

**PENERAPAN SISTEM KONTROL *FUZZY* DAN *MONITORING*  
IOT (*INTERNET OF THINGS*) PADA BIOFERMENTOR  
KAPASITAS 15 L UNTUK PEMBUATAN *VIRGIN COCONUT*  
*OIL***

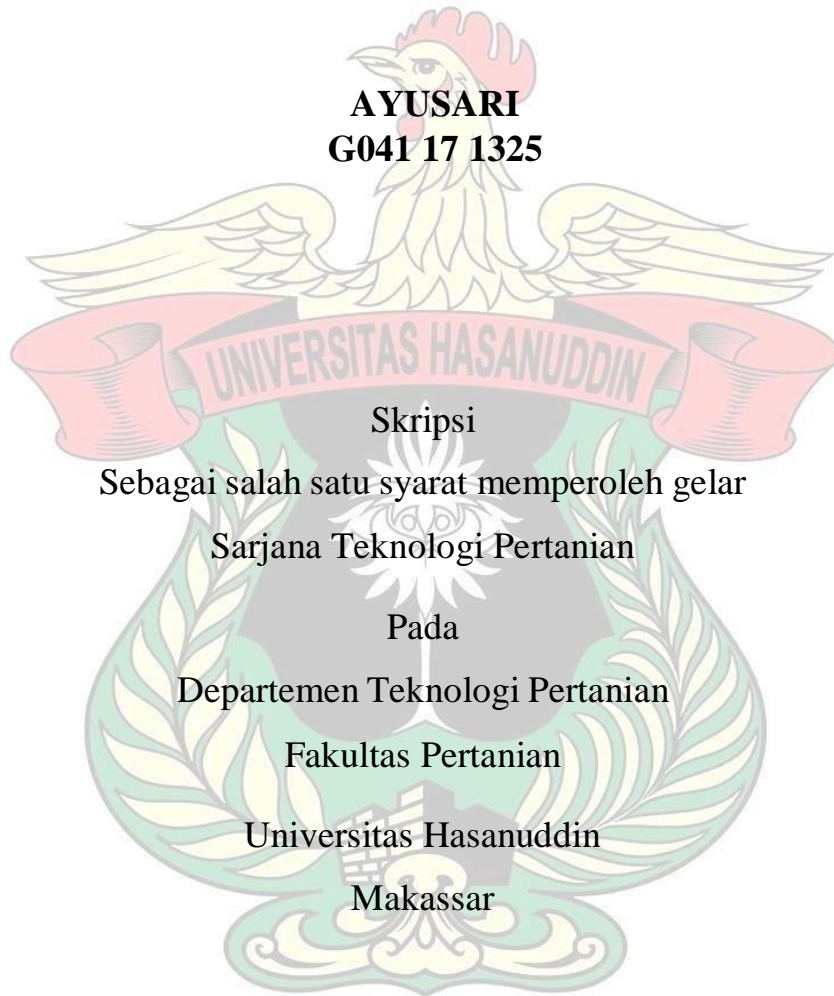
**AYUSARI  
G041 17 1325**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**PENERAPAN SISTEM KONTROL *FUZZY* DAN *MONITORING*  
IOT (*INTERNET OF THINGS*) PADA BIOFERMENTOR  
KAPASITAS 15 L UNTUK PEMBUATAN *VIRGIN COCONUT*  
*OIL***

**AYUSARI  
G041 17 1325**



**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENERAPAN SISTEM KONTROL FUZZY DAN MONITORING IOT (INTERNET OF THINGS) PADA BIOFERMENTOR KAPASITAS 15 L UNTUK PEMBUATAN VIRGIN COCONUT OIL

Disusun dan diajukan oleh

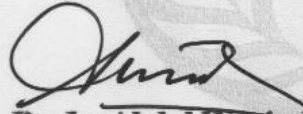
**AYUSARI**  
**G041 17 1325**


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 07 Juni 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

  
**Dr. Ir. Abdul Waris, MT**  
NIP. 19601101 198903 1 002

  
**Muhammad Tahir Sapsal, STP, M.Si**  
NIP. 19840716 201212 1 002

Ketua Program Studi  
Teknik Pertanian

  
  
**Diyah Yumaina, S.TP, M.Agr, Ph.D**  
NIP. 19810129 200912 2 003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ayusari  
NIM : G041171325  
Program Studi : Teknik Pertanian  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul *Penerapan Sistem Kontrol Fuzzy dan Monitoring IoT (Internet of Things) pada Biofermentor Kapasitas 15 L untuk Pembuatan Virgin Coconut Oil* adalah Karya Saya Sendiri dan Tidak Melanggar Hak Cipta Pihak Lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini membuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 07 Juni 2023  
yang Menyatakan



Ayusari

## ABSTRAK

AYUSARI (G041171325). Penerapan Sistem Kontrol *Fuzzy* dan Monitoring IoT (*Internet of Things*) pada Biofermentor Kapasitas 15 L untuk Pembuatan *Virgin Coconut Oil*. Pembimbing ABDUL WARIS dan MUHAMMAD TAHIR SAPSAL.

*Virgin Coconut Oil* merupakan minyak kelapa murni yang dapat diperoleh dari ekstrak daging buah kelapa segar dan tua. Telah dirancang biofermentor tipe laboratorium dan hasil uji menunjukkan bahwa rendeman VCO lebih tinggi dan kadar air lebih rendah dari metode konvensional. Oleh karena itu alat tersebut telah *discaled-up* menjadi 125 liter namun belum diketahui kinerjanya. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biofermentor skala lebih besar yang dilengkapi sistem kontrol dan monitoring IoT sehingga kinerjanya sama atau lebih baik dari biofermentor tipe laboratorium. Metode penelitian ini meliputi perancangan kaidah kontrol untuk mengendalikan suhu dan pengaduk, uji presisi sistem IoT dan uji kinerja biofermentor. Parameter yang diamati adalah suhu, daya listrik, rendeman dan kadar air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem IoT yang diterapkan mampu mengirim dan menyimpan data selama proses fermentasi. Oleh karena itu sistem IoT membantu dalam penyediaan data visual dan data dalam format excel. Kaidah-kaidah kontrol mampu mengatur daya sehingga *overshoot* suhu cukup kecil (1%), *settling time* relatif singkat (9 menit), suhu stabil dan *error steady state* sebesar 1,02% (dalam batas toleransi). Penerapan sistem kendali pada pembuatan VCO suhu fermentasi 29 °C menunjukkan bahwa rendeman lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan suhu lingkungan (24-27 °C) yaitu dari 31,14% menjadi 39,65% dan kadar air menurun dari 0,28% menjadi 0,08%. Keberhasilan sistem kontrol daya juga dapat dilihat pada penggunaan daya listrik yang menurun secara bertahap dimulai pada menit ke-5 hingga daya 0 saat mencapai suhu *setting point* dan hanya sesekali aktif. Selain sistem kontrol daya, kontrol pengaduk biofermentor *scaled-up* juga berhasil membuat suhu relatif seragam dibanding dengan biofermentor sebelum *scale-up* sehingga rendeman meningkat dari 29,62% menjadi 29,76% dan kadar air menurun dari 0,16% menjadi 0,08%. Energi yang digunakan selama pembuatan VCO sebesar 2 kWh. Estimasi biaya penggunaan listrik, biofermentor beroperasi di rumah dengan harga listrik Rp1.444,70/kWh untuk suhu fermentasi 29 °C adalah Rp1.278,76/literVCO.

**Kata Kunci:** Biofermentor, *Fuzzy*, VCO.

## **ABSTRACT**

AYUSARI (G041171325). *Applycation of Fuzzy Control System and IoT (Internet of Things) Monitoring on 15 L Capacity Biofermentor for Making Virgin Coconut Oil. Supervisors: ABDUL WARIS and MUHAMMAD TAHIR SAPSAL.*

*Virgin Coconut Oil is a pure coconut oil that can be obtained from the extract of fresh and old coconut meat. A laboratory-type biofermentor has been designed and test results show that VCO yield is higher and moisture content is lower than conventional methods. Therefore, the device has been scaled-up to 125 liters but its performance is not yet known. This research aims to produce a larger scale biofermentor equipped with a fuzzy control system and IoT monitoring so that its performance is the same or better than the laboratory type biofermentor. This research method includes designing control rules to control temperature and stirrer, IoT system precision test and biofermentor performance test. The parameters observed were temperature, electrical power, yield and moisture content. The results show that the implemented IoT system is capable of sending and storing data during the fermentation process. Therefore, the IoT system helps in providing visual data and data in excel format. The fuzzy control rules are able to regulate the power so that the temperature overshoot is quite small (1%), the settling time is relatively short (9 minutes), the temperature is stable and the steady state error is 1.02% (within tolerance limits). The application of the control system to the manufacture of VCO at a fermentation temperature of 29 °C shows that the yield is higher than using ambient temperature (24-27 °C) from 31.14% to 39.65% and the water content decreases from 0.28% to 0.08%. The success of the power control system can also be seen in the use of electric power which decreases gradually starting at the 5th minute until the power is 0 when it reaches the setting point temperature and is only occasionally active. In addition to the power control system, the stirrer control of the scaled-up biofermentor also succeeded in making the temperature relatively uniform compared to the biofermentor before scale-up so that the yield increased from 29.62% to 29.76% and the moisture content decreased from 0.16% to 0.08%. The energy used during VCO production amounted to 2 kWh. Estimated cost of electricity use, the biofermentor operates at home with an electricity price of Rp1,444.70/kWh for a fermentation temperature of 29°C is Rp1,278.76/liter of VCO.*

**Keywords:** Biofermentor, Fuzzy, VCO.

## PERSANTUNAN

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang maha Esa, Allah SWT. Dengan karunia dan berkat rahmatnya, penulis dapat sampai ke tahap ini. Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, nabi yang merupakan junjungan dan panutan dalam bertindak. Penyelesaian skripsi ini dengan judul “Penerapan Sistem Kontrol *Fuzzy* dan Monitoring IoT (*Internet of Things*) pada Biofermentor Kapasitas 15 L untuk Pembuatan *Virgin Coconut Oil*” tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih setulusnya kepada:

1. **Ayahanda Usman, Basri dan Ibunda Suhaera** terima kasih atas setiap doa, kasih sayang serta dukungan moral dan materi kepada penulis hingga bisa sampai di tahap ini.
2. **Dr. Ir. Abdul Waris, MT. dan Muhammad Tahir Sapsal STP, M.Si.** selaku dosen pembimbing yang meluangkan waktunya untuk memberikan kritikan, saran, dan segala arahan yang telah diberikan dari tahap proposal, pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi selesai.
3. **Musdalifah, Ridwan, Dylan, Firda, Ega, Imma, Ocha, Della, Lala dan Sela** yang telah memberikan banyak dukungan serta bantuan dalam proses penelitian.

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya dan Tuhan senantiasa membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Aamiin.

Makassar, 07 Juni 2023

Ayusari

## RIWAYAT HIDUP



**Ayusari** lahir di Uja Kabupaten Luwu Utara pada Tanggal 16 Agustus 1999 dan merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Usman dan Ibu Suhaera. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal pertama di SDN 115 Benteng pada tahun 2005 sampai 2011, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 2 Masamba pada tahun 2011 sampai 2014 dan berlanjut ke tingkat selanjutnya di SMAN 1 Masamba pada tahun 2014 sampai 2017. Setelah menyelesaikan pendidikan di tingkat SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikannya di tingkat mahasiswa program studi Teknik Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar pada tahun 2017.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin, penulis aktif dalam organisasi kampus sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian (HIMATEPA) periode 2019/2020. Selain itu penulis juga menjadi asisten laboratorium praktikum dibawah naungan *Agricultural Engineering Study Club* (TSC).



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
PERSANTUNAN .....	vii
RIWAYAT HIDUP .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan dan Kegunaan .....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Kelapa ( <i>Cocos nucifera</i> L.) .....	4
2.2 <i>Virgin Coconut Oil</i> (VCO).....	5
2.3 Metode Pembuatan VCO .....	8
2.4 Bioreaktor atau Fermentor .....	10
2.5 Sistem Kontrol .....	11
2.5.1 Sistem Kontrol Lup Terbuka ( <i>Open-lup Control System</i> ).....	11
2.5.2 Sistem Kontrol Lup Tertutup ( <i>Closed-lup Control System</i> ).....	11
2.6 <i>Fuzzy Logic</i> .....	12
2.6.1 Fuzzifikasi .....	13
2.6.2 Basis pengetahuan .....	15
2.6.3 Sistem inferensi <i>fuzzy</i> Sugeno .....	16
2.6.4 Defuzzifikasi.....	17
2.7 Sistem Kontrol Berbasis <i>Fuzzy Logic</i> .....	18
2.8 Mikrokontroler Arduino .....	19

2.9 Sensor Suhu LM35 .....	20
2.10 <i>Internet of Things</i> (IoT).....	21
2.11 NodeMCU ESP8266 .....	23
2.12 <i>Thingspeak</i> .....	24
3. METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Waktu dan Tempat.....	26
3.2 Alat dan Bahan .....	26
3.3 Prosedur Penelitian .....	26
3.3.1 Mempelajari Biofermentor .....	26
3.3.2 Perancangan Sistem Kontrol dan Monitoring .....	28
3.3.3 Merakit Sistem Kontrol dan Monitoring pada Biofermentor .....	29
3.3.4 Membuat Program.....	29
3.3.5 Uji Fungsional.....	32
3.3.6 Membuat VCO.....	32
3.3.7 Uji Kinerja .....	33
3.3.8 Analisis Data .....	34
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Deskripsi Biofermentor .....	36
4.2 Uji Fungsional .....	36
4.3 Analisis Presisi Monitoring IoT .....	40
4.4 Hasil Uji Kinerja .....	42
4.5 Rendeman.....	44
4.6 Kadar Air .....	46
4.7 Energi yang Digunakan .....	47
5. PENUTUP .....	50
Kesimpulan .....	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagian-bagian kelapa.....	5
Gambar 2. Sistem kontrol lup tertutup .....	12
Gambar 3. Diagram sistem <i>fuzzy logic</i> .....	13
Gambar 4. Fuzzifikasi model Sugeno .....	13
Gambar 5. Representasi kurva segitiga.....	14
Gambar 6. Fuzzifikasi variabel masukan.....	15
Gambar 7. Inferensi <i>fuzzy</i> model Sugeno.....	18
Gambar 8. Contoh sistem kontrol <i>fuzzy</i> lup tertutup .....	19
Gambar 9. Data <i>sheet chip</i> ATmega 328.....	20
Gambar 10. Skematik sensor LM35 .....	21
Gambar 11. Cara kerja IoT.....	22
Gambar 12. Konfigurasi modul ESP8266.....	23
Gambar 13. Tampilan grafik <i>thingspeak</i> .....	25
Gambar 14. Bagan alir penelitian.....	27
Gambar 15. Bagian-bagian biofermentor .....	28
Gambar 16. Diagram blok sistem kontrol dan monitoring.....	28
Gambar 17. Fungsi keanggotaan segitiga untuk <i>error</i> .....	31
Gambar 18. Fungsi keanggotaan segitiga untuk <i>delta error</i> .....	31
Gambar 19. Suhu air selama uji <i>gain</i> .....	37
Gambar 20. Suhu lapisan atas dan bawah bahan .....	37
Gambar 21. (a) selisih suhu atas dan bawah santan kelapa terpaut 1 °C (b) suhu atas dan bawah santan kelapa seragam .....	38
Gambar 22. Hubungan <i>error</i> dan <i>delta error</i> untuk PWM .....	38
Gambar 23. Respon dinamis suhu air dengan kontrol <i>fuzzy logic</i> .....	39
Gambar 24. Hasil monitoring suhu dan daya menggunakan <i>thingspeak</i> .....	40
Gambar 25. Validasi data suhu yang tampil di visualisasi <i>thingspeak</i> dengan suhu yang tampil pada LCD.....	41
Gambar 26. Respon dinamis suhu tiap 5 menit untuk suhu <i>setting point</i> 29 °C.....	42
Gambar 27. Respon dinamis suhu tiap 5 menit untuk suhu <i>setting point</i> 40 °C.....	42

Gambar 28. Respon <i>steady state</i> suhu perlakuan <i>setting point</i> 29 °C .....	43
Gambar 29. Respon <i>steady state</i> suhu perlakuan <i>setting point</i> 40 °C.....	43
Gambar 30. Rendeman tiap perlakuan.....	44
Gambar 31. Nilai kadar air tiap perlakuan .....	46
Gambar 32. Daya <i>infraredlamp</i> yang diberikan saat awal fermentasi dengan <i>setting point</i> 29 °C. ....	48
Gambar 33. Daya <i>infraredlamp</i> yang diberikan saat awal fermentasi dengan <i>setting point</i> 40 °C. ....	48
Gambar 34. Visualisasi daya yang diberikan pada <i>infraredlamp</i> .....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi kimia daging kelapa segar dengan kematangannya.....	5
Tabel 2. Persyaratan mutu <i>Virgin Coconut Oil</i> .....	7
Tabel 3. Matriks <i>error</i> dan <i>delta error</i> .....	31
Tabel 4. Persentase data terkirim dan data yang hilang .....	41
Tabel 5. Rendeman VCO .....	45
Tabel 6. Jumlah energy dan estimasi biaya pembuatan VCO .....	49

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Suhu air selama proses uji <i>gain</i> .....	54
Lampiran 2. Suhu air pada biofermentor yang terkontrol <i>fuzzy logic</i> .....	55
Lampiran 3. Respon dinamis suhu bahan pada biofermentor .....	56
Lampiran 4. Respon <i>steady state</i> suhu pada biofermentor .....	57
Lampiran 5. Perhitungan Rendeman VCO yang dihasilkan .....	58
Lampiran 6. Dokumentasi Analisis Kadar Air .....	60
Lampiran 7. Dokumentasi Sistem Monitoring IoT .....	61
Lampiran 8. Dokumentasi Selama Penelitian .....	63

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*Virgin Coconut Oil* atau yang biasanya disingkat dengan VCO merupakan minyak kelapa murni yang memiliki ragam manfaat bagi tubuh, baik dari segi kesehatan maupun kecantikan. VCO dapat diperoleh dari ekstrak daging buah kelapa segar dan matang dengan tingkat kematangan buah yang tua, karena kandungan minyak pada buah kelapa tua lebih banyak. Proses pembuatan VCO yang kerap digunakan saat ini yaitu metode konvensional, pemancingan, fermentasi dan enzimatik. Masyarakat umumnya menerapkan metode konvensional dalam membuat VCO. Pada metode ini suhu yang digunakan tidak stabil dan berpotensi mengalami *rancidity* (ketengikan) karena disimpan pada suhu ruang yang dapat memicu munculnya mikroba yang dapat merusak kualitas VCO.

Salah satu metode yang digunakan dalam proses pembuatan VCO dengan hasil kualitas rendemen yang baik adalah menggunakan metode fermentasi. Metode fermentasi merupakan metode yang melibatkan mikrobia untuk menghasilkan enzim pemecah emulsi santan. Menurut Soeka *et al.* (2008), dalam Ramadhani (2010), metode ini menghasilkan VCO yang tidak mudah tengik, tahan lama, aroma lebih harum dan nyaris tanpa kandungan kolesterol.

Pada tahun 2019, Wiranda telah berhasil membuat VCO dengan metode fermentasi menggunakan biofermentor tipe laboratorium (kapasitas 5 L) dan menghasilkan rendemen VCO yang lebih tinggi dengan mutu yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional. Oleh karena itu alat tersebut telah di *scaled up* oleh salah satu dosen Teknik Pertanian menjadi 125 L. Menurut Fajar *et al.* (2013), dalam Isnaini (2018), bahwa *scale-up* (perbesaran ukuran) merupakan upaya untuk meningkatkan skala produksi yang sebelumnya hanya dalam skala kecil (laboratorium) menuju skala yang lebih besar (komersial) dengan harapan kualitas produk yang dihasilkan diantara keduanya indentik. Akan tetapi sebelum dilakukan uji pada kapasitas 125 L perlu dilakukan uji secara bertahap yaitu uji pada kapasitas lebih kecil, maka pada penelitian ini akan diuji pada kapasitas 15 L.

Pada biofermentor hasil *scaled-up*, akan diterapkan sistem kontrol *fuzzy* dan juga sistem monitoring IoT. Sistem kontrol yang akan diterapkan diharapkan dapat

mengontrol suhu pada ruang biofermentor agar suhu tetap stabil. Sedangkan sistem monitoring IoT yang akan diterapkan, diharapkan dapat merekam data secara *onsite* maupun secara *online* yang akan dikirim ke *smartphone* agar suhu pada ruang biofermentor dapat dipantau secara terus menerus. Akan tetapi biofermentor hasil *scaled-up* tersebut belum diketahui kinerjanya. Maka dari itu, perlu diteliti kinerja biofermentor hasil *scaled-up* dengan menggunakan sistem kontrol *fuzzy* dan sistem monitoring IoT untuk mempermudah pengamatan proses fermentasi di dalam biofermentor. Penelitian ini diharapkan biofermentor kapasitas 15 L dapat menghasilkan VCO sesuai dengan SNI.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana bentuk sistem kontrol pada biofermentor yang telah *scaled-up*?
2. Belum diketahui kaidah-kaidah pengontrol *fuzzy logic* yang dapat mengendalikan biofermentor yang telah di *scaled-up*.
3. Belum diketahui kinerja biofermentor yang telah di *scaled-up* dengan menerapkan sistem kontrol *fuzzy*.
4. Apakah kualitas dan rendeman VCO yang dihasilkan oleh biofermentor dengan menerapkan sistem kontrol *fuzzy* sesuai dengan SNI?
5. Bagaimana sistem IoT dalam memonitoring data?

## **1.3 Batasan Masalah**

1. Dalam penelitian ini volume santan kelapa yang digunakan 15 L.
2. Mesin inferensi *fuzzy* yang digunakan adalah Sugeno.
3. Suhu fermentasi yang digunakan adalah suhu 29 °C, 35 °C dan 40 °C.
4. Analisa mutu VCO adalah kadar air (SNI).
5. Data yang dimonitoring adalah suhu dan daya.

## **1.4 Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan dari penelitian adalah untuk menghasilkan biofermentor skala yang lebih besar yang dilengkapi sistem kontrol *fuzzy* dan monitoring IoT sehingga kinerjanya sama dengan biofermentor tipe laboratorium.



Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai bahan informasi bagi petani pengusaha VCO dan menjadi model dalam pengembangan mesin-mesin pertanian yang presisi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kelapa (*Cocos nucifera* L.)

Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan salah satu produk hasil pertanian Indonesia dengan potensial yang cukup beragam. Bagian-bagian dari tanaman kelapa tersebut hampir semuanya dapat dimanfaatkan. Salah satu dari sekian banyaknya manfaat dari kelapa yaitu dijadikan sebagai bahan baku untuk memperoleh minyak kelapa murni. Produk dari kelapa yang sangatlah berharga tidak lain adalah minyak kelapa, yang dapat dihasilkan dari ekstrak daging buah kelapa segar maupun dari kelapa kopra (Cristianti dan Adi, 2009).

Bagian tanaman kelapa yang memiliki banyak manfaat adalah daging buah kelapa yang diekstrak dari santan menjadi minyak kelapa murni. Kelapa segar mengandung 30-50% minyak. Kandungan minyak pada buah kelapa sangat dipengaruhi oleh umur buah yang semakin tua, maka dengan itu kandungan minyak semakin meningkat pula (Rindengan *et al.*, 1995 dalam Ngatemin *et al.*, 2013). Kelapa tua normalnya dipanen saat berumur 11-12 bulan. Oleh karena itu, kelapa yang layak diolah menjadi minyak kelapa murni harus berumur kurang lebih 12 bulan (Rindengan dan Novarianto, 2004 dalam Ngatemin *et al.*, 2013).

Menurut Cristianti dan Adi (2009), buah kelapa tersusun dari:

- a. *Epicarp* merupakan bagian kulit terluar.
- b. *Mesocarp* (sabut), merupakan bagian kulit tengah atau yang biasa dikenal dengan serabut yang memiliki ketebalan serat sekitar 3-5 mm.
- c. *Endocarp* (tempurung), tempurung memiliki tekstur keras dan lengket dengan kulit luar biji.
- d. *Testa*, kulit daging buah yang warnanya berada diantara warna kuning hingga coklat.
- e. *Endosperm*, adalah daging kelapa yang teksturnya lunak dan warnanya putih segar.
- f. Air kelapa, memiliki rasa yang manis, kandungan mineralnya 4%, gula 2% dan juga air.
- g. Lembaga, merupakan bakal tanaman yang muncul pada buah tua.



Gambar 1. Bagian-bagian kelapa.  
(Sumber: Cristianti dan Adi 2009).

Tabel 1. Komposisi kimia daging kelapa segar dengan kematangannya.

Komponen (Per 100 g)	Buah	Buah Setengah	Buah
	Muda	Tua	Tua
Kalori (kal)	68,0	180,0	359,0
Protein (g)	1,0	4,0	3,4
Lemak (g)	0,9	13,0	34,7
Karbohidrat (g)	14,0	10,0	14,0
Kalsium (g)	17,0	88,0	21,0
Besi (g)	1,0	1,3	2,0
Vitamin A (IU)	0	10,0	1,0
Vitamin C (mg)	4,0	4,0	2,0
Air (g)	83,3	70,0	46,9
Bagian yang dapat dimakan (g)	53,0	53,0	53,0

Sumber: Cristianti dan Adi (2009).

## 2.2 *Virgin Coconut Oil (VCO)*

*Virgin coconut oil* merupakan bentuk olahan daging kelapa yang kerap diproduksi oleh masyarakat. Di sebagian daerah, VCO lebih familiar dengan nama minyak perawan, minyak sara, atau minyak kelapa murni. Minyak kelapa murni mengandung asam lemak rantai sedang yang mudah dicerna dan dioksidasi oleh tubuh sehingga mencegah penumpukannya di dalam tubuh. Selain itu, antioksidan yang terkandung dalam VCO seperti *tokoferol* dan *betakaroten* sangat tinggi. Antioksidan ini mampu mencegah terjadinya penuaan dini dan menjaga vitalitas tubuh (Setiaji dan Prayugo, 2006 dalam Ngatemin *et al.*, 2013).

VCO adalah salah satu minyak nabati yang semakin meningkat popularitasnya sebagai suplemen gizi dan makanan fungsional di pasar makanan fungsional muncul. Dalam dunia kesehatan, VCO dimanfaatkan dalam penyembuhan penyakit *kardiovaskular*. VCO mengandung minyak dan lemak yang dapat menurunkan tingkat lipid dalam jaringan tubuh sehingga dapat mempertahankan kesehatan manusia (Agarwal dan Bosco, 2017).

VCO adalah minyak dari kelapa yang berasal dari santan yang telah diemulsi, dimana santan emulsi merupakan campuran dari dua zat cair dan bersifat homogen. Campuran tersebut terdiri dari dua jenis bahan yang heterogen, misalnya seperti air dan minyak. Santan yang baru diekstrak akan memiliki emulsi yang relatif stabil (Gea *et al*, 2016 dalam Wiranda, 2019).

Krim santan menjadi salah satu bahan utama dalam proses pembuatan VCO. Krim santan terdiri dari air, protein dan minyak. Fungsi dari protein sebagai *emulgator* yang memiliki sifat hidrofobik dan hidrofilik. Dengan adanya penambahan enzim *papain*, protein yang berfungsi sebagai *emulgator* tadinya akan terdegradasi sehingga tidak akan menjadi sebagai *emulgator* lagi, sehingga rendemen yang dihasilkan dari VCO lebih banyak. Setelah dilakukan pendiaman selama 24 jam antara air dan minyak akan terpisah, dimana pada lapisan paling atas terdapat VCO (minyak), di lapisan tengah terdapat blondo dan lapisan bawah yaitu air (Luluk, 2011 dalam Wiranda, 2019).

Setelah krim santan menjadi minyak kelapa murni, mutu dari VCO dapat diketahui melalui beberapa analisis. Kualitas dari VCO dapat dinilai dari beberapa standar yang telah ditetapkan. Standar VCO dapat diketahui berdasarkan sifat hidrolisis dan oksidasi dari pengukuran kadar asam lemak bebas yang terkandung. Kriteria mutu standar VCO diantaranya berwarna bening, asam lemak bebas rendah, dan beraroma khas kelapa. Analisis sifat fisik dari VCO meliputi analisis warna, rasa dan bau dilakukan dengan metode organoleptik, yaitu analisis menggunakan panca indera penglihatan (warna), pengecap (rasa) dan penciuman (bau). Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), ada syarat mutu VCO yang baik diantaranya beraroma khas kelapa dan tidak tengik, warnanya tidak berwarna atau bening hingga kuning pucat dan kadar air yang terkandung dalam VCO kurang

dari 0,2 mg setelah dilakukan pengurangan kadar air (pengovenan) hingga konstan (Badan Standardisasi Nasional, 2008).

Tabel 2. Persyaratan mutu *Virgin Coconut Oil*.

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan Bau Rasa Warna		Khas kelapa segar, tidak tengik Normal, khas minyak kelapa Tidak berwarna hingga kuning pucat.
2	Air dan senyawa yang menguap	%	Maksimal 0,2
3	Bilangan iod	g iod/100 g	4,1 – 11,0
4	Asam lemak bebas (asam laurat)	%	Maksimal 0,2
5	Bilangan peroksida	mg ek/kg	Maksimal 0,2
6	Asam lemak:		
	Asam caproat (C6:0)	%	ND sampai 0,7
	Asam kaprilat (C8:0)	%	4,6 sampai 10,0
	Asam kaprat (C10:0)	%	5,0 sampai 8,0
	Asam laurat (C12:0)	%	45,1 sampai 53,2
	Asam mirisrat (C14:0)	%	16,8 sampai 21
	Asam palmitat (C16:0)	%	7,5 sampai 10,2
	Asam stearat (C18)	%	2,0 sampai 4,0
	Asam oleat (C18:1)	%	5,0 sampai 10,0
	Asam linoleat (C18:2)	%	1,0 sampai 2,5
	Asam linolenat (C18:3)	%	ND sampai 0,2
7	Cemaran mikroba	Koloni/ml	Maksimal 10
	Angka lempeng total	mg/kg	Maksimal 0,1
8	Cemaran logam		
	Timbal (Pb)	mg/kg	Maksimal 0,4
	Tembaga (Cu)	mg/kg	Maksimal 0,5
	Besi (Fe)	mg/kg	Maksimal 0,1
	Cadmium (Cd)	mg/kg	Maksimal 0,1
9	Cemaran arsen (As)		

\*ND = *No Detection* (tidak terdeteksi).

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (2008).

## 2.3 Metode Pembuatan VCO

Dalam pembuatan VCO terdapat beberapa tahapan pembuatan. Hal yang paling pertama dilakukan yaitu pamarutan. Dimana pamarutan menjadi langkah proses yang paling utama, yang tujuannya untuk menghancurkan buah kelapa dan dari parutan itu akan keluar santan. Selanjutnya dilakukan pemerasan agar santan dapat terekstraksi dengan cara menggunakan tangan agar memberikan tekanan dan santan dapat keluar. Setelah pemerasan dilakukan maka selanjutnya yaitu penyaringan, agar santan yang dihasilkan tidak terkandung bahan lainnya yang tidak dibutuhkan (Ruth, 2011 dalam Wiranda, 2019).

Setelah proses pamarutan dan pemerasan kelapa yang menghasilkan santan, akan dilakukan pengendapan santan hingga membentuk lapisan berupa air dan krim. Apabila santan didiamkan hingga 10 jam maka akan terbentuk 2 lapisan. Dua lapisan tersebut meliputi skim yang terdapat dibagian bawah dan krim pada bagian atas karena mengandung banyak minyak. Santan dapat cepat rusak karena mudah ditumbuhi mikroba pembusuk. Santan yang disimpan pada suhu ruang selama 6 jam akan mengalami kerusakan, dengan ciri pecahnya emulsi santan, beraroma tengik, dan warna menjadi lebih gelap (Gea *et al.*, 2016 dalam Wiranda, 2019).

Krim santan yang sudah diendapkan kemudian menuju langkah selanjutnya yaitu dilakukan pendiaman krim. Dalam pembuatan VCO ada beberapa metode pembuatan, yaitu metode konvensional, metode sentrifugasi, metode fermentasi, metode pemanasan, metode pemancingan dan metode enzimatis. Berikut penjelasannya:

### 2.3.1 Metode Konvensional

Selama ini, masyarakat pada umumnya membuat VCO menggunakan metode konvensional. Cara konvensional yaitu bahan dibungkus menggunakan kain yang bertujuan untuk meningkatkan suhu bahan sehingga terjadi proses fermentasi. Metode ini memiliki kekurangan yaitu suhu pada bahan tidak dapat dikontrol sehingga proses fermentasi menjadi tidak stabil yang mengakibatkan rendahnya kualitas VCO yang akan dihasilkan. Metode konvensional yang digunakan memiliki tingkat keberhasilan yang rendah. Dalam tiga kali pembuatan VCO hanya

dua kali yang berhasil dan pada musim hujan tingkat keberhasilan akan semakin menurun (Rindegan, 2005 dalam Wiranda, 2019).

### 2.3.2 Metode Sentrifugasi

Sentrifugasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam proses pembuatan VCO dengan cara mekanik. Pemutaran secara mekanik merupakan cara pembuatan VCO dengan metode sentrifugasi. Pemutusan ikatan lemak dan protein dari santan dilakukan dengan cara pemusingan atau pemutaran dengan cara sentrifugal. Karena berat jenis air lebih berat dibanding dengan minyak sehingga minyak terkumpul di lapisan atas. Kecepatan putaran merupakan kunci keberhasilan metode sentrifugasi dengan kecepatan putaran sebesar 20.000 rpm selama kurang lebih 15 menit. Alat yang digunakan untuk memutar santan dinamakan *sentrifuge* (Cristianti dan Adi, 2009).

### 2.3.3 Metode Pemanasan

Metode ini menggunakan pemanas kompor yang memungkinkan krim santan dimasak dalam wajan dengan suhu rata-rata 60-75 °C. Temperatur tersebut harus dijaga agar panasnya tidak melebihi temperatur yang telah ditentukan. Aduk perlahan sampai minyaknya keluar. Saat minyak diekstraksi, api yang digunakan dipadamkan. Pisahkan minyak dari blondo dengan filter. Keuntungan dari metode ini adalah VCO yang dihasilkan diperoleh dalam waktu singkat. Namun hasil VCO yang didapatkan tidak jernih dan berwarna agak kekuningan. Hal tersebutlah menjadi salah satu kekurangan dari metode pemanasan (Rindengan, 2005 dalam Wiranda, 2019).

### 2.3.4 Metode Pemancingan

Metode pemancingan adalah metode pembuatan VCO dengan menggunakan VCO yang sudah jadi atau VCO digunakan sebagai pemicu untuk membuat VCO baru. Langkah-langkahnya cukup sederhana yaitu dengan membuat krim dan memasukkannya ke dalam toples. Kemudian tambahkan 1-2 sendok makan VCO dan aduk hingga krim merata. Tutup toples dan tunggu hingga waktu 24 jam. Hasil yang didapat membentuk 3 lapisan yaitu lapisan atas VCO, lapisan bawah pirang dan lapisan bawah air (Silaban *et al.*, 2017 dalam Wiranda, 2019).

### 2.3.4 Metode Fermentasi

Prinsip pembuatan *Virgin Coconut Oil* dengan cara fermentasi adalah memanfaatkan katalis untuk menghancurkan protein yang terkandung dalam gumpalan lemak. Katalis adalah enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme atau tumbuhan sebagai *inokulum*. VCO dibuat dengan cara fermentasi yaitu dengan bahan utama santan, kemudian dicampur dengan ragi yang mengandung *Rhizopus oligosporus*. Mikroba tersebut mampu menghasilkan enzim *protease* dan enzim *lipase* yang dapat mengurai minyak dan dibantu dengan kandungan air yang cukup tinggi (Cristianti dan Adi, 2009).

### 2.3.5 Metode Enzimatis

Umumnya VCO telah diproduksi dengan enzim menggunakan berbagai macam enzim. Enzim yang banyak digunakan untuk memproduksi VCO antara lain enzim *bromelain* dan enzim *papain*. Merusak atau menghancurkan butir-butir santan dapat dilakukan dengan menggunakan metode enzimatis. Pembubaran bola-bola santan dapat terjadi dengan keberadaan enzim proteolitik. Sifat enzim dapat mengkatalisis reaksi degradasi protein dengan cara menghidrolisis ikatan peptidanya menjadi senyawa yang lebih sederhana. Salah satu enzim yang dapat digunakan untuk memutus ikatan peptida pada emulsi santan adalah enzim *papain* yang terdapat pada getah daun pepaya. Daun pepaya atau sari buah pepaya yang mengandung enzim *papain* dicampur dengan krim santan kelapa dan dibiarkan selama 24 jam, agar membentuk tiga lapisan yaitu, lapisan atas terdapat VCO, lapisan tengah terdapat *blondo* dan lapisan bawah terdapat air (Silaban *et al.*, 2017 dalam Wiranda, 2019).

## 2.4 Bioreaktor atau Fermentor

Fermentasi adalah aktivitas metabolisme mikroorganisme, baik berlangsung secara *aerob* maupun *anaerob*. Selama proses fermentasi, terjadi perubahan kimia pada substrat organik. Produk fermentasi banyak digunakan dalam bahan makanan. Proses fermentasi membutuhkan mikroba sebagai *inokulum*, tempat agar proses fermentasi berjalan optimal, media tumbuh sebagai tempat tumbuh mikroba dan sumber makanan bagi mikroba. (Luki, 2014 dalam Wiranda, 2019).



Bioreaktor atau fermentor merupakan alat atau wadah fermentasi untuk dapat memproduksi senyawa oleh mikrobia melalui proses fermentasi. Dalam proses fermentasi biasa timbul kendala yaitu terjadi kontaminasi selama proses fermentasi terutama apabila sistemnya berkelanjutan. Fermentor merupakan alat yang digunakan untuk menjalankan aktivitas fermentasi. Komponen dari fermentor dilengkapi dengan peralatan mekanik dan elektrik, bahkan beberapa dari fermentor sudah dilengkapi dengan sistem kontrol yang berfungsi untuk mengendalikan variabel yang berpengaruh terhadap *output* yang hubungannya berkaitan erat dengan pertumbuhan mikroba. Variabel yang dimaksud adalah pH, suhu, oksigen terlarut, kekeruhan media, buih yang terbentuk dan sebagainya (Budiantman, 2013 dalam Wiranda, 2019).

## **2.5 Sistem Kontrol**

Menurut Ogata (1997), pada dasarnya sistem kontrol terbagi menjadi dua konsep yaitu:

### **2.5.1 Sistem Kontrol Lup Terbuka (*Open-lup Control System*)**

Sistem kontrol lup terbuka merupakan sistem kontrol yang dimana kinerjanya tidak terpengaruh terhadap luaran yang diperoleh. Contohnya pada mesin cuci yang mengontrol waktu perendaman, pencucian dan pembilasan akan tetapi tidak mengukur sinyal keluaran seperti kebersihan pakaian. Dengan demikian, untuk setiap masukan referensi ada beberapa kondisi operasi yang tidak berubah sehingga menyebabkan keakuratan sistem yang berharap pada hasil kalibrasi. Apabila terdapat *error* maka sistem kontrol lup terbuka tidak akan melakukan tugas yang diinginkan. Kontrol lup terbuka dapat beroperasi hanya apabila hubungan antara *input* dan *output* diketahui dan jika tidak ada gangguan internal maupun eksternal. Maka dari itu, sistem lup terbuka bukan merupakan sistem kontrol umpan balik (Ogata, 1997).

### **2.5.2 Sistem Kontrol Lup Tertutup (*Closed-lup Control System*)**

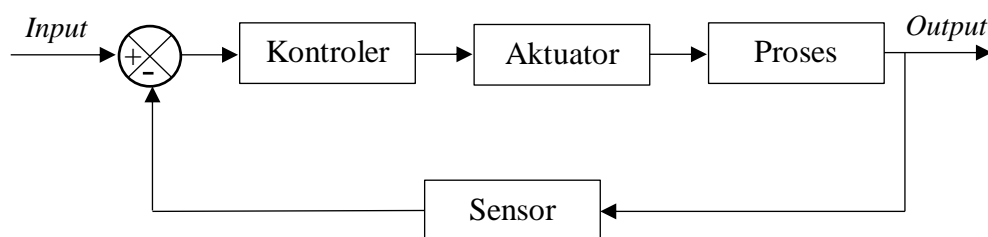
Sistem kontrol lup tertutup biasanya disebut sebagai sistem kontrol yang memiliki umpan balik. Sinyal kesalahan atau kesalahan *drive* adalah perbedaan antara sinyal *input* atau sinyal masukan dengan umpan balik atau sinyal keluaran

(mungkin itu adalah sinyal *output* itu sendiri atau fungsi dari sinyal *output* dan turunan serta integralnya) yang diberikan ke pengontrol untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan kinerja sistem untuk membawa ke nilai yang diinginkan. Sistem kontrol lup tertutup selalu membutuhkan penggunaan tindakan kontrol umpan balik untuk mengurangi kesalahan sistem (Ogata, 1997).

Umpan balik adalah sistem mekanis yang dirancang untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang diinginkan dengan mengukur keadaan awal sistem dan membandingkannya dengan keadaan yang diinginkan. Jika kesalahan terdeteksi diantara keduanya, sinyal koreksi dihasilkan secara otomatis yang membatalkan kesalahan. *Error* tersebut adalah perbandingan nilai target atau nilai target dengan nilai awal atau nilai sebenarnya (*current value*). Jika pembacaan terlalu kecil (PV berarti nilai yang dibaca oleh sensor melebihi nilai yang diinginkan ( $PV > SP$ )) (Lutfhian, 2006).

Sistem lup tertutup memiliki keuntungan yaitu penggunaan umpan balik membuat respon sistem relatif tidak sensitif terhadap gangguan eksternal dan variasi internal dalam parameter sistem. Sehingga dapat menggunakan komponen yang relatif tidak akurat dan murah untuk mendapatkan kontrol yang akurat dari pabrik tertentu. Kelemahan sisten lup tertutup adalah umumnya lebih tinggi dalam biaya dan daya (Ogata, 1997).

Sistem kontrol terdiri dari beberapa tahapan yaitu masukan, pengontrol, aktuator, proses, keluaran dan alat ukur.

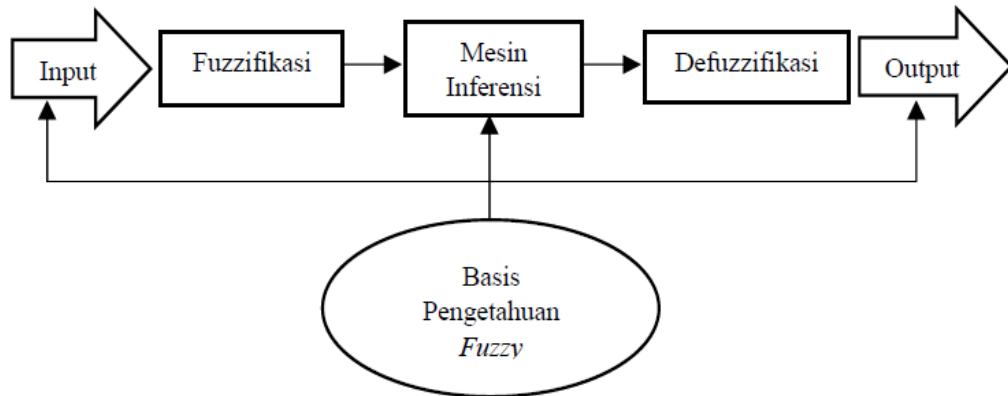


Gambar 2. Sistem kontrol lup tertutup.  
(Sumber: Asnil, 2010 dalam Safitri, 2018).

## 2.6 Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* merupakan logika yang menggambarkan ketidakjelasan, jadi logika *fuzzy* bukanlah logika kabur, tetapi logika yang digunakan untuk menggambarkan ketidakjelasan. Logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy*, himpunan yang

mengkalibrasi ketidakjelasan. Logika *fuzzy* berdasar pada gagasan bahwa segala sesuatu memiliki derajat keanggotaan. Suhu, tinggi, kecepatan, jarak, keindahan, semuanya hadir dalam skala geser. Logika *fuzzy* mencerminkan bagaimana orang berpikir. Ini mencoba untuk memodelkan arti dari kata-kata, pengambilan keputusan dan akal sehat. Akibatnya, ini mengarah ke sistem baru yang lebih manusiawi dan cerdas (Negnevitsky, 2002).

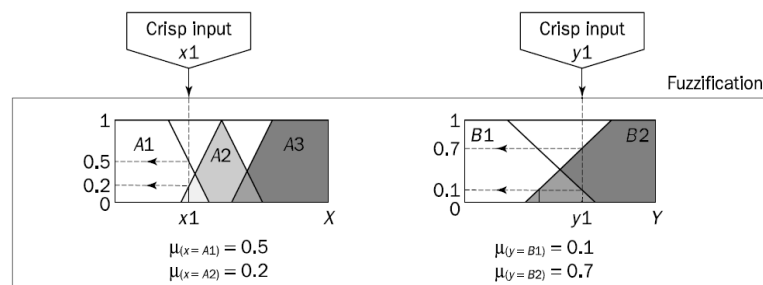


Gambar 3. Diagram sistem *fuzzy logic*.  
(Sumber: Hartanto, 2019).

Berdasarkan Gambar 3 di atas diketahui bahwa *fuzzy logic* terdiri 4 bagian utama yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, sistem inferensi dan defuzzifikasi.

### 2.6.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses membuat suatu kuantitas menjadi kabur. Hal ini dilakukan dengan mengakui bahwa banyak besaran yang dianggap jelas dan deterministik sebenarnya tidak deterministik sama sekali, yang menimbulkan ketidakpastian yang signifikan. Jika ada ketidakpastian karena ketidaktepatan atau ambiguitas, variabel tersebut cenderung ambigu dan dapat diwakili oleh fungsi keanggotaan (Ross, 2010).



Gambar 4. Fuzzifikasi model Sugeno.  
(Sumber: Negnevitsky, 2002).

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan nilai-nilai *crisp* (numerik) ke dalam himpunan *fuzzy* dan menentukan nilai derajat keanggotaan himpunan *fuzzy* tersebut. Himpunan *fuzzy* berdasar pada gagasan yang memperluas jangkauan fungsi karakteristik untuk memasukkan nilai bilangan real yang terletak pada interval  $[0,1]$ . Nilai keanggotaan menunjukkan bahwa objek semesta pembicaraan tidak hanya berada pada nilai 0 atau 1 saja, tetapi juga pada nilai-nilai yang muncul diantaranya. Fungsi keanggotaan adalah grafik yang menunjukkan asosiasi titik-titik *input* data dengan nilai keanggotaannya yang berada diantara 0 dan 1, yang biasa dilambangkan dengan simbol  $[x]$  (Kusumadewi dan Purnomo, 2004 dalam Hartanto, 2019).

Teori *fuzzy* mengemukakan bahwa himpunan *fuzzy*  $A$  dari semesta  $X$  didefinisikan oleh fungsi  $\mu_A(x)$  yang disebut fungsi keanggotaan himpunan  $A$  (Negnevitsky, 2002).

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

dimana:

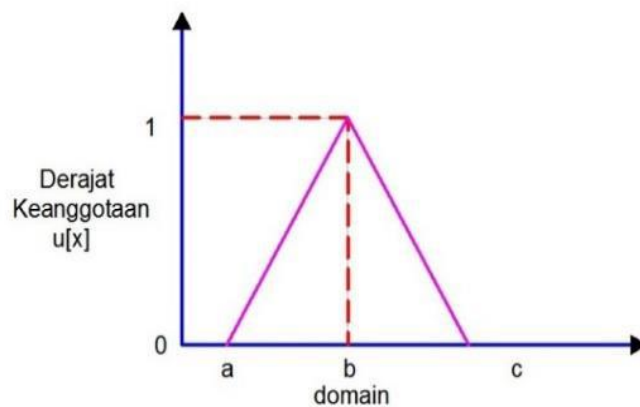
$\mu_A(x) = 1$  , jika  $x$  elemen dari himpunan  $A$ .

$\mu_A(x) = 0$ , jika  $x$  bukan elemen dari himpunan  $A$ .

$0 < \mu_A(x) < 1$  jika  $x$  bagian elemen dari himpunan  $A$ .

Terdapat beberapa bentuk kurva yang digunakan untuk mendesain fungsi keanggotaan seperti bentuk kurva linear, segitiga, *trapezium* dan *Gauss* (Kusumadewi dan Purnomo, 2004 dalam Hartanto, 2019). Namun, pada penelitian ini akan digunakan kurva segitiga untuk mendesain fungsi keanggotaan.

Representasi kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis (linear) seperti terlihat pada Gambar 5 berikut ini.

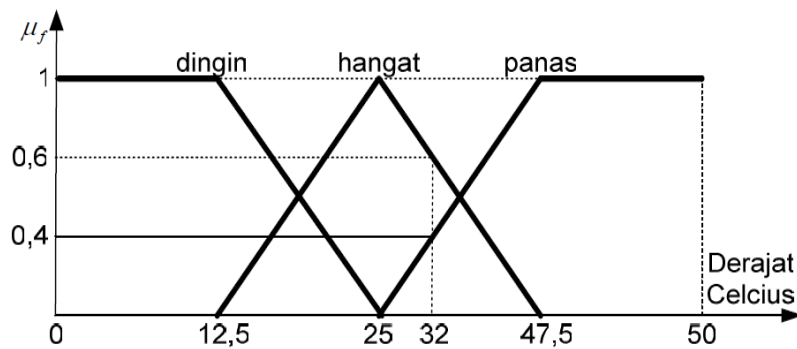


Gambar 5. Representasi kurva segitiga.  
(Sumber: Hartanto, 2019).

Fungsi keanggotaan segitiga adalah sebagai berikut.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ (b - x)/(c - b); & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2)$$

Contoh tahapan fuzzifikasi dapat dilihat pada penjelasan peristiwa berikut ini dimana, jika suhu air merupakan suatu variabel *linguistic*, dengan nilai *linguistic* T (suhu) = {dingin, hangat, panas}, dimana semesta pembicaraannya terletak diantara suhu 0-50 °C, dengan distribusi fungsi keanggotaan segitiga diperlihatkan pada Gambar 6 (Zulaikah *et al*, 2011).



Gambar 6. Fuzzifikasi variabel masukan.  
(Sumber: Zulaikah *et al*, 2011).

Jika temperatur input yang diberikan adalah 32 °C, proses fuzzifikasi menghasilkan nilai linguistik dingin dengan derajat keanggotaan 0, hangat dengan derajat keanggotaan 0,6 dan panas dengan derajat keanggotaan 0,4. Prasyarat untuk area *input* fuzzifikasi adalah bahwa ia harus berada di alam semesta pembicaraan *fuzzy* (Zulaikah *et al*, 2011).

## 2.6.2 Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan berisi referensi-referensi sistem kontrol yang digunakan sebagai acuan saat mengevaluasi kesehatan sistem untuk mendapatkan keluaran kontrol yang diinginkan oleh perancang (Zulaikah *et al*, 2011).

### 2.6.2.1 Basis data

Basis data mencakup fungsi keanggotaan desain untuk variabel *input* dan *output*, mendefinisikan semesta pembicaraan, dan mendefinisikan variabel bahasa untuk setiap variabel *input* dan *output* (Zulaikah *et al*, 2011).

### 2.6.2.2 Basis aturan

Basis aturan kontrol *fuzzy* digunakan untuk menghubungkan variabel *input* dan variabel *output*. Basis aturan *fuzzy* adalah kumpulan pernyataan-pernyataan aturan *IF-THEN* atau JIKA-MAKA berdasarkan pengetahuan manusia untuk memproses variabel *input* dan menghasilkan variabel *output* dalam bentuk himpunan *fuzzy* (Zulaikah *et al*, 2011).

Menurut Negnevitsky (2002), aturan *fuzzy* dapat didefinisikan sebagai pernyataan bersyarat dalam bentuk:

*IF*        *x is A*  
*THEN*    *y is B*

Dimana *x* dan *y* adalah variabel linguistik, *A* dan *B* masing-masing adalah nilai linguistik yang ditentukan oleh himpunan *fuzzy* pada semesta pembicaraan berupa *X* dan *Y*.

Aturan 1

*IF*        *speed is fast*  
*THEN*    *stop long distance is long.*

Aturan 2

*IF*        *speed is slow*  
*THEN*    *stop long distance is short.*

### 2.6.3 Sistem Inferensi *Fuzzy* Sugeno

Secara umum logika *fuzzy* Sugeno adalah logika yang digunakan untuk membuat keputusan tunggal atau tepat pada saat defuzzifikasi. Penggunaannya tergantung pada domain masalah yang dihadapi. Alur proses dimulai dengan fuzzifikasi, menerapkan aturan, defuzzifikasi dan luaran (Kusumadewi dan Purnomo, 2010 dalam Hariri, 2016).

Metode *fuzzy* Sugeno kerap dinamakan dengan metode TSK (Takagi-Sugeno Kang) karena metode tersebut diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Metode *fuzzy* Sugeno ini hampir mirip dengan metode Mamdani yang membedakan hanyalah pada bentuk luaran yang dihasilkan. Metode TSK ini juga terdiri dari 2 jenis yaitu sebagai berikut (Kusumadewi dan Purnomo 2010 dalam Hariri 2016).

#### 2.6.3.1 Model *fuzzy* Sugeno orde-nol

Secara umum bentuk model *fuzzy* ini adalah:

$IF(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \dots \circ (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } z=k.$

Dengan  $A_1$  sebagai himpunan *fuzzy* ke-1 sebagai antaseden, dan  $k$  adalah suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen. Dimana  $\circ$  adalah operator *fuzzy* (*AND*, *OR*).

### 2.6.3.2 Model *fuzzy* Sugeno orde-1

Model *Fuzzy* Sugeno Orde-satu secara umum bentuk model *fuzzy* Sugeno orde-satu adalah:

$$\text{IF}(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ \dots \circ (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } z = p_1 * x_1 + \dots + p_n * x_n + q.$$

Dimana,  $A_i$  adalah himpunan *fuzzy* ke- $i$  sebagai antaseden,  $p_i$  adalah suatu konstan (tegas) ke- $i$  dan  $q$  adalah konstanta dalam konsekuen. Dimana  $\circ$  adalah operator *fuzzy* (*AND*, *OR*).

Untuk mempersingkat waktu inferensi *fuzzy* dapat digunakan *spike tunggal*, *singleton*, sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuensi aturan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Michio Sugeno, 'Zadeh Jepang', pada tahun 1985 (Sugeno, 1985). *Singleton*, atau lebih tepatnya *fuzzy singleton*, adalah himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang merupakan kesatuan pada satu titik tertentu pada semesta pembicaraan dan nol ditempat lain (Negnevitsky, 2002).

Inferensi *fuzzy* gaya Sugeno sangat mirip dengan metode Mamdani. Sugeno hanya mengubah aturan sebagai konsekuensinya. Alih-alih himpunan *fuzzy*, ia menggunakan fungsi matematika dari variabel *input* (Negnevitsky, 2002).

Jika komposisi aturan yang digunakan adalah metode Sugeno maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

### 2.6.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah tahapan paling akhir dari proses inferensi *fuzzy*. Ketidajelasan membantu dalam hal mengevaluasi aturan, tetapi hasil akhir dari sistem *fuzzy* harus berupa angka yang jelas. Masukan untuk proses defuzzifikasi adalah himpunan *fuzzy* keluaran agregat dan keluaran berupa bilangan tunggal (Negnevitsky, 2002).

*Input* pada proses *defuzzification* adalah himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan berupa bilangan dalam domain himpunan *fuzzy* tersebut. Jadi ketika suatu besaran diberikan dalam kisaran tertentu, ia harus dapat mengambil nilai *crisp* tertentu sebagai keluarannya (Negnevitsky, 2002).

Menurut Laila (2016) dalam Safitri (2018), penalaran *fuzzy* dalam menghitung nilai keluaran yang diperoleh adalah sebagai berikut.

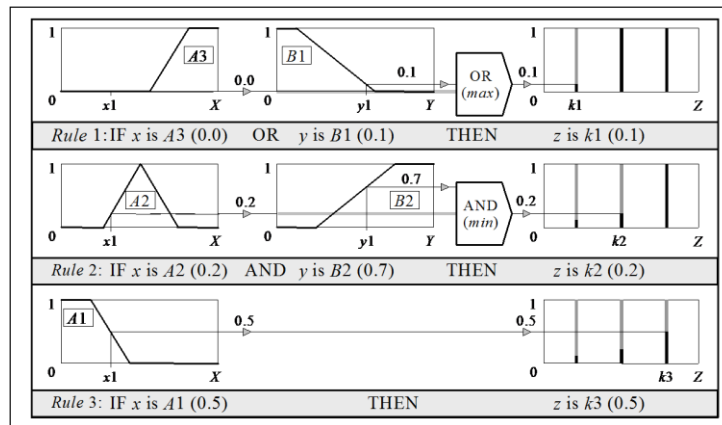
$$u = \frac{\sum_{i=1}^N \mu(S_i)S_i}{\sum_{i=1}^N \mu(S_i)} \quad (3)$$

dimana:

$u$  = output defuzzifikasi bernilai *crisp*,

$S_i$  = posisi *singleton* dalam semesta pembicaraan,

$\mu(S_i)$  = derajat keanggotaan *singleton*.



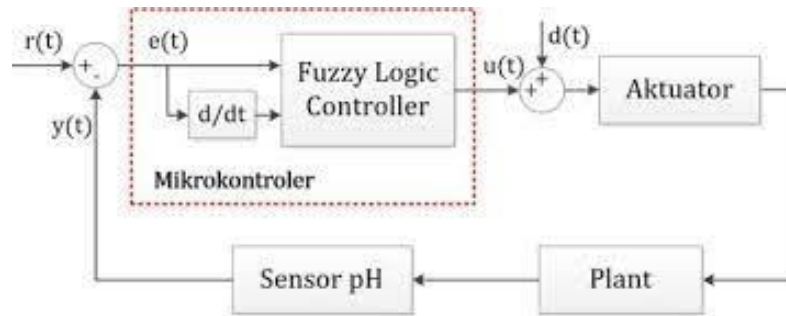
Gambar 7. Inferensi *fuzzy* model Sugeno.  
(Sumber: Naba, 2009).

Dalam kondisi tertentu, mungkin ada situasi dimana *output* dari proses *fuzzy* harus berupa besaran skalar tunggal sebagai lawan dari himpunan *fuzzy*. Defuzzifikasi adalah pengubahan besaran *fuzzy* menjadi besaran presisi, seperti halnya fuzzifikasi adalah pengubahan besaran presisi menjadi besaran *fuzzy*. Keluaran dari proses *fuzzy* dapat berupa gabungan logis dari dua atau lebih fungsi keanggotaan *fuzzy* yang didefinisikan pada semesta pembicaraan dari variabel keluaran (Ross, 2010).

## 2.7 Sistem Kontrol Berbasis Fuzzy Logic

Sistem kontrol *fuzzy* sangatlah sederhana dan terdiri dari *input*, kontrol dan *output*. Pada fase masukan atau *input*, data sensor dipetakan ke fungsi keanggotaan dari nilai kebenaran. Fase manajemen mencakup setiap aturan yang benar dan setiap aturan menghasilkan hasil. Hasil aturan tersebut kemudian digabungkan. Terakhir, tahap *output* atau keluaran mengubah hasil gabungan menjadi nilai keluaran kontrol (Dwi, 2010 dalam Sinadia, 2018).





Gambar 8. Contoh sistem kontrol *fuzzy* lup tertutup.  
(Sumber: Tahtawi dan Robi, 2020).

Variabel konsep *fuzzy* meliputi variabel masukan dan keluaran. Variabel *input* diperoleh dari proses yang dikontrol dan variabel *input* ditentukan oleh kontrol logika *fuzzy*. Pada sistem kontrol *fuzzy loop* tertutup, variabel *input* terdiri dari *error* ( $e$ ) dan turunan *error* ( $de$ ), sedangkan variabel *output*nya adalah sinyal kontrol ( $u$ ) (Dwi, 2010, dalam Sinadia, 2018).

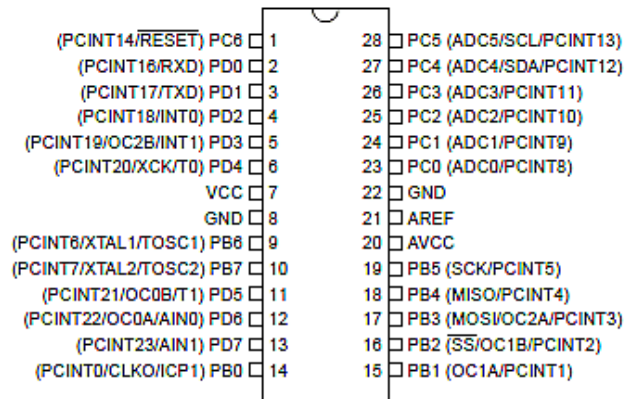
## 2.8 Mikrokontroler Arduino

Salah satu jenis pengontrol yang kerap digunakan oleh masyarakat adalah Arduino. Arduino adalah suatu perangkat *prototype* elektronika berbasis mikrokontroler yang bersifat *open source* dan mudah digunakan baik dari segi perangkat keras maupun lunaknya, dimana perangkat kerasnya memiliki prosesor Atmel AVR dan perangkat lunaknya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Arduino sendiri berfungsi sebagai pengendali mikro *single-board* yang dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronika dalam berbagai bidang yang dirilis oleh Atmel (Iskandar *et al*, 2017).

Arduino adalah perangkat keras komputer bersifat *open source* yang mendesain dan memproduksi kit berbasis mikrokontroler untuk membangun perangkat digital dan objek interaktif yang dapat merasakan dan mengontrol objek didunia fisik. Sistem ini menyediakan set pin I/O analog digital, antarmuka komunikasi serial, port USB untuk memuat program dari komputer pribadi. Untuk pemrograman mikrokontroler, ini menyediakan *Integrated Development Environment* (IDE) berdasarkan proyek pemrosesan yang mendukung bahasa pemrograman Java C, C++. Fitur utamanya meliputi Atmega 328, *memory flash* 32 KB yang 0,5 KB digunakan oleh *bootloader*, 2 KB SRAM, 1 KB EEPROM, kecepatan *clock* 16 MHz, *header* ICSP, colokan listrik, 6 pin I/O analog, 14 I/O

digital pin, 6 pin *output* PWM, tegangan *input* 7-12 volt dan tegangan operasinya adalah 5 volt (Sindhuja dan Krithiga, 2017).

ATMega328 menyediakan 3 buah PORT utama berupa PORTB, PORTC dan PORTD sehingga memiliki jumlah pin *input/output* sebanyak 23. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai *input/output* digital atau difungsikan sebagai periperall lainnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9 (Ginting, 2020).

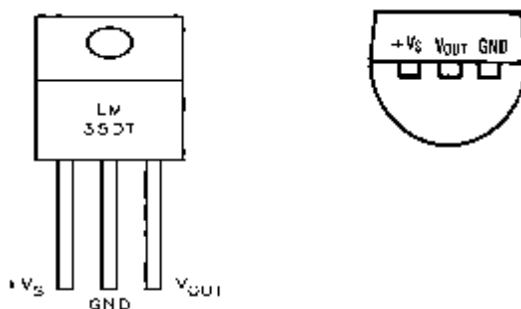


Gambar 9. Data sheet chip ATMega 328.  
(Sumber: Ginting, 2020).

## 2.9 Sensor Suhu LM35

Sensor suhu LM35 merupakan sensor yang mengubah variabel suhu menjadi variabel listrik menjadi bentuk berupa tegangan. Sensor suhu LM35 yang digunakan dalam penelitian ini merupakan komponen elektronik yang diproduksi oleh *National Semiconductor*. LM35 memiliki hasil pengukuran dengan tingkat keakuratan yang tinggi dan mempermudah tahap perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain. LM35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan (Artiyasa *et al*, 2020).

Tegangan sensor LM35 mampu mencapai 30 volt, namun yang dialirkan ke sensor ini hanya 5 volt, sehingga dapat digunakan dengan catu daya tunggal, karena LM35 hanya menerima arus listrik dengan besar 60  $\mu$ A, artinya LM35 dapat menghasilkan panas sendiri (*self-heating*) sehingga sensor hanya dapat menyebabkan kesalahan pembacaan yang cukup kecil yaitu kurang dari 0,5  $^{\circ}$ C pada suhu 25  $^{\circ}$ C (Artiyasa *et al*, 2020).



Gambar 10. Skematik sensor LM35.  
(Sumber: Aristania, 2020).

Gambar 10 menunjukkan tampak bagian depan dan bawah LM35. Ketiga pin LM35 menunjukkan fungsi dari masing-masing pin, pin 1 digunakan sebagai sumber tegangan operasi LM35, pin 2 atau yang ditengah digunakan sebagai tegangan keluaran atau  $V_{out}$  dengan *range* 0 volt hingga 1,5 volt pada mode run dengan tegangan sensor LM35 yang dapat digunakan dari 4 Volt hingga 30 volt. *Output* dari sensor ini meningkat sebesar 10 mV untuk setiap derajat *celcius* (Aristania, 2020).

## 2.10 *Internet of Things (IoT)*

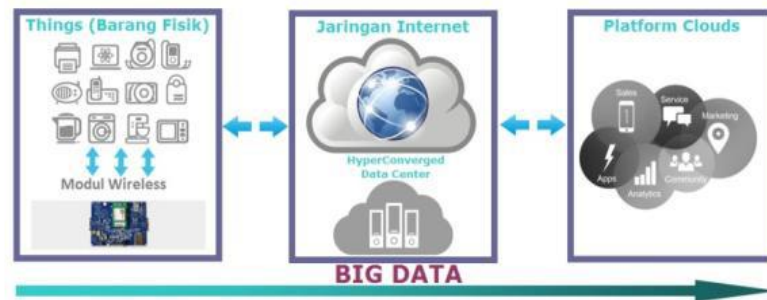
IoT atau disebut dengan *Internet of Things* yaitu benda fisik yang terhubung dan dapat diakses dengan internet. IoT pertama kali dikemukakan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999. Kevin menggunakan konsep ini untuk melacak benda hilang yang dapat diakses dengan jarak jauh tanpa campur tangan oleh manusia dengan catatan memiliki koneksi jaringan yang bagus dan stabil (Wulandari *et al*, 2020).

IoT banyak digunakan pada manusia untuk mempermudah pekerjaan yang dapat dikendalikan dengan dikontrol dan dimonitor dengan akses layanan internet yang terhubung dengan secara terus menerus seperti pelacakan benda hilang, pelacakan gerakan manusia dan pengendaian *smarthome* (Wulandari *et al*, 2020).

*Internet of Things (IoT)* merupakan suatu konsep dengan proses kerja yang mampu mengirim atau mentransfer data melalui bantuan koneksi internet. Kemampuan untuk mengirimkan data melalui jaringan tanpa interaksi manusia ke manusia (dua arah), yaitu interaksi sumber ke tujuan atau interaksi manusia dengan komputer. *Internet of Things (IoT)* adalah perkembangan teknologi yang menjanjikan untuk meningkatkan kehidupan dengan sensor cerdas dan objek terhubung yang bekerja selaras dengan internet (Sawidin *et al*, 2021).

### 2.10.1 Cara Kerja *Internet of Things*

Proses kerja dari konsep IoT mengacu pada 3 elemen. Konsep IoT sebenarnya cukup sederhana dalam cara kerjanya dan mengacu pada tiga elemen utama yaitu produk fisik yang dilengkapi dengan modul IoT, perangkat akses internet seperti *modem* dan *router* nirkabel berkecepatan tinggi dan pusat data *cloud* yang menyimpan aplikasi dan *database* (Effendi, 2018).



Gambar 11. Cara kerja IoT.  
(Sumber: Effendi, 2018).

Prinsip dasar kerja perangkat IoT adalah memberikan identitas unik pada benda di dunia nyata sehingga dapat dinarasikan dalam sistem komputer dan disajikan dalam bentuk data dalam sistem komputer. Pada tahap awal proses, ide identifikasi IoT, yang memungkinkan komputer mengenali dan membaca objek, digunakan dengan *barcode*, kode QR, dan identifikasi frekuensi radio (RFID). Saat dikembangkan, sebuah objek dapat diberi pengenal dalam bentuk alamat IP dan dapat berkomunikasi melalui internet dengan objek lain yang memiliki pengenal alamat IP (Effendi, 2018).

Alur kerja dari *Internet of Things* didasarkan pada *algoritme* atau ide pemrograman dimana setiap argumen perintah menghasilkan interaksi antar sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia sedikitpun dan juga tanpa batasan jarak. Internet atau WiFi bertindak sebagai penghubung antara interaksi dari mesin-mesin tersebut, sedangkan manusia hanya bertindak secara langsung sebagai pengatur dan pemantau pengoperasian dari aktivitas perangkat (Effendi, 2018).

### 2.10.2 Implementasi *Internet of Things*

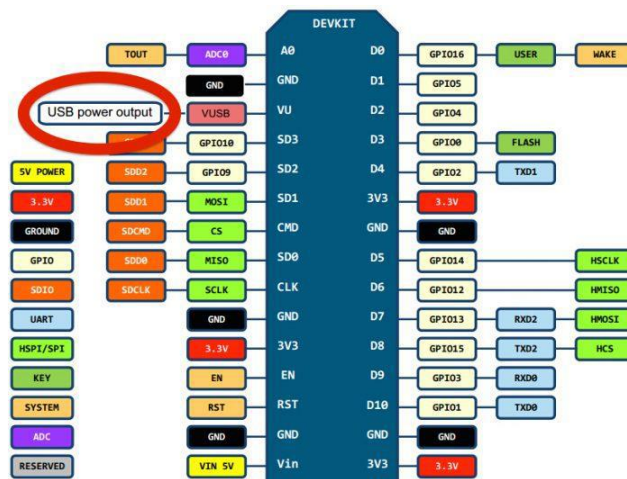
Awalnya, mesin itu hanya untuk membantu orang dan hanya bisa dioperasikan dengan mekanik saja. Namun dengan kemajuan teknologi, mesin tersebut dapat

beroperasi secara mandiri (otomatis). Menerapkan penggunaan mesin sebagai alat dalam sistem menghadapi kendala dimana jarak dan waktu menjadi penting. Pada jarak yang begitu jauh, mesin tidak dapat berinteraksi dengan mesin lain. Untuk mengatasinya, diterapkan ide *Internet of Things*, dimana semua mesin dengan alamat IP yang teridentifikasi dapat menggunakan internet sebagai sarana komunikasi (pertukaran data) (Effendi, 2018).

## 2.11 Node MCU ESP8266

ESP8266 merupakan modul WiFi yang belakangan ini semakin populer di kalangan *developer hardware*, karena harganya yang sangat terjangkau dan modul WiFi ini juga sudah SOC (*System On Chip*), jadi kita bisa memprogram langsung di ESP8266 tanpa mikrokontroler tambahan. Keuntungan lainnya adalah ESP8266 dapat bertindak sebagai stasiun pangkalan dan sebagai klien pada saat yang bersamaan (Sasmoko dan Wicaksono, 2017).

ESP8266 juga dilengkapi dengan *deep sleep mode*, sehingga dapat meminimalisir penggunaan daya jika dibandingkan dengan modul WiFi lain. Namun yang perlu digaris bawahi ialah, ESP8266 beroperasi pada tegangan 3.3V (Sasmoko dan Wicaksono, 2017).



Gambar 12. Konfigurasi modul ESP8266.  
(Sumber: Aristania, 2020).

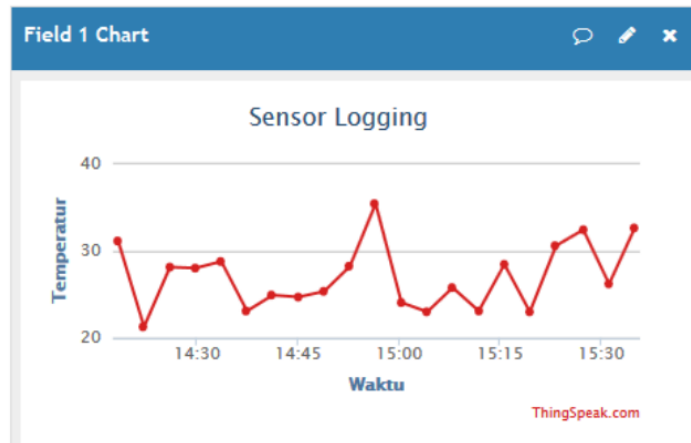
Fungsi pin gambar di atas adalah sebagai berikut (Aristania, 2020).

- RST, berfungsi sebagai yang mereset modul.
- ADC (*Analog Digital Converter*), rentang tegangan berkisar 0 sampai 1 V, dengan skup nilai digital 0 sampai 1024.

- c. EN: *chip enable, active high*.
- d. IO16:GPIO16, berfungsi untuk membangunkan *chipset* dari *mode deep sleep*.
- e. IO14:GPIO14;HSPI\_CLK.
- f. IO12:GPIO12;HSPI\_MISO.
- g. IO13:GPIO13;HSPI\_MOSI;UART0\_CTS.
- h. VCC:Catu daya 3,3 V (VDD).
- i. CS0:*Chip selection*.
- j. MISO:Slave *output*, Main *input*.
- k. IO9:GPIO9.
- l. IO10:GPIO10.
- m. MOSI:Main *output* slave *input*.
- n. SCLK:Clock.
- o. GND:Ground.
- p. IO15:GPIO15;MTDO;HSPICS;UART0\_RTS.
- q. IO2:GPIO2;UART1\_TXD.
- r. IO0:GPIO0.
- s. IO4:GPIO4.
- t. IO5:GPIO5.
- u. RXD:UART0\_RXD;GPIO3.
- v. TXD:UART0\_TXD;GPIO1.

## **2.12 Thingspeak**

*Thingspeak* merupakan sebuah *webserver* yang menyediakan layanan untuk penerapan dari sistem "*Internet of Things*". *Thingspeak* terdiri dari aplikasi dan API yang bersifat *open source* untuk menyimpan dan mengambil data dari berbagai perangkat yang menggunakan HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) melalui internet atau melalui LAN (*Local Area Network*). Selain itu *thingspeak* juga mampu menyediakan data *logger* sensor yang dikirimkan, aplikasi pelacakan lokasi dan jaringan sosial dari segala sesuatu yang terhubung ke internet dengan pembaruan status (Chwalisz, 2016 dalam Alfannizar dan Yusnita, 2018).



Gambar 13. Tampilan grafik *thingspeak*.  
(Sahuleka *et al.*, 2018).

*Thingspeak* termasuk salah satu sarana *Internet of Things* yang cukup digemari karena penggunaan dan pengoperasiannya yang mudah. Selain itu tampilan grafiknya dapat diatur sedemikian rupa hingga terlihat seperti yang diinginkan (Sahuleka *et al.*, 2018).