan tersebut, maka perangkat HC-12 sangat cocok untuk diimplementasikan pada *wireless sensor network*.

### **2.7.1 Teknik Modulasi HC-12**

Teknologi telemetri HC-12 menggunakan modulasi digital GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) yang merupakan salah satu teknik modulasi yang melewati sinyal informasi pada Gaussian Low-Pass Filter sebelum proses modulasi sinyal menggunakan modulator FSK (*Frequency Shift Keying*). Karena sinyal yang termodulasi memiliki amplitudo konstan, penguat RF dari kelas C dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi daya, hal ini menjadi pertimbangan penting untuk perangkat yang menggunakan sumber baterai [21]. Akan tetapi kebutuhan bandwidth meningkat sebagai akibat jumlah modulasi yang meningkat. Oleh sebab itu dalam sistem Bluetooth modulasi GFSK digunakan sebagai filter yang membentuk pulsa untuk mengurangi bandwidth transmisi. Namun filter premodulasi Gaussian dapat menimbulkan ISI (*Inter Symbol Interference*) pada sinyal yang ditransmisikan. Sebagai akibat dari peningkatan efisiensi bandwidth akan ada degradasi dalam efisiensi daya.

Pada teknik modulasi GFSK, sebelum sinyal baseband masuk ke modulator FSK, sinyal akan melewati sebuah pulse-shape filter yang disebut Gaussian Filter untuk membuat denyut sinyal menjadi lebih halus sehingga membatasi lebar spektrumnya. Pulse-shape filter digunakan untuk memenuhi

persyaratan dalam sistem komunikasi nirkabel yang salah satunya untuk menghasilkan bandlimited channel.

Dalam modulasi GFSK dikodekan dalam bentuk variasi frekuensi pada *carrier* dengan cara yang sama dengan modulasi FSK. Akan tetapi, impuls melewati filter Gaussian sebelum memasuki modulator pulsa untuk mengurangi lebar spectral yang sama, Filter Gaussian merupakan sejenis formatter pulsa yang digunakan untuk memperlancar transisi antara nilai impuls [22].

Modulasi GFSK digunakan pada sistem komunikasi HC-12, karena memberi efisiensi spectral yang lebih baik bila dibandingkan dengan modulasi FSK.

Sinyal GFSK  $s(t)$  dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$s(t) = A(t)\cos(2\pi f_c t + 2\pi h \int_{-\infty}^t m(\tau)d\tau) \quad (2.5)$$

Dimana  $A(t)$  besaran amplitudo sinyal,  $f_c$  merupakan frekuensi *carrier*,  $m(\tau)$  adalah filter Gaussian sinyal pesan dan  $h$  adalah indeks modulasi yang didefinisikan sebagai.

$$h = 2f_d T_s \quad (2.6)$$

Dimana  $T_s$  adalah periode sampling ( $1/F_{sampling}$ ) dan  $f_d$  frekuensi deviasi.



Gambar 2. 6 Modulasi GFSK

Pada komunikasi HC-12 menggunakan komunikasi serial dimana pengiriman data dilakukan secara serial. Dalam komunikasi serial, data *byte* harus diubah ke dalam bit-bit serial menggunakan peralatan yang disebut *shift register parallel in-parallel out*, kemudian data dikirimkan hanya dengan satu jalur data saja. Hal yang serupa dikerjakan pada penerima, dimana penerima harus mengubah bit-bit serial yang diterimanya menjadi data byte yang persis seperti data semula pada pengirim, dengan menggunakan *shift register serial-in parallel out*.

HC-12 sendiri menggunakan *chip Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)*. Kecepatan transfer data pada HC-12 diukur dalam satuan *Bits Per Second (BPS)* atau dapat juga disebut *baud rate* dengan beberapa pilihan



yang dilakukan uji coba pengaruh baud rate untuk besaran baud rate yang efektif untuk implementasi algoritma konsensus.

## **2.8 Processor**

Processor merupakan salah satu elemen pada WSN. Perannya sangatlah penting sebagai pengolah data. Secara umum processor berupa sebuah komponen IC yang mengontrol keseluruhan sistem atau sebagai otak pada sebuah sistem yang dibuat. Kecepatan processor akan mempengaruhi kecepatan komputasi dari processor tersebut. Terdapat beberapa type processor diantaranya DSP (Digital Signal Processor), ASIC (Application Specific Integrated Circuit), FPGA (Field Programmable Gate Array), Mikroprocessor, Mikrokontroler yang dapat digunakan sebagai otak dari WSN. Akan tetapi dibutuhkan ketelitian dalam pemilihan processor yang sesuai dengan kebutuhan. Pada thesis ini dipilih processor type mikrokontroler. Pada penelitian [9] processor mikrokontroler ATmega 32 digunakan untuk memonitor tekanan dengan komunikasi modul transceiver Zigbee. Pada penelitian lain [10] processor mikrokontroler juga digunakan untuk bidang pertanian dengan type chip ATmega324PA. Penggunaan processor tipe mikrokontroler yang fleksibel terhadap perangkat lain dan kebutuhan sumber daya memori yang cukup, maka atas dasar semua itu dipilihlah sebuah processor tipe mikrokontroler yang digunakan pada thesis ini untuk implementasi algoritma.

### **2.8.1 Memory**

Memory merupakan tempat penyimpanan data pada processor. Terdapat beberapa tipe memory dalam processor baik memory yang menyimpan data secara permanen maupun memory yang menyimpan data secara sementara. Pada thesis ini WSN diimplementasikan pada processor sebagai perangkat nyata sistem pengolahan WSN. Pemilihan processor harus mempertimbangkan spesifikasi dari processor tersebut salah satunya dalam hal sumber daya memori. Besarnya memori yang dimiliki processor akan mempengaruhi kinerja algoritma dari WSN. Sehingga diperlukan pemilihan processor yang tepat untuk digunakan pada WSN. Sebelum memori diaplikasikan secara langsung untuk mengolah algoritma, kebutuhan memori dapat dihitung terlebih dahulu, agar algoritma pemrograman WSN dapat terencana dengan baik. Aturan-aturan untuk menghitung kebutuhan memory mengacu pada penelitian [22] yaitu sebagai berikut.

Sebelumnya ditentukan terlebih dahulu resolusi ADC dari parameter yang diukur. Karena pada thesis ini menggunakan sensor DHT-11 yang mampu mendeteksi suhu dan kelembaban maka resolusi ADC yang dihitung berupa suhu dan kelembaban. Adapun persamaannya seperti dibawah ini.

$$\frac{a_h - a_t}{r} < 2^n \quad (2.7)$$

Dimana:  $a_h$  = Batas atas

$a_t$  = Batas bawah

$r$  = Jangkauan resolusi sensor DHT-11.

Berikutnya untuk menentukan durasi rata-rata pengukuran menggunakan pengukuran rata-rata selama durasi pengukuran dibagi dengan periode pengukuran. Adapun persamaan tingkat data  $D_{avg}$  seperti dibawah ini:

$$D_{avg} = \frac{(N_c S + b_{start} + b_{address} + b_{stop}) f_s}{\tau} \quad (2.8)$$

Dimana:

$N_c$  = Jumlah channel

$S$  = Ukuran sampel (bit)

$b_{start}$  = Start bit dari sensor DHT-11

$b_{address}$  = Identitas sensor DHT-11

$b_{stop}$  = Stop bit dari sensor DHT-11

$f_s$  = Frekuensi sampling (Hz)

$\tau$  = Durasi satu kali pengukuran (sec/min)

Sehingga untuk menentukan durasi rata-rata pengukuran  $D_{avg}$  yaitu membagi seluruh parameter-parameter diatas dengan durasi pengukuran, Setelah pengukuran rata-rata suhu diketahui, kebutuhan memory dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$M = D_{avg} \tau \quad (2.9)$$

Dimana:

$M$  = Jumlah kebutuhan memori node WSN.

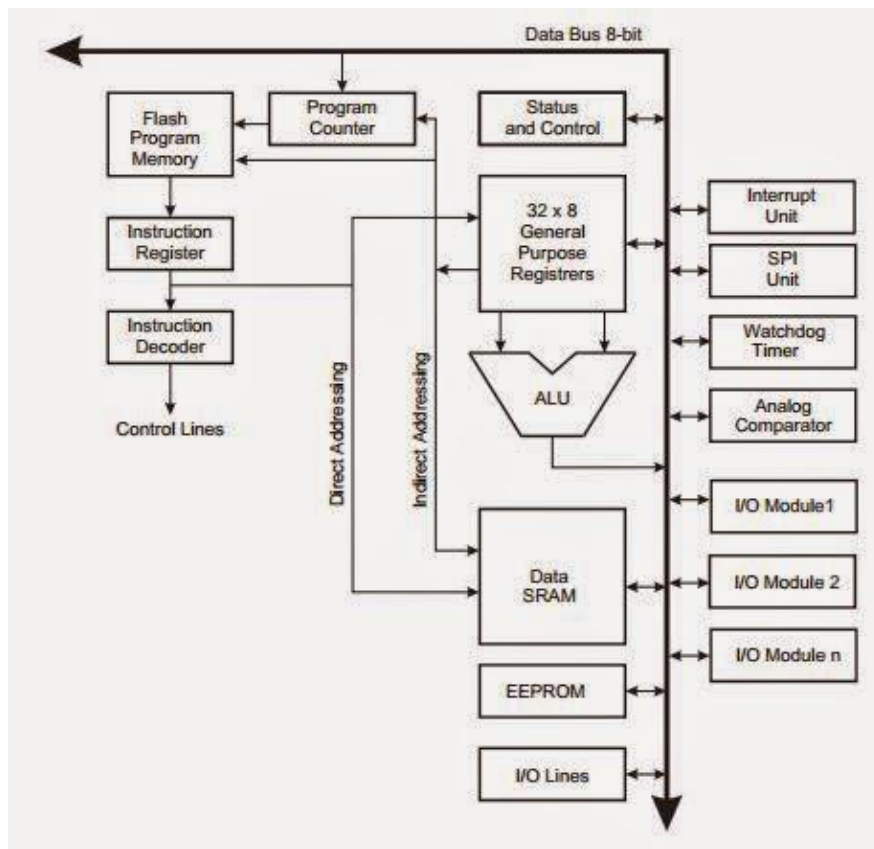
$D_{avg}$  = Durasi rata-rata dari seluruh durasi pengukuran (sec/min).

$\tau$  = Durasi satu kali pengukuran (sec/min)

Sehingga untuk menentukan jumlah kebutuhan memori  $M$  dengan cara mengalikan durasi rata-rata pengukuran dari seluruh durasi pengukuran pada proses pengujian node WSN  $D_{avg}$  dikalikan dengan durasi satu kali pengukuran  $\tau$ .

### 2.8.2 Mikrokontroller

Mikrokontroller adalah suatu komponen dalam bentuk chip IC (*Integrated Circuit*) yang bertugas sebagai otak dari perangkat WSN yang akan dibuat pada penelitian ini. Ia merupakan salah satu tipe dari prosessor. Mikrokontroller yang akan menerima inputan berupa sensor yang terhubung secara *wireless* dan mengolah sesuai perintah yang telah diprogram pada mikrokontroller. Untuk penelitian ini, digunakan mikrokontroller yang dikemas dalam satu board bernama NodeMCU ESP8266 yang berbasis mikrokontroller ESP8266. Mikrokontroller tersebut dipilih karena fleksibilitas terhadap perangkat lain juga memiliki sumber daya memori yang cukup. Selain itu ESP266 memiliki daa yang cukup rendah dan memiliki kemampuan pengolahan data dan pentransmisian data lebih cepat [5].



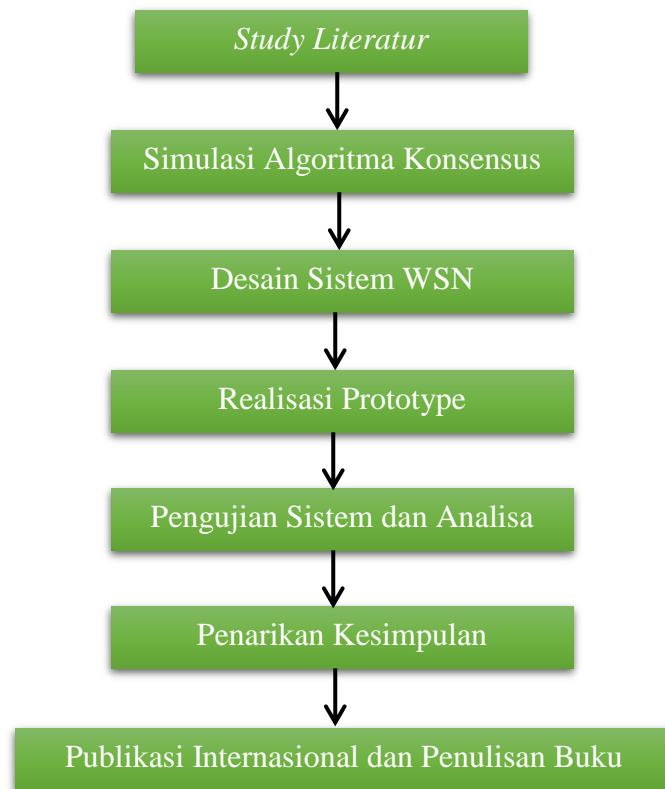
Gambar 2.7 Arsitektur Mikrokontroller

. Selain itu fitur-fitur yang terdapat pada ESP8266-12F dibutuhkan dalam penelitian ini diantaranya jumlah pin I/O yang cukup untuk penelitian thesis ini, memori hingga mencapai 4 MB. Dengan fitur-fitur tersebut diharapkan mampu menangani algoritma yang diimplementasikan pada NodeMCUESP8266.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

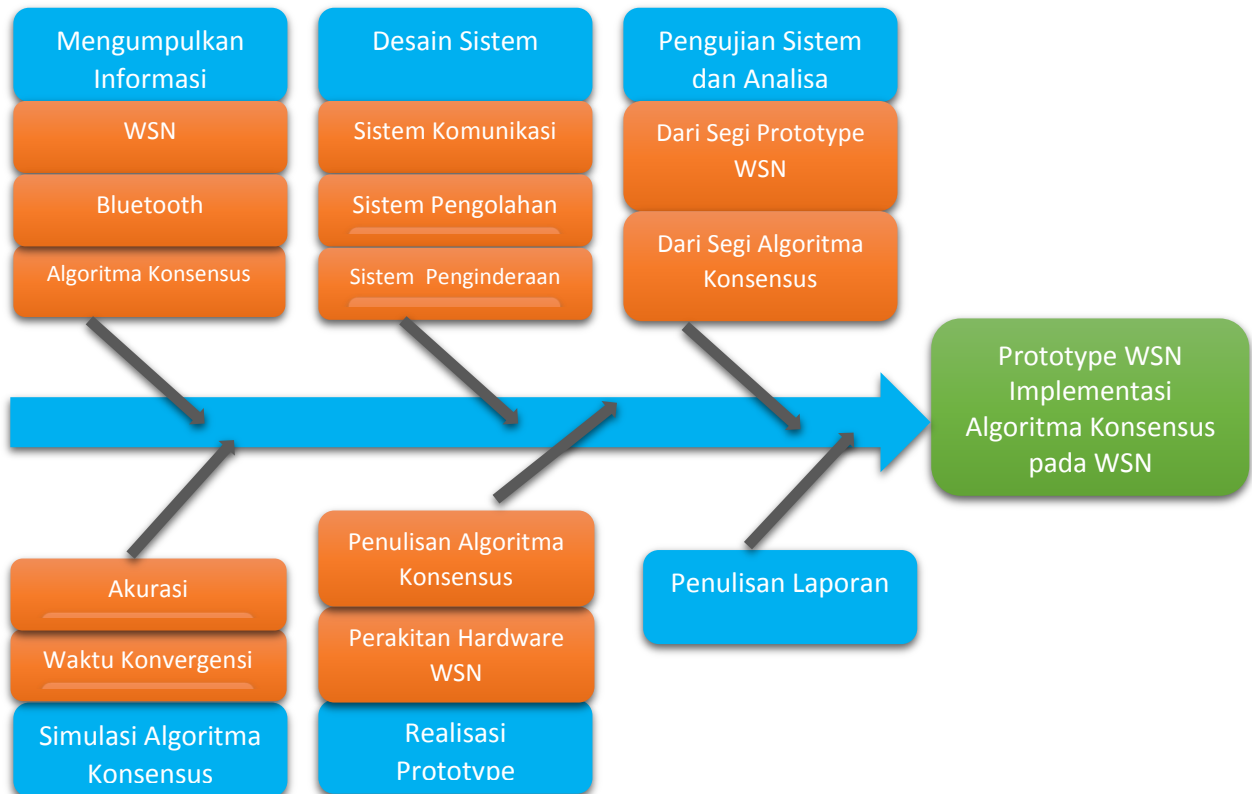
Pada bab ini membahas tentang metode penelitian mulai tahap desain sistem WSN yang meliputi sistem komunikasi, sistem pengolahan dan sistem penginderaan. Dari desain yang dibuat akan direalisasikan berupa *hardware* dan *software* hingga tahap pengujian sistem dan analisa yang meliputi pengukuran jarak jangkauan node dari segi *hardware* dan mendapatkan waktu konvergensi terpendek dari segi *software* (algoritma consensus Minimum terdistribusi). *Hardware* yang dirancang menggunakan mikrokontroler NodeMCUESP8266 dengan komunikasi HC-12. Dari segi *software*, program algoritma consensus ditulis pada software Arduino IDE dengan bahasa C++. Kemudian dilakukan pengukuran dari aspek *hardware* dengan perubahan *baud rate* untuk memperoleh *baudrate* yang ideal dan dari segi *software* menguji algoritma consensus terdistribusi Minimum untuk mendapatkan waktu konvergensi terpendek. Adapun diagram alir tahapan penelitian seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

### 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian bertujuan agar penelitian dapat dilakukan secara terstruktur. Pada thesis ini tahapan penelitian meliputi tahapan awal tentang perencanaan perancangan WSN baik dari segi *hardware* maupun *software* dengan komunikasi bluetooth. Kemudian perakitan perangkat WSN hingga implementasi pada node WSN berbasis ESP8266-12F sampai pada penulisan laporan. Adapun tahapan yang akan dilakukan seperti terlihat pada diagram *fishbone* dibawah ini:



Gambar 3. 2 Diagram *Fish Bone* Penelitian

Untuk rincian pada tahapan penelitian diatas adalah:

- a. Tahap Mengumpulkan Informasi dan Teori

Pada tahap pertama dilakukan pencarian informasi dan teori tentang WSN dan permasalahannya, processor untuk WSN, teknologi Wifi dan algoritma konsensus.

- b. Tahap Simulasi Algoritma

Sebelum diuji pada perangkat nyata, dilakukan simulasi algoritma untuk mengetahui beberapa parameter pada algoritma seperti parameter bobot dan pengaruh terhadap waktu konvergensi, akurasi sensor. Simulasi dilakukan pada software *interface*. Hal ini juga bertujuan untuk mendapatkan informasi sebelum algoritma diuji pada perangkat nyata.

c. Tahap Desain Sistem

Setelah melakukan simulasi dan memperoleh informasi dan kesimpulan. Mulai dilakukan desain sistem WSN . Pemilihan arsitektur WSN diantaranya sensor DHT 11 (Sistem Penginderaan), Modul NodeMCU ESP8266 (Sistem Pengolahan) dan Modul komunikasi HC-12 (Sistem Komunikasi).

d. Tahap Realisasi Prototype (*Hardware* dan *Software*)

Tahap ini adalah perakitan prototype WSN dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Untuk pemrogramannya (*software*), dilakukan penulisan program meliputi algoritma operasi dasar dan algoritma konsensus. Kode program ditulis dengan bahasa C++ dengan menggunakan *compiler* Arduino IDE.

e. Tahap Pengujian Sistem

Setelah hardware dirakit dan penulisan program selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian dari perangkat yang telah dibuat. Untuk uji coba prototype perangkat keras WSN meliputi pengujian baud rate antara 2 node. Sedangkan dari aspek *software* menguji algoritma consensus meliputi uji coba secara langsung untuk mengetahui waktu konvergensi data dan akurasi data. Tahapan ini juga dilakukan analisa dari sistem yang telah dibuat dan diujicobakan.

f. Penulisan Laporan Akhir

Laporan disusun sedemikian rupa dari awal penelitian hingga tahapan akhir. Hasil penelitian dari berbagai uji coba dan analisa ditulis pada tahap akhir.

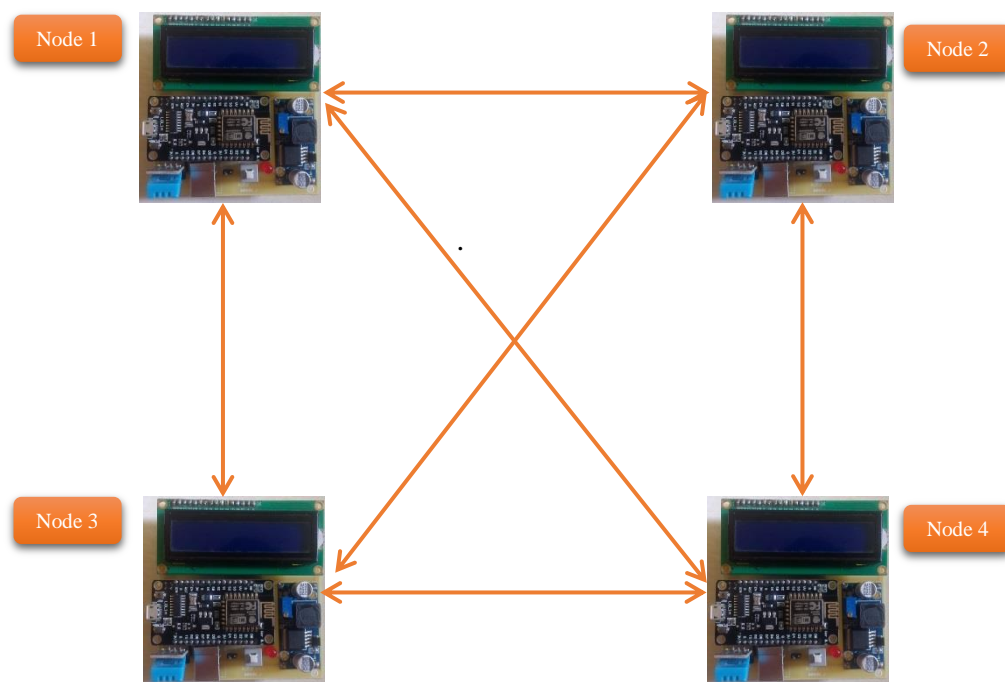
### 3.2 Skenario Lingkungan WSN

Sesuai dengan tujuan pada penelitian ini, diharapkan implementasi perangkat WSN yang dibuat dapat diaplikasikan untuk beberapa teknologi yang sedang berkembang. Misalnya untuk pemantauan suhu dan kelembaban ruangan pada *smart home*, untuk pemantauan suhu dan kelembaban pada rumah jamur dan pemantauan tanaman pada *green house*. Maka dari itu pada penelitian ini digunakan sebuah sensor suhu tipe DHT-11 untuk mengukur suhu suatu ruangan. Mengingat parameter fisik yang diamati pada suatu area lingkungan yang sama maka tiap node diletakkan tidak terlalu jauh satu sama lain. Adapun jaraknya

divariasikan untuk sekaligus menguji kemampuan jangkauan dari perangkat HC-12.

### 3.3 Skenario Topologi WSN

Pada skenario lingkungan WSN, sensor mengamati suatu lingkungan yang sama, maka dari itu node memungkinkan untuk terhubung secara langsung tanpa adanya infrastruktur tambahan. Mengingat implementasi algoritma consensus adalah untuk menemukan konvergensi data, maka pada thesis ini dipilih topologi *Mesh* yang berarti masing-masing node dapat terhubung satu sama lain guna menemukan konvergensi pada WSN. Skenario topologi *Mesh* pada thesis ini ditunjukkan pada Gambar 3.3. Dalam implementasiya terdapat 4 Node WSN yang bertujuan untuk meningkatkan keakuratan data yang terhubung secara *Mesh*. Masing-masing node saling bekerja sama, melakukan *sensing* parameter lingkungan yang diamati, melakukan proses pengiriman dan penerimaan data secara bergantian. Data sensor dan konvergensi pada node akan dilihat pada display LCD.



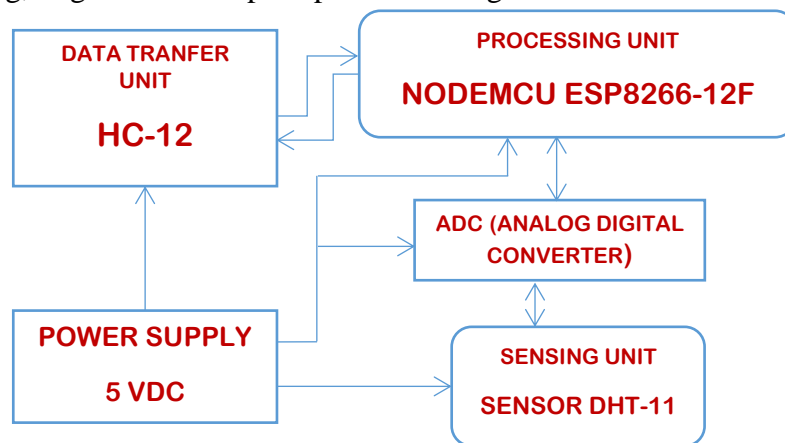
Gambar 3. 3 Skenario Topologi *Mesh*

### 3.4 Pemilihan Arsitektur WSN

Pada tahapan perancangan perangkat WSN pemilihan arsitektur sangatlah penting guna menunjang kinerja dari sistem yang dibuat. Arsitektur prosesor WSN yang dipilih adalah mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Secara umum



node WSN terdiri dari 4 unit, unit pengumpulan data, unit pengolahan data, unit pengirim dan penerima serta unit pengelolaan daya dan energi. Dengan demikian, pada thesis ini dirancanglah 4 unit yang mengacu pada subbab 2.2.1. Dari unit pengumpulan data, digunakan sensor suhu DHT-11 yang memiliki keluaran analog, akan tetapi untuk keperluan tesis ini data analog diubah kedalam data digital atau ADC (Analog Digital Converter). Pada unit pengolahan data menggunakan mikrokontroler NodeMCUESP8266 sebagai prosesor atau otak dari sistem WSN. Dalam NodeMCU ESP8266 terdapat CPU sebagai unit pemrosesan data dan memory EEPROM untuk menyimpan data-data sensor. Selanjutnya unit komunikasi digunakan HC-12 yang bertindak sebagai pengirim dan penerima data. Unit terakhir adalah unit catu daya atau power yang berasal dari sumber baterai 5VDC yang mensuplai energi ke seluruh unit WSN. Untuk detail dari unit yang dirancang dijelaskan pada subbab 3.5, 3.6 dan 3.7. Adapun dari 4 unit WSN yang dirancang, digambarkan seperti pada blok diagram dibawah ini:



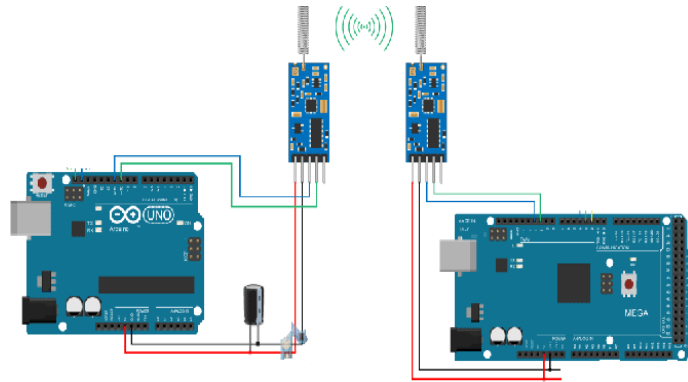
Gambar 3. 4 Blok Diagram Desain WSN

### 3.5 Perancangan Sistem Penginderaan

Pada perancangan sistem penginderaan berkaitan dengan sensor yang digunakan dan parameter lingkungan yang diamati. Pada thesis ini, sensor digunakan untuk mengamati kondisi suatu ruangan. Adapun sensor yang digunakan adalah sensor DHT-11 yang memiliki respon yang cepat dalam mengamati parameter lingkungan yang diamati. Sensor ini memiliki keluaran yang tidak stabil. Oleh sebab itu dari kekurangan sensor tersebut, data sensor dimanfaatkan untuk menguji implementasi algoritma konsensus terdistribusi pada prototype WSN untuk mencapai konvergensi data dan keakuratan data.

### 3.6 Perancangan Sistem Komunikasi

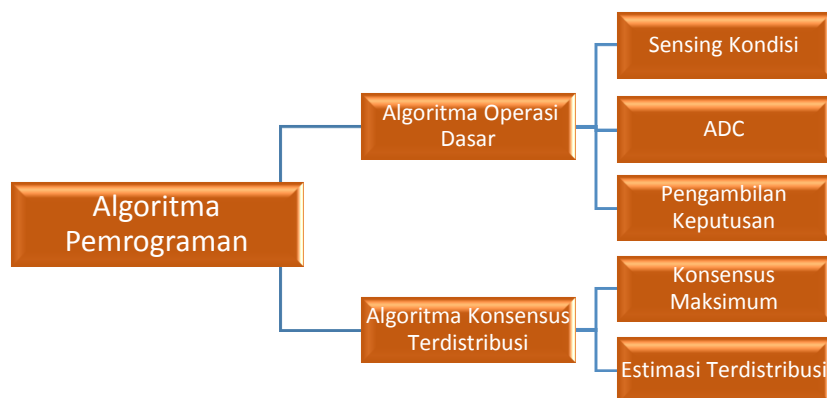
Untuk sistem komunikasi yang digunakan pada thesis ini, dipilih komunikasi telemetri tipe HC-12 yang bekerja pada frekuensi 433 MHz sebagai alternatif komunikasi RF. Selain konsumsi dayanya yang rendah, perangkat HC-12 dapat bekerja secara multipoint sehingga cocok diimplementasikan untuk *wireless sensor network*.



Gambar 3.5 Komunikasi HC-12

### 3.7 Perancangan Sistem Pengolahan

Pada sistem pengolahan berkaitan dengan prosesor yang digunakan, Penggunaan prosesor sebagai sistem pengolahan WSN memanfaatkan memory pada prosesor tersebut. Kebutuhan memory dijelaskan pada sub bab 3.7.1. Berdasarkan penjelasan pada sub bab 3.7.1 dipilih mikrokontroler ESP8266-12F yang mempunyai kapasitas memory hingga 4 MB sebagai prosesor yang akan digunakan pada thesis ini. Untuk mempermudah dalam membuat algoritma untuk WSN, maka pada perancangan algoritma pemrograman dapat dibagi menjadi 2 sub bagian diantaranya algoritma operasi dasar dan algoritma konsensus terdistribusi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6 Adapun rincian penjelasannya dijelaskan pada sub bab 3.7.1 dan 3.7.2.



Gambar 3. 6 Pembagian Sub Algoritma Pemrograman

### 3.7.1 Perhitungan Kebutuhan Memory

Sebelum menulis algoritma pada software, kebutuhan memory dapat diperkirakan terlebih dahulu. Pada thesis ini, sensor DHT-11 mampu mendeteksi suhu dan kelembaban sekaligus. Adapun perhitungan kebutuhan memory sebagai berikut

- Untuk resolusi ADC baik berupa parameter suhu dan kelembaban mengacu pada *data sheet* sensor DHT-11 dimana pada *data sheet* tersebut resolusi suhu dan kelembaban sebesar 16 bit sehingga dapat dikatakan resolusi ADC untuk parameter suhu dan kelembaban memiliki nilai yang sama sebesar 16 bit dan dengan hal itu tidak perlu dilakukan perhitungan. Jika melakukan perhitungan dapat mengacu pada persamaan 2.4 pada sub bab 2.5.1

$$\frac{a_h - a_t}{r} < 2^n \quad (3.1)$$

- Untuk menentukan pengukuran rata-rata  $D_{avg}$  yaitu parameter suhu  $N_c$  bernilai 1,  $b_{start} = b_{stop} = 8\text{bit}$ ,  $b_{address} = 16\text{bit}$ ,  $f_s = 10\text{ Hz}$  dibagi dengan dengan durasi pengukuran selama 10 menit. Adapun persamaannya mengacu pada persamaan 2.5 pada sub bab 2.5.1.

$$48 = \frac{(1 \cdot 16 + 8 + 16 + 8) \cdot 10}{10} \quad (3.2)$$

- Setelah rata-rata pengukuran  $D_{avg}$  diketahui, kebutuhan minimum memory dapat dihitung dengan persamaan 2.6 pada subbab 2.5.1.

$$480 = 48 \cdot 10 \quad (3.3)$$

Berdasarkan perhitungan seperti yang telah dilakukan diatas, bahwa sebelum mengimplementasikan WSN ke perangkat nyata (processor) didapatkan syarat kapasitas memory minimum sebesar 480 Byte. Oleh sebab itu pada thesis ini dipilih processor mikrokontroler ESP8266-12 dengan kapasitas memori mencapai 4 MB.

### 3.7.2 Algoritma Operasi Dasar

Sebelum tahapan algoritma konsensus dijalankan, sebelumnya dirancang terlebih dahulu algoritma operasi dasar yang bertujuan untuk menjalankan fungsi dasar dari sensor untuk mendeteksi kondisi yang sedang diamati. Adapun algoritma operasi dasar yang dimaksud adalah sensing kondisi suhu menggunakan sensor DHT-11, *Analog Digital Converter* (ADC), dan proses *receiver* dan

*transmitter* data suhu atau algoritma pengambilan keputusan. Adapun rincian dari alur pemrograman *software* adalah:

1) Pengosongan memory

Pengosongan memory bertujuan agar alamat memory dapat diisi oleh data. Data yang dimaksud adalah data sensing sensor dari node i dan data dari node tetangga.

2) Node melakukan sensing kondisi

Node mendeteksi kondisi yang diamati melalui sensor DHT-11 yang digunakan untuk mengukur suhu. Data yang diperoleh ditulis kedalam memory prosessor NodeMCU ESP8266.

3) Node Menyimpan Informasi Kedalam Memory

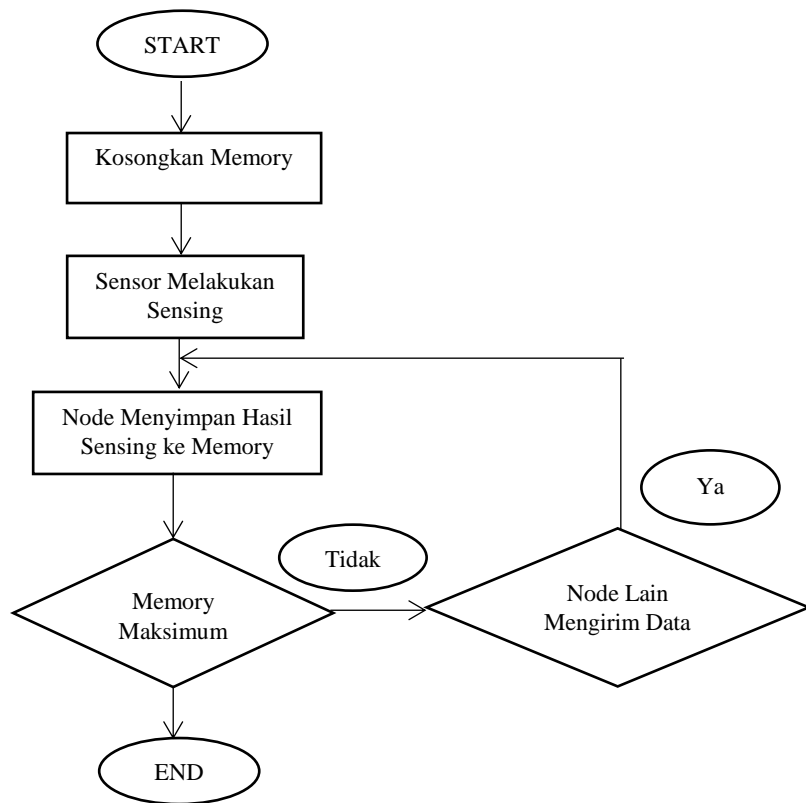
Node menyimpan semua hasil data sensing sensor dan disimpan ke dalam alamat memory yang telah disediakan.

4) Node Mengirim Data

Tahapan ini semua node akan mengirim data sensor hasil penginderaan masing-masing ke semua node lain atau node tetangga yang terhubung. Data yang telah disimpan, dibaca dan dikirim secara broadcast ke seluruh node tetangga. Node juga menerima dan menyimpan hasil sensing dari node tetangga kedalam alamat memory yang telah disediakan,

5) Node Menganalisa Data

Kemudian apabila jumlah alamat memory yang ditentukan terisi semua oleh data sensing, maka semua data yang diperoleh dianalisa. Pada langkah ini algoritma consensus terdistribusi dijalankan.



Gambar 3. 7 Flowchart Algoritma Operasi Dasar

Untuk penjelasan lebih detail tentang algoritma operasi dasar dari mulai sensing kondisi, ADC (*Analog Digital Converter*) dan pengambilan keputusan dijelaskan pada sub bab 3.7.2.1-3.7.2.3.

### 3.7.2.1 Sensing Kondisi

Pada bagian pemrograman ini, sensor melakukan *sensing* tentang kondisi fisik yang diamati. Karena pada thesis ini yang akan diamati berupa data suhu dan kelembaban maka hasil keluaran sensor juga berupa data suhu dan kelembaban. Data yang disensing berupa data analog yang diterima oleh *input* sensor DHT-11, data tersebut kemudian dikonversi menjadi data digital melalui pemrograman pada prosesor mikrokontroler NodeMCU ESP266.

### 3.7.2.2 ADC (*Analog Digital Converter*)

Setelah hasil *sensing* berupa data analog yang diterima oleh pin *input* dari sensor sensor DHT-11 kemudian dikonversi dibagian pemrograman sehingga data yang dihasilkan berupa data digital. Adapun rumus konversi ADC seperti berikut ini:

$$(V_{in}/V_{ref}) \times 1023 \quad (3.4)$$

Dimana:  $V_{in}$  = Tegangan input sensor DHT-11

$V_{ref}$  = Tegangan referensi sebesar 5VDC

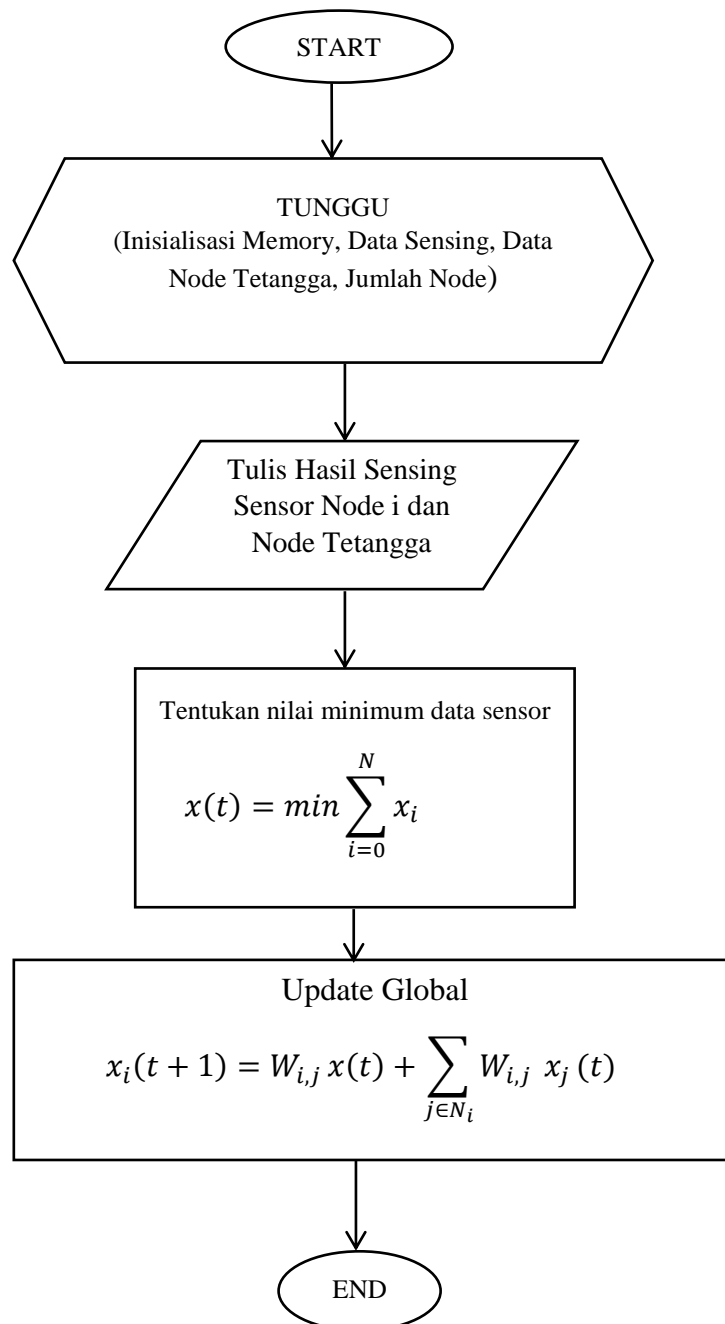
1023 = Resolusi ADC 10 bit

### 3.7.2.3 Pengambilan Keputusan

Bila data analog sensor sudah dikonversi, selanjutnya mikrokontroler NodeMCU ESP8266 diberi perintah apakah data sudah dapat dikirimkan ke node lain atau belum. Bila data sudah terkonversi menjadi data digital mikrokontroler NodeMCU ESP8266 diperintahkan untuk mengirim ke node lain, sebaliknya bila data analog masih dalam proses konversi maka node tidak akan mengirim data tersebut ke node lain.

### 3.7.3 Algoritma Konsensus Terdistribusi Minimum

Setelah dilakukan konversi dan data sudah dikirim ke node lain. Selanjutnya adalah pemrograman algoritma konsensus. Algoritma konsensus terdistribusi merupakan suatu algoritma dimana sejumlah sensor yang saling bekerja sama, data yang diperoleh oleh setiap node sensor diperbarui oleh node sensor tetangganya. Tiap node sensor memperoleh data yang berbeda-beda dan belum diketahui apakah hasil yang telah diperoleh sudah akurat. Sejumlah sensor yang saling terhubung tersebut melakukan pendeteksian suatu *event* (kejadian). Hasil dari pendeteksian diberikan kepada sensor tetangganya untuk dilakukan penggabungan sehingga didapatkan hasil data sensor Minimum dari informasi (data sensor) yang ada. Pada thesis ini telah dipilih algoritma konsensus Minimum yang akan menentukan nilai minimum. Karena algoritma konsensus akan diimplementasikan pada sebuah hardware, maka diperlukan beberapa penyesuaian agar algoritma dapat berjalan pada hardware yang dipilih. Juga pada implementasinya dapat memanfaatkan alamat memori EEPROM pada hardware yang digunakan. Adapun alasan bila menggunakan memori EEPROM data dapat dihapus dan ditulis ulang sehingga data tidak dapat tersimpan secara permanen yang dapat membebani mikrokontroler. Penjelasan lebih detail diuraikan pada sub bab 3.7.3.1 dan 3.7.3.2.

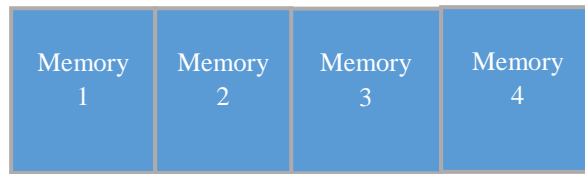


Gambar 3.8 Flowchart Algoritma Konsensus Terdistribusi

### 3.7.3.1 Konsensus Minimum

Implementasi dari algoritma pada perangkat keras mengambil beberapa persamaan dari usulan teoritis [13] dengan memanfaatkan memory processor. Pada penelitian tersebut menggunakan algoritma consensus dengan memory, hal tersebut dimanfaatkan untuk implementasi algoritma konsensus Minimum pada perangkat nyata yang berbasis mikrokontroller NodeMCU ESP8266. Implementasi algoritma konsensus pada perangkat keras WSN, memerlukan beberapa penyesuaian agar dapat berjalan pada perangkat keras yang kemampuan komputasinya dibatasi oleh spesifikasi dari processor yang digunakan. ESP8266-

12F yang akan digunakan mempunyai kapasitas memory EEPROM hingga 4 MB untuk mengolah algoritma yang disusun untuk WSN. Implementasi perangkat nyata WSN pada thesis ini digunakan 4 alamat memory. Dengan pembagian masing-masing node sebanyak 1 memori untuk data informasi yang berupa nilai sensor. Hasil sensing node dan data sensing node tetangga akan disimpan kedalam alamat memory. Jadi hasil penginderaan sensor akan ditulis pada alamat EEPROM ESP8266-12F dan akan ditentukan nilai data sensor minimum. Maksud data sensor minimum sendiri berupa data sensor dengan nilai terkecil. Sedangkan alokasi memori pada NodeMCU ESP8266 diilustrasikan seperti gambar dibawah ini



Gambar 3.9 Ilustrasi Alokasi Memori WSN

Adapun persamaan untuk menentukan data sensor minimum dikutip dari penelitian [13] seperti dibawah ini:

$$x(t) = \min \sum_{i=0}^N x_i \quad (3.5)$$

Berdasarkan pada penelitian [20]  $\min \sum_{i=0}^N x_i$  merupakan data minimum atau data terkecil sensor, sehingga pada thesis ini  $\min \sum_{i=0}^N x_i$  adalah nilai minimum atau terkecil data sensor suhu. Hasil tersebut berasal dari data sensing dari node analisa dan seluruh node tetangga yang ditulis ke dalam alamat memory yang telah dialokasikan.

### 3.7.3.2 Estimasi Terdistribusi

Setelah semua node menentukan nilai minimum dari hasil penginderaan sensor. Langkah selanjutnya ialah semua node melakukan proses update global dengan aturan sebagai berikut:

$$x_i(t + 1) = W_{i,i} x(t) + \sum_{j \in N_i} W_{i,j} x_j(t) \quad (3.6)$$

Persamaan diatas dikutip dari penelitian [13] dimana  $i$  adalah node yang terhubung secara langsung dan  $j$  adalah node tetangga. Pada penelitian ini digunakan maksimal 4 node dengan 3 skenario pengukuran seperti pada subbab 3.9, sehingga dilakukan penyesuaian dimana  $i$  merupakan hasil informasi dari node yang melakukan analisa dan  $j$  merupakan hasil informasi dari node



tetangga. Sehingga bila digunakan dalam pengujian menggunakan 4 node maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$x_i(t + 1) = W_{i,i} x(t) + \sum_{j=1}^3 W_{i,j} x_j(t) \quad (3.7)$$

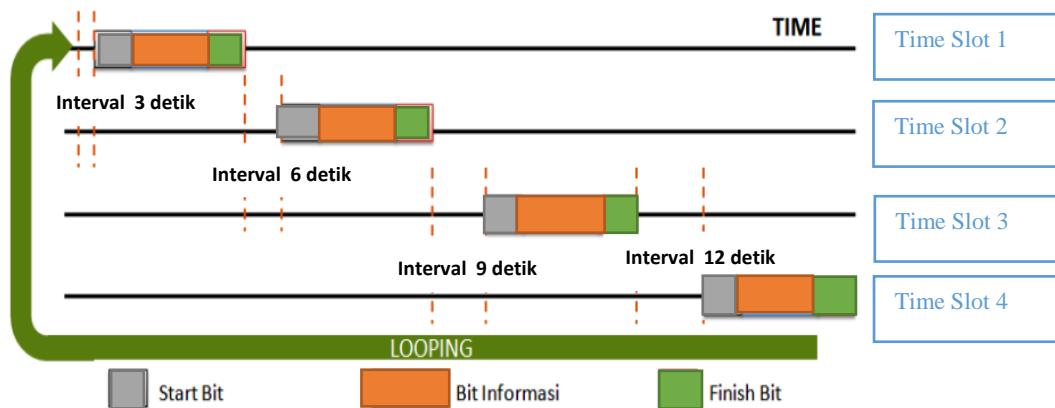
Dimana  $x(t)$  merupakan data sensor uhu terkecil dan  $\sum_{j=1}^3$  merupakan banyaknya jumlah data dari node tetangga. Pada penelitian [13] untuk menentukan nilai pembobotan  $W$  dalam upaya menemukan konvergensi terpendek dengan cara memasukkan data pada vector kolom. Data berupa data sensor yang sudah terkonversi. Kemudian membentuk matriks 4x4. Penggunaan matriks 4x4 agar tidak membebani processor mikrokontroler. Selanjutnya menentukan *eigenvalue* sebagai hasil yang akan dikirim ke node tetangga. Namun pada tesis ini pembobotan menggunakan pembobotan metropolis dimana pembobotan ini menghitung jumlah *degree* antara node  $i$  dan node  $j$ .

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{1+\max(d_i,d_j)} & \{i,j \in \varepsilon(t)\} \\ 1 - \sum_{k \in N_i(t)} W_{ik}(t) & i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.8)$$

Adapun skenario pengujian node WSN untuk menentukan nilai bobot pada pengujian algoritma konsensus terdistribusi minimum dijelaskan pada subbab 3.9.

### 3.8 Skenario TDMA

Pada skenario ini digunakan buah node WSN, seluruh node bergantian mengirim data informasi. Oleh karena itu dibuatlah slot waktu untuk masing-masing node. Dengan adanya slot waktu, maka masing-masing node dapat mengirim data sensor ke node lainnya tanpa adanya tabrakan pengiriman data. Gambar 3.10

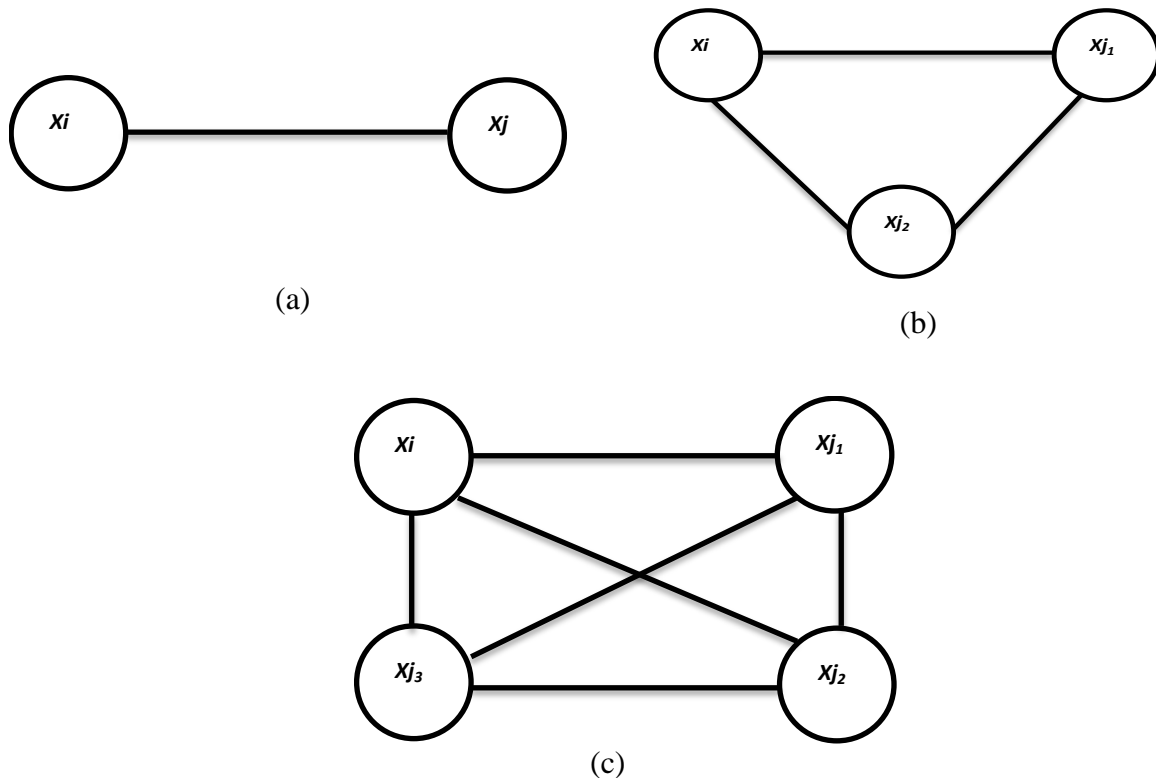


Gambar 3.10 Ilustrasi Protokol TDMA

Dari ilustrasi diatas time slot 1 untuk node 1, time slot 2 untuk node 2, time slot 3 untuk node 3 dan time slot 4 untuk node 4. Masing-masing node diberi alamat sebagai inisialisasi node guna mempermudah proses pengiriman data ke node yang dituju. Urutan penjadwalannya, time slot 1 yang terdiri dari start, informasi dan finish diberi interval selama 3 detik, setelah 3 detik tercapai node mengirim hasil sensing secara broadcast ke node lain. Berikutnya node 2 diberi interval 6 detik kemudian melakukan broadcast data sensing ke node lain dan berlanjut sampai pada node 4. Bila sudah tercapai 4 node, maka akan kembali ke kondisi awal hingga konvergensi tercapai. Setiap node diberi interval dengan selisih 3 detik agar tidak terjadi tabrakan saat pengiriman data sensing sensor.

### 3.9 Skenario Pengujian Node WSN

Pembobotan algoritma konsensus terdistribusi minimum merupakan aspek penting untuk tercapainya konvergensi. Pada tesis ini bobot menjadi salah satu aspek yang diteliti. Untuk menentukan pembobotan dilakukan dengan menghitung degree antara 2 node terdekat. Adapun ilustrasi dari pengujian node WSN untuk tercapainya konvergensi, akurasi dan kestabilan node WSN sebagai berikut.



Gambar 3.11 Ilustrasi Pengujian Node WSN

a) Pengujian 2 Node

Pada pengujian ini digunakan 2 buah node WSN yang bertukar data informasi berupa data suhu. 2 node yang akan diuji diletakkan dalam area lingkungan yang sama. Bila mengacu pada gambar 3.11 (a), maka tiap node mempunyai masing-masing satu cabang. Sehingga bobot metropolis dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{1+\max(d_i, d_j)} & \{i, j \in \varepsilon(t)\} \\ 1 - \sum_{k \in N_i(t)} W_{ik}(t) & i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.9)$$

Karena jumlah cabang maksimum untuk pengujian 2 node sudah diketahui maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$W_{ij} = \frac{1}{1+\max(d_i, d_j)} \quad (3.10)$$

$$W_{ij} = \frac{1}{1+1} \quad (3.11)$$

$$W_{ij}=0,5 \quad (3.12)$$

Sehingga  $W_{ij}$  yang merupakan bobot untuk node i dan node j diperoleh sebesar 0,5. Bobot dengan nilai 0,5 akan dikomputasi pada proses update global algoritma konsensus terdistribusi minimum.

b) Pengujian 3 Node

Pengujian kedua digunakan 3 buah node WSN yang bertukar data informasi berupa data suhu. Sama dengan pengujian sebelumnya dimana 3 node diletakkan dalam area lingkungan yang sama. Bila mengacu pada gambar 3.11 (b), maka tiap node mempunyai masing-masing dua cabang. Sehingga bobot metropolis dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{1+\max(d_i, d_j)} & \{i, j \in \varepsilon(t)\} \\ 1 - \sum_{k \in N_i(t)} W_{ik}(t) & i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.13)$$

Karena jumlah cabang maksimum untuk pengujian 3 node sudah diketahui maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$W_{ij} = \frac{1}{1+\max(d_i, d_j)} \quad (3.14)$$

$$W_{ij} = \frac{1}{1+2} \quad (3.15)$$

$$W_{ij}=0,33 \quad (3.16)$$

Sehingga  $W_{ij}$  yang merupakan bobot untuk node i dan node j diperoleh sebesar 0,33. Bobot dengan nilai 0,33 akan dikomputasi pada proses update global algoritma konsensus terdistribusi minimum.

c) Pengujian 4 Node

Pengujian dengan skenario terakhir digunakan 4 buah node WSN yang bertukar data informasi berupa data suhu. Seluruh node diletakkan dalam area lingkungan yang sama Bila mengacu pada gambar 3.11 (c) , maka tiap node mempunyai masing-masing tiga cabang. Sehingga bobot metropolis dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{1+\max(d_i, d_j)} & \{i, j \in \varepsilon(t)\} \\ 1 - \sum_{k \in N_i(t)} W_{ik}(t) & i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.17)$$

Karena jumlah cabang maksimum untuk pengujian 4 node sudah diketahui maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$W_{ij} = \frac{1}{1+\max(d_i, d_j)} \quad (3.18)$$

$$W_{ij} = \frac{1}{1+3} \quad (3.19)$$

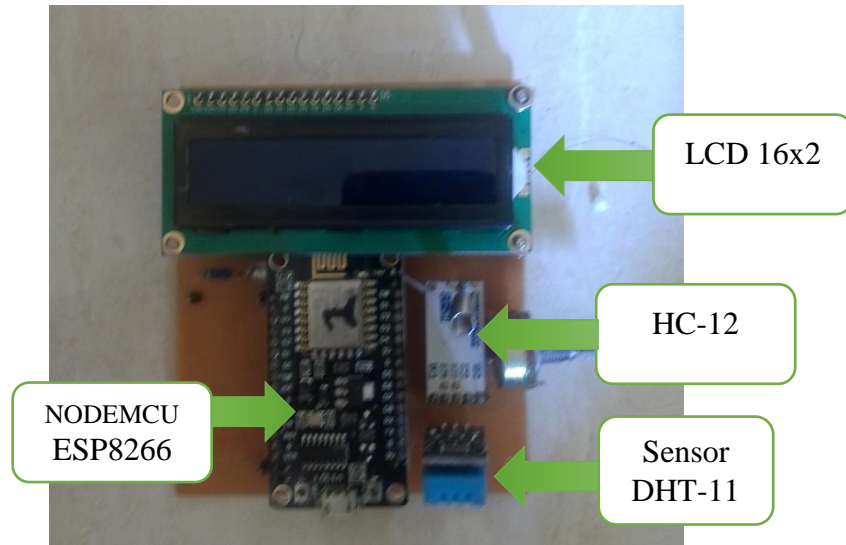
$$W_{ij}=0,25 \quad (3.20)$$

Sehingga  $W_{ij}$  yang merupakan bobot untuk node i dan node j diperoleh bobot sebesar 0,25. Bobot dengan nilai 0,25 akan dikomputasi pada proses update global algoritma konsensus terdistribusi minimum.

### 3.10 Node WSN

Pemilihan node WSN berbasis ESP8266-12F karena fleksibilitas terhadap perangkat lain. Pada node WSN terdiri dari unit sistem penginderaan, unit sistem pengolahan dan unit sistem komunikasi yang telah dibuat dalam satu PCB (*Printed Circuit Board*) untuk mempermudah proses penelitian. Didalam satu PCB terdapat catu daya sebagai sumber energi WSN, sensor DHT 11 sebagai

sensing kondisi, NodeMCU ESP8266 sebagai pengolah data dan HC-12 sebagai media komunikasi dengan node lainnya.



Gambar 3.12 Node Prototipe

Adapun spesifikasi dari perangkat WSN yang dirancang pada gambar diatas adalah:

1. Sistem Penginderaan

Pada sistem penginderaan digunakan sensor DHT-11. Sensor tipe ini dapat mengukur dua parameter lingkungan sekaligus berupa suhu dan kelembaban. Keluaran dari sensor DHT-11 berupa sinyal digital. Dalam sensor tersebut terdapat sebuah thermistor tipe NTC (*Negative Temperature Coefficient*) dan sebuah mikrokontroler 8-bit yang mengolah kedua sensor tersebut. Hasilnya dikirimkan ke *output* dengan format single wire bidirectional.

Adapun spesifikasi dari sensor DHT-11 seperti tabel dibawah ini:

Tabel 3.1 Spesifikasi Sensor DHT-11

No.	Parameter	Kondisi
1	Resolusi pengukuran	16 bit
2	Repeatability	±1% RH
3	Akurasi pengukuran	25°C ±5% RH
4	Waktu respon	1/e (63%) of 25°C 6 detik
5	Histeresis	<±0.3% RH
6	Long-term stability	<±0.5% RH/ yr in

Tabel 3.2 Lanjutan Spesifikasi Sensor DHT-11

No.	Parameter	Kondisi
7	Waktu respon	1/e (63%) 10 detik
8	Power supply	3.5-5.5 VDC
9	Konsumsi arus	measurement 03 mA,
10	Periode sampling	>2 detik
11	Range	25°C ±2°C
12	Waktu respon	1/e (63%) 10 detik

## 2. Sistem Pengolahan

Bagian sistem pengolahan dikerjakan oleh mikrokontroler ESP8266-12F. Fasilitas yang dimiliki ESP8266-12F dimanfaatkan untuk implementasi WSN pada perangkat nyata. ESP8266-12F akan ditugaskan mengolah algoritma dasar dan algoritma konsensus terdistribusi. Dalam segi kapasitas memori ESP8266-12F dapat menyimpan data hingga 4 MB. Berikut spesifikasi dari mikrokontroler ESP8266-12F yang dipakai pada thesis ini:

Tabel 3.3 Spesifikasi ESP8266-12F

No.	Items	Values
1	Protokol wifi	802.11 b/g/n
2	Tegangan input	3.0-3.6 VDC
3	Rentang frekuensi	2.4 Ghz-2.5 Ghz
4	Analog input pin	16 pin
5	Arus operasi (rata-rata)	80 Ma
6	Memori Flash (max)	4 MB
7	SRAM	8 KB

## 3. Sistem Komunikasi

Node WSN pada tesis ini dilengkapi dengan perangkat HC-12 yang digunakan untuk berkomunikasi/bertukar data sensor antar node WSN. Adapun spesifikasi dari perangkat HC-12 seperti pada tabel dibawah.

Tabel 3.4 Spesifikasi HC-12

No.	Items	Values
1	Tegangan operasi	3.0-3.6 VDC
2	Frekuensi kerja	433 MHz
3	Daya transmit Minimum	100mW (20 dBm)
4	Modulasi	GFSK ( <i>Gaussian Frequency Shift Keying</i> )

#### 4. *Display* LCD 16x2

LCD 16x2 merupakan media tampil untuk keperluan banyak bidang misalnya bidang elektro sebagai penampil informasi alat-alat elektronik. Pada thesis ini LCD 16x2 digunakan sebagai penampil informasi ke *user*. Penggunaanya untuk menampilkan nilai suhu dan kelembaban.

Tabel 3.5 Spesifikasi LCD 16x2

No.	Items	Values
1	Tegangan operasi	5 VDC
2	Arus	3 mA
3	LED Forward Voltage	4.6 VDC
4	LED Forward Current	260 mA

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan disajikan hasil dan analisa dari perancangan perangkat WSN yang telah dikerjakan baik dari sisi hardware (processor, komunikasi, penjadwalan) maupun dari sisi software (algoritma dasar, algoritma consensus). Adapun hasil dari seluruh pengujian dari aspek hardware dan software ditunjukkan seperti pada sub bab dibawah ini.

#### **4.1 Uji Coba dari Aspek Hardware**

Uji coba pada sisi hardware berkaitan dengan kinerja atau performansi dari node WSN yang telah dibuat. Pada aspek hardware perancangan node WSN meliputi desain hardware, software, komunikasi antar node. Oleh sebab itu setelah dilakukan perancangan node, maka selanjutnya dilakukan beberapa uji coba. Adapun pengujian dari node WSN diantaranya:

- ❖ Pengujian node dengan perubahan baudrate HC-12.

##### **4.1.1 Pengujian Node Dengan Perubahan Baudrate**

Pengujian ini bertujuan untuk menguji jarak jangkauan dengan perubahan *baud rate* pada modul komunikasi HC-12. *Baud rate* mengindikasikan seberapa cepat data dikirim melalui komunikasi serial. Uji coba dilakukan pada lingkungan indoor yang terdapat halangan berupa dinding tembok dan lingkungan *outdoor*. *Baud rate* yang digunakan mengacu pada data sheet HC-12 yaitu 4800, 9600, 19200, 57600 dan 115200 bps.

Uji coba menggunakan dua node WSN dengan interface modul HC-12. Node 1 sebagai node *transmitter* dan node 2 sebagai node *receiver*. Node yang ditugaskan sebagai node receiver diubah posisi jaraknya semakin menjauh dari node transmitter dengan dua besaran *baud rate* yang berbeda. Adapun tujuan dari pengujian jarak jangkauan dengan perubahan *baud rate* pada modul komunikasi HC-12 untuk mengetahui nilai besaran *baud rate* yang efektif sehingga hasil dari pengujian ini akan dijadikan referensi untuk pemrograman algoritma konsensus. Hasil dari pengujian pada lingkungan *indoor* ditampilkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pengujian Baud Rate Pada Lingkungan Indoor

Jarak (m)	Baud Rate	Hasil
2	4800	√
	9600	√
	19200	√
	57600	√
	115200	√
5	4800	√
	9600	√
	19200	√
	57600	X
	115200	X
10	4800	√
	9600	√
	19200	√
	57600	X
	115200	X
20	4800	√
	9600	√
	19200	X
	57600	X
	115200	X

Berdasarkan tabel diatas diperoleh kesimpulan bahwa pada proses uji coba jarak jangkauan dengan *baud rate* 4800 dan 9600 data sensor mampu diterima oleh node *receiver* sampai jarak 20 meter, sedangkan dengan *baud rate* 19200 data sensor hanya mampu diterima node *receiver* sampai jarak 10 meter dan *baud rate*. 57600 dan 115200 hanya dapat diterima pada jarak 2 meter. Hal ini terjadi kecepatan *baud rate* 57600 dan 115200 terlalu cepat dan terjadi gangguan komunikasi pada lingkungan *indoor* berupa dinding sehingga data yang dikirim dari node pengirim hilang dan tidak dapat diterima node penerima

Dari skema pengujian diatas dapat diambil kesimpulan bahwa kecepatan *baud rate* sangat berpengaruh pada pengiriman data terutama pada lingkungan yang

banyak terdapat gangguan yang menyebabkan data tidak sampai pada *receiver*. Berdasarkan hasil pengujian, maka modul komunikasi HC-12 untuk pemrograman algoritma konsensus dipilih *baud rate* 9600, karena pada *baud rate* sebesar itu data yang diterima sampai hingga jarak 20 meter pada node *receiver* dan kecepatan pengiriman data lebih cepat daripada *baud rate* 4800.

## **4.2 Uji Coba dari Aspek Software**

Uji Coba dari aspek software merupakan salah satu tujuan pada thesis ini. Algoritma yang telah dirancang merupakan algoritma consensus terdistribusi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan algoritma tersebut dalam mencapai konvergensi atau kesamaan data sensor pada semua node WSN. Adapun serangkaian pengujian dari aspek software diantaranya sebagai berikut:

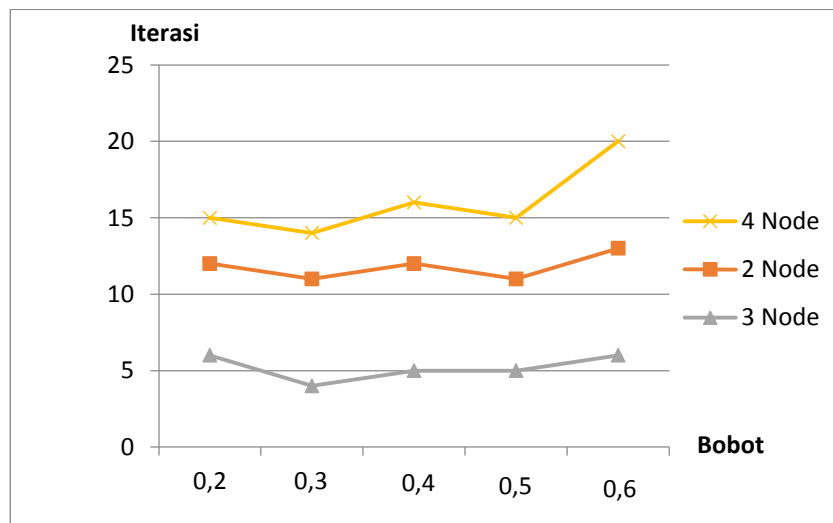
- ❖ Estimasi Konvergensi Algoritma Konsensus Minimum
- ❖ Uji Coba Konvergensi Antara 2 Node WSN
- ❖ Uji Coba Konvergensi Antara 3 Node WSN
- ❖ Uji Coba Konvergensi Antara 4 Node WSN
- ❖ Uji Coba Akurasi dan Kestabilan Antara 2 Node WSN
- ❖ Uji Coba Akurasi dan Kestabilan Antara 3 Node WSN
- ❖ Uji Coba Akurasi dan Kestabilan Antara 4 Node WSN

### **4.2.1 Estimasi Pembobotan Algoritma Konsensus Minimum**

Pada tesis ini, pembobotan algoritma konsensus merupakan aspek yang diteliti untuk implementasi algoritma konsensus pada perangkat nyata. Oleh sebab itu sebelum algoritma konsensus diuji dari segi konvergensi, kestabilan maupun akurasi perlu diketahui terlebih dahulu pembobotan yang ideal untuk algoritma konsensus. Pada uji coba estimasi pembobotan ini dilakukan untuk analisa kinerja algoritma khususnya pada kondisi sempurna dimana tidak ada kegagalan ataupun gangguan komunikasi. Selain itu juga untuk memastikan terjadinya konvergensi data antar node.

Untuk melakukan estimasi, diperlukan beberapa skenario. Berikut skenario dari ujicoba estimasi konvergensi.

- Uji coba ke -1 dilakukan 3 kali pengukuran dengan 2 node, 3 node dan node. Adapun skenarionya ialah node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan tanpa sebuah penghalang.
- Masing-masing sensor DHT-11 dikalibrasi terlebih dahulu sehingga tercapai selisih 2 celcius tiap node. Node 1 mendeteksi suhu 26 celcius, Node 2 mendeteksi suhu sebesar 28 celcius, Node 3 mendeteksi suhu sebesar 30 celcius dan Node 4 mendeteksi suhu sebesar 32 celcius.
- Estimasi pembobotan yang digunakan sebesar 0,1 sampai 0,9.
- Pada uji coba ini untuk mengetahui kapan terjadinya konvergensi.
- Proses konvergensi antar node WSN akan berhenti bila terdapat kesamaan data sensor berupa suhu atau informasi dari node. Dan selajutnya dilakukan pencatatan hasil untuk dilakukan analisa.

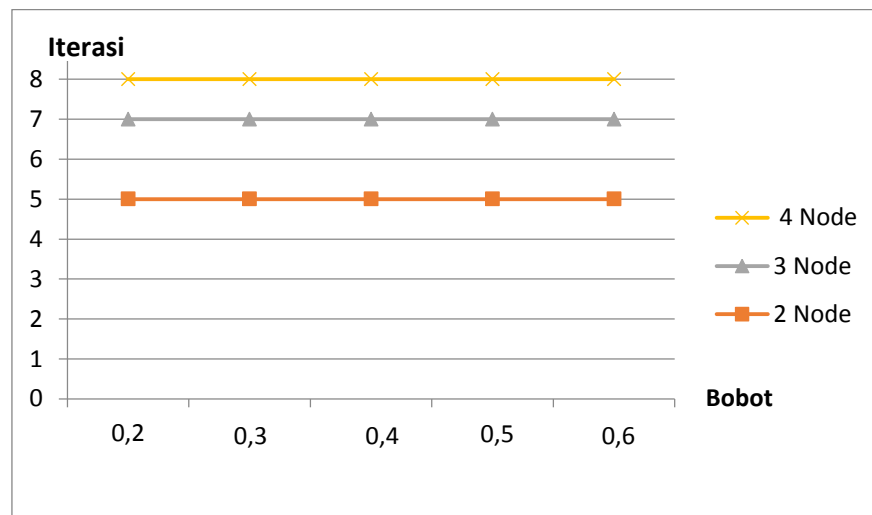


Gambar 4.1 Grafik Estimasi Pembobotan 1

Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa uji coba konvergensi dengan selisih 2 celcius diperoleh kesimpulan bahwa semakin banyak jumlah node maka konvergensi akan semakin lama tercapai, hal tersebut ditandai dengan bertambahnya jumlah iterasi pada setiap bertambahnya jumlah node.

Pengukuran yang kedua, hampir sama dengan pengukuran sebelumnya hanya saja selisih data sensor antar node dikalibrasi hingga mencapai selisih 1 celcius tiap node. Adapun detail skenario uji cobanya sebagai berikut:

- Uji coba ke -1 dilakukan 3 kali pengukuran dengan 2 node, 3 node dan node. Adapun skenarionya ialah node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan tanpa sebuah penghalang.
- Masing-masing sensor DHT-11 dikalibrasi terlebih dahulu sehingga tercapai selisih 1 celcius tiap node. Node 1 mendeteksi suhu 27 celcius, Node 2 mendeteksi suhu sebesar 28 celcius, Node 3 mendeteksi suhu sebesar 29 celcius dan Node 4 mendeteksi suhu sebesar 30 celcius.
- Estimasi pembobotan yang digunakan sebesar 0,2 sampai 0,6.
- Pada uji coba ini untuk mengetahui kapan terjadinya konvergensi.
- Proses konvergensi antar node WSN akan berhenti bila terdapat kesamaan data sensor berupa suhu atau informasi dari node. Dan selajutnya dilakukan pencatatan hasil untuk dilakukan analisa.



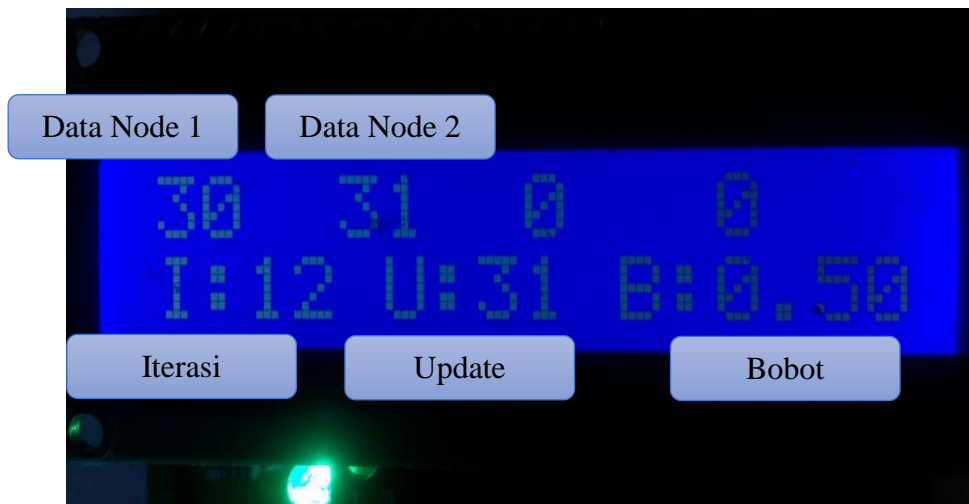
Gambar 4.2 Grafik Estimasi Konvergensi 2

Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa uji coba konvergensi dengan selisih 1 celcius diperoleh kesimpulan bahwa semakin banyak jumlah node maka konvergensi akan semakin lama tercapai yang ditandai dengan jumlah iterasi yang bertambah pada setiap bertambahnya jumlah node. Akan tetapi jumlah iterasi lebih sedikit bila dibandingkan dengan uji coba sebelumnya yang mana sensor dikalibrasi dengan selisih 2 celcius artinya semakin kecil selisih nilai data sensor antar node maka konvergensi akan semakin cepat tercapai.

#### 4.2.2 Uji Coba Konvergensi 2 Node

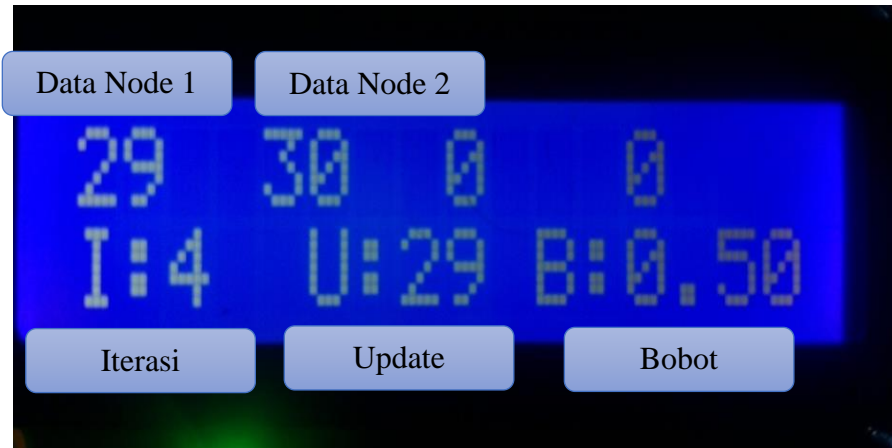
Uji Coba ini dilakukan untuk mengetahui waktu konvergensi secara *real* pada Node WSN, Uji coba ini dilakukan dengan dua skenario. Untuk detail dari skenarionya sebagai berikut:

- Uji coba ke -1 skenarionya yaitu 2 node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan tanpa sebuah penghalang. Seluruh node dikalibrasi nilai ADCnya. Node 1 mendeteksi suhu 30 celcius, Node 2 mendeteksi suhu sebesar 32 celcius dengan pembobotan 0,5.
- Setelah dilakukan kalibrasi seluruh node dinyalakan dan melakukan proses algoritma konsensus.
- Dari percobaan yang telah dilakukan, konvergensi antara 2 node tercapai pada iterasi ke 12.



Gambar 4.3 Hasil Konvergensi 2 Node Skenario 1

- Uji coba ke -2 skenarionya hampir sama dengan uji coba 1 yaitu 2 node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan tanpa sebuah penghalang. Seluruh node dikalibrasi nilai ADCnya. Node 1 mendeteksi suhu 29 celcius, Node 2 mendeteksi suhu sebesar 30 celcius dengan pembobotan 0,5.
- Setelah dilakukan kalibrasi seluruh node dinyalakan dan melakukan proses algoritma konsensus.
- Dari percobaan yang telah dilakukan, konvergensi antara 2 node tercapai pada iterasi ke 4.



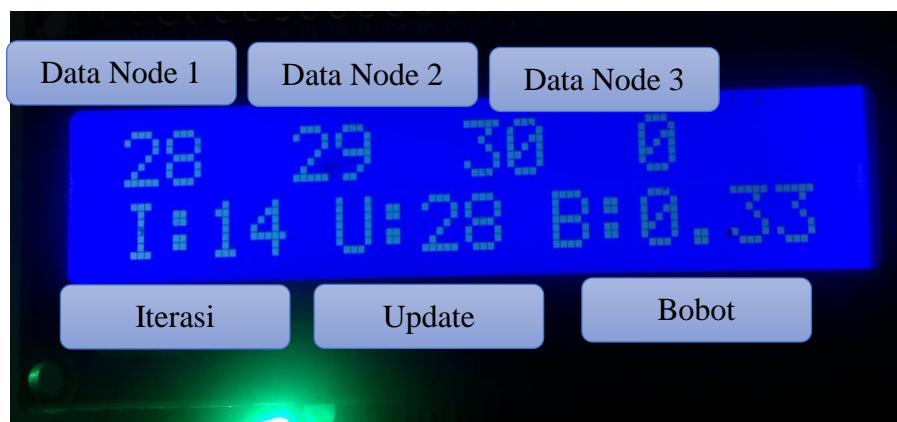
Gambar 4.4 Hasil Konvergensi 2 Node Skenario 2

Dari 2 skenario yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar rentang nilai sensor antar node maka semakin lama konvergensi yang tercapai. Hal ini bisa terjadi karena perubahan nilai sensor yang berubah-ubah setiap waktu.

#### 4.2.3 Uji Coba Konvergensi 3 Node

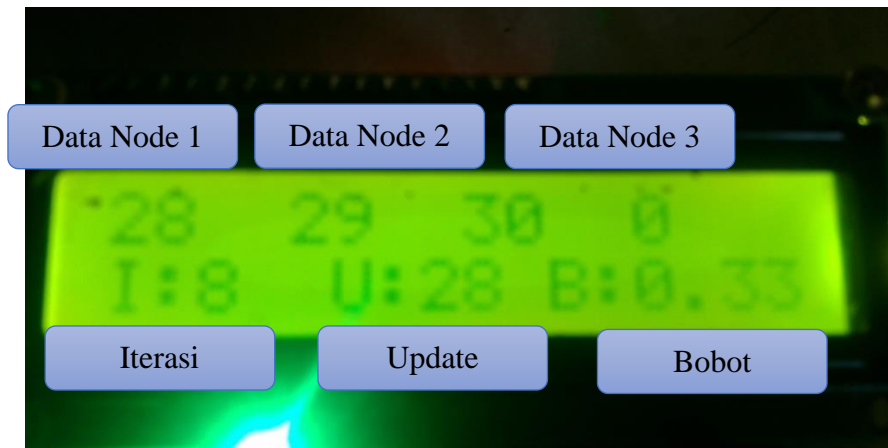
Uji Coba selanjutnya menambah jumlah node dari uji coba sebelumnya menjadi 3 node dengan pembobotan 0,33:

- Uji coba ke -1 skenarionya yaitu 3 node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan. Seluruh node dikalibrasi nilai ADCnya. Node 1 mendeteksi suhu 28 celcius, Node 2 mendeteksi suhu sebesar 30celcius dan Node 3 sebesar 32 dengan pembobotan 0,33.
- Setelah dilakukan kalibrasi seluruh node dinyalakan dan melakukan proses algoritma konsensus.
- Dari percobaan yang telah dilakukan, konvergensi antara 3 node tercapai pada iterasi ke 14.



Gambar 4.5 Hasil Konvergensi 3 Node Skenario 1

- Uji coba ke -2 skenarionya hmpir sama dengan uji coba 1 yaitu 3 node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan. Seluruh node dikalibrasi nilai ADCnya. Node 1 mendeteksi suhu 28 celcius, Node 2 mendeteksi suhu sebesar 29 celcius dan Node 3 sebesar 30 celcius dengan pembobotan 0,33.
- Setelah dilakukan kalibrasi seluruh node dinyalakan dan melakukan proses algoritma konsensus.
- Dari percobaan yang telah dilakukan, konvergensi antara 3 node tercapai pada iterasi ke 8.



Gambar 4.6 Hasil Konvergensi 3 Node Skenario 2

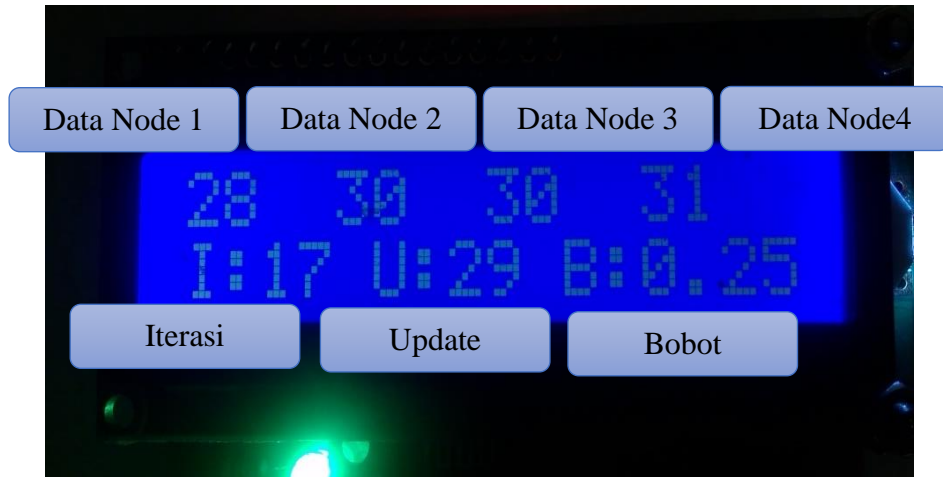
Dari 2 skenario yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar rentang nilai sensor antar node maka semakin lama konvergensi yang tercapai.

#### 4.2.4 Uji Coba Konveregensi 4 Node

Uji Coba konvergensi yang terakhir berjumlah 4 node dengan pembobotan 0,25:

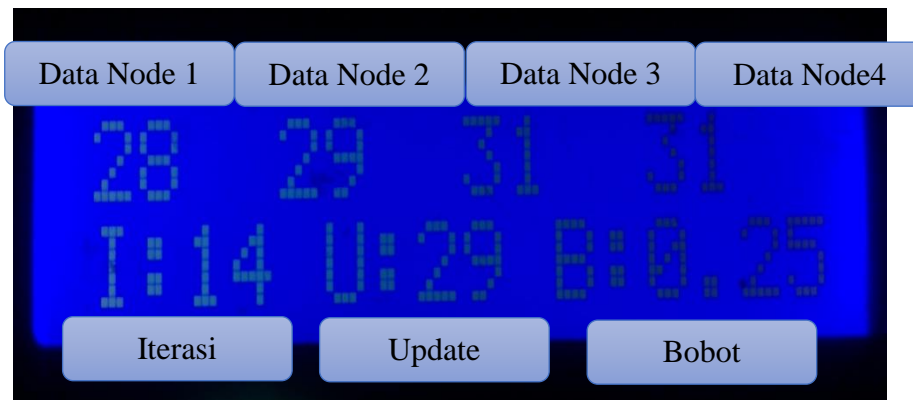
- Uji coba ke -1 skenarionya yaitu 4 node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan. Seluruh node dikalibrasi nilai ADCnya. Node 1 mendeteksi suhu 28 celcius, Node 2 mendeteksi suhu sebesar 30 celcius, Node 3 sebsar 32 celcius dan Node 4 sebesar 3 celcius dengan pembobotan 0,25.
- Setelah dilakukan kalibrasi seluruh node dinyalakan dan melakukan proses algoritma konsensus.
- Dari percobaan yang telah dilakukan, konvergensi antara 4 node tercapai pada iterasi ke 17.





Gambar 4.7 Hasil Konvergensi 4 Node Skenario 1

- Uji coba ke -2 skenarionya hmpir sama dengan uji coba 1 yaitu 2 node WSN ditempatkan pada jarak yang tidak saling berjauhan tanpa sebuah penghalang. Seluruh node dikalibrasi nilai ADCnya. Node 1 sebesar 28 celcius, Node 2 mendeteksi suhu 29 celcius, Node 3 mendeteksi suhu sebesar 30 celcius dan node 4 sebesar 31 celcius dengan pembobotan 0,25.
- Setelah dilakukan kalibrasi seluruh node dinyalakan dan melakukan proses algoritma konsensus.
- Dari percobaan yang telah dilakukan, konvergensi antara 4 node tercapai pada iterasi ke 14.



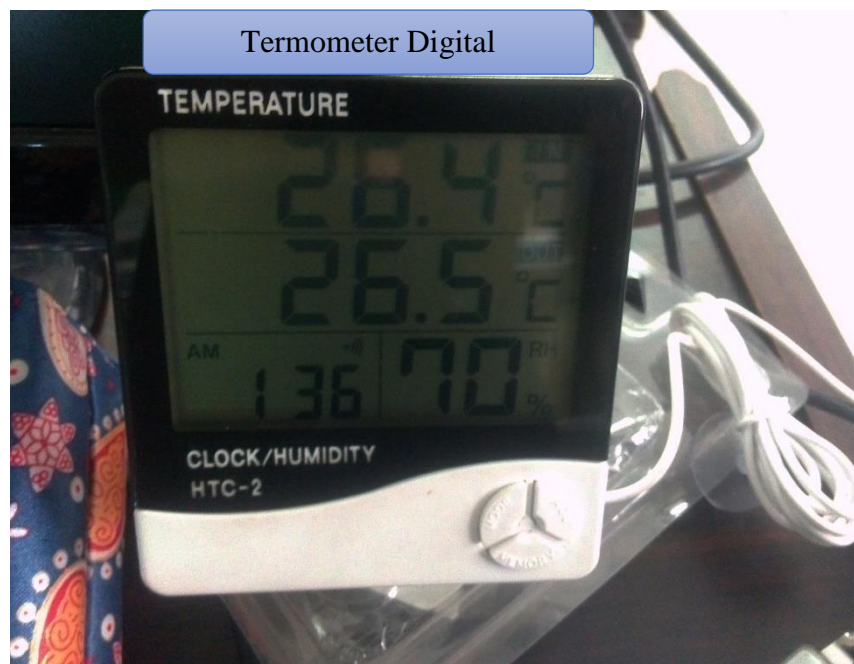
Gambar 4.8 Hasil Konvergensi 4 Node Skenario 2

Dari 2 skenario ang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar rentang nilai sensor antar node maka semakin lama konvergensi yang tercapai.

#### 4.2.5 Uji Coba Akurasi dan Kestabilan antara 2 Node WSN

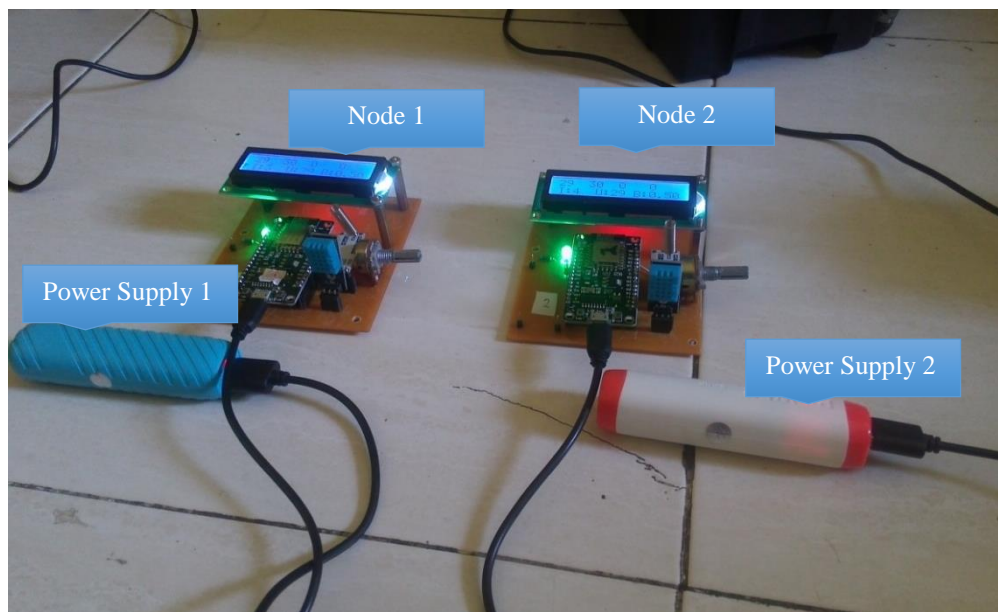
Pada tahapan ini dilakukan uji coba system secara keseluruhan. Pada thesis ini node menggunakan prosessor NodeMCU ESP8266 dan perangkat komunikasi HC-12 untuk berinteraksi dengan node lainnya. Pada prosessor diberi algoritma konsensus minimum untuk mencapai konvergensi dan akurasi tiap node. Maka pada tahapan ini dilakukan uji coba konvergensi dan akurasi node sebagai tujuan akhir dari implementasi algoritma konsensus. Untuk permulaan dilakukan uji coba konvergensi dan akurasi antara 2 node. Berdasarkan persamaan (2.1) bahwa pembobotan didapat dengan nilai 0,5 untuk uji coba konvergensi 2 node. Pada uji coba konvergensi 2 node diperlukan beberapa pengaturan diantaranya adalah sebagai berikut:

- 2 node menggunakan prosessor ESP8266 sebagai element utama. Pada node tersebut terdapat sensor DHT-11 untuk sensing kondisi dan modul *transceiver* yang menggunakan telemetri HC-12.
- Termometer digital digunakan sebagai pembanding node WSN. Dengan tujuan hasil tersebut sebagai keperluan untuk pengamatan akurasi dari node WSN. Akurasi dinilai dari rata-rata prosentase kesalahan data sensor suhu hasil konsensus dibandingkan terhadap data suhu dari termometer digital.



Gambar 4.9 Termometer Digital

- 2 node dalam keadaan pengosongan memori artinya memori prosessor belum terisi data sensor.
  - Uji coba dilakukan pada sebuah ruangan berAC.
  - Semua node dalam keadaan on.
  - AC pada ruangan dinyalakan dan dimatikan selama konvergensi telah tercapai. Pada langkah ini pengamatan data suhu dimulai.
  - Pertama-tama AC dihidupkan dengan pengaturan suhu 30°C, setelah konvergensi tercapai diuji kestabilannya sampai 5 menit, menit berikutnya pengaturan suhu AC diturunkan menjadi 25°C, dan menunggu hingga konvergensi tercapai dan diuji kesatbilannya sampai 5 menit kemudian berikutnya diturunkan kembali menjadi 20°C dan terakhir 15°C pada 10 dan dilakukan hal yang sama seperti sebelumnya. Sehingga 1 kali trial memerlukan waktu yang berbeda, hal ini disebabkan respon dari perangkat komunikasi HC-12 yang tidak kontinyu sehingga menyebabkan proses perhitungan pembobotan menjadi tidak tetap durasinya sehingga berdampak pada perhitungan algoritma konsensus lainnya.
  - Perhitungan konvergensi dihitung berdasarkan jumlah iterasi.
  - Untuk keperluan efisiensi waktu, uji coba dibatasi hanya 3 kali.
- Gambar dibawah menunjukkan aktivitas uji coba konvergensi dan akurasi.



Gambar 4.10 Uji Coba 2 Node

Setelah dilakukan beberapa pengaturan, maka diperoleh hasil uji coba seperti pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi dan Akurasi 2 Node

Percobaan ke	Set Suhu	Iterasi	Data Suhu		
			Hasil Konsensus	Termometer Standar	Kesalahan
1	(30° Celcius)	4	29	29,7	0,7
	(25° Celcius)	4	26	26	0
	(20° Celcius)	5	20	20,2	0,2
	(15° Celcius)	3	14	14,8	0,8
2	(30° Celcius)	5	30	29,8	0,2
	(25° Celcius)	6	26	25,6	1,6
	(20° Celcius)	5	19	20,4	1,4
	(15° Celcius)	4	14	15,1	1,1
3	(30° Celcius)	4	29	29,6	0,6
	(25° Celcius)	5	25	24,8	0,2
	(20° Celcius)	6	19	20,1	1,1
	(15° Celcius)	5	15	15,2	1,2
<b>Rata-Rata Iterasi (%)</b>		<b>4,6</b>	<b>Rata-Rata Prosentase Kesalahan (%)</b>		<b>0,75</b>

Dari Tabel diatas diperoleh kesimpulan bahwa rata-rata kesalahan keakuratan data sebesar 0,75% dan rata-rata iterasi 4,6%.

Merujuk pada Tabel diatas, maka setelah ditemukan konvergensi dilakukan pengamatan kestabilan. Pengamatan dilakukan setiap menit. Adapun hasil dari pengamatan kestabilan konvergensi ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Coba Pengukuran Kestabilan 2 Node

Percobaan ke	Waktu	Data Suhu					Kestabilan
1	(30° Celcius)	29	29	30	29	29	80
	(25° Celcius)	26	25	26	26	26	80
	(20° Celcius)	20	20	20	20	20	100
	(15° Celcius)	14	14	14	14	14	100
2	(30° Celcius)	30	30	30	30	30	100
	(25° Celcius)	26	26	26	26	26	100
	(20° Celcius)	19	19	19	19	19	100
	(15° Celcius)	14	14	15	14	14	80
3	(30° Celcius)	29	29	29	29	29	100
	(25° Celcius)	25	25	25	25	25	100
	(20° Celcius)	19	19	19	19	19	100
	(15° Celcius)	15	15	15	15	14	80

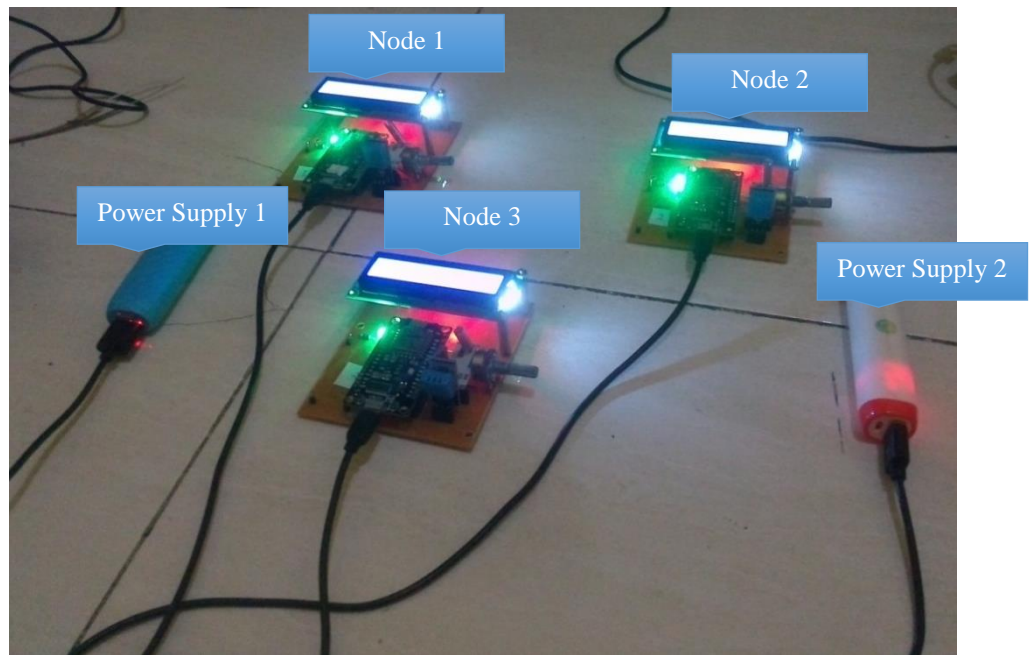
Prosentase dari kestabilan dihitung dari jumlah data suhu mayoritas berbanding data suhu keseluruhan x 100 %. Misalkan pada trial ke 1 dilakukan uji kestabilan hingga durasi 5 menit dan menit ke tiga mengalami perubahan. Jika data berjumlah 5 dan data benar berjumlah 4, maka prosentase kesalahan  $\frac{4}{5} \times 100 \% = 80 \%$ . Dari Tabel diperoleh kesimpulan prosentase kestabilan berkisar pada 80 % sampai 100 %.

#### 4.2.6 Uji Coba Akurasi dan Kestabilan antara 3 Node WSN

Hampir sama dengan pengujian sebelumnya, pada uji coba ini hanya ditambah 1 node WSN untuk menguji konvergensi node. Bila mengacu pada persamaan (2.1) maka pembobotan untuk uji coba konvergensi 3 node diperoleh 0,33. Untuk itu diperlukan beberapa pengaturan diantaranya adalah sebagai berikut

- 3 node menggunakan prosessor ESP8266 sebagai element utama. Pada node tersebut terdapat sensor DHT-11 untuk sensing kondisi dan modul *transceiver* yang menggunakan telemetri HC-12.

- Termometer digital digunakan sebagai pembanding node WSN. Dengan tujuan hasil tersebut sebagai keperluan untuk pengamatan akurasi dari node WSN. Akurasi dinilai dari rata-rata prosentase kesalahan data sensor suhu hasil konsensus dibandingkan terhadap data suhu dari termometer digital.
- 3 node dalam keadaan pengosongan memori artinya memori processor belum terisi data sensor.
- Uji coba dilakukan pada sebuah ruangan berAC.
- Semua node dalam keadaan on.
- AC pada ruangan dinyalakan dan dimatikan selama konvergensi telah tercapai. Pada langkah ini pengamatan data suhu dimulai.
- Pertama-tama AC dihidupkan dengan pengaturan suhu 30°C, setelah konvergensi tercapai diuji kestabilannya sampai 5 menit, menit berikutnya pengaturan suhu AC diturunkan menjadi 25°C, dan menunggu hingga konvergensi tercapai dan diuji kesatbilannya sampai 5 menit kemudian berikutnya diturunkan kembali menjadi 20°C dan terakhir 15°C dan dilakukan hal yang sama seperti sebelumnya. Sehingga 1 kali trial memerlukan waktu yang berbeda, hal ini disebabkan respon dari perangkat komunikasi HC-12 yang tidak kontinyu sehingga menyebabkan proses perhitungan pembobotan menjadi tidak tetap durasinya sehingga berdampak pada perhitungan algoritma konsensus lainnya.
- Perhitungan konvergensi dihitung berdasarkan jumlah iterasi.
- Untuk keperluan efisiensi waktu, uji coba dibatasi hanya 3 kali. Gambar dibawah menunjukkan aktivitas uji coba konvergensi dan akurasi.



Gambar 4.11 Uji Coba 3 Node

Setelah dilakukan beberapa pengaturan, maka diperoleh hasil uji coba seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi dan Akurasi 3 Node

Percobaan ke	Set Suhu	Iterasi	Data Suhu		
			Hasil Konsensus	Termometer Standar	Kesalahan
1	(30° Celcius)	8	29	29,5	0,5
	(25° Celcius)	8	24	25,2	1,2
	(20° Celcius)	7	19	20,2	1,2
	(15° Celcius)	5	14	14,7	0,7
2	(30° Celcius)	7	29	29,3	0,3
	(25° Celcius)	9	25	24,5	0,2
	(20° Celcius)	10	20	20,2	1,2
	(15° Celcius)	9	15	14,7	0,3
3	(30° Celcius)	8	30	30,1	0,1

Tabel 4.5 Lanjutan Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi dan Akurasi  
3 Node

Percobaan Ke	Set Suhu	Iterasi	Data Suhu		
			Hasil Konsensus	Termometer Standar	Kesalahan
3	(25° Celcius)	6	24	24,5	0,5
	(20° Celcius)	7	19	20,3	1,3
	(15° Celcius)	8	15	15,5	1,5
<b>Rata-Rata Iterasi (%)</b>		<b>7,66</b>	<b>Rata-Rata Prosentase Kesalahan (%)</b>		<b>0,75</b>

Dari Tabel diatas diperoleh kesimpulan bahwa rata-rata kesalahan keakuaratan data sebesar 0,75 % dan rata-rata iterasi sebesar 7,66 %.

Merujuk pada Tabel 4.4 dan 4.5 maka setelah ditemukan konvergensi dilakukan pengamatan kestabilan. Pengamatan dilakukan setiap menit. Adapun hasil dari pengamatan kestabilan konvergensi ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Coba Pengukuran Kestabilan 3 Node

Percobaan ke	Set Suhu	Data Suhu					Kestabilan
1	(30° Celcius)	29	29	29	29	29	100
	(25° Celcius)	24	24	24	24	25	80
	(20° Celcius)	19	19	19	19	20	80
	(15° Celcius)	14	14	14	15	14	80
2	(30° Celcius)	29	29	29	30	29	80
	(25° Celcius)	25	25	25	25	25	100
	(20° Celcius)	20	20	20	20	20	100
	(15° Celcius)	15	15	15	15	14	80



Tabel 4.7 Lanjutan Hasil Uji Coba Pengukuran Kestabilan 3 Node

Percobaan ke	Set Suhu	Data Suhu					Kestabilan
3	(30° Celcius)	30	30	30	30	30	100
	(25° Celcius)	24	24	24	24	25	80
	(20° Celcius)	19	19	19	19	19	100
	(15° Celcius)	15	14	15	14	15	60

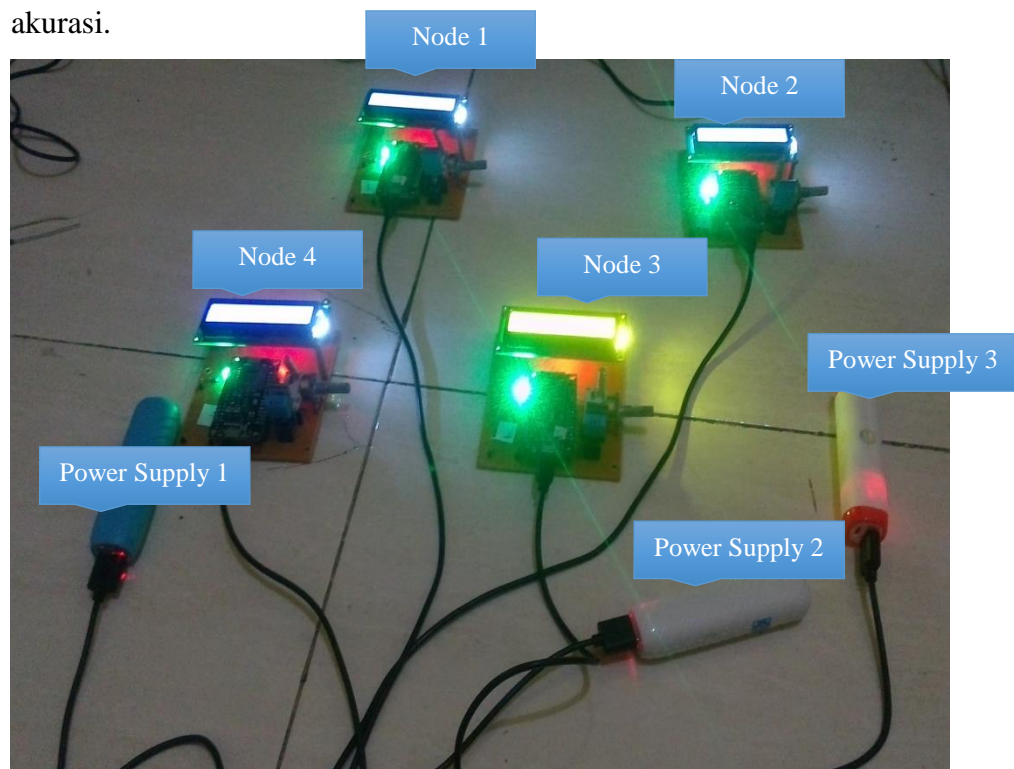
Perhitungan uji coba kestabilan dengan 3 node sama seperti pada uji coba kestabilan 2 node. Dari Tabel 4.5 diperoleh kesimpulan prosentase kestabilan dengan 3 node berkisar pada 60 % sampai 100 %.

#### 4.2.7 Uji Coba Akurasi dan Kestabilan antara 4 Node WSN

Untuk uji coba terakhir, digunakan semua node yang digunakan pada tesis ini. Pengujian sama dengan dua pengujian sebelumnya, 4 node WSN digunakan untuk menguji konvergensi. Pada uji coba konvergensi 4 node bila mengacu pada persamaan (2.1) maka diperoleh nilai pembobotan 0,25. Untuk itu diperlukan beberapa pengaturan diantaranya adalah sebagai berikut,

- 4 node menggunakan prosessor ESP8266 sebagai element utama. Pada node tersebut terdapat sensor DHT-11 untuk sensing kondisi dan modul *transceiver* yang menggunakan telemetri HC-12.
- Termometer digital digunakan sebagai pembanding node WSN. Dengan tujuan hasil tersebut sebagai keperluan untuk pengamatan akurasi dari node WSN. Akurasi dinilai dari rata-rata prosentase kesalahan data sensor suhu hasil konsensus dibandingkan terhadap data suhu dari termometer digital.
- 4 node dalam keadaan pengosongan memori artinya memori prosessor belum terisi data sensor.
- Uji coba dilakukan pada sebuah ruangan berAC.
- Semua node dalam keadaan on.
- AC pada ruangan dinyalakan dan dimatikan selama konvergensi telah tercapai. Pada langkah ini pengamatan data suhu dimulai.

- Pertama-tama AC dihidupkan dengan pengaturan suhu 30°C, setelah konvergensi tercapai diuji kestabilannya sampai 5 menit, menit berikutnya pengaturan suhu AC diturunkan menjadi 25°C, dan menunggu hingga konvergensi tercapai dan diuji kesatbilannya sampai 5 menit kemudian berikutnya diturunkan kembali menjadi 20°C dan terakhir 15°C pada 10 dan dilakukan hal yang sama seperti sebelumnya. Sehingga 1 kali trial memerlukan waktu yang berbeda, hal ini disebabkan respon dari perangkat komunikasi HC-12 yang tidak kontinyu sehingga menyebabkan proses perhitungan pembobotan menjadi tidak tetap durasinya sehingga berdampak pada perhitungan algoritma konsensus lainnya.
- Perhitungan konvergensi dihitung berdasarkan jumlah iterasi.
- Untuk keperluan efisiensi waktu, uji coba dibatasi hanya 3 kali. Gambar dibawah menunjukkan aktivitas uji coba konvergensi dan akurasi.



Gambar 4.12 Uji Coba 4 Node

Setelah dilakukan beberapa pengaturan, maka diperoleh hasil uji coba seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi dan Akurasi 4 Node

Percobaan ke	Set Suhu	Iterasi	Data Suhu		
			Hasil Konsensus	Termometer Standar	Kesalahan
1	(30° Celcius)	10	30	30,6	0,6
	(25° Celcius)	12	24	25,2	1,2
	(20° Celcius)	12	19	20,4	1,4
	(15° Celcius)	11	15	15,1	0,1
2	(30° Celcius)	12	30	30,2	0,2
	(25° Celcius)	14	25	25,7	0,7
	(20° Celcius)	10	19	19,8	0,8
	(15° Celcius)	9	15	15,3	0,3
3	(30° Celcius)	12	30	29,6	0,4
	(25° Celcius)	12	26	24,9	1,1
	(20° Celcius)	12	20	20,2	0,2
	(15° Celcius)	13	15	15,4	0,4
<b>Rata-Rata Iterasi (%)</b>		<b>11.58</b>	<b>Rata-Rata Prosentase Kesalahan (%)</b>		<b>0,61</b>

Dari Tabel diperoleh kesimpulan bahwa rata-rata kesalahan keakuratan data sebesar 0,61 % dan rata-rata iterasi sebesar 11,58 %.

Merujuk pada Tabel 4.8, maka setelah ditemukan konvergensi dilakukan pengamatan kestabilan. Pengamatan dilakukan setiap menit. Adapun hasil dari pengamatan kestabilan konvergensi ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Uji Coba Pengukuran Kestabilan 4 Node

Percobaan ke	Set Suhu	Data Suhu					Kestabilan
1	(30° Celcius)	30	30	30	30	30	100
	(25° Celcius)	24	24	24	24	24	100
	(20° Celcius)	19	19	19	19	19	100
	(15° Celcius)	15	15	15	15	15	100
2	(30° Celcius)	30	30	30	31	32	60
	(25° Celcius)	25	25	25	25	25	100
	(20° Celcius)	19	19	19	20	20	60
	(15° Celcius)	15	15	15	15	14	80
3	(30° Celcius)	30	30	31	30	30	80
	(25° Celcius)	26	26	26	26	25	80
	(20° Celcius)	20	20	20	20	20	100
	(15° Celcius)	15	15	15	15	14	80

Perhitungan uji coba kestabilan dengan 4 node sama seperti pada dua uji coba sebelumnya. Dari Tabel 4.8 diperoleh kesimpulan prosentase kestabilan dengan 4 node berkisar pada 60 % .

## BAB 5

### KESIMPULAN

Setelah dilakukan perancangan baik berupa hardware dan software, maka pada bab ini akan diuraikan kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan. Pada bab ini juga akan diuraikan beberapa saran mengenai permasalahan yang dapat dibahas sebagai kelanjutan dari penelitian.

#### 5.1 Kesimpulan

1. Pada tesis ini, proses perancangan perangkat WSN dengan NodeMCU ESP8266 menggunakan komunikasi HC-12 berhasil dilakukan. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil perancangan node baik dari aspek *hardware* maupun dari aspek *software* dan dikuatkan dengan hasil uji coba sebagai berikut:
  - a) Unit pengolahan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dengan pertimbangan kebutuhan memory dan kemampuan mengolah algoritma dengan cepat. NodeMCU ESP8266 sendiri mempunyai kapasitas memory hingga 4MB.
  - b) Modul komunikasi HC-12 ditugaskan untuk menyebarkan data secara *broadcast* ke node lain karena dapat bekerja secara multipoint dan berdaya rendah.
  - c) Proses pengiriman data sensor menggunakan protokol TDMA (*Time Division Multiple Access*) dengan memberi interval dengan selisih 3 detik pada masing-masing node agar tidak terjadi tabrakan pengiriman data sensor.
  - d) Algoritma konsensus terdistribusi ditulis menggunakan bahasa C++ untuk menghemat memory NodeMCU ESP8266.
  - e) Pada pengujian *baudrate* antara 2 node menggunakan modul komunikasi HC-12 diperoleh *baudrate* yang ideal sebesar 9600 bps karena pada *baud rate* sebesar itu data yang diterima node *receiver* stabil hingga jarak sejauh 20 meter sehingga *baudrate* dengan nilai 9600 bps dipilih untuk pemrograman algoritma konsensus.
2. Dari aspek software, algoritma konsensus terdistribusi minimum berhasil diimplementasikan pada perangkat WSN yang berbasis NodeMCU ESP8266.

3. Hal ini dibuktikan dengan hasil perancangan algoritma dan beberapa pengujian sebagai berikut:
  - a) Membagi algoritma pemrograman menjadi 2 bagian yaitu algoritma operasi dasar dan algoritma konsensus terdistribusi.
  - b) Pada algoritma dasar dibagi menjadi 3 algoritma yaitu algoritma *sensing* kondisi, algoritma ADC (*Analog Digital Converter*), dan algoritma pengambilan keputusan sedangkan pada algoritma konsensus terdistribusi dibagi menjadi 2 algoritma yaitu algoritma konsensus minimum dan algoritma estimasi terdistribusi.
  - c) Hasil pengujian akurasi dengan 2 node WSN diperoleh rata-rata kesalahan keakuratan data sebesar 0,75 % dan rata-rata iterasi 4,66 % sedangkan pengujian kestabilan dengan 2 node WSN diperoleh prosentase berkisar pada 80 % sampai 100 %. Sedangkan hasil pengujian akurasi dengan 3 node WSN diperoleh rata-rata kesalahan keakuratan data sebesar 0,75 % dan rata-rata iterasi 7,66 % sedangkan hasil pengujian kestabilan dengan 3 node WSN prosentase berkisar pada 60 % sampai 100 %. Dan hasil pengujian akurasi dengan 4 node WSN diperoleh rata-rata kesalahan keakuratan data sebesar 0,61 % dan rata-rata iterasi sebesar 11,58 % sedangkan hasil pengujian kestabilan dengan 4 node WSN prosentase berkisar pada 60 % sampai 100 %.

## 5.2 Saran

1. Untuk mengetahui jarak jangkauan antar node yang lebih besar perlu dilakukan pengukuran pada lingkungan outdoor.
2. Pada penelitian selanjutnya juga perlu dilakukan pengujian perubahan bentuk sinyal terhadap gangguan dengan oscilloscope.
3. Perlu dipilih lagi modul komunikasi RF yang mempunyai respon lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.F. Akyldiz, Y. Sankarasubramaniam, dan Cayirci, "Wireless Sensor Networks: a survey", *Elsevier Science BV.*, pp. 395-398, December 2001.
- [2] G. Mujica, V. Rosello, J. Portilla, and T. Riesgo, "Hardware-Software Integration Platform for a WSN Testbed Based on Cookies Nodes," pp. 6013–6018, 2012.
- [3] E. V. Puri, A. Nayar, "Real Time Smart Home Automation based on PICMicrocontroller, Bluetooth and Android Technology," *IEEE*, 2016.
- [4] G. Xu, E. Song, X. Chen, S. Wang, C. Zhu, J. Ye, and L. Luo, "System Integration for Miniature Node of Wireless Sensor Network ( WSN )," *2012 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, 2012.
- [5] A. D. Deshmukh and U.B. Shinde, "A Low Cost Environment Monitoring System Using Raspberry Pi and Arduino with Zigbee."
- [6] L. Xiao, "Fast Linear Iterations for Distributed Averaging," no. 3, pp. 4997–5002.
- [7] K. Avrachenkov, G. Neglia, I. S. A. M, and S. Antipolis, "A Local Average Consensus Algorithm for Wireless Sensor Networks," *IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS'11)*, Barcelona, Spain, , pp. 1-6, June 2011
- [8] B. N. Oreshkin, M. J. Coates, and M. G. Rabbat, "Optimization and Analysis of Distributed Averaging with Memory," pp. 347–354, 2009.
- [9] X. Duan, J. He, P. Cheng, Y. Mo and J. Chen, "Privacy Preserving Maximum Consensus," *IEEE 54<sup>th</sup> Annual Conference on Decision and Control (CDC)*, December 2015.
- [10] R. Singh, S. Mishra, and P. Joshi, "Pressure Monitoring in Wireless Sensor Network Using Zigbee Transceiver Module," *International Conference on Computer & Communication Technology (ICCCCT)*, 2011.
- [11] S. K. Roy, A. Roy, and S. Misra, "AID: A Prototype for Agricultural Intrusion Detection Using Wireless Sensor Network," *IEEE ICC, Communications Software, Services and Multimedia Applications Symposium*, 2015.
- [12] S. Alsemairi and M. Younis, "Forming a Cluster Mesh Topology to Boost Base Station Anonymity in Wireless Sensor Network," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2016)*.
- [13] Z. Lin, S. Hui, S. Qiang, G. Changjian, H. Xueyou, and X. Xiaowei, "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF WIRELESS SENSOR NETWORK NODE IN ENVIRONMENT," pp. 3–6, 2009.

- [14] W. Dargie and C. Poellabauer, "Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice", *Wiley Series On Wireless Communication And Mobile Computing*, Vol. 1, No.7, May 2010.
- [15] C. Dragana, G. Stamatescu, V. Mihai, D. Popescu, "An Approach for Wighted Average Consensus in Event Detection, " *Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, 2017.
- [16] C. J. D. Gifty, Dr. K. Sumathi , "Wireless Sensor Network Simulation with Various Topologies, " *2016 Online International Conference on Green Engineering and Tchnologies (IC-GET)*, 2016.
- [17] E. Nurellari, D. Mclernon, M. Ghogho, and S. Member, "Distributed Two-Step Quantized Fusion Rules Via Consensus Algorithm for Distributed Detection in Wireless Sensor Networks," *IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL AND INFORMATION PROCESSING OVER NETWORKS*, vol. 2, no. 3, pp. 321–335, 2016..
- [18] O. Sluicak, T. Hilaire and M. Rupp, " A General Formalismfor the Analysis of Ditributed Algorithm ", *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, March 2010.
- [19] B. Sklar, "Digital Communications Fundamental And Application," *Prentice Hall*, New Jersey, USA, Second Edition, No.655, May 1987.
- [20] Z. Yan and C. Che, "Remote Image Sensing Platform Based on Arduino," *2014 6th Computer Science and Electronic Engineering Conferenc (CEEC)*, 2014.
- [21] R. Tei, H. Yamazawa, and T. Shimizu, "BLE Power Consumption Estimation and Its Applications to Smart Manufacturing," *SICE Annual Conference*, July 2015.
- [22] I. Galal, M. E. A. Ibrahim, H. E. Ahmed, and A. Zekry, "Performance Evaluation of Digital Modulation Techniques Used in Bluetooth Physical / Radio Layer," pp. 21–27, 2012.
- [23] E. Setijadi, Suwadi, Slamet BP, Muntaqo A.A, In'am, E. Nur, P. Suprobo, Faimun, A. Febry, "Design of Large Scale Structural Health Monitoring System for Long Span Bridges Based on Wireless Sensor Network,".



## LAMPIRAN

```
#include "DHT.h"

#define DHTPIN 13

#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int local=1;
//ganti=====
=====

int suhu_local,t1,t2,t3,t4;

int upglob,ug, ug1, ug2, ug3, ug4;

int dari, suhu;

float bobot;

float jumlah_cabang;

float cabang1, cabang2, cabang3, cabang4;

#include <EEPROM.h>

int iterasi=0;

int it;

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0 , 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial hc12(12, 14, false, 256);

unsigned long mili;

unsigned long previousMillis = 0;

const long interval = 10000;
```

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  delay(1000);  
  Serial.print("starting ... local="); Serial.println(local);  
  hc12.begin(9600);  
  Serial.print("NODE WSN 1");  
  dht.begin();  
  
  EEPROM.begin(512);  
  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.backlight();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("starting");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("NODE WSN");  
  delay(1000);  
  lcd.clear();  
  
}
```

```
void loop() {  
  tampilkan();  
  cek_hc12();  
  cek_konvergensi();  
  waktu();  
  
}
```

```
void tampilkan(){
```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0); lcd.print(t1);
lcd.setCursor(4,0); lcd.print(t2);
lcd.setCursor(8,0); lcd.print(t3);
lcd.setCursor(12,0); lcd.print(t4);
lcd.setCursor(0,1);lcd.print("I:");lcd.print(iterasi);
lcd.setCursor(5,1); lcd.print("U:"); lcd.print(ug);
lcd.setCursor(10,1); lcd.print("B:"); lcd.print(bobot);
}

```

```

void berhenti(){
  do{
    delay(1000);
    tampilkan();
    delay(50000);
  }while(1);
}

```

```

void ambil_dht(){
  suhu_local = dht.readTemperature();
  int pot=analogRead(A0);
  int potensio=map(pot, 0,1023, -20,20);
  suhu_local=suhu_local+(potensio);
}

```

```

void simpan_eeprom(){
  EEPROM.write(1, t1);
  EEPROM.write(2, t2);
  EEPROM.write(3, t3);
  EEPROM.write(4, t4);
}

```

```

void baca_eeprom(){
  t1 = EEPROM.read(1);
  t2 = EEPROM.read(2);
}

```

```
t3 = EEPROM.read(3);  
t4 = EEPROM.read(4);  
}
```

```
void banding(){  
  if(t1!=0 && t1<t2){suhu_local=t1;}  
  if(t1!=0 && t1<t3){suhu_local=t1;}  
  if(t1!=0 && t1<t4){suhu_local=t1;}  
  if(t2!=0 && t2<t3){suhu_local=t2;}  
  if(t2!=0 && t2<t4){suhu_local=t2;}  
  if(t2!=0 && t2<t1){suhu_local=t2;}  
  if(t3!=0 && t3<t4){suhu_local=t3;}  
  if(t3!=0 && t3<t1){suhu_local=t3;}  
  if(t3!=0 && t3<t2){suhu_local=t3;}  
  if(t4!=0 && t4<t3){suhu_local=t4;}  
  if(t4!=0 && t4<t1){suhu_local=t4;}  
  if(t4!=0 && t4<t2){suhu_local=t4;}  
  Serial.println("banding");  
  Serial.println(t1);  
  Serial.println(t2);  
  Serial.println(t3);  
  Serial.println(t4);  
  Serial.println("banding");  
}
```

```
void cek_jumlah_cabang(){  
  if(t1==0){cabang1=0;} else{cabang1=1;}  
  if(t2==0){cabang2=0;} else{cabang2=1;}  
  if(t3==0){cabang3=0;} else{cabang3=1;}  
  if(t4==0){cabang4=0;} else{cabang4=1;}  
}
```

```
jumlah_cabang=(cabang1+cabang2+cabang3+cabang4)-1;  
}
```

```
void update_global(){
```

```
    t1=suhu_local;  
    if(suhu_local!=0){  
        banding();  
        bobot=1/(1+jumlah_cabang);  
        ug=(bobot*suhu_local)+(bobot*(t2+t3+t4));  
        iterasi++;  
        delay(2000);  
    }  
}
```

```
void kirim(){  
    ambil_dht();  
    hc12.print(" ");  
    hc12.print(suhu_local);  
    hc12.print(" ");  
    hc12.print(ug);  
    hc12.print(" ");  
    hc12.println(iterasi);  
}
```

```

void cek_hc12(){

    if (hc12.find("s")) {
        dari = hc12.parseInt();
        suhu = hc12.parseInt();
        upglob= hc12.parseInt();
        if(dari!=0 && suhu!=0 && upglob!=0){
            if(dari==1){t1=suhu; ug1=upglob;}
            if(dari==2){t2=suhu; ug2=upglob;}
            if(dari==3){t3=suhu; ug3=upglob;}
            if(dari==4){t4=suhu; ug4=upglob;}
        }
        simpan_eeprom();
        baca_eeprom();
        update_global();
        cek_konvergeni();
    }
}

```

```

void waktu() {
    mili = millis();

    if (mili - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = mili;
        kirim();
    }
}

```

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Gaguk Suprianto, lahir di Magetan Jawa Timur pada 28 Juni 1992, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak Senen dan Ibu Parmi. Memulai pendidikan di SDN Bambe 2 Gresik (1999-2004), kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 24 Surabaya (2004-2007), dan meneruskan pendidikan di SMK YPM 3 Taman Sidoarjo jurusan Multimedia.

Setelah itu penulis melanjutkan studi sarjana di jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya dengan bidang keahlian Elektronika Komunikasi. Selang satu tahun lebih, penulis melanjutkan studi S2 mengambil program magister teknik ditahun 2016 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, jurusan Teknik Elektro dengan bidang keahlian Telekomunikasi Multimedia. Penelitian penulis dalam menempuh pendidikan S2 adalah *Wireless Sensor Network*. Pengalaman kerja penulis sebagai staff *electrical* di PT. Agrindo. Penulis dapat dihubungi melalui email [gaguk.suprianto10@gmail.com](mailto:gaguk.suprianto10@gmail.com).

