MONITORING MESIN SANGRAI KOPI *SEMI HOT AIR* SKALA RUMAHAN DENGAN MIKROKONTROLER

Dzikry Pramanda[1], Sri Nurhayati, S.Si., M.T[2]

Teknik Informatika – Universitas Komputer Indonesia
Jl. Dipatiukur 112-114 Bandung
E-mail: dzikrypramanda@yahoo.co.id[1], serieid@yahoo.com[2]

ABSTRAK

Proses sangrai kopi merupakan salah satu proses penting dalam pengolahan biji kopi yang akan menentukan kualitas biji kopi sangrai. Proses penyangraian yang dilakukan di Kedai Kopi 92 memerlukan dua orang tenaga kerja yang menyebabkan biaya produksi yang tinggi. Dalam proses penyangraian sering terjadi kesalahan dalam penentuan besar kecilnya power api yang digunakan mengacu kepada beberapa parameter yaitu waktu, suhu, kadar air, densitas dan banyaknya kopi yang disangrai. Solusi yang dapat diterapkan yaitu dengan membangun sistem monitoring mesin sangrai kopi yang dapat melakukan monitoring dan memberikan keputusan dalam kontrol mesin sangrai kopi. Sistem monitoring menerapakan *Fuzzy Logic* untuk pengambilan keputusanya dalam penggunaan power api, dan penggunaan Mikrokontroler Arduino sebagai penghubung anatara mesin sangrai kopi dengan sistem yang juga bertugas melakukan kontrol terhadap mesin sangrai kopi yang memiliki perangkat masukan dan keluaran. Sistem monitoring yang telah dirancang kemudian diimplementasikan terhadap mesin sangrai dan diuji atas fungsionalitasnya. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sistem monitoing mesin sangrai yang menggunakan mikrokontroler arduino dan menerapkan logika fuzzy dapat membantu menekan biaya produksi dengan mengurangi jumlah tenaga kerja dan dapat memberikan keputusan selama proses penyangraian dengan logika fuzzy.

Kata kunci: Sangrai kopi, Mikrokontroler, Arduino, *Fuzzy Logic*, Sensor.

.

1. PENDAHULUAN

Proses penyangraian kopi (*coffee roasting*) merupakan salah satu tahapan pengolahan kopi yang penting. Pada proses penyangraian ini terjadi pembentukan rasa dan aroma kopi yang akan menentukan kualitas kopi. Untuk mendapatkan kopi sangrai yang berkualitas dibutuhkan variabel-variabel yang tepat sebagai penentu dalam proses *roast*ing, diantaranya temperatur biji kopi, kadar air kopi, waktu sangrai, densitas kopi dan kuantitas kopi yang disangrai.

Proses penyangraian yang terjadi pada produksi skala rumah tangga atau kedai-kedai dirasa masih sangat rendah. Selain diperlukan tenaga kerja yang lebih yang hal ini dapat meningkatkan biaya produksi secara keseluruhan. Selama proses penyangraian terkadang penggunaan api pembakaran yang tidak tepat bisa menyebabkan terlalu lama atau cepatnya proses penyangraian, yang akhirnya menyebabkan hasil sangrai tidak sesuai dengan yang diharapkan. Karena itu, proses penyangraian pada mesin sangrai perlu diawasi dan dikontrol untuk menangani kendala tersebut.

Berdasarkan masalah yang telah dipaparkan, maka dibutuhkan sistem yang dapat memonitoring dan mengkontrol mesin sangrai kopi selama proses penyangraian. Sistem yang dibangun harus bisa melakukan *monitoring* terhadap mesin sangrai untuk medapatkan temperatur biji kopi dan variabel lainyahal tersebut dapat menggunakan mikrokontroler yang dapat mengintegrasikan mesin sangrai dengan sistem sehingga dapat memberikan informasi *temperature* biji kopi dengan menggunakan sensor suhu secara *realtime*. Karena temperatur biji kopi dan waktu yang didapat dari sensor suhu ditambah densitas, kadar air dan kuantitas kopi yang masuk akan menjadi faktor penentu penggunaan besarnya api pembakaran pada proses penyangraian. Setelah mendapatkan variabel-variabel tersebut akan diolah dengan menerapkan *Fuzzy logic* sebagai sistem pengambil keputusan, karena *Fuzzy logic* memiliki kemampuan mengatasi ketidakpastian yang muncul dalam pengambilan keputusan [2], yang mana ketidakpastian itu sering muncul pada proses penyangraian. Keluaran atau hasil dari *Fuzzy Logic* ini akan memberikan perintah kepada mikrokontroler untuk mengatur besar kecilnya *power* api pembakaran.

Oleh karena hal itu Mikrokontroler dan algoritma *Fuzzy* bisa menjadi solusi yang tepat untuk digunakan dalam sebuah sistem monitoring penyangraian kopi yang memberi keputusan atau apa yang harus dilakukan dalam proses penyangraian untuk mendapatkan *profile roast* atau tingkat kematangan yang diinginkan.

1.1 Penyangraian Kopi

Proses penyangraian adalah proses pembentukan rasa dan aroma pada biji kopi. Apabila biji kopi memiliki keseragaman dalam ukuran, *specific gravity*, tekstur, kadar air dan struktur kimia [4], maka proses penyangraian akan relatif lebih mudah untuk

dikendalikan. Kenyataannya, biji kopi memiliki perbedaan yang sangat besar, sehingga proses penyangraian merupakan seni dan memerlukan ketrampilan dan pengalaman sebagaimana permintaan konsumen.

Proses penyangraian dilakukan dengan menggunakan suhu yang tinggi. Proses penyangraian merupakan proses *pyrolysis* yang akan menaikan suhu biji kopi dari suhu ruangan menjadi 200^o sampai 230^o *celcius* biasanya memerlukan waktu 15 sampai 20 menit. Selama penyangraian biji kopi diaduk agar uap air cepat terbawa keluar dan panas terdistribusi secara seragam secara keseluruhan.

1.2 Mesin Sangrai

Mesin sangrai kopi pada dasarnya terdapat dua jenis yaitu drum atau disebut *semi hot air* dan *hot air*. Mesin sangrai kopi jenis drum atau semi *hot air* atau *indirectly heated drum* memiliki keunikan masing-masing sesuai dengan produsennya baik dari estetika, harga dan lain lain, namun semua memiliki fungsi yang sama yaitu memanaskan biji kopi dari suhu ruangan sampai $230^o C$. Salah satu bagian terpenting dari mesin sangrai kopi yaitu adalah drum sangrai dan juga *airflow*. Mesin sangrai *semi hot air* memiliki drum yang berputar secara horizontal untuk mengaduk biji kopi. Biasanya mesin sangrai drum ini mendapatkan sumber panasnya dari bahan bakar gas cair (LPG), dan paling banyak sumber panas berada di bawah drum mesin sangrai.

Ada beberapa jenis mesin sangrai yang umum digunakan saat ini yaitu *Air Roaster* dan *Drum Roaster*

1.3 Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler Arduino atau *Board Arduino* terdiri dari *hardware* / modul mikrokontroller yang siap pakai dan software IDE yang digunakan untuk memprogram kelebihan dari Arduino yaitu kita tidak direpotkan dengan rangkaian minimum sistem dan programmer karena sudah *built in* dalam satu board.

1.4 Sensor

Sensor adalah jenis tranduser yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Sensor sering digunakan untuk pendeteksian pada saat melakukan pengukuran atau pengendalian. Dalam penelitian ini sistem monitoring mesin sangrai kopi menggunakan beberapa jenis sensor antara lain Sensor suhu yang menggunakan *thermocouple K* dan modul MAX6675 yang berfungsi untuk membaca suhu biji kopi, sensor kadar air dengan *soil moisture* dan modul LM393 untuk mengukur kandungan air pada biji kopi dan sensor berat dengan menggunakan *load cell* dan HX7111 untuk mengukur berat dan densitas biji kopi.

1.5 Motor Servo

Motor Servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* dimana posisi dari motor akan diinformasikan kembali pada rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Struktur perangkatnya terdiri dari sebuah motor, rangkaian gigi, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran yang dihasilkan. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirimkan melalui kaki sinyal yang telah disediakan. Motor servo biasanya hanya bergerak mencapai sudut tertentu saja dan tidak bergerak kontinyu seperti motor DC maupun motor *stepper*.

1.6 Fuzzy Logic

Algoritma *Fuzzy logic* adalah algoritma yang mengandung unsur ketidakpastian, tidak seperti logika biasa yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, atau 0 atau 1. Himpunan *Fuzzy* adalah pengelompokan sesuatu bedasarkan parameter dan variabel bahasa atau linguistik variabel, yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan (*Universe of discourse*) U, fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *Fuzzy* tersebut bernilai antara 0.0 sampai dengan 1.0 Himpunan *Fuzzy* didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karateristik sedemikian rupa sehingga fungsi tersebut akan mencangkup bilangan real pada interval [0,1].

2. ISI PENELITIAN

2.1 Analisis

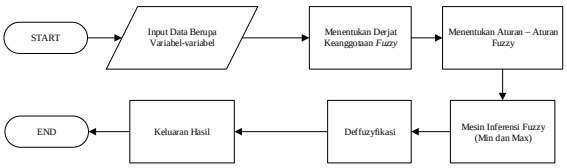
Dalam proses penyangraian permasalahan pada produksi penyangraian kopi memerlukan tenaga kerja lebih dan upah yang lebih tinggi. Terkadang juga hasil sangraian tidak sesuai dengan yang direncanakan yang dikarenakan tidak tepatnya penentuan variabel-variabel selama proses penyangraian.

Dari analisis masalah di atas, dibutuhkan sebuah sistem yang dapat mengamati mesin sangrai ketika penyangraian dan juga dibutuhkan algoritma *fuzzy* untuk yang dapat menentukan keluaran besaran *power* atau api ketika proses penyangraian

.

1. *Fuzzy Logic*

Cara kerja algoritma logika *Fuzzy* pada sistem monitoring mesin sangrai kopi memiliki 5 variabel yaitu Temperature Biji Kopi, Densitas Biji Kopi, Kadar Air Kopi, Kuantitas Kopi, Lama Waktu Penyangraian. Algoritma logika *Fuzzy* menerapkan 4 proses tahapan yaitu *Fuzzy*fikasi, pembuatan aturan dasar, penalaran dan defuzzifikasi. Berikut adalah ilustrasi logika *Fuzzy* yang diperoleh dari 5 variabel masukan dapat dijelaskan pada Gambar 1



Gambar 1 Alur Proses Algoritma *Fuzzy Logic*

2. Analisis Data Masukan

Data masukan yang dibutuhkan dalam sistem monitoring mesin sangrai ini adalah berupa variabel-variabel .Variabel-variabel masukan Logika *Fuzzy* pada sistem monitoring mesin sangrai ini antara lain temperatur biji kopi, densitas biji kopi, kadar air kopi, kuantitas kopi dan lama waktu penyangraian.

a. Variabel Temperatur Biji Kopi

Variabel temperature biji kopi didapatkan secara realtime dari mesin sangrai kopi melalui sensor suhu dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 1 Vairabel Temperatur Biji Kopi

Lama Waku Penyangraian		
No	Parameter	Rentang
1	Sangat Rendah	90º-120ºC
2	Rendah	100º-160ºC
3	Tinggi	150º-210ºC
4	Sangat Tinggi	190º-230oC

b. Densitas Biji Kopi

Variabel densitas kopi merupakan variabel yang didapat dengan menghitung *bulk density* kopi yang didapat dalam volume 1 liter dapat dilihat pada Tabel 2

Tabe l2 Vairabel Densitas Biji Kopi

Densitas Biji Kopi		
No	Parameter	Rentang
1	Very Low Density	550-625gr
2	Low Density	600-650gr
3	High Density	650-750gr
4	Very High Density	725-800gr

c. Kadar Air Kopi

Kadar air kopi dinilai dari kandungan kadar air yang terdapat pada biji kopi, variabel kadar air kopi bisa diketahui dengan menggunakan alat mouisture meter dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Vairabel Kadar Air Biji Kopi

Lama Waku Penyangraian		
No	Parameter	Rentang
1	Sangat Rendah	7%-10%
2	Rendah	9%-12%
3	Tinggi	11%-14%
4	Sangat Tinggi	13%-16%

d. Kuantitas Kopi

Variabel kuantitas kopi didapat dari sedikit atau banyaknya jumlah kopi yang masuk ke mesin sangrai kopi dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 4 Kuantitas Biji Kopi

Kuantitas Biji Kopi		
No	Parameter	Rentang
1	Sangat Sedikit	700-1000gr
2	Sedikit	800-1100gr
3	Banyak	1050-1350gr
4	Sangat Banyak	1200-1500gr

e. Lama Waktu Penyangraian

Variabel lama waktu penyangraian merupakan panjang atau pendeknya waktu penyangraian dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 5 Lama Waktu Penyangraian

Lama Waku Penyangraian		
No	Parameter	Rentang
1	Sangat Sebentar	6-9 menit
2	Sebentar	8-12 menit
3	Lama	11-15 menit
4	Sangat Lama	14-17 menit

3. Mendefinisikan Aturan Variabel Fuzzy

Keanggotaan himpunan temperatur biji kopi, densitas biji kopi, kadar air kopi, kuantitas kopi dan lama waktu penyangraian dicari menggunakan fungsi keanggotaan Fuzzy.

Berikut adalah cara untuk mendapatkan nilai keanggotaan berasarkan variabel linguistik dan variabel numerik yang digunakan

a. Temperatur Biji Kopi

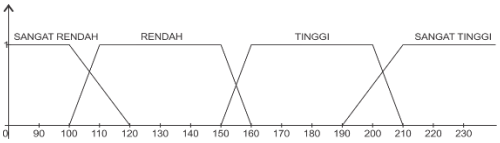
$$\mu SangatRendah\,[x] = \begin{cases} 1; & x \le 90 \\ \dfrac{120 - x}{120 - 100}; & 100 \le x \le 120 \\ 0; & x \ge 120 \end{cases}$$

$$\mu Rendah\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 150 \\ (x - 100)/(110 - 100); & 100 \le x \le 110 \\ 1; & 110 \le x \le 150 \\ (160 - x)/(160 - 150) & 150 \le x \le 160 \\ 0; & x \ge 160 \end{cases}$$

$$\mu Tinggi\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 150 \\ (x - 150)/(160 - 150); & 150 \le x \le 160 \\ 1; & 160 \le x \le 200 \\ (210 - x)/(210 - 200) & 200 \le x \le 210 \\ 0; & x \ge 210 \end{cases}$$

$$\mu SangatTinggi\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 190 \\ \dfrac{x - 190}{230 - 190}; & 190 \le x \le 230 \\ 1; & x \ge 230 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* variabel temperature biji kopi direprestasikan pada Gambar 2



Gambar 2 Fungsi Kenaggotaan Temperatur Biji Kopi

b. Densitas Biji Kopi

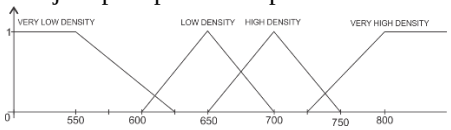
$$\mu VeryLowDensity[x] = \begin{cases} 1; & x \le 550 \\ \frac{625-x}{625-550}; & 550 \le x \le 625 \\ 0; & x \ge 625 \end{cases}$$

$$\mu LowDensity\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 600 \\ \frac{x-600}{650-600}; & 600 \le x \le 650 \\ \frac{700-x}{700-650}; & 650 \le x \le 700 \end{cases}$$

$$\mu HighDensity[x] = \begin{cases} 0; & x \le 650 \\ \frac{x-650}{700-650}; & 650 \le x \le 700 \\ \frac{750-x}{750-700}; & 700 \le x \le 750 \end{cases}$$

$$\mu VeryHighDensity\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 725 \\ \frac{x-725}{800-725}; & 725 \le x \le 800 \\ 1; & x \ge 800 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan himpunan fuzzy variabel densitas biji kopi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Fungsi Kenaggotaan Densitas Biji Kopi

c. Kadar Air Biji Kopi

$$\mu SangatRendah\,[x] = \begin{cases} 1; & x \le 7 \\ \frac{10-x}{10-7}; & 7 \le x \le 10 \\ 0; & x \ge 10 \end{cases}$$

$$\mu Rendah\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 9 \\ (x-9)/(10-9); & 9 \le x \le 10 \\ 1; & 10 \le x \le 11 \\ (12-x)/(12-11) & 11 \le x \le 12 \\ 0; & x \ge 12 \end{cases}$$

$$\mu Tinggi\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 11 \\ (x-11)/(12-11); & 11 \le x \le 12 \\ 1; & 12 \le x \le 13 \\ (13-x)/(14-13) & 13 \le x \le 14 \\ 0; & x \ge 14 \end{cases}$$

$$\mu SangatTinggi\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 13 \\ \frac{x-13}{16-13}; & 13 \le x \le 16 \\ 1; & x \ge 16 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan himpunan *Fuzzy* variabel Kadar air direprestasikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Fungsi Kenaggotaan Kadar Air Biji Kopi

d. Kuantitas Kopi

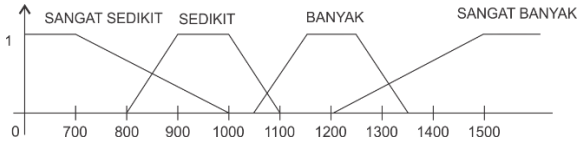
$$\mu Sedikit\,[x] = \begin{cases} 1; & x \le 700 \\ \frac{1000-x}{1000-700}; & 700 \le x \le 1000 \\ 0; & x \ge 1000 \end{cases}$$

$$\mu Sedang\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 800 \\ (x-800)/(900-800); & 800 \le x \le 900 \\ 1; & 900 \le x \le 1000 \\ (1100-x)/(1100-1000) & 1000 \le x \le 1100 \\ 0; & x \ge 1100 \end{cases}$$

$$\mu Banyak\,[x] \begin{cases} 0; & \\ \frac{(x-1050)}{1150-1050}; & x \le 1050 \\ 1; & 1050 \le x \le 1150 \\ \frac{1350-x}{1350-1250} & 1150 \le x \le 1250 \\ 0; & 1250 \le x \le 1350 \\ & x \ge 1350 \end{cases}$$

$$\mu SangatBanyak\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 1200 \\ \frac{x-1200}{1500-1200}; & 1200 \le x \le 1500 \\ 1; & x \ge 1500 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan himpunan *Fuzzy* dari variabel Kuantitas kopi direprestasikan pada Gambar 5



Gambar 5 Fungsi Kenaggotaan Kuantitas Biji Kopi

e. Lama Waktu Penyangraian

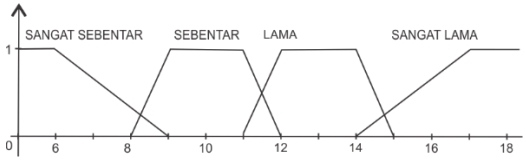
$$\mu SangatSebentar\,[x] = \begin{cases} 1; & x \le 6 \\ \frac{6-x}{9-6}; & 6 \le x \le 9 \\ 0; & x \ge 9 \end{cases}$$

$$\mu Sebentar\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 8 \\ \frac{x-8}{9-8} & 8 \le x \le 9 \\ 1; & 9 \le x \le 11 \\ \frac{12-x}{12-11} & 11 \le x \le 12 \\ 0; & 12 \le x \end{cases}$$

$$\mu Lama\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 11 \\ (x-11)/(12-11); & 11 \le x \le 12 \\ 1; & 12 \le x \le 14 \\ (15-x)/(15-14) & 14 \le x \le 15 \\ 0; & x \ge 15 \end{cases}$$

$$\mu SangatLama\,[x] = \begin{cases} 0; & x \le 14 \\ \frac{x-14}{17-14}; & 14 \le x \le 17 \\ 1; & x \ge 17 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan himpunan *Fuzzy* variabel lama waktu penyangraian direprestasikan pada Gambar 6



Gambar 6 Fungsi Kenaggotaan Lama Penyangraian Biji Kopi

Contoh Kasus, Dalam penyangraian Kopi Arabica dengan data yang dapat dijelaskan pada Tabel III.6

Tabel 6 Contoh Kasus Penyangraian Kopi

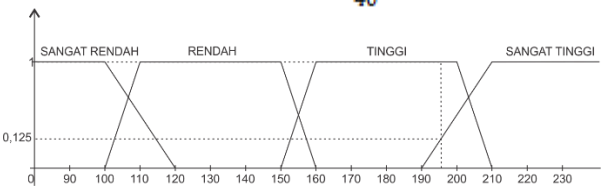
No	Variabel	Nilai
1	Temperatur Biji Kopi	195ºC
2	Densitas Biji Kopi	666gram
3	Kadar Air	12,7%
4	Kuantitas Kopi	1303gram
5	Lama Waktu Penyangraian	12:30

Berikut adalah contoh perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai keanggotaan dengan menggunakan contoh kasus pada table diatas:
Nilai keanggotaan himpunan *Fuzzy*:
Temperature Biji Kopi = 195ºC

$$\mu Tinggi\,[195°C] = \{1; \quad 160 \le 195 \le 200$$

$$\mu SangatTinggi\,[195°C] = \begin{cases} \dfrac{195-190}{230-190}; & 160 \le 195 \le 200 \end{cases}$$

$$\mu SangatTinggi\,[195°C] = \frac{5}{40} = 0{,}125$$

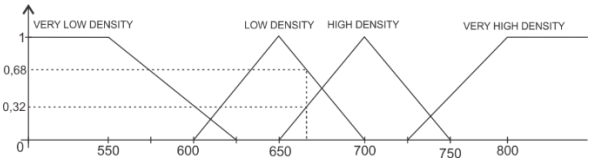


Gambar 7 Fungsi Keanggotaan dari Variabel Temperatur Biji Kopi 195ºC

Densitas Kopi = 666gr/Liter

$$\mu LowDensity\,[666] = \frac{700-666}{700-650}; \quad 650 \le x \le 700$$
$$= 0{,}68 \qquad 650 \le 666 \le 700$$

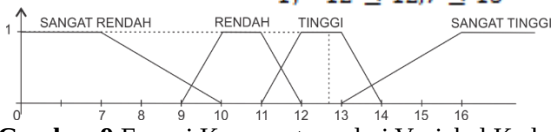
$$\mu HaighDensity[666] = \frac{666-650}{700-650}; \quad 650 \le x \le 700$$
$$= 0{,}32 \qquad 650 \le 666 \le 700$$



Gambar 8 Fungsi Keanggotaan dari Variabel Densitas Biji Kopi 666gram/liter

Kadar air kopi = 12,7%

$$\mu Normal\,[12,7] = 1; \quad 12 \le x \le 13$$
$$= 1; \quad 12 \le 12{,}7 \le 13$$

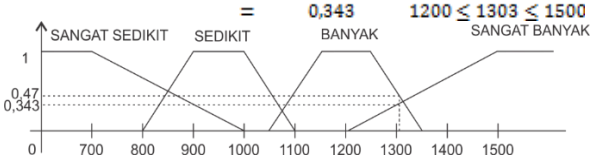


Gambar 9 Fungsi Keanggotaan dari Variabel Kadar Air Kopi 12,7%

Kuantitas Kopi = 1303gr

$$\mu Banyak\,[1303] = = \frac{1350-1303}{1350-1250}; \quad 1250 \le x \le 1350$$
$$= 0{,}47 \qquad 1250 \le 1303 < 1350$$

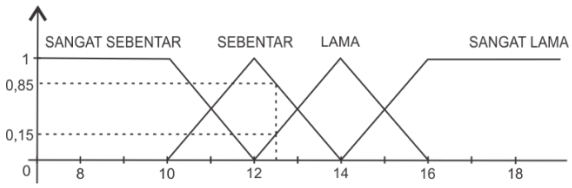
$$\mu SangatBanyak\,[1303] = \frac{1303-1200}{1500-1200}; \quad 1200 \le x \le 1500$$
$$= 0{,}343 \qquad 1200 \le 1303 \le 1500$$



Gambar 10 Fungsi Keanggotaan dari Variabel Densitas Kuantitas Kopi 1303gram

Nilai keanggotaan himpunan *Fuzzy* RENDAH, SEDANG, TINGGI dan SANGAT TINGGI dari variabel Lama Penyangraian dapat dicari dengan:
Lama Penyangraian = 12:30

$$\mu Lama[12{,}5] = 1; \qquad 12 \le x \le 14$$



Gambar 11 Fungsi Keanggotaan dari Variabel Lama Waktu Penyangraian

4. Pembentukan *Rule Base*

Penentuan aturan dasar atau *rule base* yang terpenuhi setelah penentuan fungsi keanggotaan variabel dari contoh kasus diatas. Berdasarkan data-data yang ada, dapat dibentuk aturan-aturan sesuai kondisi yang terpenuhi sebagai berikut

a. IF Temperatur Biji Kopi Tinggi AND Densitas Low Density AND Kadar Air Tinggi AND Kuantitas Banyak AND Lama Penyangraian Lama THEN Power Rendah
b. IF Temperatur Biji Kopi Tinggi AND Densitas Low Density AND Kadar Air Tinggi AND Kuantitas Sangat Banyak AND Lama Penyangraian Lama THEN Power Tinggi
c. IF Temperatur Biji Kopi Tinggi AND Densitas High Density AND Kadar Air Tinggi AND Kuantitas Banyak AND Lama Penyangraian Lama THEN Power Tinggi
d. IF Temperatur Biji Kopi Tinggi AND Densitas High Density AND Kadar Air Tinggi AND Kuantitas Sangat Banyak AND Lama Penyangraian Lama THEN Power Tinggi

5. Tahap Mesin Inferensi

Pada tahapan ini sistem terdiri dari kumpulan dan korelasi antar aturan-aturan yang terpenuhi sebagai berikut:

a. [R1] **IF** Temperature Biji Kopi **Tinggi AND** Density Kopi **Low Densitys AND** Kadar Air **Tinggi AND** Kuantitas Kopi **Banyak AND** Lama Waktu Penyangraian **Lama THEN** Power **Rendah**

$$\alpha - pred_1 = \begin{matrix} \\ = \\ = \end{matrix} \begin{matrix} \mu Tinggi \cap SoftBeans \cap KadarAir \cap KuantitasKopi \cap LamaWaktuPenyangraian \\ MIN(\mu Tinggi[195]; \mu LowDensity[666]; \mu Tinggi[12,7]; \mu Banyak[1303]; Lama[12,5]) \\ MIN(1;0,68;1;0,47;1) = 0,47 \end{matrix}$$

b. [R2] **IF** Temperature Biji Kopi **Tinggi AND** Density Kopi **Low Densitys AND** Kadar Air **Tinggi AND** Kuantitas Kopi **Sangat Banyak AND** Lama Waktu Penyangraian **Lama THEN** Power **Tinggi**

$$\alpha - pred_2 = \begin{matrix} \\ = \\ = \end{matrix} \begin{matrix} \mu Tinggi \cap SoftBeans \cap KadarAir \cap KuantitasKopi \cap LamaWaktuPenyangraian \\ MIN(\mu Tinggi[195]; \mu LowDensity[666]; \mu Tinggi[12,7]; \mu Banyak[1303]; Lama[12,5]) \\ MIN(1;0,68;1;0,343;1) = 0,343 \end{matrix}$$

c. [R3] **IF** Temperature Biji Kopi **Tinggi AND** Density Kopi **High Density AND** Kadar Air **Normal AND** Kuantitas Kopi **Banyak AND** Lama Waktu Penyangraian **Lama THEN** Power **Tinggi**

$$\alpha - pred_3 = \begin{matrix} \\ = \\ = \end{matrix} \begin{matrix} \mu Tinggi \cap HardBeans \cap KadarAir \cap KuantitasKopi \cap LamaWaktuPenyangraian \\ MIN(\mu Tinggi[195]; \mu HardBeans[666]; \mu Normal[12,7]; \mu Banyak[1308]; Lama[12,5]) \\ MIN(1;0,32;1;0,47;1) = 0,32 \end{matrix}$$

d. [R4] **IF** Temperature Biji Kopi **Tinggi AND** Density Kopi **High Density AND** Kadar Air **Normal AND** Kuantitas Kopi **Sangat Banyak AND** Lama Waktu Penyangraian **Lama THEN** Power **Tinggi**

$$\alpha - pred_4 = \begin{matrix} \\ = \\ = \end{matrix} \begin{matrix} \mu Tinggi \cap HardBeans \cap KadarAir \cap KuantitasKopi \cap LamaWaktuPenyangraian \\ MIN(\mu Tinggi[195]; \mu HardBeans[666]; \mu Normal[12,7]; \mu Banyak[1308]; Lama[12,5]) \\ MIN(1;0,32;1;0,343;1) = 0,32 \end{matrix}$$

6. Komposisi Aturan

Komposisi aturan dengan metode MAX untuk melakukan komposisi antar semua aturan. Berikut ini adalah daerah solusi fuzzy yang didapat dari proses fungsi implikasi.

$$\mu_{sf}(z) = \mu Rendah(z), \mu Tinggi(z)$$
$$= \max\{0.47, 0.343, 0.32\}$$

Proses selanjutnya adalah menentukan fungsi keanggotaan dari himpunan Fuzzy Rendah dan Tinggi.

a. Rendah

Ketika nilai $\mu Rendah(z) = 0{,}343$ maka dapat ditentukan nilai Z dengan mengacu persamaan

$$\frac{z - 20}{30 - 20} = 0.343$$

Maka nilai Z = 23,43

Ketika nilai $\mu Rendah(z) = 0.47$, maka dapat ditentukan nilai Z dengan mengacu pada persamaan:

$$\frac{60 - z}{60 - 50} = 0.47$$

Maka Nilai Z = 55.3

b. Tinggi

Ketika nilai $\mu SangatRendah(z) = 0.32$, maka dapat ditentukan nilai Z dengan mengacu pada persamaan:

$$\frac{z - 40}{50 - 40} = 0.32$$

Maka nilai Z = 43.2 dan $\frac{80 - z}{80 - 70} = 0.32$ maka nilai Z = 76.8

Dengan demikian fungsi keanggotaan hasil komposisi aturan adalah sebagai berikut:

$$\mu PowerApi = \begin{cases} 0.343; & 20 < z < 23.43 \\ \frac{60 - z}{60 - 50}; & 23.43 < z < 40 \\ 0.47 & 40 < z < 50 \\ \frac{80 - z}{80 - 70}; & 50 < z < 76.8 \\ 0.32; & 76.8 < z < 80 \end{cases}$$

7. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi merupakan proses dimana data yang sudah dijadikan data fuzzy diubah kembali ke dalam bentuk *crips* atau nilai tegas dengan menggunakan metode *centroid*

Centroid menentukan:

$$Z = \frac{\int_a^b Z_i \, \mu(z) \, dz}{\int_a^b \mu(z) \, dz}$$

Z= Nilai De*Fuzzy*fikasi

$\mu(z)$ = Nilai derajat keanggotaan

Zi= Nilai Domain dari Variabel Linguistik

Nilai De*Fuzzy*fikasi:

$$Z = \frac{0.343 \, z \, dz + \frac{60 - z}{60 - 50} z \, dz + 0.47 \, z \, dz + \frac{80 - z}{80 - 70} z \, dz}{0.125 \, dz + \frac{60 - z}{60 - 50} \, dz + 0.47 \, dz + \frac{80 - z}{80 - 70} dz}$$

$= \frac{318{,}7261}{1}$ = 43,1630 Berada pada tingkat *power* Api (Tinggi)

Nilai yang didapat dari *Fuzzy*fikasi selanjutnya digunkan untuk penentuan dengan aturan sebagai berikut:

Tabel 7 Hasil Defuzzyfikasi Penyangraian Kopi

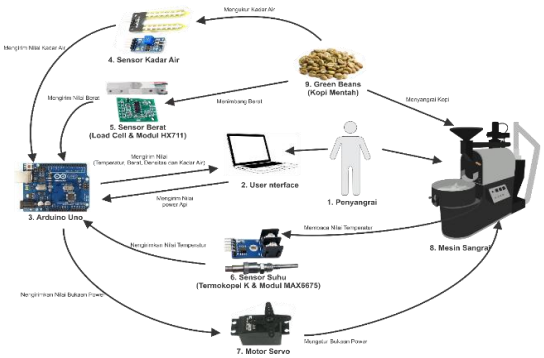
No	Hasil	Nilai
1	Sangat Rendah	10-30
2	Rendah	20-60
3	Tinggi	40-80
4	Sangat Tinggi	70-90

Dari tabel 7 dijelaskan bahwa hasil nilai dari proses defuzzyfikasi untuk mendapat kan nilai Z menggunakan *Centroid* mendapatkan nilai 43,1630 dan nilai 43,1630 yang berate penggunaan power api harus Tinggi.

8. Arsitektur Sistem

Sistem monitoring mesin sangrai kopi yang dibangun terdiri dari tiga bagian. Pertama *Personal Computer* atau laptop, sebagai *User Interface* dan juga sebagai kontrol dari mikrokontroler yang digunakan. Kedua Mikrokontroler digunakan sebagai penghubung antara *User Interface* atau *Personal Computer* dengan Mesin Sangrai. Ketiga Mesin

sangrai sebagai obyek yang dimonitori oleh Mikrokontroler yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Arsitektur Sistem Monitoring Mesin Sangrai Kopi

2.2 Implementasi

Pada tahap ini wujud dari hasil implementasi pada penelitian ini berupa *prototype* Sistem Monitoring Mesin Sangrai Kopi yang diimplementasikan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang dijelaskan pada Tabel 8

Tabel 8 Implementasi Pearngkat Keras dan Perangkat Lunak

Nama Perangkat	Spesifikasi
Personal Computer / Notebook	CPU 2.1Ghz 2GB RAM *memory* 90GB *Free Space Hard disk*
Mikrokontroler	Arduino Uno tipe DIP (*Dual Inline Package*)
Sensor Suhu	*Thermocouple type K* Modul MAX6675
Sensor Berat	*Load Cell* 5Kg, Modul HX711
Sensor Kadar Air	Soil Moisture Sensor LM393 chip
Motor Servo	MG946R RC *Metal Gear Servo*
Mesin Sangrai Kopi	Tipe *Drum Roaster* Kapasitas 2Kg
Kabel Koneksi USB	USB *type A to type B*
Windows 8	Sistem Operasi
Visual Studio 2013	Perangkat lunak untuk pengembangan aplikasi *windows form* pada *personal computer*
Arduino IDE	Perangkat lunak untuk program pembangun pada mikrokontroler arduino
WAMP Server	*Web server* / penyedia MySql

2.3 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan membandingkan proses penyangraian yang menggunakan sistem monitoring dengan proses penyangraian tanpa menggunakan sistem monitoring.

Berikut Hasil pengujian perbandingan antara penyangraian kopi menggunakan sistem monitoring dengan penyangraian kopi tanpa menggunakan sistem monitoring

Tabel 9 Hasil Pengujian Perbandingan Penyangraian

	Penyangraian Dengan Sistem Monitoring Mesin Sangrai		Penyangraian Tanpa Sistem Monitoring Mesin Sangrai	
Waktu	Temperatur	Nilai Fuzzy (sudut putaran Keran Gas)	Temperatur	Sudut Putaran Keran Gas
00:00	215	44,7728	215	75
00:30	132	71,7972	135	75
01:00	105	71,7972	107	75
01:30	108	71,7972	111	75
02:00	116	71,7972	120	70
02:30	125	71,7972	128	70
03:00	132	71,7972	135	70
03:30	139	71,7972	141	70
04:00	146	71,7972	147	70
04:30	152	71,7972	152	70
05:00	158	71,7972	158	70
05:30	163	71,7972	163	70
06:00	168	71,7972	167	70
06:30	172	71,7972	171	70
07:00	176	71,7972	175	60
07:30	180	71,7972	179	60
08:00	184	71,7972	183	60
08:30	187	71,7972	187	60
09:00	192	58,8048	191	45
09:30	196	51,5110	195	45
10:00	199	44,7728	197	45
10:30	202	44,7728	199	45
11:00	205	44,7728	201	45

Berikut perbandingan daya yang digunakan pada penyangraian dengan menggunakan sistem monitoring dan penyangraian tanpa menggunakan sistem monitoring yang dapat dilihat pada Tabel

Tabel 10 Perbandingan Konsumsi Daya

	Penyangraian Dengan Sistem Monitoring Mesin Sangrai	Penyangraian Tanpa Sistem Monitoring Mesin Sangrai
Daya PC / Laptop	(19V x 3.42A) = 64,98 Watt = 0,6498 kWh	(19V x 3.42A) = 64,98 Watt = 0,6498 kWh
Daya Mikrokontroler dengan Adaptor	(12V x 1A) = 12Wat =0,012 kWh	-
Biaya per kWh	Rp 1.467,28	Rp 1.467,28
Lama Pemakaian	30 hari (6 jam/hari)	30 hari (6 jam/hari)
Biaya Pemakaian Listrik (per bulan)	(((0,6498 x 1.467,28)+(0,012 x 1.467,28)) x 6 x 30) = Rp 174.788,263	(((0,6498 x 1.467,28) x 6 x30) =Rp 171.618,938
Biaya Upah Pekerja	1 Orang (Rp 1.250.000/bulan)	2 Orang (Rp 2.500.000/bulan)
Total Biaya Keseluruhan	= Pemakaian Listrik + Upah = Rp 174.788,263 + 1.250.000 = Rp 1.424.788,263	= Pemakaian Listrik + Upah = Rp 171.618,938 + 2.500.000 = Rp 2.671.618,94

Berdasarkan simulai yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penyangraian dengan menggunakan sistem dapat mengambil keputusan penggunaan besar kecilnya power api selama proses penyangraian yang tidak jauh berbeda dengan penyangraian yang tanpa menggunakan sistem monitoring atau manual. Dapat disimpulkan pula bahwa biaya produksi penyangraian menggunakan sistem monitoring dapat menekan biaya produksi keseluruhan hampir 53% dibandingkan dengan penyangraian tapna menggunakan sistem monitoring.

1. PENUTUP

Berdasarkan hasil impelentasi dan pengujian pada mikrokontroler logika fuzzy pada sistem monitoring mesin sangrai dapat memenuhi tujuan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. mikrokontroler dapat melakukan monitoring dan melakukan kontrol pada mesin sangrai kopi selama proses penyangraian, sehingga membantu mengurangi tenaga kerja dengan dan menekan biaya produksi keseluruhan**.**
2. Sistem dapat memberi keputusan atau apa yang harus dilakukan pada proses penyangraian dalam pengaturan besar kecilnya power api yang digunakan, dengan catatan penggunaan sensor kadar air yang dapat mengukur kadar air pada kopi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. Yusdialli, "PENGARUH SUHU DAN LAMA PENYANGRAIAN TERHADAP TINGKAT KADAR AIR DAN KEASAMAN KOPI RUBUSTA".

[2] S. Kusuma Dewi, dalam *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Mendukung Keputusan*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2004.

[3] R. S Pressman, Software Engineering A Practitioner's Approach, New York: Mc Graw Hill, 2011.

[4] J. W. Nugroho, J. Lumbanbantu dan S. Rahayoe, "PENGARUH SUHU DAN LAMA PENYANGRAIAN TERHADAP SIFAT FISIK-MEKANIS BIJI ROBUSTA," *Makalah Bidang Teknik Produk Pertanian,* pp. A217-A225, 2009.

[5] H. Santoso, dalam *Panduan Praktis Arduino Untuk Pemula*, Terenggalek, Elang Sakti, 2016.

[6] "eBLDC DC Motor Control Basic," 22 Agustus 2009. [Online]. Available: http://ebldc.com/?p=34. [Diakses 17 Juni 2017].

[7] R. Miles dan K. Hamilton, "Learning UML 2.0," Sebastopol, O'Reilly Media, 2006.