



TESIS - TE142599

**RANCANG BANGUN
MESIN PEMANGGANG BIJI KOPI
BERBASIS *IMAGE PROCESSING* DAN AKUSTIK**

FATHURROZI WINJAYA
NRP 2214204002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, S.T. M.T.
Ir. Djoko Purwanto, M.Eng. Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

**RANCANG BANGUN
MESIN PEMANGGANG BIJI KOPI
BERBASIS *IMAGE PROCESSING* DAN AKUSTIK**

FATHURROZI WINJAYA
NRP 2214204002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST. MT.
Ir.Djoko Purwanto, M.Eng. Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

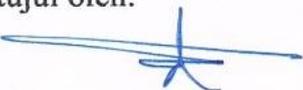
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Fathurrozi Winjaya
NRP. 2214204002

Tanggal Ujian : 31 Mei 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

- 
1. Dr. Muhammad Rivai, ST. MT. (Pembimbing I)
NIP: 19690426 199403 1 003
 2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng. Ph.D (Pembimbing II)
NIP: 19651211 199002 1 002
 3. Dr. Tri Arief Sadjono, ST. MT. (Penguji)
NIP: 19700212 199512 1 001
 4. Achmad Arifin, S.T. M.Eng. Ph.D (Penguji)
NIP: 19710314 199702 1 001
 5. Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D (Penguji)
NIP: 19810118 200312 1 003

Dekan Fakultas Teknologi Elektro



Dr. Tri Arief Sadjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“RANCANG BANGUN MESIN PEMANGGANG BIJI KOPI BERBASIS *IMAGE PROCESSING* DAN AKUSTIK”** 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, 18 Juli 2017



Fathurrozi Winjaya

NRP. 2214204002

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

RANCANG BANGUN MESIN PEMANGGANG BIJI KOPI BERBASIS *IMAGE PROCESSING* DAN AKUSTIK

Nama mahasiswa : Fathurrozi Winjaya
NRP : 2214204402
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST. MT.
2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng. Ph.D

ABSTRAK

Biji kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan tradisional yang mempunyai peran penting dalam perekonomian Indonesia diantaranya robusta dan arabika. Selama ini yang ada di pasaran pemanggang biji kopi hanya berdasarkan suhu dengan waktu. Dengan menggunakan warna dan suara itu tidak tergantung pada kondisi awal biji kopi seperti tingkat kelembapan. Sehingga pada penelitian ini akan dikembangkan sistem pemanggang biji kopi dengan menggunakan teknologi *image processing* digabungkan dengan sensor akustik yang akan sangat membantu meningkatkan kualitas hasil pemanggangan biji kopi.

Alat pemanggang yang digunakan berjenis oven dan elemen pemanas yang dikontrol pada suhu 270 °C yang disesuaikan dengan jenis biji kopi Arabika Kayu Mas dan Robusta Sumberasin selama sepuluh menit. Dalam proses pemanggangan tersebut dimonitoring oleh kamera dan mikrofon yang dipasang dengan jarak 15cm dari pemanggang. Kamera digunakan untuk monitoring warna biji kopi dengan RGB dan mikrofon digunakan untuk monitoring suara keretakan. Dari proses sistem RGB dapat ditentukan tingkat kematangan *Vienna* pada saat pemanggangan. Pada monitoring suara diproses dengan sistem VAD (*Voice Activity Detection*) untuk memisahkan suara keretakannya dan diproses menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*). Keduanya mempunyai frekuensi yang berbeda. Frekuensi dominan suara keretakan pertama 5khz, sedangkan suara keretakan yang kedua mempunyai frekuensi dominan 10khz. Pengujian identifikasi suara keretakan menggunakan neural network mempunyai tingkat keberhasilan 100% pada (*Mean Square Error*) MSE 0,001 untuk biji kopi Arabika dan 80% untuk biji kopi Robusta. Pada penelitian ini suara keretakan kedua dijadikan sebagai parameter kematangan.

Kata Kunci: Akustik, *Image Processing*, Kopi, Pemanggang.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DESIGN OF COFFEE ROASTER BASED ON IMAGE PROCESSING AND ACOUSTIC

By : Fathurrozi Winjaya
Student Identity Number : 2214204002
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST. MT.
2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng. Ph.D

ABSTRACT

The coffee bean is one of the traditional plantation commodities that have an important role in the Indonesia's economics, such as robusta and arabika. All this time in the market, coffee bean roaster only based on temperature and time. It does not depend on the initial condition of coffee beans such as moisture level because it only uses color and sound. So in this study will be developed a coffee bean system by using image processing technology coupled with acoustic sensors that will greatly help improve the quality of roasted coffee beans.

The roaster used in this research is an oven type roaster and controllable heating element at a temperature of 270 °C adjusted for Arabica Kayu Mas and Robusta Sumberasin coffee beans for ten minutes. The roasting process is monitored by camera and microphone mounted with a distance of 15cm from the roaster. The camera is used for monitoring the color of coffee beans with RGB and microphones are used for the monitoring of cracking sounds. From the process of the RGB system can be determined the level of maturity of Vienna at the roasting time. Sound monitoring is processed by using a VAD (Voice Activity Detection) system to separate the cracking sounds and process it using FFT (Fast Fourier Transform). Both have different frequencies. The dominant frequency of the first cracking sound is 5khz, while the second cracking sound has 10khz dominant frequency. The cracking identification test using neural network has a success rate of 100% at MSE 0,001 for Arabica coffee beans and 80% of Robusta coffee beans. The sound of the second crack can be used as a parameter of maturity.

Keywords: Acoustic, Image Processing, Coffee, Roaster

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya lah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“Rancang Bangun Mesin Pemanggang Biji Kopi Berbasis *Image Processing* dan Akustik”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada bidang keahlian Elektronika, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya tesis ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Muhammad Rivai, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Tesis yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng selaku Dosen Pembimbing dan Sekertaris Jurusan yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Elektro – ITS, dan selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
4. Bapak Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Prodi Teknik Biomedik dan selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
5. Bapak Ronny Mardiyanto S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
6. Pimpinan dan civitas akademika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Elektro – ITS.
7. Ibu, Ayah, dan saudaraku, atas segala dukungan dan doanya hingga terselesaikannya tesis ini.
8. Teman-teman seperjuangan Pasca Elektro 2014, serta teman-teman antar jurusan terima kasih atas bantuan, kebersamaan, persahabatan serta motivasi yang tiada henti demi terselesaikannya tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih terdapat kekurangan, dan penulis berharap semoga tesis ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Surabaya, 18 Juli 2017

Penulis

Fathurrozi Winjaya

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Kontribusi	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Pemanggangan Kopi Dengan Penaksiran Warna dan Permukaan	7
2.2 Pemanggang Biji Kopi Secara Akustik	10
2.3 Optimasi Pemanggangan Biji Kopi Arabika	11
2.4 Optimasi Pemanggangan Biji Kopi Robusta	13
2.5 Biji Kopi	15
2.5.1 Teknik Pemanggangan Biji Kopi	16
2.6 Pengolahan Citra	21
2.7 Pemrosesan Sistem Akustik	22
2.7.1 <i>Voice Activity Detection (VAD)</i>	22
2.7.2 <i>Windowing</i>	22
2.7.3 <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i>	23
2.7.4 <i>Neural Network (NN)</i>	23
2.8 Kontrol PID	27
2.9 <i>Fishbone</i> Penelitian	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Studi Literatur	32

3.2	Mesin Pemanggang Biji Kopi	34
3.2.1	Desain Mesin Pemanggang	34
3.2.2	Sensor Suhu dan Driver Pemanas.....	36
3.2.3	Kontrol PID	38
3.3	Penentuan Tingkat Hasil Pemanggaan Pada Biji Kopi	39
3.4	Identifikasi Suara Keretakan	42
3.4.1	Voice Activity Detection (VAD).....	43
3.4.2	<i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	45
3.4.3	<i>High Pass Filter</i> (HPF)	46
3.4.4	<i>Neural Network</i>	46
3.4.5	Backpropagation.....	47
3.5	Desain User Interface	49
3.6	Prosedur pengambilan data	53
3.6.1	Pengujian Kontrol Suhu	53
3.6.2	Pengujian Parameter Citra.....	53
3.6.3	Pengujian Parameter Suara.....	54
3.6.4	Pengambilan Data Pembelajaran Neural Network	55
3.6.5	Prosedur Pembelajaran Neural Network	56
3.6.6	Prosedur Identifikasi Suara Keretakan	57
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1	Pengujian Kontrol Suhu	59
4.1.1	Tujuan Pengujian.....	59
4.1.2	Prosedur Pengujian.....	59
4.1.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	61
4.2	Pengujian Sistem Identifikasi Rata-Rata RGB.....	63
4.2.1	Tujuan Pengujian.....	63
4.2.2	Prosedur Pengujian.....	64
4.2.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	64
4.3	Pengujian Sistem Identifikasi Tingkat Kematangan Biji Kopi	65
4.3.1	Tujuan Pengujian.....	65
4.3.2	Prosedur pengujian	65
4.3.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	65
4.4	Pengujian Fenomena Suara Keretakan.....	67

4.4.1	Tujuan Pengujian	67
4.4.2	Prosedur Pengujian	67
4.4.3	Hasil Pengujian dan Analisa	67
4.5	Pengujian <i>Voice Activity Detection</i> (VAD)	69
4.5.1	Tujuan Pengujian	69
4.5.2	Prosedur Pengujian	69
4.5.3	Hasil Pengujian dan Analisa	70
4.6	Pengujian Fast Fourier Transform (FFT).....	72
4.6.1	Tujuan Pengujian	72
4.6.2	Prosedur Pengujian	72
4.6.3	Hasil dan Analisa	72
4.7	Pengujian Sistem Identifikasi Neural Network.....	74
4.7.1	Tujuan Pengujian	74
4.7.2	Prosedur Pengujian	74
4.7.3	Hasil Pengujian dan Analisa	74
4.8	Pengujian Neural Network Sebagai Pengenalan Suara Keretakan	77
4.8.1	Tujuan Pengujian	77
4.8.2	Prosedur Pengujian	77
4.8.3	Hasil Pengujian dan Analisa	77
BAB 5 PENUTUP		79
5.1	Kesimpulan	79
5.2	Saran	80
DAFTAR PUSTAKA		81
RIWAYAT HIDUP PENULIS		83

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok diagram peralatan yang digunakan dalam pengukuran warna dan permukaan.....	9
Gambar 2.2 Biji kopi selama proses pemanggangan dengan suhu udara tetap pada 230 C.....	9
Gambar 2.3 Spektrum tekanan akustik selama 10 kejadian keretakan pertama dan kedua.....	10
Gambar 2.4 Tingkat kejadian keretakan oleh keretakan pertama dan kedua dengan fungsi waktu selama pemanggangan	11
Gambar 2.5 3D plot permukaan (a) <i>2-methylpyrazine</i> , <i>2,3-dimethylpyrazine</i> , (b) <i>2,5-dimethylpyrazine</i> , <i>2,3,5-trimethylpyrazine</i>	14
Gambar 2.6 Hubungan derajat <i>roasting</i> dengan suara keretakan.	19
Gambar 2.7 Hubungan antara nilai <i>Colortrack</i> , <i>agtron</i> , dengan <i>LaB</i>	20
Gambar 2.8 <i>Neural Network</i> (a) model <i>Multilayer Preceptron Neural Network</i> (b) tahap <i>feed forward</i> (c) tahap <i>backpropagation</i>	24
Gambar 2.9 Diagram blok sistem kontrol PID.	27
Gambar 2.10 <i>Fishbone diagram</i> penelitian.....	29
Gambar 3.1 Diagram blok tahap pelaksanaan penelitian.....	31
Gambar 3.2 Diagram blok perangkat keras.....	33
Gambar 3.3 Diagram blok algoritma sistem mesin pemanggang.	33
Gambar 3.4 Desain oven pemanggang.....	35
Gambar 3.5 Desain dan bentuk fisik silinder pengaduk.	35
Gambar 3.6 Bentuk fisik MAX6675 Termokopel Tipe-K.....	36
Gambar 3.7 Bentuk fisik kawat nikelin 1500 Watt.....	37
Gambar 3.8 Bentuk fisik rangkaian driver pemanas.....	37
Gambar 3.9 Skematik rangkaian driver pemanas.	38
Gambar 3.10 Diagram blok kontrol suhu.....	38
Gambar 3.11 Diagram blok untuk mendapatkan parameter warna biji kopi selama pemanggangan.	40
Gambar 3.12 Klasifikasi level warna pada kematangan biji kopi.....	40

Gambar 3.13 <i>Flowchart</i> proses menentukan kematangan biji kopi.	41
Gambar 3.14 Blok pengenalan suara keretakan.	42
Gambar 3.15 Topologi perancangan <i>Neural Network</i>	48
Gambar 3.16 Diagram alir pelatihan neural network dengan banyak pola	50
Gambar 3.17 Desain interface perangkat lunak (a) Main Program, (b) Neural Network, (c) PID	53
Gambar 3.18 Contoh pengujian dengan menggunakan aplikasi frequency generator.....	54
Gambar 3.19 Susunan data pembelajaran pada dnn.xls	55
Gambar 3.20 Susunan data target output pada tnn.xls	56
Gambar 3.21 Gambar hasil pembelajaran <i>Neural Network</i>	56
Gambar 4.1 Skema pengujian sensor MAX6675 Termokopel tipe-K	60
Gambar 4.2 Skema pengujian kontrol suhu MAX6675 Termokopel tipe-K	60
Gambar 4.3 Pembacaan suhu termometer analog	61
Gambar 4.4 Grafik respon suhu, (a) <i>Set Point</i> 100°C; (b) <i>Set Point</i> 150°C; (c) <i>Set Point</i> 200°C; (d) <i>Set Point</i> 250°C; (e) <i>Set Point</i> 300°C.	63
Gambar 4.5 Contoh hasil pengujian dengan kertas berwarna merah	64
Gambar 4.6 Contoh hasil pengujian RGB pada tingkat kematangan biji kopi.....	66
Gambar 4.7 Hasil pengujian RGB pada tingkat kematangan biji kopi	66
Gambar 4.8 Warna biji kopi selama pemanggangan terhadap waktu	67
Gambar 4.9 Pengujian fenomena keretakan biji kopi: (a) Arabika, (b) Robusta ..	69
Gambar 4.10 Pengujian sistem FFT dengan menggunakan aplikasi frekuensi generator terhadap mikrofon dan sistem FFT	73
Gambar 4.11 <i>Source signal</i> dan hasil FFT dari sampel suara keretakan pertama. 75	
Gambar 4.12 <i>Source signal</i> dan hasil FFT dari sampel suara keretakan kedua	76
Gambar 4.13 Contoh hasil pengujian tingkat kematangan biji kopi	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Evaluasi sensor pada pemanggangan biji kopi arabika.....	12
Tabel 2.2 Perancangan CCD pada parameter suhu dan durasi pada pemanggangan biji kopi robusta.....	14
Tabel 2.3 Ekspor negara tujuan Indonesia tahun 2002-2005.....	15
Tabel 2.4 Jumlah produksi dan ekspor biji kopi Indonesia tahun 2000-2005.	16
Tabel 2.5 Komposisi kimia biji kopi kering.	16
Tabel 2.6 Tingkatan kematangan berdasarkan warna dan karakteristiknya.	18
Tabel 3.1 Perencanaan keluaran perintah suara.	46
Tabel 3.2 Hasil perubahan nilai Lab ke RGB terhadap tingkat kematangan.....	54
Tabel 4.1 Efek yang disebabkan oleh parameter kontrol PID	63
Tabel 4.2 Data pengujian kertas berwarna dan cahaya pada citra	64
Tabel 4.3 Data pengujian RGB pada tingkat kematangan biji kopi.....	65
Tabel 4.4 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 12.72 dB	70
Tabel 4.5 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 6 dB	71
Tabel 4.6 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 1.12 dB	71
Tabel 4.7 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 0.78 dB	72
Tabel 4.8 Suara frekuensi terhadap sistem FFT.....	73
Tabel 4.9 Hasil pengujian <i>neural network</i>	75
Tabel 4.10 Pengujian untuk identifikasi suara keretakan jenis biji kopi robusta..	78
Tabel 4.11 Pengujian untuk identifikasi suara keretakan jenis biji kopi Arabika.	78

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biji kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan tradisional yang mempunyai peran penting dalam perekonomian Indonesia. Peran tersebut antara lain sebagai sumber perolehan devisa, penyedia lapangan kerja, dan sebagai sumber pendapatan bagi petani biji kopi maupun pelaku ekonomi lainnya yang terlibat dalam budi daya, pengolahan, maupun dalam mata rantai pemasaran.

Di dunia perbiji kopian internasional, posisi Indonesia dinilai cukup strategis di mana Indonesia merupakan negara pengekspor biji kopi terbesar ketiga setelah Vietnam dan Brazil. Produktivitas biji kopi Indonesia sebesar 11.250 ton pertahun cukup rendah bila dibandingkan dengan negara produsen biji kopi di dunia seperti Brazil (50.826 ton pertahun) dan Vietnam (22.000 ton pertahun). (Ngabirano, 2011).

Jenis – jenis biji kopi komersial yang saat ini diusahakan di Indonesia, yaitu Robusta dan arabika. Pada tahun 2009, luas area biji kopi di Indonesia mencapai 1.266.235 ha yang terdiri dari area biji kopi robusta seluas 984.838 ha (77,78%) dan area biji kopi arabika seluas 281.397 ha (22,22%). Tanaman biji kopi sebagian besar diusahakan oleh Perkebunan Rakyat (PR) yang mencapai 1.217.506 ha (96,15%), sedangkan Perkebunan Besar Negara (PBN) hanya seluas 22.794 ha (1,84%) dan sisanya Perkebunan Besar Swasta (PBS) seluas 25.935 ha (2,05%) (Hakim, 2011).

Komposisi jenis tanaman biji kopi di Indonesia masih didominasi oleh biji kopi robusta (93%) daripada biji kopi arabika (7%), padahal permintaan biji kopi arabika dunia jauh lebih besar dibandingkan biji kopi robusta. Demikian pula dari segi harga, harga biji kopi arabika jauh lebih mahal daripada biji kopi robusta. Harga biji kopi arabika yang diekspor sesuai dengan harga pasar internasional di New York yaitu Rp. 38.000 per kilogram. Selama ini biji kopi dari produksi petani dibeli pedagang seharga Rp. 19.000 – Rp. 20.000 per kilogram sehingga dari selisih

harga tersebut petani diharapkan mampu mengolah sendiri hasil panen biji kopinya (Hakim, 2011).

Dua desa penghasil biji kopi arabika yaitu desa Pedati (ketinggian 1500 m dpl) dan desa Sukosawah (ketinggian 1100 m dpl) berada di kawasan kaki gunung Ijen. Warga setempat telah banyak mendapat bantuan dari pemerintah daerah kabupaten Bondowoso yang ditujukan ke kelompok tani setempat. Daerah ini mampu menghasilkan biji kopi arabika dengan sensasi rasa dan aroma biji kopi Jawa yang memikat. Hasil biji kopi di dua daerah ini antara 1,5 – 2 ton/hektar/tahun. Secara umum, biji kopi di dua daerah ini diolah dengan cara olahan kering. Biji kopi gabah dijemur hingga kering, disebut HS, kemudian dijual ke eksportir atau penyangrai (Hakim, 2011).

Rasa dan aroma pada minuman biji kopi salah satunya dibentuk melalui proses pasca panen, yaitu pemanggangan. Tingkat kematangan biji kopi dari hasil pemanggangan menciptakan rasa dan aroma yang beragam pada minuman biji kopi. Proses pemanggangan biji kopi adalah proses pembentukan rasa dan aroma pada biji kopi. Apabila biji kopi memiliki keseragaman dalam ukuran, *specific gravity*, tekstur kadar air, maka proses pemanggangan akan relatif lebih mudah di kendalikan. Mutu dari biji kopi sangat di tentukan oleh perawatan selama panen dan pascapanen, biji kopi yang dipetik pada saat tua merupakan biji kopi dengan mutu tinggi. Apabila biji kopi yang dipetik belum tua namun sudah dipetik dan dicampurkan dengan biji kopi yang sudah tua maka akan mempengaruhi terhadap aromanya.

Proses pemanggangan yang terkendali merupakan salah satu cara menjaga kualitas rasa dan aroma pada minuman biji kopi. Salah satu parameter yang diatur dalam proses pemanggangan ialah waktu, suhu, dan juga tingkat warna biji kopi pada saat dipanggang (Hernandez, 2008). Proses pemanggangan juga dapat dipantau oleh telinga, yaitu dengan cara mendengarkan proses keretakan, yaitu keretakan pertama dan juga keretakan kedua. Suara ini biasanya dapat didengar oleh telinga tanpa bantuan apapun dan mungkin ini adalah cara yang paling penting dalam memantau proses dalam pemanggangan biji kopi. Teknik ini dapat diterapkan dalam sistem pemanggangan biji kopi, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan mengurangi kesalahan dalam memanggang (Wilson, 2014). Suara keretakan kedua

ini sangat penting dalam sistem pemanggangan biji kopi. Banyak *Home Roaster* yang menerapkan ini sebagai indikator kematangan pada pemanggang. Untuk selera kebanyakan orang, dalam memanggang biji kopi dari awal ditunggu sampai terdapat keretakan kedua hingga dapat menghasilkan espresso yang baik. (Rao, 2014).

Teknologi yang sudah dikembangkan tentang pemanggangan biji kopi masih banyak terdapat kekurangan terutama dalam proses kualitas kematangan biji kopi pada saat pemanggangan, sementara yang sering dilakukan hanyalah kontrol suhu panas saja untuk menghasilkan tingkat kematangan biji kopi. Selain itu kontrol yang dilakukan terhadap hasil pemanggang masih sangat konvensional dan terdapat banyak kekurangan, salah satunya adalah untuk mendapatkan hasil pemanggangan biji kopi yang diharapkan, dibutuhkan pengalaman melalui metode *trial and error* dalam proses pemanggangan. Sehingga faktor kesalahan manusia sangat mungkin terjadi.

Untuk mengurangi keraguan pada tingkat kematangan dan rasa dalam proses pemanggangan biji kopi ini, ditambahkan kontrol untuk mengatur suhu pemanggangan pada tiap jenis biji kopi dan juga digunakannya *image processing* dan sensor akustik sebagai parameter kematangan selama pemanggangan biji kopi untuk menambah kualitas kopi. Teknologi ini diterapkan sistem kendali pada proses pengendalian suhu dengan menerapkan kendali PID dan juga pada proses pengenalan suara keretakan biji kopi menggunakan kendali *Neural Network*.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa perumusan masalah

1. Bagaimana cara merancang mesin pemanggang biji kopi beserta kontrol pengatur suhu untuk biji kopi arabika dan robusta.
2. Bagaimana cara menentukan tingkat hasil pemanggangan pada biji kopi berdasarkan *image processing*.
3. Bagaimana cara mendeteksi suara keretakan dengan menggunakan sensor akustik.
4. Bagaimana menggabungkan antara keluaran dari *image processing* dan suara keretakan menjadi parameter kematangan biji kopi saat pemanggangan

1.3 Tujuan

Penelitian yang diusulkan memiliki tujuan umum dan khusus. Tujuan umumnya adalah memberikan pengetahuan kepada civitas academica Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan masyarakat umum akan kegunaan sistem *image processing* dan akustik dalam proses pemanggangan biji kopi. Sedangkan tujuan khusus penelitian mencakup beberapa poin.

1. Menghasilkan mesin pemanggang biji kopi beserta kontrol suhunya yang dapat menghasilkan mutu yang konsisten.
2. Dapat mendapatkan nilai RGB sebagai parameter yang digunakan dalam penentuan tingkat pemanggangan pada biji kopi.
3. Dapat menerapkan sistem FFT dan NN sebagai pengenalan suara keretakan.
4. Mengkombinasikan antara mesin pemanggang biji kopi dengan sistem *image processing* dan sistem akustik.

1.4 Kontribusi

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam bidang industri makanan dan minuman yang erat kaitannya dengan cara memanggang biji kopi dengan teknik menentukan kematangan dari warna atau dari suara keretakan dan juga dapat digunakan oleh konsumen dalam memanggang biji kopi meskipun tanpa memiliki keahlian.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memahami lebih jelas buku ini, maka materi-materi yang tertera pada buku tesis ini dikelompokkan menjadi beberapa sub bab dengan sistematika penyampaian sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN: Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, kontribusi, dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA: Bab ini menjelaskan tentang rangkuman singkat semua materi terkait yang terdapat di dalam berbagai referensi. Bab ini juga menjelaskan tentang teknik, peralatan atau teknologi yang akan dan/atau telah digunakan dalam penelitian yang akan/sedang dilaksanakan. Uraian yang ditulis

diarahkan untuk menyusun kerangka pendekatan atau konsep yang diterapkan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN: Pada bagian ini diuraikan desain, metode, atau pendekatan yang digunakan dalam menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian, serta tahapan penelitian secara rinci, singkat dan jelas. Uraian meliputi parameter penelitian, model yang digunakan, rancangan penelitian, teknik atau metode perolehan dan analisis data, gambar diagram alir tentang langkah penelitian untuk memperjelas metode penelitian tesis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN: Bab ini menjelaskan secara terperinci dan tahap demi tahap tujuan penelitian dibahas dan dianalisis secara detail dan tajam, dengan menggunakan metode yang telah diberikan dalam metodologi penelitian, sampai diperoleh suatu hasil penelitian. Analisis dan pembahasan ini, dilakukan untuk semua tujuan yang telah ditetapkan pada tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP: Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan analisa dan optimalisasi sistem berdasarkan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya.

Halaman Ini Sengaja Dikосongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Diperlukan beberapa teori untuk mempermudah dalam proses pembuatan sistem. Sistem yang dibuat bertujuan untuk mendapatkan hasil pemanggangan biji kopi yang lebih baik daripada ketika memanggang tanpa menggunakan *image processing* dan suara keretakan sebagai parameter kematangan biji kopi. Sehingga diperlukan pengetahuan tentang karakteristik biji kopi selama pemanggangan, pengetahuan tentang pengolahan citra yang diperlukan untuk proses pengambilan data parameter warna dan pengetahuan tentang suara keretakan pertama dan kedua biji kopi selama pemanggangan, yang digunakan sebagai pengambil keputusan tingkat kematangan biji kopi.

2.1 Pemanggangan Kopi Dengan Penaksiran Warna dan Permukaan

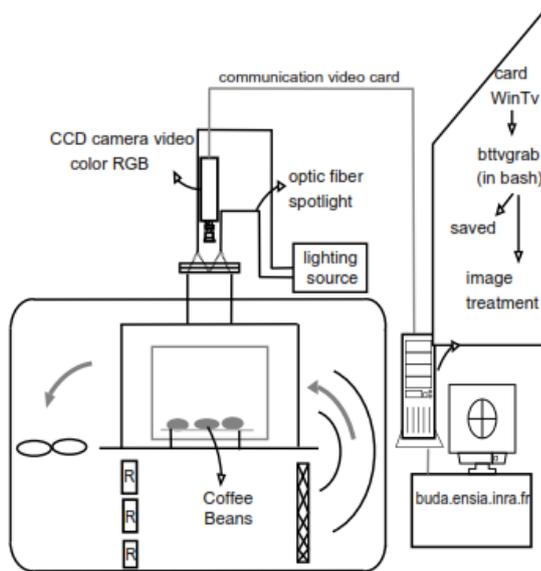
Telah dilakukan penelitian tentang pengukuran kecerahan dari permukaan di saat pemanggangan biji kopi secara *Online* (Hernandez, 2007). Analisa citra mengaktifkan pengukuran secara *Online* dari nilai yang diperlukan seperti warna dan permukaan dari biji kopi. Bagaimanapun, itu terlalu sulit untuk diterapkan dalam proses pemanggangan biji kopi. Dalam industri, warna (kecerahan) adalah parameter penting yang digunakan untuk menentukan kualitas akhir dari satu produk, tetapi masih dievaluasi secara eksperimental di laboratorium oleh pakar pemanggang biji kopi. Untuk mengendalikan proses, perlu untuk mengembangkan sebuah teknik yang memungkinkan dengan penilaian secara *real-time* dari kualitas produk. Pada penelitian ini mengusulkan metode untuk menentukan kecerahan dan luas permukaan menggunakan pengolahan citra dan secara *Online* selama memanggang biji kopi. Perubahan kecerahan dan luas permukaan yang mempengaruhi biji kopi selama proses pemanggangan dipelajari secara eksperimental dalam pemanggang yang dilengkapi dengan kamera video CCD yang sistem pencahayaannya menggunakan dua lampu sorot kecil serat optik.

Pemanggang statis digunakan dalam penelitian ini (Servathin Series SV02 7817) untuk digunakan dalam percobaan memanggang. Diagram dari pemanggang

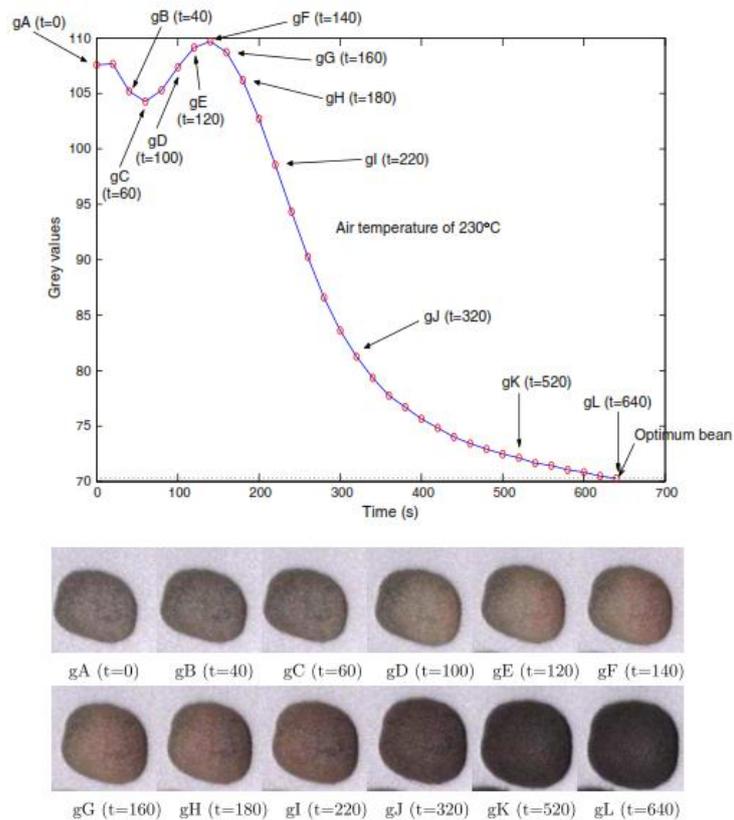
ditunjukkan pada Gambar 2.1. Biji kopi ditempatkan pada jaringan jala untuk mempertahankan dalam tekanan yang tetap agar perpindahan panas dominan. Selama pemanggangan biji kopi, suhu udara, suhu biji kopi, dan massa biji kopi dihitung dan terlampirkan. Gambar warna dari biji kopi juga diperoleh dengan Online.

Pada Gambar 2.2 menunjukkan beberapa *raw images* (belum diproses) dari biji kopi selama pemanggangan dengan suhu 230 °C. Pada gambar ini juga termasuk grafik percobaan antara tingkat abu-abu berdasarkan waktu pada semua percobaan pemanggangan. Pada titik ($gA_{(t=0)}$) mendefinisikan biji kopi sebelum pemanggangan. Dari Gambar 2.2 dapat dilihat tingkat abu-abu jatuh di saat detik 20 sampai 60 dari pemanggangan ($gB_{(t=40)}$ dan $gC_{(t=60)}$). Pada grafik $gD_{(t=100)}$, $gE_{(t=120)}$, dan $gF_{(t=140)}$ menunjukkan peningkatan kecerahan pada biji kopi, digambarkan pada grafik warna kuning. Pada titik $gG_{(t=160)}$ dan $gH_{(t=180)}$ menunjukkan perubahan dari grafik yang berwarna kuning menjadi merah kecoklatan. Pada titik $gI_{(t=220)}$ menunjukkan perubahan dari merah kecoklatan menjadi warna kegelapan, dan titik akhir $gJ_{(t=320)}$ dan $gD_{(t=520)}$ menunjukkan warna yang lebih gelap. Pada titik $gL_{(t=640)}$ adalah warna optimum dari biji kopi.

Pada proses pengambilan tiap gambar dibutuhkan waktu sekitar 4.4 detik dan tiap gambar diperoleh setiap 20 detik. Pada periode 20 detik ini cukup untuk menentukan kualitas dari biji kopi. Ini mengaktifkan penyesuaian dari proses waktu pemanggangan hingga sama dengan target kecerahan biji kopi. Peneliti juga membuat *database* yang lebih besar untuk informasi percobaan, termasuk suhu, berat, warna, dan permukaan biji kopi. Ini terlalu sulit untuk memperoleh dari parameter utama dengan *database* besar pada kondisi industri. Oleh karena itu dalam menjelaskan hubungan yang memungkinkan antara perbedaan parameter kualitas dalam membatasi dari peralatan industri untuk sensor pemanggangan yang diaplikasikan dengan algoritma dimana untuk menentukan kualitas produk dan proses pengontrolannya.



Gambar 2.1 Blok diagram peralatan yang digunakan dalam pengukuran warna dan permukaan (Hernandez, 2007).



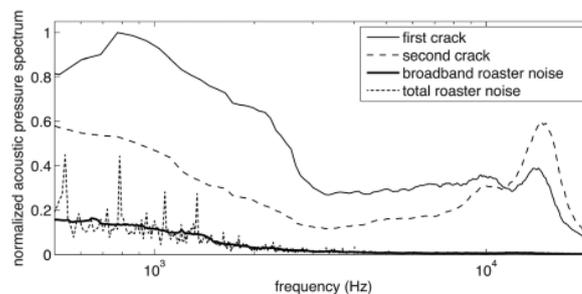
Gambar 2.2 Biji kopi selama proses pemanggangan dengan suhu udara tetap pada 230 C (Hernandez, 2007).

2.2 Pemanggang Biji Kopi Secara Akustik

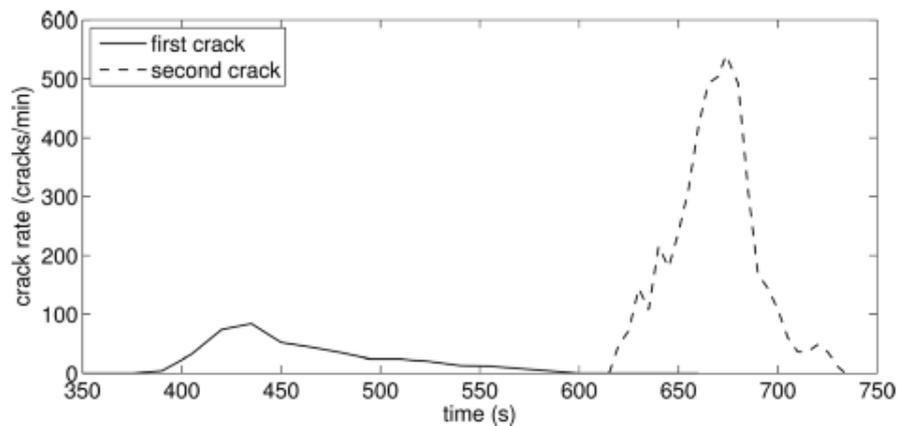
Telah dilakukan penelitian tentang pemanggangan biji kopi dengan cara akustik (Wilson, 2014). Suara keretakan yang dihasilkan oleh biji kopi selama proses pemanggangan dicatat dan dianalisa untuk mengetahui potensi menggunakan suara sebagai dasar untuk teknik monitoring pemanggangan secara otomatis.

Dengan takaran kapasitas 0.45 kg pada pemanggang biji kopi dengan elemen pemanas elektrik (1.6 kW) yang digunakan untuk memanggang 0.23 kg biji kopi hijau sampai selesai hingga suara keretakan kedua. Perekam ditempatkan di dekat pemanggang menggunakan tripod dengan jarak 35 cm dari pemanggang. Kalibrasi pada sistem perekam telah dilakukan menggunakan metode substitusi pada ruang *anechoic* di Universitas Texas di Austin, sehingga tekanan absolut akustik dapat ditentukan dari data. Frekuensi respons pada sistem perekam ditemukan data dengan ± 2 dB dari 20 Hz hingga 40 kHz.

Dalam pengukuran jumlah kualitatif kedua, kejadian keretakan pertama menghasilkan frekuensi lebih rendah dari pada kejadian keretakan kedua. 10 sampel keretakan diambil secara acak dari keretakan pertama dan kedua. Kejadian ini termasuk suara keretakan dan *noise* karena pemanggang. Rata-rata spektrum dari tekanan akustik yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Keretakan pertama mengandung energi frekuensi lebih rendah dengan spektrum maksimal 800Hz. Keretakan kedua mempunyai spektrum lebih datar dengan amplitudo lebih rendah daripada keretakan pertama, yaitu sekitar 10 kHz dan mempunyai spektrum maksimal 15 kHz. Pada Gambar 2.3 ditunjukkan *noise* karena biji kopi berputar dalam drum dan karena perangkat dari kipas.



Gambar 2.3 Spektrum tekanan akustik selama 10 kejadian keretakan pertama dan kedua (Wilson, 2014).



Gambar 2.4 Tingkat kejadian keretakan oleh keretakan pertama dan kedua dengan fungsi waktu selama pemanggangan (Wilson, 2014).

Tingkat emisi keretakan telah dianalisa dari keretakan pertama dan kedua dengan fungsi waktu yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Keretakan pertama dimulai sebelum interval 400 detik dan berakhir pada interval 600 detik pada saat pemanggangan. Keretakan kedua dimulai saat mencapai interval 620 detik hingga 730 detik. Penilaian secara kualitatif, bahwa keretakan kedua lebih sering terjadi daripada keretakan pertama. Keretakan pertama memiliki jumlah puncak maksimal sekitar 100 keretakan per menit, sedangkan keretakan kedua memiliki puncak maksimal lebih dari 500 retak per menit. Hasil ini menunjukkan bahwa teknik otomatis dapat digunakan untuk membedakan antara keretakan pertama dan keretakan kedua.

2.3 Optimasi Pemanggangan Biji Kopi Arabika

Telah dilakukan penelitian tentang optimasi kondisi pemanggangan biji kopi arabika kualitas tinggi (Madihah, 2013). *Central Composite Design* (CCD) digunakan untuk mengoptimalisasi pemanggangan yaitu suhu dan waktu untuk biji kopi arabika. Metode yang digunakan saat pemanggangan dapat memberikan biji kopi yang berkualitas baik dalam hal rasa tetapi dalam pembentukan *akrilamida* tidak dipelajari. Dalam penelitian ini, optimasi kuantitas tinggi berdasarkan senyawa rasa (*pirazin*).

Tabel 2.1 Evaluasi sensor pada pemanggangan biji kopi arabika.

Run	Temp (C)	Time (min)	Aroma	Flavour	Aftertaste	Acidity	Body	Uniformity	Balance	Cleancup	Sweetness	Overall
1	179.90	27.80	5.69	5.25	5.38	2.00	5.88	10.00	5.25	10.00	2.50	4.75
2	167.53	22.50	7.56	7.06	7.06	6.44	7.06	10.00	7.00	10.00	10.00	7.48
3	155.15	27.80	7.06	6.44	6.19	6.06	6.63	10.00	6.38	9.25	6.75	6.38
4	167.53	22.50	7.56	7.44	7.31	7.44	7.38	10.00	7.31	10.00	10.00	7.38
5	179.90	17.20	7.69	7.63	7.31	7.00	7.44	10.00	7.38	10.00	10.00	7.50
6	155.15	17.20	6.44	6.38	6.38	6.06	5.88	10.00	6.13	10.00	10.00	6.13
7	167.53	22.50	7.25	6.63	6.63	7.31	6.56	10.00	6.75	10.00	10.00	7.50
8	167.53	30.00	7.13	6.69	6.75	6.19	6.50	10.00	6.38	10.00	10.00	6.63
9	167.53	22.50	7.13	7.38	7.44	7.06	7.31	9.50	7.56	10.00	10.00	7.50
10	150.02	22.50	7.31	7.06	7.13	7.19	7.06	10.00	6.94	10.00	10.00	7.00
11	167.53	15.00	6.38	6.69	6.94	6.81	6.50	10.00	6.44	10.00	10.00	6.69
12	185.03	22.50	6.13	5.88	5.88	3.00	6.50	10.00	5.88	10.00	5.00	5.75
13	167.53	22.50	7.50	7.56	7.56	7.50	7.50	10.00	7.56	9.50	9.50	7.56
14	167.53	22.50	7.50	7.56	7.56	7.56	7.38	9.50	7.44	10.00	10.00	7.38

Sumber: Madihah (2013).

Pemanggang yang digunakan adalah PROBAT dari Jerman untuk memanggang biji kopi arabika. Terdapat 2 parameter suhu yang dihasilkan yaitu suhu (150-185 °C) dan waktu (15-30 menit) pada 7 parameter *respons* 2-methylpyrazine, 2,3-dimethylpyrazine, 2,5-dimethylpyrazine, 2,3,5-trimethylpyrazine, 2,3,5,6-tetramethylpyrazine, acrylamide dan semua sensor yang dipakai menggunakan *Respons Surface Methodology (RSM)*. Dalam mengevaluasi keseluruhan sensor, karakteristik digunakan berdasarkan *flavour, aroma, sweetness, body, uniformity, aftertaste, cleancup, balance, dan acidity* dari pemanggangan biji kopi dapat dilihat pada Tabel 2.1

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini dalam pemanggangan biji kopi arabika kondisi waktu dan suhu harus dioptimalkan pada 167 °C dan selama 22,50 menit.

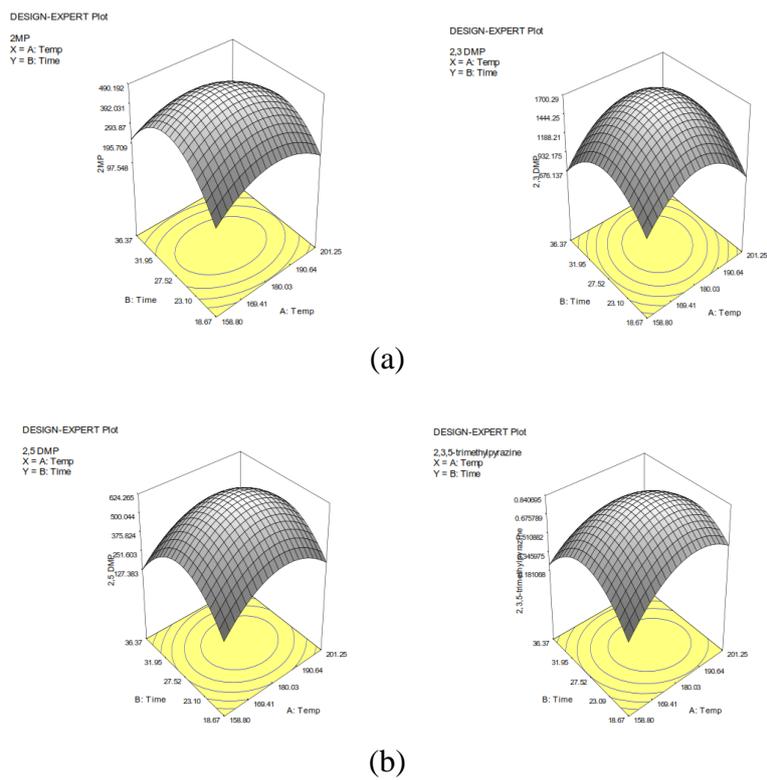
2.4 Optimasi Pemanggangan Biji Kopi Robusta

Telah dilakukan penelitian tentang optimasi kondisi pemanggangan biji kopi robusta kualitas tinggi (Madihah, 2012). *Central Composite Design (CCD)* digunakan untuk mengoptimalkan pemanggangan, yaitu suhu dan waktu untuk biji kopi robusta. Pemanggangan adalah langkah utama dalam produksi kopi karena itu menghasilkan rasa, aroma, dan warna. Suhu dan durasi pada pemanggangan mempengaruhi dalam rasa seperti *pyrazine*.

CCD menghasilkan 14 cara dimana titik tengah telah diulang secara 6 kali dengan mengulangi metodenya. Susunan dari variabel CCD dapat dilihat pada Tabel 2.2. Dalam pengoptimalan kondisi pemanggangan, hasil akhir di terapkan pada tingkat maksimal pada senyawa rasa dan tingkat terendah dari *acrylamide*. Suhu pada saat pemanggangan 180 °C dan durasinya 26 menit berdasarkan kondisi yang optimal dengan *desirability* 0.754. Konsentrasi dari 2-methylpyrazine, 2,3-dimethylpyrazine, 2,5-dimethylpyrazine, dan 2,3,5-trimethylpyrazine di serap pada penelitian ini juga meningkatkan suhunya tetapi mulai menurun setelah suhunya mencapai 180 °C yang ditampilkan pada Gambar 2.5.

Tabel 2.2 Perancangan CCD pada parameter suhu dan durasi pada pemanggangan biji kopi robusta.

Temp (C)	Time (min)	2-Methyl pyrazine (mg/100g)	2,3- dimethyl pyrazine (mg/100g)	2,5- dimethyl pyrazine (mg/100g)	2,3,5- trimethyl pyrazine /100g)	2,3,5,6- tetramethyl pyrazine (mg/100g)	Acrylamide (mg/100g)	l sensory acceptability
201.25	18.67	0.0986	0.7816	0.2248	0.6140	0.7710	0.4640	7.2
201.25	36.37	0.0556	0.8802	0.1684	0.1896	0.4780	0.5758	5.8
158.80	18.67	0.1156	0.8802	0.1676	0.3896	0.4780	0.5565	7.0
180.03	27.52	0.4816	1.8392	0.7154	1.1708	1.1232	0.2358	6.1
158.80	36.37	0.2416	0.7434	0.1592	0.2920	0.7682	0.6342	7.8
180.03	27.52	0.5070	1.5476	0.5942	0.9148	0.9466	0.3464	7.0
180.03	27.52	0.5406	1.3938	0.5616	0.8010	0.9362	0.2698	6.3
180.03	40.04	0.0666	0.8530	0.1000	0.1708	0.1480	1.1984	6.0
210.04	27.52	0.3082	0.8334	0.3412	0.4280	0.3898	0.1828	5.0



Gambar 2.5 3D plot permukaan (a) 2-methylpyrazine, 2,3-dimethylpyrazine, (b) 2,5-dimethylpyrazine, 2,3,5-trimethylpyrazine (Madihah, 2012).

2.5 Biji Kopi

Coffea atau biji kopi dalam bahasa Indonesia secara luas dikenal sebagai stimulan yang dibuat dari biji kopi. Biji kopi pertama kali dikonsumsi orang di abad ke-9 di daerah dataran tinggi Ethiopia, dari sana lalu menyebar ke Mesir dan Yaman lalu di abad ke-15 menyebar ke Armenia, Persia, Turki, dan Afrika Utara. Tanaman biji kopi tergolong dalam famili *Rubiaceae*, sub famili *Cinchonoides*, genus *Coffea* L., sub genus *Coffea*. Sub genus *Coffea* lebih banyak dikembangkan karena paling menguntungkan (Najiyati, 1998). Ada dua spesies dari tanaman biji kopi yaitu biji kopi Arabika (*Coffea arabika*) adalah biji kopi tradisional dan dianggap paling enak rasanya, biji kopi Robusta (*Coffea canephora*) memiliki kafein yang lebih tinggi dapat dikembangkan dalam lingkungan dimana Arabika tidak akan tumbuh. Dan kedua jenis biji kopi ini yang paling banyak diperdagangkan di Indonesia. Jenis biji kopi yang paling banyak ditanam di Indonesia adalah biji kopi Robusta. Biji kopi Arabika tumbuh pada ketinggian tempat lebih dari 600 m dpl (Ky, 2001).

Jika dilihat dari mutu biji kopi Robusta berada dibawah biji kopi Arabika. Jumlah pasokan biji kopi Arabika di dalam pasokan dunia sekitar 70 persen. Sedangkan biji kopi Robusta sekitar 24 persen dan sisanya diisi oleh biji kopi jenis *Liberica* dan *Excelsa*. Produksi biji kopi, ekspor, dan negara tujuannya dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Ekspor negara tujuan Indonesia tahun 2002-2005.

Negara	Tahun (ton)			
	2002	2003	2004	2005
Amerika Serikat	43 243	48 239	73 288	84 426
Jepang	56 879	52 720	55 141	49 936
Jerman	53 562	57 608	53 936	78 755
Italia	15 011	25 086	21 348	30 500
Singapura	12 642	8 935	10 561	13 276
Total	181 337	192 588	214 274	256 893

Sumber : Direktorat jendral perkebunan (2006) dalam Rosadi (2007).

Tabel 2.4 Jumlah produksi dan ekspor biji kopi Indonesia tahun 2000-2005.

Tahun	Ekspor (ton)	Produksi (ton)
2000	340 887	554 574
2001	250 818	569 234
2002	325 009	682 019
2003	323 520	671 255
2004	344 077	647 385
2005	445 829	640 365

Sumber : Direktorat jendral perkebunan (2006) dalam Rosadi (2007).

Tabel 2.5 Komposisi kimia biji kopi kering.

N	Komponen	Jumlah (%)
1	Air	11-12
2	Kafein	1-2
3	Lemak	12-13
4	Gula	8-9
5	Selulosa	18-19
6	Senyawa yang mengandung N	12-13
7	Senyawa yang tidak mengandung N	33-34
8	Abu	3-4

Sumber : Zaini A (2009).

Biji kopi Robusta dan Arabika dapat dibedakan dengan nyata secara makroskopis. Biji kopi Arabika lebih besar dari biji kopi robusta. Panjang biji kopi arabika sekitar 8-12 mm dan lebar 6-8 mm, rasio panjang dan lebar 6-7 mm dengan rasio 1.0-1.15. Buah biji kopi mempunyai kisaran berat antara 100 mg sampai 200 mg dan densitas antara 1.15-1.42 (Sofi'i, 2005).

2.5.1 Teknik Pemanggangan Biji Kopi

Biji kopi merupakan salah satu hasil komoditi perkebunan yang memiliki nilai ekonomis cukup tinggi di antara tanaman perkebunan lainnya dan berperan penting sebagai sumber devisa negara. Biji kopi juga merupakan sumber penghasilan bagi tidak kurang dari satu setengah juta jiwa petani biji kopi di Indonesia. Mutu biji kopi sangat bergantung kepada proses penanganan pasca panen yang tepat. Dengan penanganan pasca panen yang tepat di setiap prosesnya, mutu biji kopi bisa ditingkatkan. Salah satu proses penanganan pasca panen yang sangat penting yaitu pemanggangan, dimana terjadi perubahan tingkat kadar air dan keasaman serta pengembangan aroma dan cita rasa biji kopi yang tergantung dari

suhu pemanggangan. Proses pemanggangan berperan penting dalam menciptakan cita rasa dan aroma pada minuman biji kopi.

Pemanggangan adalah salah satu dari tiga properti dasar dari kopi yang selalu diperiksa oleh pencicip kopi dalam proses produksi kopi. Dua hal lainnya adalah tingkat keasamaan dan rasa kopi itu sendiri.

Pemanggangan merujuk kepada penerapan tingkat pemanggangan biji kopi, artinya kamu merasakan rasa yang manis-pahit atau rasa asap yang didapatkan dari proses pemanggangan. Terlalu lama dipanggang maka rasanya akan seperti terbakar.

Pemanggangan merupakan bagian yang penting dalam proses produksi kopi, karena dapat mengembangkan dan mengeluarkan rasa dan aroma dari biji kopi. Pemanggangan yang tepat harus disertai dengan suhu dan durasi yang tepat. Jenis biji kopi yang berbeda juga menentukan tingkat pemanggangan yang dilakukan.

Misalnya, biji kopi Arabika tidak boleh dipanggang terlalu lama untuk menjaga karakteristik original biji kopi tersebut. Di sisi lain, memperlama proses pemanggangan akan meningkatkan rasa pahit.

Dalam proses pemanggangan biji kopi, berikut ini adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan, di antaranya yaitu :

1. Jenis Biji kopi

Setiap jenis biji kopi memiliki ukuran biji dan tekstur kadar air yang berbeda. Mengelompokkan biji kopi dengan ukuran yang seragam sebaiknya dilakukan agar tingkat kematangan saat proses pemanggangan lebih merata.

2. Tempat Penanaman Biji kopi.

Pada suhu yang sama, hasil pemanggangan biji kopi yang ditanam pada dataran tinggi menghasilkan warna lebih gelap dibandingkan dengan biji kopi yang ditanam pada dataran yang lebih rendah.

3. Proses Penanganan Biji kopi Pasca Panen.

Ada beberapa macam di antaranya proses basah, semi basah, dan kering. Hal ini berpengaruh pada keasamaan biji kopi.

4. Kelembaban dan Suhu.

Jika biji kopi berada pada lingkungan dengan kelembaban tinggi dan suhu rendah, maka proses pemanggangan biji kopi membutuhkan waktu lebih lama.

5. Durasi pemanggangan.

Untuk menghasilkan pemanggangan yang optimal, suhu dan kecepatan pemanggangan diusahakan tetap stabil.

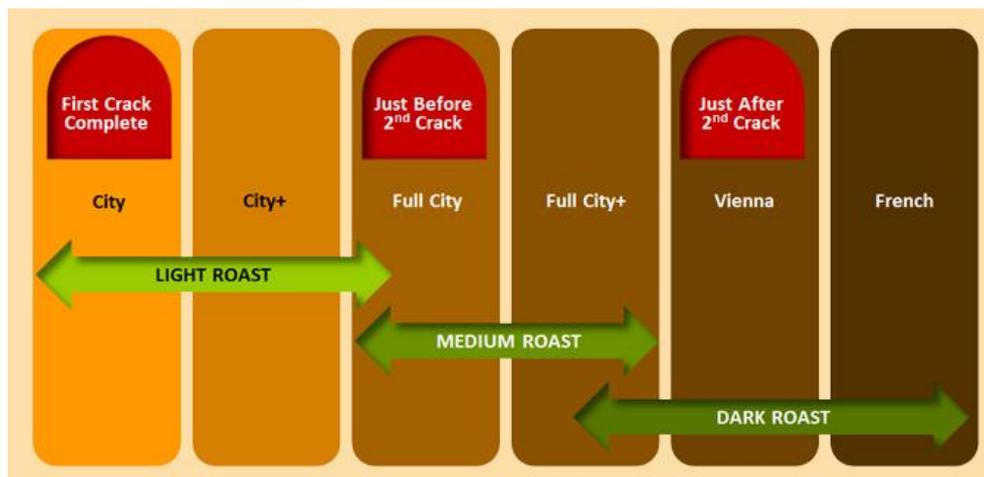
6. Metode pemanggangan.

Hasil pemanggangan dengan metode tertutup akan menghasilkan warna lebih cerah daripada hasil pemanggangan dengan metode terbuka. Dibawah ini terdapat warna pemanggangan beserta karakteristiknya.

Tabel 2.6 Tingkatan kematangan berdasarkan warna dan karakteristiknya.

Tingkatan Warna	Karakteristik
<i>Light (City)</i>	Berwarna cokelat muda. Berbentuk kecil dan tingkat keasaman tinggi. Biji kopi kering.
<i>Medium – Light (City+)</i>	Berwarna cokelat muda sedang. Berbentuk agak kecil dan keasaman tidak begitu tinggi. Biji kopi masih kering.
<i>Medium (Full City)</i>	Berwarna cokelat sedang. Mulai terasa manis dan tingkat keasaman semakin berkurang Biji kopi sangat kering.
<i>Medium – Dark (Full City+)</i>	Berwarna cokelat gelap. Permukaan biji kopi mulai terdapat minyak. Keasaman mulai hilang. Biasanya dikenal dengan espresso.
<i>Dark (Vienna)</i>	Berwarna cokelat hitam gelap. Biji kopi berminyak. Biji kopi kasar. Rasa pahit mulai terasa.
<i>Very Dark (French)</i>	Berwarna hitam dan sangat berminyak. Aroma dan rasa hangus terasa. Biasanya dikenal sebagai American espresso.

Sumber: Griffin (2006).



Gambar 2.6 Hubungan derajat *roasting* dengan suara keretakan (Sinot, 2010).

Derajat dan nama *roasting* juga dapat menggambarkan seberapa jauh biji kopi dipanggang. Ketika kopi dipanggang, kopi berubah menjadi berwarna coklat. Pastinya, biji kopi yang berwarna lebih gelap berarti dipanggang lebih lama. Namun bagaimanapun dalam pemanggangan biji kopi bukanlah suatu hal yang sederhana, sesederhana memasukkannya ke alat pemanggang dan kemudian menggorengnya. Biji kopi sesungguhnya akan menghasilkan kopi yang berbeda bila dipanggang dalam suhu yang berbeda, meskipun hasil akhirnya berwarna sama.

Jenis pemanggangan sangat beragam, namun dapat dikelompokkan dalam beberapa kategori:

Light roast atau yang dapat diartikan sebagai pemanggangan ringan. Kategori ini biasanya digunakan untuk biji kopi yang berkualitas untuk menjaga rasa aslinya. Kopi yang dipanggang dengan sangat ringan dinamakan *Light Cinnamon*.

Medium roast atau yang dapat diartikan sebagai pemanggangan medium. Kategori ini memiliki anatomi yang lebih banyak serta tingkat keasaman yang lebih rendah dibandingkan pemanggangan ringan. Jenis pemanggangan ini juga dikenal dengan *American Roast*. Jenis *City Roast* sedikit lebih gelap.

Full roast atau yang dapat diartikan sebagai pemanggangan sempurna adalah jenis pemanggang yang akan menghasilkan kopi dengan bentuk yang



Gambar 2.7 Hubungan antara nilai *Colortrack*, *agtron*, dengan *LaB* (Rao, 2014)

sempurna, lebih gelap, dan dengan aroma yang sudah berkembang dengan baik. *Full City Roast* termasuk dalam kategori kuat, tapi tidak sekuat *Viennese Roast* dimana lebih berwarna coklat dan sedikit berminyak.

High roast atau yang dapat diartikan sebagai pemanggangan tingkat tinggi memberikan rasa kopi yang kuat dan rasa manis-berasap yang juga pahit. Pada *Italian Roast*, biji kopi dengan jenis ini terkaramelisasi, hitam dan berminyak.

Perhitungan tingkat warna pada biji kopi dapat menggunakan dengan nilai *Agtron* sebagai tingkat kematangan biji kopi. Nilai *Agtron* disini mempunyai standar tetap pada laboratorium yang mempunyai nilai batas 95-25 dimana 95 bernilai terang dan 25 bernilai gelap.

7. Umur biji kopi.

Semakin tua umur biji kopi, kandungan airnya akan semakin berkurang. Hal ini menyebabkan perbedaan struktur dan rasa ketika dipanggang. Aroma biji kopi yang dihasilkan banyak berkurang. Selain itu, biji kopi menjadi kurang pekat dengan keasaman yang lebih rendah.

2.6 Pengolahan Citra

Warna adalah elemen dasar dari pengolahan citra digital, ada beberapa jenis ruang warna, salah satunya yaitu jenis ruang warna RGB. Ruang warna RGB merupakan salah satu yang paling sering digunakan dalam pengolahan citra. Urutan komponen warna pada sebuah piksel dapat dinyatakan menggunakan Persamaan 2.1,

$$p(x, y) = B.2^{16} + G.2^8 + R \quad (2.1)$$

variabel x dan variabel y pada Persamaan 2.1 menunjukkan posisi absis dan posisi kordinat dari piksel, dan variabel-variabel R , G dan B adalah besaran komponen warna-warna merah, hijau dan biru. Masing-masing komponen warna memiliki rentang nilai antara 0 sampai 255 desimal (pada citra berformat bitmap 24 bit).

Model warna RGB memiliki kelemahan yaitu tidak melibatkan parameter intensitas (*intensity*) cahaya dan kejenuhan warna (*saturation*), sehingga pengolahan citra menggunakan model RGB hanya sesuai untuk kondisi pencahayaan konstan. Untuk menghitung nilai warna pada sebuah obyek tanpa pengaruh adanya besaran intensitas cahaya, maka dapat digunakan model warna HSI (*hue, saturation, intensity*) dimana model warna HSI yang memiliki sifat lebih stabil pada komponen *hue*-nya. Perhitungan model warna HSI bisa diturunkan dari model warna RGB menggunakan Persamaan 2.2, Persamaan 2.3, dan Persamaan 2.4,

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[R-G] + [R-B]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\} \quad (2.2)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} \quad (2.3)$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (2.4)$$

variabel H adalah besaran *hue* (corak), S adalah *saturation* (kejenuhan warna), I adalah *intensity* (intensitas cahaya), R , G , dan B adalah berturut-turut

adalah besaran komponen warna merah, hijau dan biru. Cara lain untuk melakukan evaluasi dapat juga dengan menghitung indeks warna untuk masing-masing komponen warna pada model RGB seperti dituliskan pada Persamaan 2.5, Persamaan 2.6, dan Persamaan 2.7,

$$I_R = \frac{R}{R + G + B} \quad (2.5)$$

$$I_G = \frac{G}{R + G + B} \quad (2.6)$$

$$I_B = \frac{B}{R + G + B} \quad (2.7)$$

variabel-variabel I_R , I_G , dan I_B berturut turut adalah indeks warna merah, indeks warna hijau dan indeks warna biru (Ahmad, 2005).

2.7 Pemrosesan Sistem Akustik

2.7.1 Voice Activity Detection (VAD)

Voice activity detection atau yang dikenal dengan sebutan VAD, memiliki fungsi utama yaitu untuk menentukan *frame* sinyal suara apakah berisi sinyal wicara (*voiced*), tidak ada sinyal wicara (*unvoiced*) atau tanpa suara / keadaan diam (*silent*). *Frame voiced* cenderung memiliki energy lebih besar dari pada *frame unvoiced* terlebih *frame silent*. *Frame silent* pada umumnya merupakan representasi dari *noise* latar belakang lingkungan suara. Tingkat akurasi VAD menentukan waktu kapan *update noise* dan besarnya *filtering* pada sinyal suara. Metode yang digunakan untuk menghitung *power* sinyal pada satuan waktu tertentu, ditunjukkan pada Persamaan 2.8,

$$p[i] = \sum_{j=1}^N (x[j]^2) \quad (2.8)$$

variabel $p[i]$ adalah power sinyal, $x[j]$ adalah sinyal suara yang masuk pada detik ke- j dan N adalah panjang *moving average filter*.

2.7.2 Windowing

Sinyal suara yang dipotong-potong menjadi beberapa *frame* akan menyebabkan efek diskontinuitas pada awal dan akhir sinyal. Hal ini akan

menyebabkan kesalahan data pada proses *transformasi fourier*. *Windowing* diperlukan untuk mengurangi efek diskontinuitas dari potongan-potongan sinyal tersebut. Jenis *windowing* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *window hamming* sesuai pada Persamaan 2.9,

$$y[n] = x[n](0.54 - 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N-1}) \quad (2.9)$$

variabel $y[n]$ adalah sinyal hasil *windowing*, $x[n]$ adalah sinyal hasil proses sebelumnya dan N adalah panjang sinyal dalam satu *frame*.

2.7.3 Fast Fourier Transform (FFT)

Transformasi *fourier* adalah suatu metode yang sangat efisien untuk menyelesaikan *transformasi fourier diskrit* yang banyak dipakai untuk keperluan analisa sinyal seperti pemfilteran, analisa *korelasi* dan analisa *spectrum*. Transformasi *fourier* ini dilakukan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Analisa *fourier* memenuhi Persamaan 2.10,

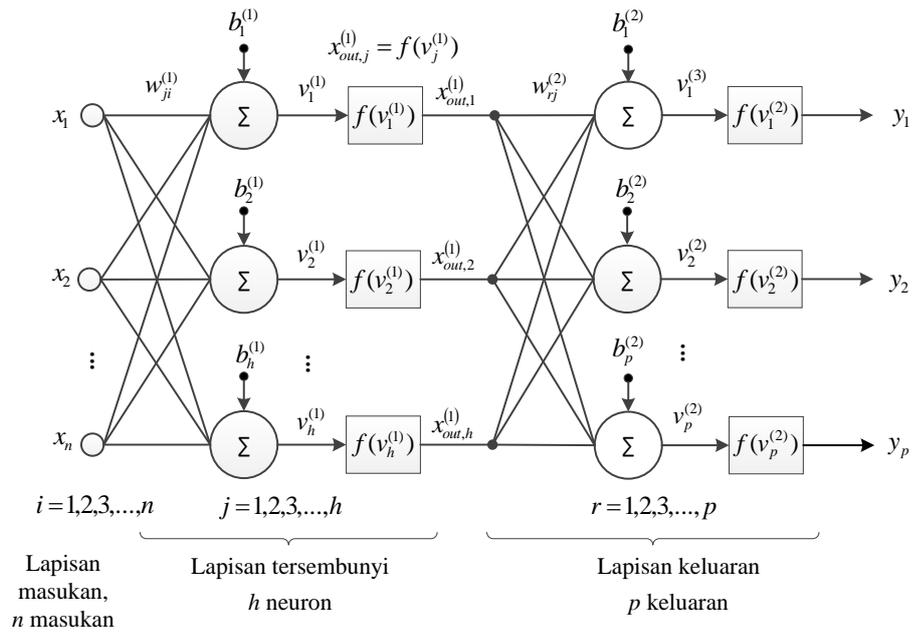
$$y[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} \quad (2.10)$$

variabel $y[k]$ adalah sinyal hasil analisa *fourier*, $x[n]$ adalah sinyal hasil proses sebelumnya dan N adalah panjang sinyal dalam satu *frame*.

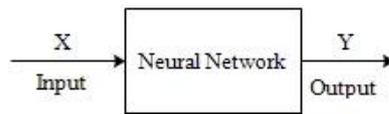
2.7.4 Neural Network (NN)

Neural Network (NN) terdiri dari elemen-elemen sederhana yang meniru sistem saraf biologis manusia. Salah satu algoritma dari NN yang digunakan sebagai identifikasi jenis suara keretakan adalah algoritma pelatihan *backpropagation*.

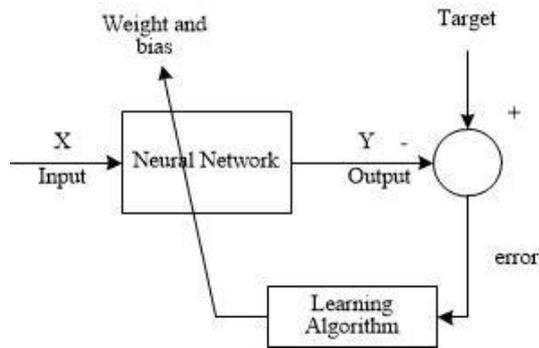
Algoritma pelatihan *backpropagation* terdiri dari dua tahap, yaitu *feed forward* dan *backpropagation*. Pada Gambar 2.8 (a) ditunjukkan model *Multilayer Perceptron Neural Network* (MLP NN). Algoritma pelatihan *backpropagation* menggunakan model MLP NN.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.8 Neural Network (a) model *Multilayer Perceptron Neural Network* (b) tahap *feed forward* (c) tahap *backpropagation* (Ham dan Kostanic, 2001).

2.7.4.1 Tahap Feed Forward

Pada Gambar 2.8 (b) ditunjukkan tahap *feed forward*. Adapun algoritmanya sebagai berikut:

1. Banyaknya masukan x (n masukan), lapisan tersembunyi pertama (h neuron), dan lapisan keluaran y (p keluaran) ditentukan.
2. Target error (E_{target}) yang diinginkan, target (d), slope fungsi aktivasi (α), dan laju pelatihan μ_0 ditentukan.
3. Untuk proses pelatihan dilakukan inisialisasi bobot pada lapisan tersembunyi ($w_{ji}^{(1)}$), bobot pada lapisan keluaran ($w_{rj}^{(2)}$), bias pada lapisan tersembunyi ($b_j^{(1)}$), dan bias pada lapisan keluaran ($b_r^{(2)}$) secara acak, hal ini hanya dilakukan untuk iterasi pertama ($k=1$), untuk iterasi selanjutnya menggunakan hasil perbaikan bobot dan bias dari tahap *backpropagation*. Untuk proses pengujian langsung menggunakan bobot dan bias dari hasil akhir keluaran tahap *backpropagation*.
4. Masing-masing unit masukan ($x_i, i = 1, 2, \dots, n$) dimasukkan, untuk disebarkan ke unit-unit pada lapisan tersembunyi.
5. Untuk menghitung hasil penjumlahan lapisan tersembunyi pada unit ke- j ($v_j^{(1)}$) digunakan 2.11.

$$v_j^{(1)} = b_j^1 + \sum_{i=1}^n x_i w_{ji}^{(1)}, \quad j = 1, 2, \dots, h \quad (2.11)$$

6. Untuk menghitung keluaran pada lapisan tersembunyi pada unit ke- j ($x_{out,j}^{(1)}$) digunakan rumus $x_{out,j}^{(1)} = f(v_j^{(1)})$, dimana $f(v_j^{(1)})$ merupakan fungsi aktivasi pada lapisan tersembunyi, pada kasus identifikasi suara keretakan menggunakan fungsi aktivasi *binary sigmoid*, seperti pada Persamaan 2.12.

$$f(v_j) = \frac{1}{1 + e^{-2\alpha v_j}} \quad (2.12)$$

7. Untuk menghitung hasil penjumlahan lapisan keluaran pada unit ke- r ($v_r^{(2)}$) digunakan Persamaan 2.13, kemudian untuk menghitung keluaran pada lapisan keluaran pada unit ke- r (y_r) digunakan Persamaan 2.14.

$$v_r^{(2)} = b_r^{(2)} + \sum_{j=1}^h x_{out,j}^{(1)} w_{rj}^{(2)}, \quad r = 1, 2, \dots, p \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} y_r &= f(v_r^{(2)}) \\ &= \frac{1}{1 + e^{-2\alpha v_r^{(2)}}} \end{aligned} \quad (2.14)$$

8. y_r merupakan hasil keluaran dari proses *feedforward*.

2.7.4.2 Tahap Backpropagation.

Pada Gambar 2.8 (c) ditunjukkan tahap backpropagation. Adapun algoritma sebagai berikut:

1. Tahap *feedforward* dijalankan.
2. Untuk menghitung *error* (E) digunakan Persamaan 2.17.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^p (d_r - y_r)^2 \quad (2.17)$$

3. Jika nilai $E > E_{target}$ (belum konvergen), dilakukan perbaikan terhadap nilai bobot dan bias tiap lapisan, kemudian tahap *feedforward* dilakukan mulai dari langkah 5. Jika konvergen maka proses *backpropagation* berhenti.
4. Jika menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*), untuk menghitung μ digunakan Persamaan 2.18, dengan $\mu_0 > 0$ dan $\tau \gg 1$. Jika tidak menggunakan algoritma LMS, maka nilai $\mu = \mu_0$.

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \frac{k}{\tau}} \quad (2.18)$$

5. Untuk menghitung perbaikan nilai bobot dan bias pada lapisan keluaran digunakan Persamaan 2.19 dan 2.20,

$$w_{rj}^{(2)}(k+1) = w_{rj}^{(2)}(k) + \mu \delta_r^{(2)} x_{out,j}^{(1)} \quad (2.19)$$

$$b_r^{(2)}(k+1) = b_r^{(2)}(k) + \mu \delta_r^{(2)} \quad (2.20)$$

dimana nilai faktor pengendali pada lapisan keluaran ($\delta_r^{(2)}$) dihitung menggunakan Persamaan 2.21,

$$\delta_r^{(2)} = (d_r - y_r)g(v_r^{(2)}) \quad (2.21)$$

dengan $g(v_r^{(2)})$ merupakan $\frac{df(v_j)}{dv_j}$, sehingga $g(v_r^{(2)})$ dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.22.

$$g(v_r^{(2)}) = \alpha f(v_r^{(2)}) [1 - f(v_r^{(2)})] \quad (2.22)$$

6. Untuk menghitung perbaikan nilai bobot dan bias pada lapisan tersembunyi digunakan Persamaan 2.23 dan 2.24,

$$w_{ji}^{(1)}(k+1) = w_{ji}^{(1)}(k) + \mu \delta_j^{(1)} x_i \quad (2.23)$$

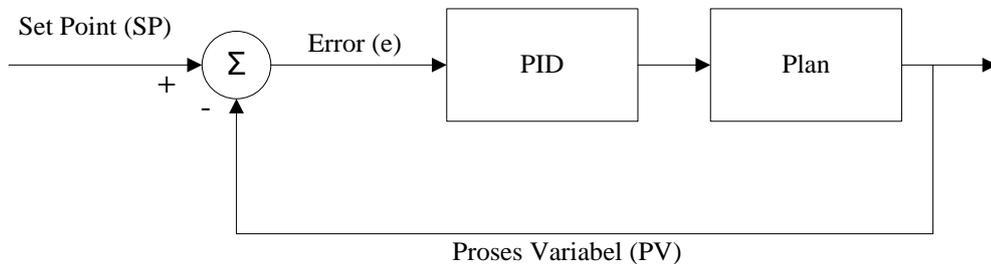
$$b_j^{(1)}(k+1) = b_j^{(1)}(k) + \mu \delta_j^{(1)} \quad (2.24)$$

dimana nilai faktor pengendali pada lapisan tersembunyi ($\delta_j^{(1)}$) dihitung menggunakan Persamaan 2.25,

$$\delta_j^{(1)} = \left(\sum_{r=1}^p \delta_r^{(2)} w_{rj}^{(2)} \right) \alpha f(v_j^{(1)}) [1 - f(v_j^{(1)})] \quad (2.25)$$

2.8 Kontrol PID

Kontrol PID (proportional, Integral, Derivatif) adalah mekanisme kontrol dengan *loop* umpan balik yang digunakan secara luas dalam sistem kontrol industri. Kontrol PID bertujuan untuk memperbaiki *error* antara nilai dari proses variabel (PV) terukur dengan *set point* (SP) yang diinginkan dengan cara mengkalkulasi dan mengeluarkan aksi korektif pada plan. Diagram blok sistem kontrol PID sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.9. Perhitungan pada kontroler PID terdiri dari tiga parameter yaitu nilai proporsional, integral dan derivatif. Nilai proporsional mempengaruhi reaksi pada *error* yang sedang berlangsung, integral mempengaruhi reaksi atas penjumlahan *error* terbaru sedangkan derivatif menentukan reaksi



Gambar 2.9 Diagram blok sistem kontrol PID.

kecepatan perubahan *error*. Bobot penjumlahan dari tiga aksi ini digunakan untuk mengatur proses melalui elemen kontrol.

Keluaran kontrol PID merupakan penjumlahan dari nilai proporsional, integral dan derivatif. Dengan demikian keluaran kontrol PID dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.26,

$$Output_{PID} = K_p e + KI \int edt + K_D \frac{de}{dt} \quad (2.26)$$

dimana e adalah eror yang merupakan selisih antara set poin dengan umpan balik keluaran atau output, K_p adalah konstanta untuk Proportional, K_I adalah konstanta Integral, K_D adalah konstanta untuk Derivative (Killian, 2001).

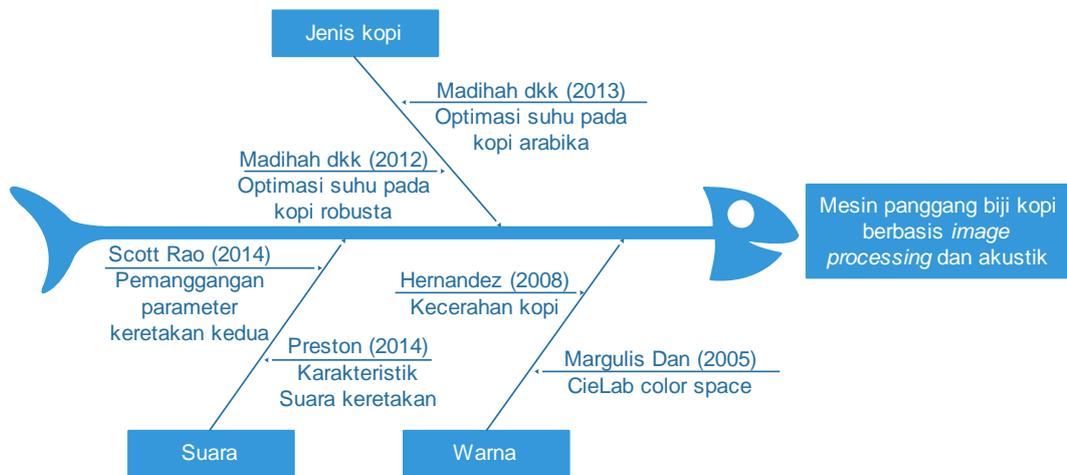
Nilai K_p , K_I dan K_D merupakan parameter kontrol PID. Pengaturan ketiga parameter ini yang sesuai akan menyebabkan sistem menjadi tidak stabil, keluaran menyimpang atau terjadi osilasi.

2.9 Fishbone Penelitian

Fishbone atau biasa disebut dengan diagram tulang ikan merupakan satu diagram yang menunjukkan penyebab-penyebab dari satu event atau kejadian yang spesifik. Pada bagian kepala dituliskan event atau topik yang akan dilakukan, sedangkan di bagian tulang ikan dituliskan kategori yang bisa berpengaruh terhadap even tersebut.

Fishbone dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.10. Diagram ini berdasarkan referensi yang berkaitan dengan topik yang akan diangkat pada penelitian yang akan dilakukan. Topik yang akan diangkat pada penelitian ini adalah mesin panggang biji kopi berbasis *image processing* dan akustik. Dalam merealisasikan topik ini terdapat beberapa kategori yang bisa mempengaruhinya di antaranya biji kopi yang akan dipilih, dan untuk parameter kematangan menggunakan suara sudah dilakukan oleh Preston S Wilson pada tahun 2014 mendeteksi keretakan suara pada proses pemanggangan biji kopi dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan tingkat warna yang dilakukan oleh Hernandez pada tahun 2008 dengan melihat kecerahan biji kopi dan tekstur

dari bentuk tubuh pada biji kopi itu sendiri, proses itu di selama proses pemanggangan dilakukan.



Gambar 2.10 *Fishbone diagram* penelitian

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

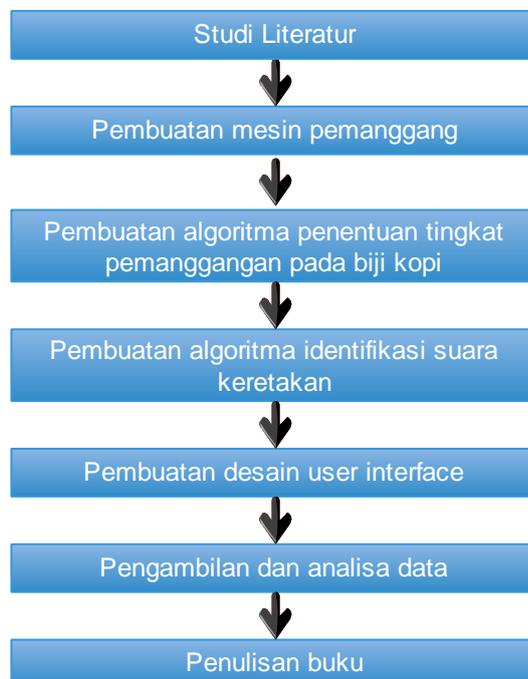
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada pembuatan alat beserta algoritma program yang bertujuan untuk mengenali warna biji kopi dan dapat membedakan suara keretakan disaat pemanggangan. Rangkaian kegiatan penelitian secara umum direncanakan sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Pembuatan mesin pemanggang
3. Pembuatan algoritma penentuan tingkat hasil pemanggangan pada biji kopi
4. Pembuatan algoritma identifikasi suara keretakan pada biji kopi
5. Pengujian sistem
6. Analisa data
7. Penulisan buku

Gambar 3.1 adalah diagram blok tahap pelaksanaan penelitian. Penelitian dimulai dengan mempelajari literatur yang mendukung proses pembuatan sistem.



Gambar 3.1 Diagram blok tahap pelaksanaan penelitian.

3.1 Studi Literatur

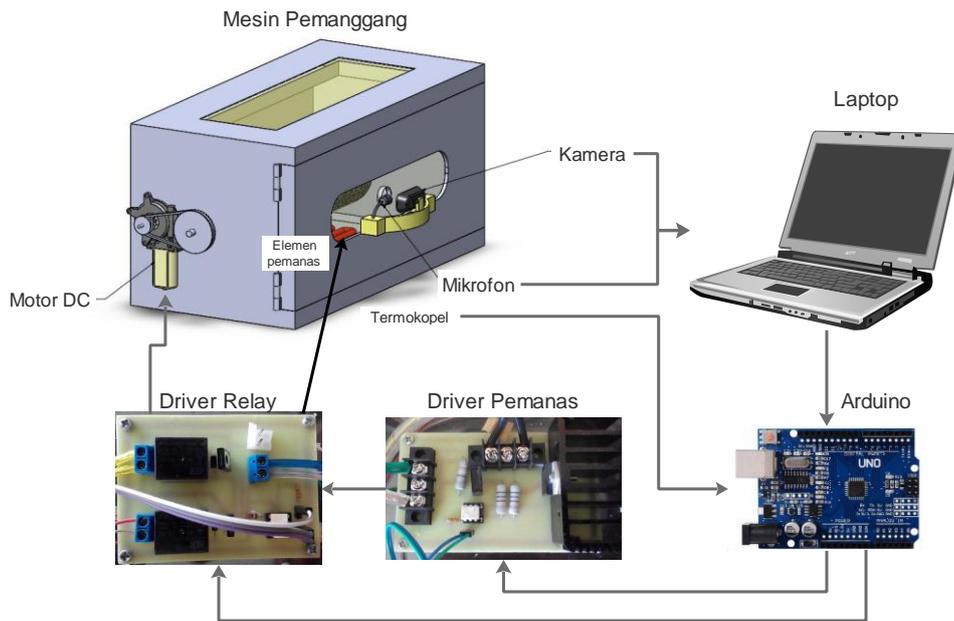
Studi literatur yang dilakukan adalah mencari penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Pada penelitian sebelumnya teknologi yang dikembangkan dalam pemanggangan biji kopi masih banyak terdapat kekurangan terutama dalam proses kualitas kematangan biji kopi pada saat penyangraiaan. Untuk menghasilkan tingkat kematangan biji kopi, penelitian sebelumnya hanya berfokus pada kontrol suhu. Selain itu kontrol yang dilakukan terhadap hasil sangrai masih sangat konvensional. Untuk mengurangi keraguan tingkat kematangan pada proses pemanggangan biji kopi, ditambahkan kontrol untuk mengatur suhu pemanggangan pada tiap jenis biji kopi dan juga digunakannya *image processing* dan sensor akustik sebagai parameter kematangan selama pemanggangan biji kopi untuk menambah kualitas kopi. Teknologi ini diterapkan sistem kendali pada proses pengendalian suhu dengan menerapkan kendali PID dan juga pada proses pengenalan suara keretakan biji kopi menggunakan kendali *Neural Network*.

Perencanaan dan pembuatan perangkat keras dan algoritma sistem pemanggang sangat diperlukan untuk dapat merealisasikan penelitian ini. Agar proses perencanaan dan pembuatan bisa dilakukan dengan mudah maka terlebih dahulu digambarkan melalui diagram blok perangkat keras yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan diagram blok perangkat lunak pada Gambar 3.3.

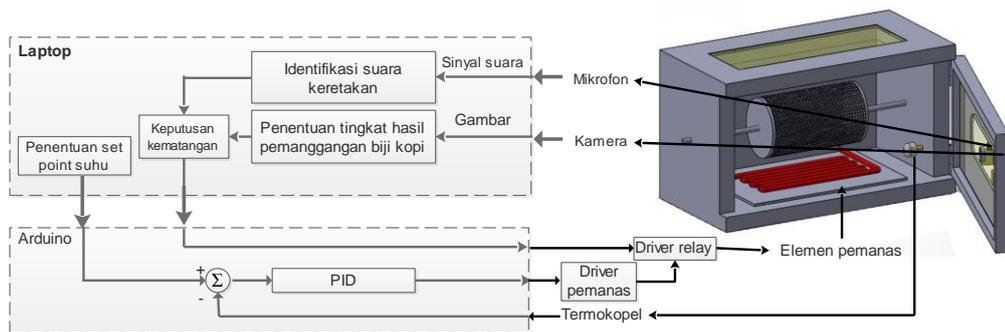
Prinsip kerja diagram blok perangkat keras secara umum dijelaskan sebagai berikut:

1. Pemanas dihidupkan hingga mencapai setpoint suhu yang telah ditentukan pada laptop
2. Biji kopi dimasukkan ke dalam mesin pemanggang
3. Motor diputar agar biji kopi dapat matang merata
4. Warna dan suara mulai dimonitoring untuk menentukan kematangan biji kopi.

Prinsip kerja secara detail yaitu set point suhu ditentukan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pemanggangan pada laptop. Parameter ini digunakan untuk masukan kontrol PID pada arduino, dan hasil dari PID ini adalah berupa nilai PWM yang digunakan sebagai masukan ke driver pemanas pada pemanggang.



Gambar 3.2 Diagram blok perangkat keras.



Gambar 3.3 Diagram blok algoritma sistem mesin pemanggang.

Setelah setpoint suhu terpenuhi, biji kopi dalam silinder dimasukkan kedalam mesin pemanggang untuk melalui proses pemanggang. Selama pemanggang berlangsung, data warna dan suara keretakan biji kopi dimonitoring pada laptop secara *realtime*. Parameter ini digunakan sebagai pembanding tingkat kematangan kopi ialah warna dari biji kopi dan suara keretakan kedua. Data dari warna akan diproses berbasis *image processing* salah satunya ialah melalui proses pendeteksian, begitu pula untuk suara keretakkannya di sini suara keretakan diproses dengan menggunakan kendali *Neural Networks*. Dari masing-masing keluaran sistem *image processing* dan akustik akan dikirim ke arduino dengan cara komunikasi serial. Di saat salah satu parameter dari tingkat warna *Vienna* atau suara

keretakan kedua tercapai, maka sistem akan mengirimkan perintah pada Arduino untuk menonaktifkan sistem pemanas. Perubahan eksternal pada biji kopi akan selalu di *capture* oleh kamera dan direkam oleh mikrofon. Kelebihan sistem ini dapat diterapkan pada biji kopi yang mempunyai kelembapannya berbeda beda.

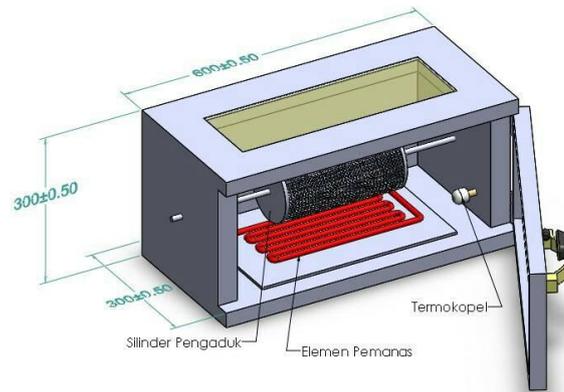
3.2 Mesin Pemanggang Biji Kopi

Mesin pemanggang ini bertujuan untuk membantu proses *capture* biji yang berada dalam pemanggang. Evaluasi yang akan dilakukan terhadap biji kopi meliputi *fitur eksternal* yaitu suhu, warna dan suara keretakan pada biji kopi. Set poin awal biji kopi ditentukan dalam kontrol guna untuk mendapatkan pemanggangan yang optimal pada tiap-tiap biji kopi. Perubahan suhu di dalam pemanggang tersebut diatur dengan merubah laju aliran udara panas pada pemanggang yang di atur oleh driver pemanas. Di saat pemanggangan dimulai biji kopi yang berada di dalam pemanggang di-*capture* oleh kamera untuk mendapatkan warna dari biji kopi. Hasil dari pemrosesan gambar yang berupa parameter warna akan menjadi masukan untuk pembandingan sebagai tingkat kematangan kopi. Tidak hanya berupa parameter warna yang menjadi masukan sebagai tingkat kematangan, di sini juga digunakan sensor akustik yang gunanya untuk mendeteksi keretakan pada saat pemanggangan biji kopi.

3.2.1 Desain Mesin Pemanggang

Pemanggang yang dibuat menggunakan desain oven yang dimodifikasi supaya cocok untuk digunakan dalam memanggang biji kopi. Mesin pemanggang seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3 mempunyai ukuran eksternal 60×30×30 cm dan 52×27×22 cm untuk ukuran internalnya. Sisi bagian atas dan depan menggunakan penampang kaca yang nantinya pada bagian atas digunakan sebagai sumber cahaya dari lampu DC dan bagian depan digunakan sebagai penempatan dari kamera dan mikrofon. Alas bagian bawah oven dipasang dengan kawat nikelin yang berguna sebagai sumber pemanas pada oven.

Bagian dalam terdapat silinder pengaduk biji kopi yang didesain dengan panjang 25 cm dan diameter 12 cm yang dilapisi dengan kawat loket. Pada bagian



Gambar 3.4 Desain oven pemanggang.



Gambar 3.5 Desain dan bentuk fisik silinder pengaduk.

dalam silinder terdapat 3 buah plat seng sebagai pengaduk, plat seng yang pertama diatur miring 45 derajat, plat seng yang kedua berbentuk V dan di tempatkan di posisi tengah, sedangkan pada plat seng yang ketiga diatur miring -45 derajat. Desain dari silinder pengaduk dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Silinder pengaduk dihubungkan langsung dengan motor DC 12v menggunakan *pulley* yang dipasang pada motor dan pada besi penghubung. *Pulley* yang digunakan mempunyai ukuran diameter 7 cm dan 4 cm. Motor DC digunakan sebagai pemutar silinder yang ditempatkan di sebelah kanan pemanggang. Motor DC juga dikontrol dengan driver relay yang dihubungkan dengan pin digital 13 pada Arduino. Desain penempatan motor DC dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Sistem pemanas pada oven menggunakan dua buah kawat nikelin yang berukuran 1.20mm dengan kapasitas daya masing-masing 1500 W. Keramik digunakan sebagai alas pembatas antara kawat nikelin dan oven, dikarenakan oven yang terbuat dari alumunium dapat mengalirkan listrik apabila kawat nikelin terhubung dan membahayakan bagi pengguna.

3.2.2 Sensor Suhu dan Driver Pemanas

Sensor suhu yang digunakan pada sistem ini adalah MAX6675 Termokopel tipe-K. Sensor suhu MAX6675 Termokopel tipe-K berfungsi untuk mendeteksi suhu pada pemanggang. Sensor ini bisa mendeteksi suhu 0-1023,75 derajat Celcius untuk tipe *hot junction*. Sedangkan bagian *cold end* hanya dapat mengukur -20 hingga 85 derajat celcius. Sensor MAX6675 Termokopel tipe-K mempunyai 5 kaki, yaitu VCC, SO, CS, CSK, dan Ground (Gnd). Data output mempunyai resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum. Rangkaian MAX6675 Termokopel tipe-K dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Pembuatan elemen pemanas pada sistem ini menggunakan kawat nikelin dengan diameter *American Wire Gauge* (AWG) 12 atau setara dengan 2,0525 mm dan dengan panjang 2m dan resistivitas 7. Sesuai dengan persamaan resistivitas dan konduktivitas, maka

$$R = \rho L / A$$

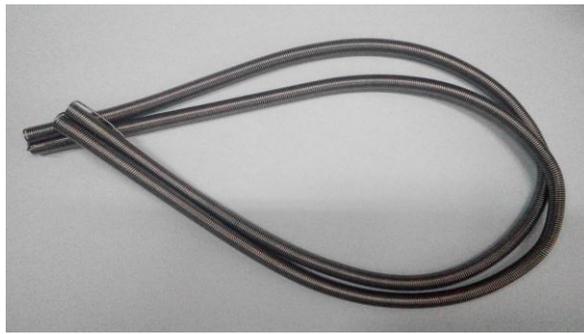
$$R = 7 * 2 / 0.6438$$

$$R = 21,745\Omega$$

Sesuai dengan referensi dari *datasheet* dari kawat nikelin, kawat dengan nilai AWG 12 pada suhu 70 °F atau 20 °C sampai 1000°F atau 204 °C membutuhkan 11,6A pada suhu 538 °C membutuhkan dua kalinya dari arus yang sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa pada suhu yang rendah, dengan sedikit arus dapat memberikan kenaikan suhu yang lebih tinggi

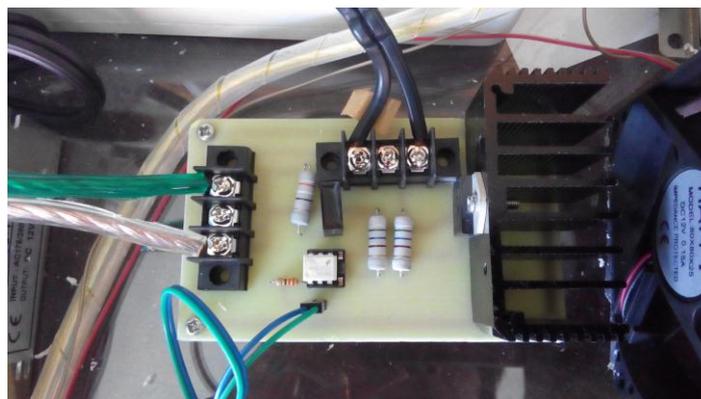


Gambar 3.6 Bentuk fisik MAX6675 Termokopel Tipe-K.

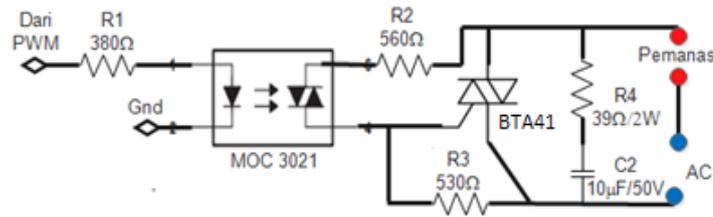


Gambar 3.7 Bentuk fisik kawat nikelin 1500 Watt.

Pembuatan *driver* pemanas menggunakan rangkaian utama berupa MOC3021 dan BT41608 (TRIAC). penggunaan MOC3021 sebagai optoisolator untuk menghubungkan rangkaian pengendali dengan rangkaian daya dan juga pengaman rangkaian pengendali. MOC3020 bekerja secara optik, dengan memanfaatkan *infrared emitting diode* dan photo triac yang tidak terhubung secara elektrik. Prinsip kerja rangkaian *driver* pemanas pada Gambar 3.9 adalah saat PWM dari Mikrokontroler mengirimkan pulsa, maka arus akan mengalir menuju R1 380 Ω kemudian menuju MOC3021. Hal ini menyebabkan MOC3021 “ON”, maka TRIAC BTA416008 akan ikut “ON”, sehingga tegangan 220 AC akan melewati TRIAC dan menuju pemanas, sehingga pemanas aktif. Bentuk fisik *driver* pemanas dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Bentuk fisik rangkaian driver pemanas.



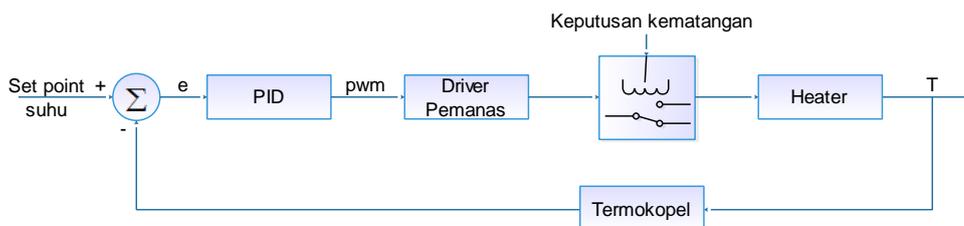
Gambar 3.9 Skematik rangkaian driver pemanas.

3.2.3 Kontrol PID

Di saat set poin diatur pada suhu 270 °C maka pemanggang akan memanaskan secara otomatis hingga pada suhu 270 °C. Di saat biji kopi dimasukkan ke dalam pemanggang maka suhu akan turun, di saat itulah kontrol diperlukan untuk mengatur suhu senilai 270°C secara konstan. Sesuai dengan Gambar 3.10 set poin suhu akan melalui kontrol PID, keluaran dari kontrol PID adalah tegangan yang selanjutnya masuk ke driver pemanas agar bisa mengatur elemen pemanas. *Feedback* dari suhu masuk ke dalam sensor sehingga dapat keluaran suhu sebagai pengurang dari suhu sebelumnya agar didapatkan nilai error.

Pada sistem ini kontrol Proportional–Integral–Derivative (PID) digunakan dalam mengontrol suhu. Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Sehingga dengan memberikan kontrol PID suhu yang diinginkan tetap terjaga. PID adalah kontrol yang terdiri dari proportional (K_p), integral (K_i), dan derivative (K_d).

Nilai K_p , K_i , dan K_d dicari secara manual dengan mengamati respon dari suhu yang terbaca pada MAX6675 Termokopel Tipe-K. Sehingga dapat dibuat logika pemrograman seperti berikut :



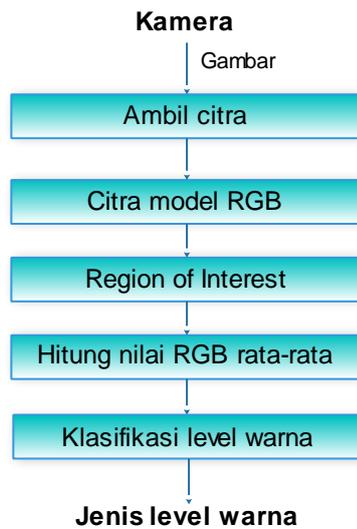
Gambar 3.10 Diagram blok kontrol suhu

1. Menentukan *set point* (suhu yang diinginkan) dan waktu sampling.
2. Kontrol proportional
 - a. Mendapatkan *error* proportional dengan mengurangi *set point* dengan nilai dari sensor MAX6675 Termokopel Tipe-K.
 - b. Keluaran kontrol proportional hasil dari K_p *tuning manual* dikali nilai *error*.
3. Kontrol Integral
 - a. Mendapatkan *error* integral dengan cara menambah *error* proportional dengan *error* sebelum integral.
 - b. Keluaran kontrol integral adalah hasil kali K_i *tuning manual* dengan *error* integral dan waktu sampling.
4. Kontrol Derivative
 - a. Mendapatkan *error* derivative dengan mengurangi *error* proportional dengan *error* sebelum derivative.
 - b. Keluaran kontrol derivative adalah hasil kali K_d *tuning manual* dengan *error* derivative, kemudian dibagi dengan waktu sampling.
5. Kontrol PID adalah hasil dari penambahan keluaran kontrol proportional, kontrol integral, dan kontrol derivative.

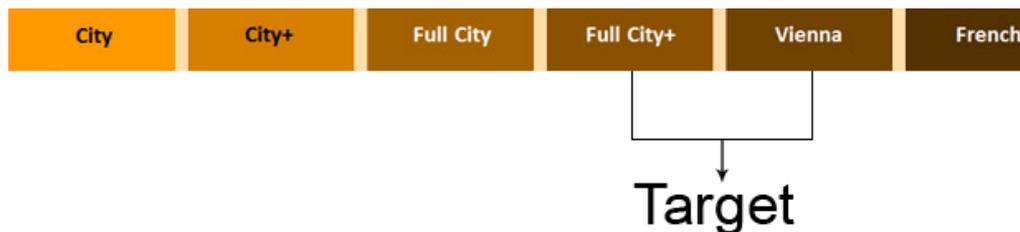
3.3 Penentuan Tingkat Hasil Pemanggangan Pada Biji Kopi

Perubahan warna pada biji kopi adalah parameter yang digunakan sebagai masukan untuk tingkat kematangan pada kopi, ada beberapa proses pengolahan citra yang diperlukan untuk mendapatkan perubahan warna biji kopi selama pemanggangan. Gambar 3.11 merupakan diagram blok dari proses mendapatkan parameter warna.

Biji kopi yang dipanggang, warnanya akan berubah sesuai dengan lama pemanggangan, maka program harus menghitung nilai warna pada perubahan biji kopi saja, oleh karena itu diperlukan operasi untuk menandai batas luar biji kopi pada citra yang diambil. Setelah kurva terluar biji kopi didapatkan, maka harus dipastikan bahwa garis kurva telah terhubung membentuk kurva tertutup, dan pada

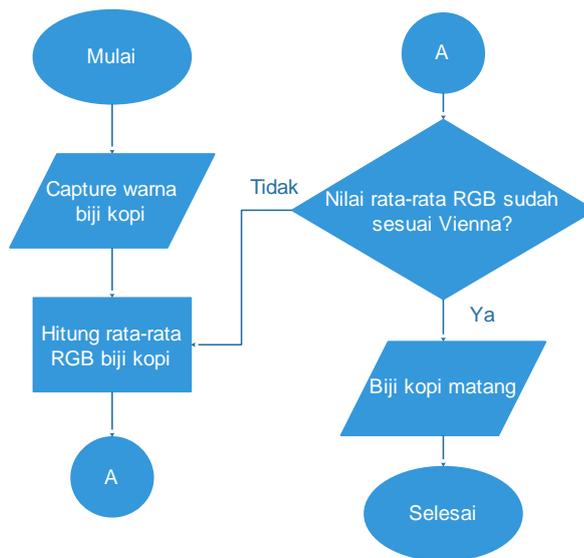


Gambar 3.11 Diagram blok untuk mendapatkan parameter warna biji kopi selama pemanggangan.



Gambar 3.12 Klasifikasi level warna pada kematangan biji kopi.

bagian dalam kurva harus dibedakan warnanya dengan warna latar belakangnya, dan selanjutnya menghitung nilai rata-rata RGB pada warna biji kopi. Setelah didapatkan nilai RGB pada saat pemanggangan biji kopi, maka tahapan selanjutnya ialah menyesuaikan nilai RGB pada saat pemanggangan dengan nilai RGB target yang sudah ditentukan yaitu pada karakter *Full City+* hingga *Vienna*, selanjutnya nilai total tersebut akan digunakan sebagai salah satu masukan untuk tingkat kematangan kopi. Dapat dilihat pada Gambar 3.13 *flowchart* proses dalam menentukan kematangan biji kopi.



Gambar 3.13 Flowchart proses menentukan kematangan biji kopi.

Berikut adalah perintah pada pada program yang digunakan

```

procedure TFkopi.OnIdle(Sender: TObject; var Done: Boolean);
Var
  frame: pIplImage;
  xx,yy,level:integer;
begin
  if Assigned(Capture) then
  begin
  frame := cvQueryFrame(capture);
  if Assigned(frame) then
  begin
  count:=0;
  for xx := 180 to 430 do //height
  for yy := 400 to 450 do //width
  begin
  count:=count+1;
  rat_r:=rat_r+frame.imageData[xx*frame.widthStep+yy
  *frame.nChannels+1];
  rat_g:=rat_g+frame.imageData[xx*frame.widthStep+yy
  *frame.nChannels+2];
  rat_b:=rat_b+frame.imageData[xx*frame.widthStep+yy
  *frame.nChannels+3];
  end;
  rat_r := rat_r / count;
  rat_g := rat_g / count;
  rat_b := rat_b / count;
  level := jarak(rat_r, rat_g, rat_b);
  label1.Caption:=floattostr(rat_r);
  label2.Caption:=floattostr(rat_g);
  label3.Caption:=floattostr(rat_b);
  
```

```

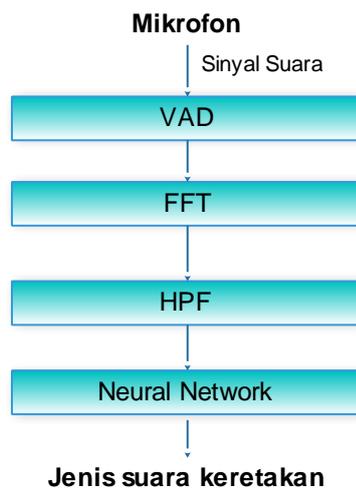
label4.Caption:=inttostr(level);
cvRectangle(frame, CvPoint(180, 400), CvPoint(180 +
250, 400 + 50), CvScalar(255,255,255));
IplImage2Bitmap(frame, framebitmap);
PaintBox1.Canvas.StretchDraw(PaintBox1.ClientRect,
framebitmap);
end;
end;
Done := False;
end;

```

Dalam proses penentuan nilai RGB pada setiap tingkat kematangan biji kopi mengacu pada Gambar 2.7 yaitu dengan menggunakan nilai Lab kemudian diubah nilainya menjadi RGB. Setelah didapat nilai RGB dari masing-masing tingkat kematangan, kemudian disesuaikan nilainya dengan jenis biji kopi yang digunakan

3.4 Identifikasi Suara Keretakan

Pada saat proses pemanggangan berlangsung, terdapat 2 macam keretakan yang terjadi, yaitu keretakan pertama dan keretakan kedua. Suara keretakan yang diambil sebagai masukan tingkat kematangan kopi ialah suara keretakan kedua. Jadi di saat suara keretakan kedua dan warna sudah mencapai yang diinginkan, maka katup akan mati secara otomatis sebagai tanda matangnya kopi. Sistem pengenalan suara keretakan menggunakan beberapa tahap metode diantaranya, VAD, FFT dan Neural Network seperti pada blok diagram Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Blok pengenalan suara keretakan.

3.4.1 Voice Activity Detection (VAD)

Mikrofon mendengar akustik dari lingkungan sekitar. Kondisi akustik dimana tidak terdapat informasi berupa kicauan dapat direpresentasikan sebagai derau. Pendengaran yang dilakukan mikrofon bersifat online. Mikrofon mendengar akustik lingkungan sekitar berupa informasi suara keretakan dan derau.

Untuk membedakan antara suara keretakan dan derau, diperlukan metode ekstraksi ciri dari suara keretakan akustik. Ekstraksi ciri yang dilakukan pada perangkat lunak yang dirancang adalah dengan menganalisa kekuatan suara dan frekuensi dominan dari derau.

3.4.1.1 Kekuatan suara

Getaran membran yang terdapat pada mikrofon dapat diukur nilai energinya berdasarkan nilai kuantisasi ADC. Digunakan 100 bingkai yang masing-masing berisi 1024 sampel suara untuk metode ekstraksi ciri dari *noise*. Persamaan yang digunakan untuk menentukan kekuatan tiap-tiap bingkai tercantum pada persamaan (3.1).

$$\varphi_{power} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]^2, 0 \leq n \leq N-1 \quad (3.1)$$

Kemudian didapatkan 100 buah nilai kekuatan dari masing-masing bingkai.

$$\varphi_{power,i} = |\varphi_{power,1}, \varphi_{power,2}, \dots, \varphi_{power,100}|$$

Histerisis digunakan dalam menentukan suara keretakan dan derau. Histerisis memiliki dua batas dalam penentuan. Dua batas terdiri atas batas atas (λ) dan batas bawah (δ). Masing-masing penentuan λ dan δ diperoleh dari persamaan (3.2) dan persamaan (3.3)

$$\lambda_{power} = \max(\varphi_{power,i}) + \min(\varphi_{power,i}) \quad (3.2)$$

$$\delta_{power} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{100} \varphi_{power,i} \quad (3.3)$$

Masing-masing nilai α power dan δ power dalam kekuatan masih dalam nilai kuantisasi ADC, sehingga perlu diubah dalam satuan logaritmik

kekuatan suara (dB). Persamaan (3.5) merupakan persamaan umum dari regresi logaritmik. Penggunaan regresi logaritmik mengacu pada satuan dB yang merupakan satuan logaritmik kekuatan suara. Persamaan umum kekuatan bunyi dapat ditulis dengan persamaan (3.4).

$$TI = 10 \log I \quad (3.4)$$

Dimana TI adalah taraf intensitas bunyi (dB) dan I adalah intensitas bunyi (watt/m²)

$$y = \beta_0 x^{\beta_1} \quad (3.5)$$

Nilai β_0 dan β_1 didapatkan dari persamaan (3.7) dan (3.8).

$$\beta_1 = \frac{n \sum_{n=1}^N \log x \cdot \log y - \sum_{n=1}^N \log x \cdot \sum_{n=1}^N \log y}{n \sum_{n=1}^N \log x^2 - \left[\sum_{n=1}^N \log x \right]^2} \quad (3.6)$$

Dimana x adalah nilai yang terukur oleh mikrofon y adalah nilai yang terbaca oleh alat ukur acuan.

3.4.1.2 Frekuensi suara

Kekuatan suara yang digunakan untuk penentuan antara suara keretakan dan derau kurang mampu mengatasi masalah yang ditimbulkan akibat derau mesin. Suara mesin menyebabkan diafragma mikrofon bergetar dengan amplitudo yang besar. Untuk mengurangi kelemahan tersebut diperlukan cara lain untuk ekstraksi ciri dari derau dengan menentukan frekuensi dominan derau

$$\varphi_{frekuensi} = \max(FFT(x[n])) \quad (3.7)$$

rekuensi dominan dari derau ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.9). Disediakan 100 bingkai yang berisi 1024 sampel suara untuk ekstraksi ciri frekuensi dominan. Sehingga didapatkan 100 buah nilai frekuensi dominan dari masing-masing bingkai.

$$\varphi_{frekuensi i} = \left| \varphi_{frekuensi 1}, \varphi_{frekuensi 2}, \dots, \varphi_{frekuensi 100} \right|$$

Penentuan batas atas dan batas bawah untuk histerisis frekuensi dominan digunakan persamaan (3.10) dan (3.11).

$$\lambda_{frekuensi} = \max(\varphi_{frekuensi,i}) + \min(\varphi_{frekuensi,i}) \quad (3.8)$$

$$\delta_{frekuensi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{100} \varphi_{frekuensi,i} \quad (3.9)$$

Dimana λ frekuensi adalah batas atas, Δ frekuensi adalah batas bawah dan φ frekuensi, i adalah frekuensi dominan frame ke- i . Sistem akan mendeteksi akustik sebagai kicauan apabila ciri suara telah melebihi nilai ambang batas yang digunakan dalam VAD. Adapun tabel kebenaran untuk mendeskripsikan penentuan yang dilakukan oleh algoritma VAD.

3.4.2 *Fast Fourier Transform (FFT)*

Bingkai suara selanjutnya dilakukan proses transformasi dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Tujuan digunakan transformasi fourier untuk mendapatkan spektrum frekuensi suara keretakan. Pengolahan sinyal pada domain frekuensi lebih mudah jika dibandingkan dengan pengolahan sinyal menggunakan domain waktu. Sinyal domain waktu rentan terhadap derau dari lingkungan, Sedangkan dengan menggunakan spektrum domain frekuensi dapat terlihat frekuensi dominan dari sinyal informasi dan frekuensi dari derau. Hasil dari proses transformasi menghasilkan matriks berukuran 1x1024. Resolusi spektrum frekuensi yang dihasilkan dengan tranformasi fourier adalah.

$$\frac{44200}{1024} = 43,164Hz/titik \quad (3.10)$$

Dalam matriks 1x1024 terdapat proyeksi dari transformasi fourier yang dilakukan beserta pencerminannya. Spektrum pencerminan dapat dihilangkan dari perhitungan. Sehingga dalam sebuah bingkai dapat direduksi ukurannya menjadi 1x512. Hasil dari proses transformasi dapat dijadikan parameter untuk pengenalan suara keretakan.

$$\Omega = |\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{512}|$$

3.4.3 High Pass Filter (HPF)

High Pass Filter (HPF) digunakan untuk menyaring frekuensi yang masuk agar dapat memilah antara noise dan data. Parameter perancangan yang digunakan untuk jenis filter ini sesuai dengan persamaan 3.11

$$\begin{aligned}
 c &= \tan\left(\pi * \frac{f}{fs}\right) \\
 b_0 &= \frac{1}{1 + fr * c + c^2} \\
 b_1 &= -2 * b_0 \\
 b_2 &= b_0 \\
 a_1 &= 2 * (c^2 - 1) * b_0 \\
 a_2 &= (1 - fr * c + c^2) * b_0
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

dimana f adalah frekuensi yang akan di filter, fs adalah frekuensi sampling, dan fr adalah frekuensi respon karena orde 2 maka nilainya 1.414213562.

3.4.4 Neural Network

Pada penelitian ini, *neural network* (NN) digunakan untuk mengenali beberapa jenis suara keretakan yang diujikan yaitu frekuensi dari suara keretakan pertama dan keretakan kedua. Arsitektur NN yang didesain dan digunakan pada penelitian ini terdiri dari tiga lapisan (*layer*), yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. *Input layer* terdiri dari 512 node masukan yang berasal dari data frekuensi FFT yang berjumlah 512. Data dari *input layer* kemudian menjadi masukan ke *hidden layer* yang didesain 100 neuron. Kemudian keluaran dari *hidden layer* diteruskan ke *output layer* yang terdiri dari 2 buah neuron sesuai dengan Tabel 3.1 Perencanaan keluaran perintah suara.

No	Spektrum Suara Keretakan Biji Kopi	Kode Biner	
		Y1	Y0
1	Suara Keretakan Pertama	0	1
2	Suara Keretakan Kedua	1	0

jumlah sampel pelarut organik yang diidentifikasi. Rancangan arsitektur NN dapat dilihat pada Gambar 3.15. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah binary sigmod sehingga nilai target pada proses pembelajaran dibuat dalam bentuk nilai biner seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan Gambar 3.12 dapat dibuat program sebagai berikut

```

procedure TFkopi.maju();
var
  i,j: integer;
begin
  //propagasi maju untuk layer 1
  for i:= 0 to n_hidden-1 do
  begin
    node1[i]:= 0;
    for j:= 0 to n_input-1 do
    begin
      node1[i]:= node1[i]+(input_nn[j,z]*w1[j,i]);
    end;
    node1[i]:=node1[i]+bias1[0,i];
    out1[i]:=1/(1+exp(-1*alfa*node1[i]));
    turunan1[i]:= alfa*(out1[i])*(1-out1[i]);
  end;

  //propagasi maju untuk output layer (layer 2)
  for i:= 0 to n_output-1 do
  begin
    node2[i]:= 0;
    for j:= 1 to n_hidden-1 do
    begin
      node2[i]:= node2[i]+(out1[j]*w2[j,i]);
    end;

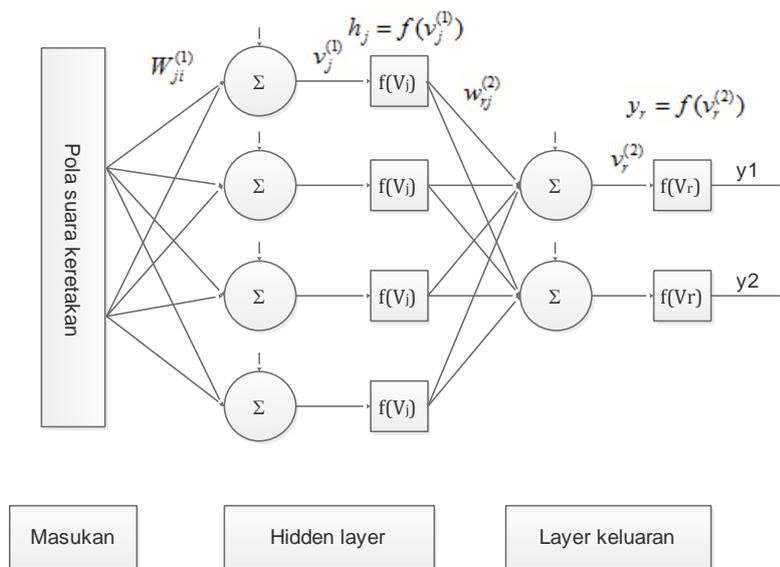
    node2[i]:=node2[i]+bias2[0,i];
    out2[i]:=1/(1+exp(-1*alfa*node2[i]));
    turunan2[i]:= alfa*(out2[i])*(1-out2[i]);
  end;
end;

```

Target kematangan biji kopi dari keluaran perintah suara ditentukan dari suara keretakan kedua yang terdengar pada saat pemanggangan berlangsung.

3.4.5 Backpropagation

. Algoritma *backpropagation* diperlukan dalam proses identifikasi jenis suara keretakan, karena selama proses pembelajaran memiliki kemampuan untuk memperbaiki bobot pada layer tersembunyi.



Gambar 3.15 Topologi perancangan *Neural Network*.

Berdasarkan Persamaan 2.17 sampai Persamaan 2.25 dapat dibuat program sebagai berikut

```

procedure TFkopi.mundur ();
var
  i,j: integer;
begin

  erkum[z] := 0;

  for i:= 0 to n_output-1 do           //error output (layer 3)
  begin
    erkum[z] := erkum[z]+(sqr(desired[i,z]-out2[i]));
    error2[i] := (desired[i,z]-out2[i])*turunan2[i];
  end;
  erkum[z] := (0.5)*erkum[z];

  for i:=0 to n_hidden-1 do
  begin
    error1[i] := 0;
    for j:= 0 to n_output-1 do
    begin
      error1[i] := error1[i]+(error2[j]*w2[i,j]);
    end;
    error1[i] := error1[i]*turunan1[i]; //error layer 1
  end;
end;

```

```

procedure tfkopi.update_weight ();
var
  i,j : integer;
begin
  for i:= 0 to n_input-1 do
  begin
    for j:= 0 to n_hidden-1 do
    begin
      w1[i,j]:= w1[i,j]+(miu*error1[j]*input_nn[i,z]); //update
weight layer 1
      bias1[0,j]:=bias1[0,j]+(miu*error1[j]);
    end;
  end;
  for i:= 0 to n_hidden-1 do
  begin
    for j:= 0 to n_output-1 do
    begin
      w2[i,j]:= w2[i,j]+(miu*error2[j]*out1[i]); //update weight
layer 2
      bias2[0,j]:=bias2[0,j]+(miu*error2[j]);
    end;
  end;
end;

```

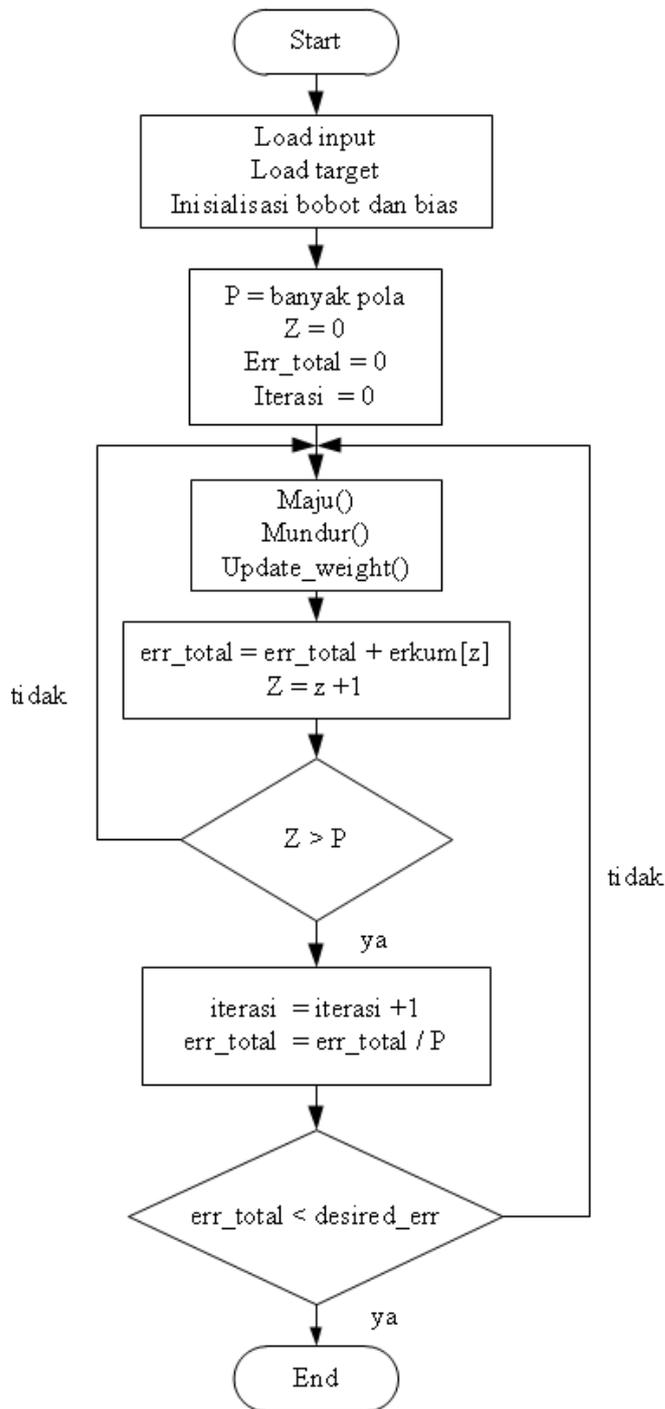
Untuk melakukan pelatihan dengan sejumlah P pola dapat dibuat diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16.

3.5 Desain User Interface

Desain *user interface* dirancang menggunakan bahasa pemrograman Delphi. Desain *interface* diharapkan dapat mempermudah *user* untuk mengoperasikan sistem dalam hal proses pembelajaran *neural network* dan proses kontrol dan indentifikasi suara keretakan .

Desain yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.17. Desain *interface* yang dibuat terdiri dari dari tiga buah menu utama (main program, neural network, tes PID), tiga informasi utama (suhu, jenis level warna, hasil indentifikasi suara keretakan), check box untuk proses indentifikasi, tombol utama (setting, connect, start, fan).

Menu main program terdapat tiga menu yang berisi grafik (source signal, signal filter, dan FFT filter). Menu Neural Network terdapat empat grup box (Load Input and Target, Neural Network parameter, actual parameter dan *mode offline tes*), grafik error pembelajaran dan tabel data input. Menu tes PID digunakan untuk melihat respon pengontrolan terhadap nilai k_p , k_i dan k_d yang di inputkan.



Gambar 3.16 Diagram alir pelatihan neural network dengan banyak pola

Fungsi dari komponen pada menu main program adalah

1. Menu main program, digunakan untuk proses pengambilan data baik untuk pembelajaran neural network maupun identifikasi suara keretakan, untuk proses identifikasi perlu mencentang checkbox identifikasi.

2. Menu Neural Network, digunakan untuk proses pembelajaran neural network yang nantinya dihasilkan bobot dan bias.
3. Menu Tes PID, digunakan untuk menentukan nilai k_p , k_i dan k_d yang sesuai dengan sistem.
4. Tombol Setting, digunakan untuk memilih saluran COM yang dipakai.
5. Tombol Connect, digunakan untuk melakukan koneksi dengan serial COM.
6. Edit Setpoint, digunakan untuk mengisi suhu setpoint.
7. Tombol Set Suhu, digunakan untuk menetapkan suhu setpoint.
8. Tombol Start, digunakan untuk melakukan proses memanaskan oven.
9. Tombol Run, digunakan untuk memulai proses pengambilan data
10. Tombol Get Threshold, digunakan untuk menentukan threshold frekuensi dan amplitudo

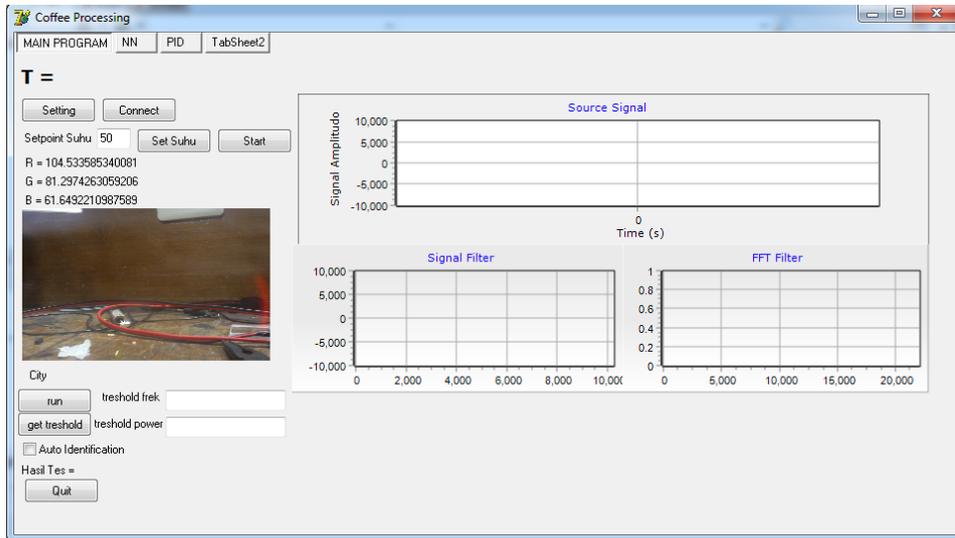
Fungsi komponen pada menu *neural network* adalah

1. Tombol load input, untuk mengambil data pembelajar dan ditampilkan pada tabel data input.
2. Tombol load target, untuk mengambil data target.
3. Tombol Start, untuk melakukan proses pembelajaran.
4. Tombol Save weight and Bias, untuk menyimpan bobot dan bias dari hasil proses pembelajaran.
5. Tombol Load Weight, untuk mengambil bobot dan bias pada proses indentifikasi secara offline.
6. Tombol Load Input (mode offline tes), untuk mengambil data input pada proses identifikasi secara offline.
7. Tombol Tes, untuk melakukan proses identifikasi secara offline.
8. Edit μ , α , desired error dan n hidden untuk memberikan input μ , α , desired error dan n hidden layer.
9. Edit *actual error* dan iterasi untuk menampilkan actual error dan iterasi pada proses pembelajaran.
10. Edit out 1, out 2, out 3, untuk menampilkan nilai output dari proses identifikasi.

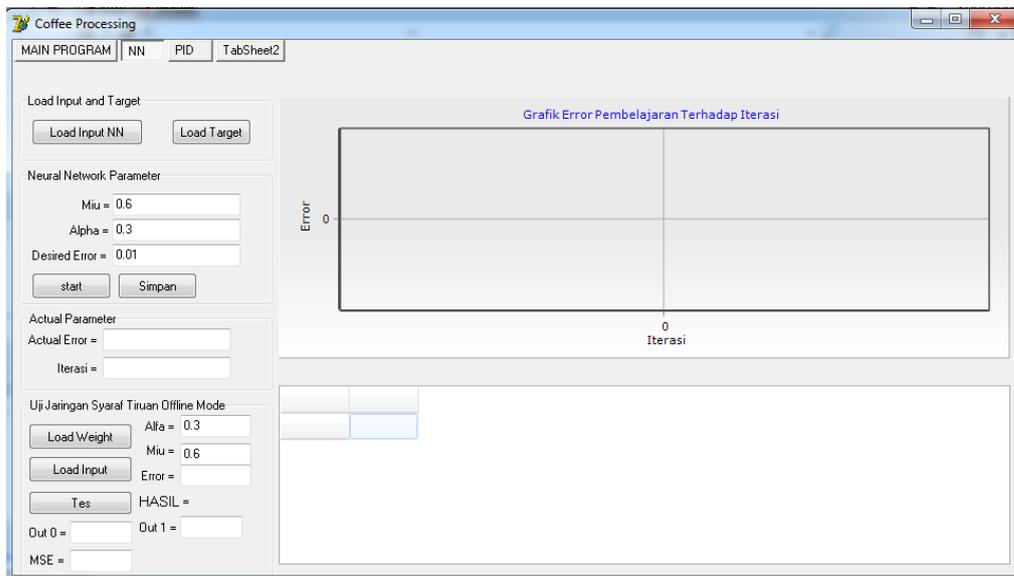
Fungsi komponen pada menu PID adalah

1. Tombol cek PID, untuk mengetahui pengaturan PID yang telah di tetapkan sebelumnya pada mikrokontroler.

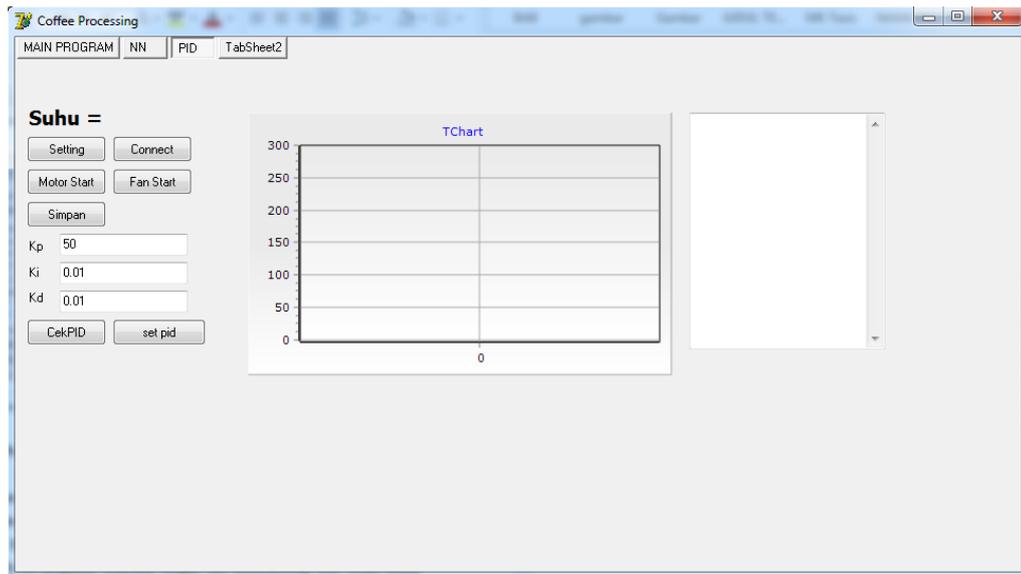
2. Tombol set PID, untuk menetapkan pengaturan PID yang telah ditentukan.
3. Tombol Motor Start, untuk menggerakkan motor silinder secara manual.
4. Tombol Fan Start, untuk menghidupkan kipas pendingin secara manual
5. Edit P, I, dan D, untuk memberikan masukan P, I, dan D.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.17 Desain interface perangkat lunak (a) Main Program, (b) Neural Network, (c) PID

3.6 Prosedur pengambilan data

Prosedur pengambilan data dilakukan untuk perubahan suhu, pengambilan parameter citra, pengambilan parameter suara, pembelajaran NN, dan pengambilan data identifikasi.

3.6.1 Pengujian Kontrol Suhu

Pengujian dilakukan dengan cara memonitoring suhu secara teratur agar mengetahui kondisi suhu di saat awal pemanasan, di saat biji kopi baru dimasukkan hingga di saat kopi sudah matang. Pengambilan data tersebut untuk mengevaluasi apakah pengaturan pada Kp, Ki, dan Kd sesuai dengan yang diinginkan. Pengujian juga dilakukan dengan mengatur dengan set point suhu tertentu apakah sudah sesuai dengan suhu yang dihasilkan oleh pemanas. Set point diatur pada suhu 100 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C, dan 300 °C.

3.6.2 Pengujian Parameter Citra

Pengujian dilakukan dengan cara mengubah nilai LaB ke RGB yang mengacu pada Gambar 2.7 sebagai sampel tiap tingkat kematangan biji kopi sebagai titik ukur kematangan. Setelah didapat sampel RGB kemudia disesuaikan

Tabel 3.2 Hasil perubahan nilai Lab ke RGB terhadap tingkat kematangan

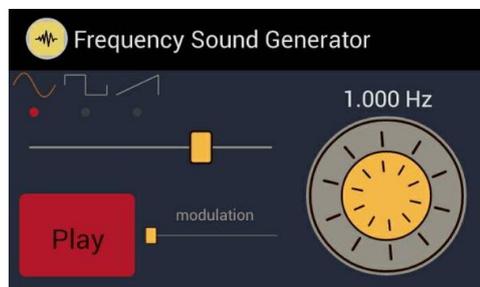
Lab	RGB	Tingkat Matang
L=57;a=8;B=16	R=160;G=131;B=109	City
L=37;a=5;B=13	R=102;G=83;B=66	City+
L=29;a=3;B=8	R=77;G=66;B=56	Full City
L=23;a=3;B=8	R=63;G=52;B=43	Full City+
L=20;a=0;B=4	R=50;G=48;B=42	Vienna
L=6;a=-2;B=3	R=18;G=20;B=14	French

dengan jenis kopi dan mesin pemanggang. Tingkat kematangan yang di terapkan yaitu tingkat *City*, *City+*, *Full City*, *Full City+*, *Vienna*, dan *French*. Hasil perubahan nilai Lab ke RGB terhadap tingkat kematangan

3.6.3 Pengujian Parameter Suara

Pengujian dilakukan dengan cara mengambil data dari masing-masing sistem, yaitu VAD dan FFT. Sistem VAD diujikan dengan cara menentukan amplitudo dan frekuensi kemudian dicoba langsung dengan bermacam-macam *noise* seperti suara mesin, burung, tepukan, orang bicara pelan, orang bicara sedang, hingga orang hingga bicara keras. Suara keretakan juga diujikan untuk menentukan nilai yang diterapkan pada sistem VAD agar dapat terdeteksi oleh sistem.

Dalam proses pengujian FFT dilakukan deengan menggunakan aplikasi *open source* android yang bernama signal generator yang nantinya digunakan dalam menghasilkan sinyal suara setiap frekuensi yang telah ditentukan. Sumber suara dihadapkan langsung dengan mikrofon yang telah dihubungkan dengan sistem. Dari cara tersebut dapat didapat nilai suara yang telah di FFT sehingga dapat



Gambar 3.18 Contoh pengujian dengan menggunakan aplikasi frequency generator

dilihat nilai frekuensinya dan dibandingkan dengan nilai suara yang dihasilkan oleh sumber.

3.6.4 Pengambilan Data Pembelajaran Neural Network

Pengambilan data pembelajaran *neural network* (NN) terdiri dari 10 data tiap jenis suara keretakan, maka total sampel adalah 20. Data dalam domain waktu diambil dengan *jarak* periode 0.3 detik untuk setiap jenis suara keretakan. Pada setiap pengambilan data, semua aktivitas suara pada setiap pemangangan di rekam dengan menggunakan mikrofon.

Pengambilan data menggunakan menggunakan program Adobe Audition yang berguna untuk melakukan perekaman selama pemangangan berlangsung. Setelah didapat data rekaman, kemudian diambil sampel suara dari keretakan pertama dan kedua dan masing-masing dipotong selama 0.3 detik.

Setelah didapatkan sampel dari suara keretakan kemudian disimpan, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data dari sampel dan menentukan target *output* NN yang akan digunakan untuk pembelajaran NN. Data pembelajaran dikumpulkan dan dijadikan dalam satu file serta diberi nama “dnn.xls”, kemudian target *output* NN disusun berdasarkan susunan data pembelajaran dan disimpan dengan nama “tnn.xls”. Susunan data pembelajaran dan target *output* ditunjukkan pada Gambar 3.19 dan Gambar 3.20. Proses pengumpulan data untuk pembelajaran, target *output*, dan pemberian nama file dilakukan menggunakan program Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	No	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
2	0	5.16E-06	7.76E-05	1.80E-05	3.29E-06	0.007873	0.000526	9.87E-07	0.00049	0.000372	7.02E-05
3	43.06641	6.67E-06	6.77E-05	1.50E-05	3.25E-06	0.007918	0.000493	2.10E-06	0.000492	0.000353	6.48E-05
4	86.13281	6.01E-06	7.19E-05	1.74E-05	3.38E-06	0.007935	0.000476	1.59E-06	0.000466	0.000317	6.85E-05
5	129.1992	7.03E-06	6.53E-05	1.86E-05	3.41E-06	0.00802	0.000481	1.44E-06	0.000488	0.000359	6.99E-05
6	172.2656	6.30E-06	8.86E-05	1.83E-05	3.41E-06	0.008048	0.000506	1.44E-06	0.00048	0.000341	5.89E-05
7	215.332	7.29E-06	7.51E-05	1.70E-05	3.48E-06	0.008204	0.000475	2.48E-06	0.000468	0.000346	6.90E-05
8	258.3984	7.00E-06	7.02E-05	1.58E-05	3.45E-06	0.00829	0.000493	1.35E-07	0.000487	0.000345	7.13E-05
9	301.4648	8.13E-06	8.43E-05	1.76E-05	3.47E-06	0.008455	0.000432	3.40E-07	0.000519	0.000362	6.76E-05
10	344.5313	6.42E-06	8.81E-05	1.76E-05	3.45E-06	0.008625	0.000466	1.21E-06	0.000521	0.000377	7.26E-05
11	387.5977	8.09E-06	0.000103	2.21E-05	3.43E-06	0.008792	0.000455	3.41E-06	0.000492	0.000373	6.36E-05

Gambar 3.19 Susunan data pembelajaran pada dnn.xls

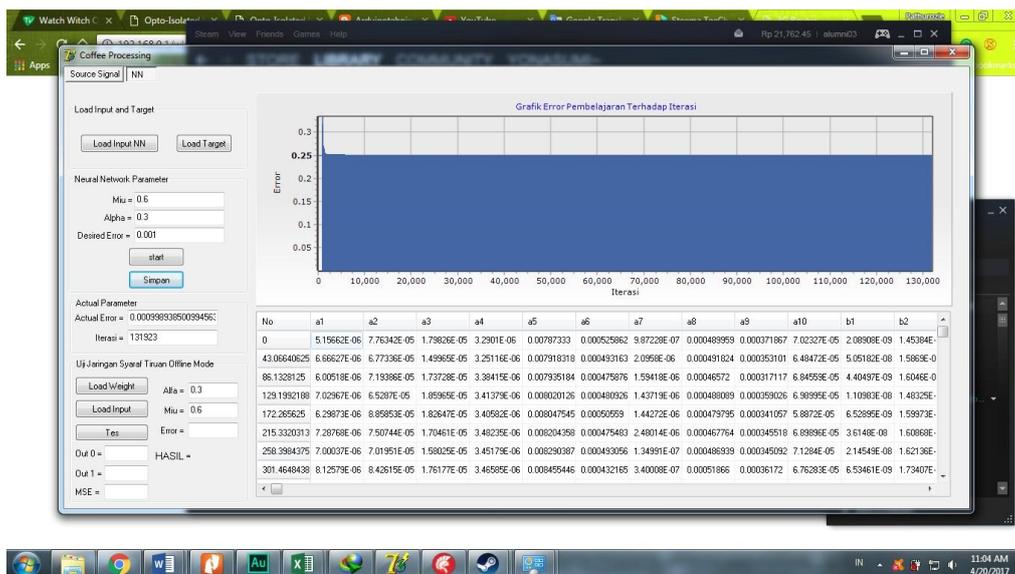
	A	B	C	D	E	F	G
1	output	a1	a2	a3	a4	a5	a6
2	1	1	1	1	1	1	1
3	2	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.20 Susunan data target output pada tnn.xls

3.6.5 Prosedur Pembelajaran Neural Network

Prosedur pembelajaran NN dilakukan pada menu *neural network* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 (b). langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Proses diawali dengan menekan tombol “Load Input NN” untuk memasukan data pembelajaran yang tersimpan didalam file bernama “dnn.xls”.
2. tekan tombol “Load Target” untuk memasukkan target *output* NN yang tersimpan didalam file bernama “tnn”.
3. Isi nilai *Desired error*, MIU, Alpha dan n hidden layer.
4. Tekan tombol “Start”, dan proses pembelajaran akan berjalan. Proses pembelajaran akan berhenti secara otomatis apabila *actual error* memenuhi *desired error* yang ditentukan.
5. Jika proses pembelajaran selesai, tekan tombol tombol “Save weight and Bias” untuk menyimpan bobot dan bias akhir, bobot dan bias akhir akan tersimpan dengan nama “xx_w1.csv” untuk bobot 1 , “xx_w2.csv” untuk bobot 2,



Gambar 3.21 Gambar hasil pembelajaran *Neural Network*

“xx_b1.csv” untuk bias 1, dan “xx_b2.csv” untuk bias 2, dimana kata “xx” merupakan nama yang diinputkan ketika save. Bobot dan bias akhir ini digunakan pada proses identifikasi jenis suara keretakan.

3.6.6 Prosedur Identifikasi Suara Keretakan

Identifikasi suara keretakan dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap sampel suara keretakan dari jenis biji kopi robusta dan arabika, jadi total pengujian untuk setiap sampel suara keretakan adalah 20.

Pengambilan data pada proses identifikasi suara keretakan dilakukan dengan mencentang checkbox identifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 (a). Untuk bobot dan bias hasil pembelajaran *neural network* secara otomatis di *load* oleh program ketika menekan tombol “Run”. Hasil akan tertampil pada bagian informasi “Result Identification”.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian dan analisa terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab sebelumnya. Adapun pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian kontrol suhu
2. Pengujian sistem identifikasi RGB
3. Pengujian sistem identifikasi tingkat kematangan biji kopi
4. Pengujian fenomena suara keretakan
5. Pengujian *Voice Activity Detection* (VAD)
6. Pengujian *Fast Fourier Transform* (FFT)
7. Pengujian sistem identifikasi Neural Network
8. Pengujian Neural Network sebagai pengenalan suara keretakan

4.1 Pengujian Kontrol Suhu

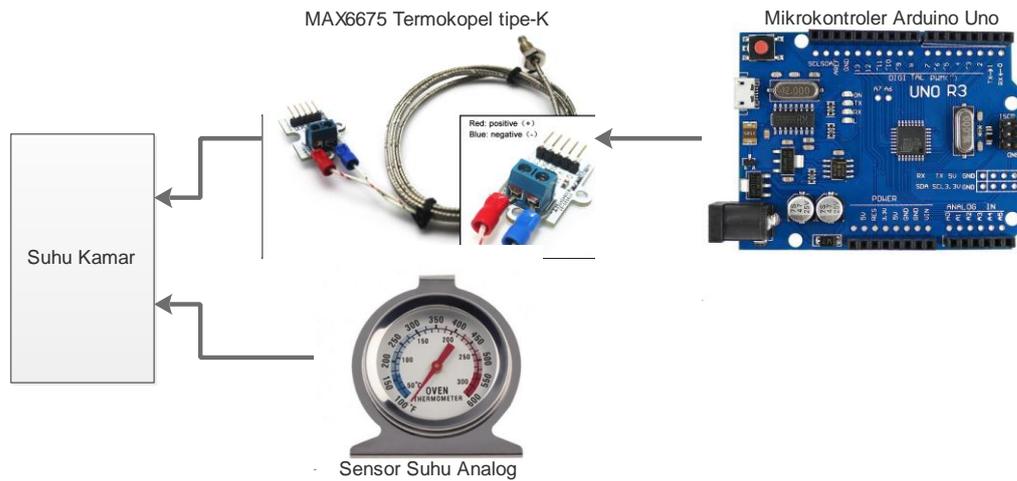
4.1.1 Tujuan Pengujian

Kontrol suhu merupakan hal terpenting didalam proses pemanggangan biji kopi. Kontrol suhu berfungsi untuk mengendalikan suhu pada pemanggang. Apabila kontrol suhu tidak berfungsi dengan baik maka dapat mempengaruhi kematangan biji kopi. Hal terpenting didalam sistem kontrol suhu adalah sensor suhu. Apabila sensor suhu berkerja dengan baik, maka proses pengendalian suhu juga akan berjalan dengan baik.

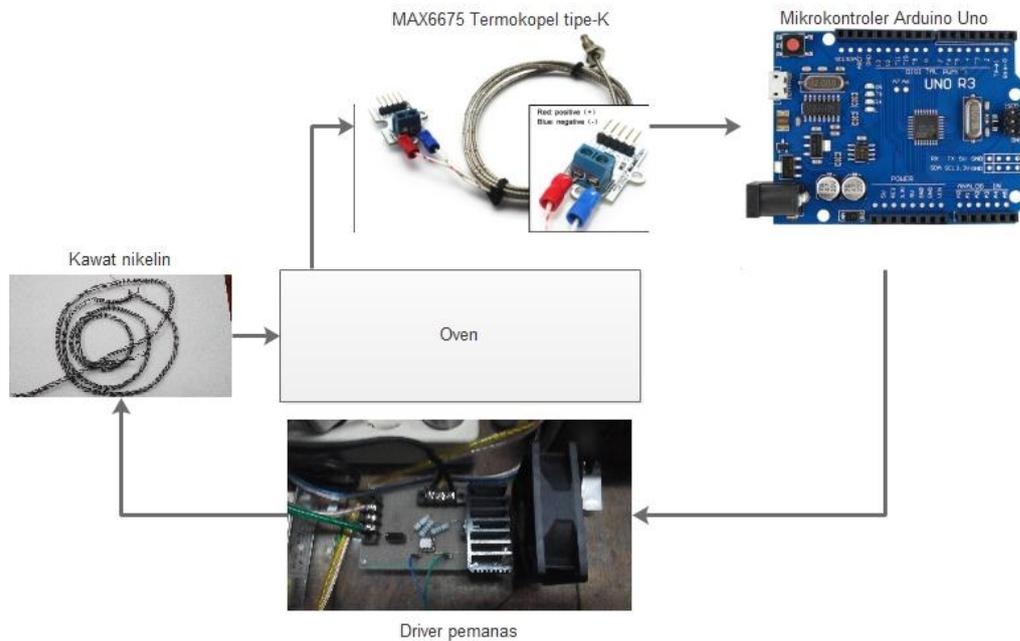
4.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian terlebih dahulu dilakukan terhadap sensor suhu Termokopel Tipe K. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan kaki driver Termokopel Tipe K yang terdiri dari VCC, SO, CS, CSK, dan GND ke PORT digital pada Arduino Uno. Kemudian mengamati dan membandingkan nilai yang muncul pada GUI dengan nilai yang muncul pada termometer digital. Skema pengujian sensor suhu Termokopel Tipe K dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Pengujian selanjutnya terhadap kontrol suhu. Pengujian dilakukan dengan cara memberi *set-point* suhu 100°C, 150°C, 200°C, dan 250°C. Kemudian mengamati respon suhu menggunakan program antara muka pada komputer. Sekema pengujian kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.1 Skema pengujian sensor MAX6675 Termokopel tipe-K



Gambar 4.2 Skema pengujian kontrol suhu MAX6675 Termokopel tipe-K

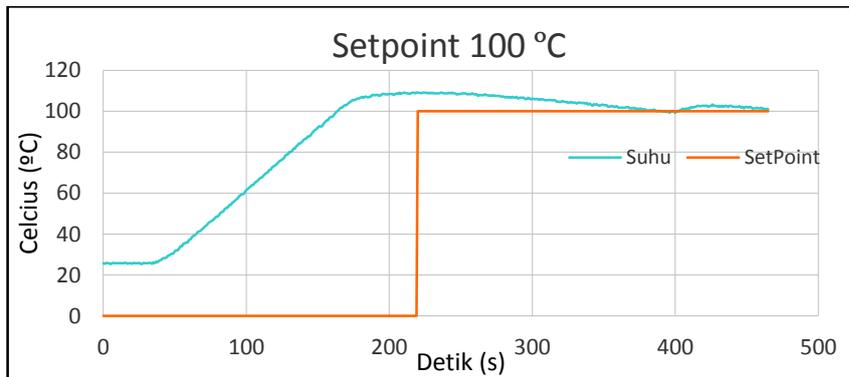
4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Berdasarkan hasil pengukuran suhu dengan MAX6675 Termokopel tipe-K dan termometer analog, didapatkan suhu yang terukur dengan MAX6675 Termokopel tipe-K adalah 101°C sedangkan dengan termometer analog adalah 97°C . Selisih antara pembacaan MAX6675 Termokopel tipe-K dan termometer analog adalah 4°C . Hasil pembacaan termometer analog dapat dilihat pada Gambar 4.3.

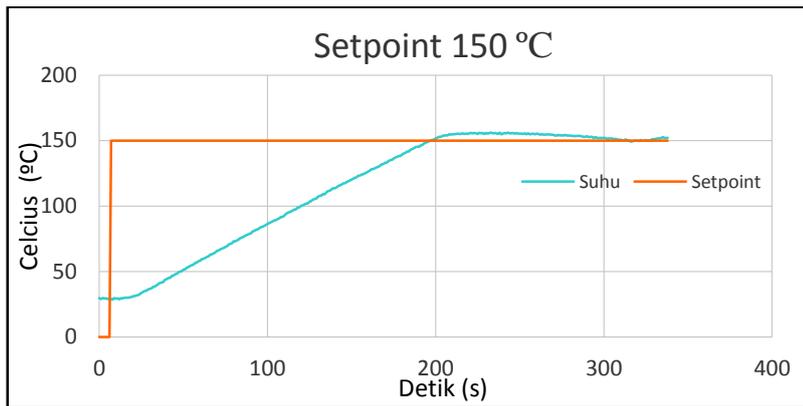
Hasil pengujian terhadap kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.4. Dimana hasil dari suhu yang dikontrol berjalan dengan baik. *Overshoot* yang paling tinggi ketika *setpoint* diingkan pada suhu 150°C yaitu 2.64%, sedangkan pada *setpoint* 200°C didapat *overshoot* sebesar 2.69%. Untuk *setpoint* 250°C dibutuhkan waktu paling lama untuk mencapai *settling time*, yaitu hampir 300 detik dan *steady state error* sebesar 1.52%. Keseluruhan efek yang disebabkan oleh parameter-parameter dalam kontrol PID dapat dilihat pada Tabel 4.1.



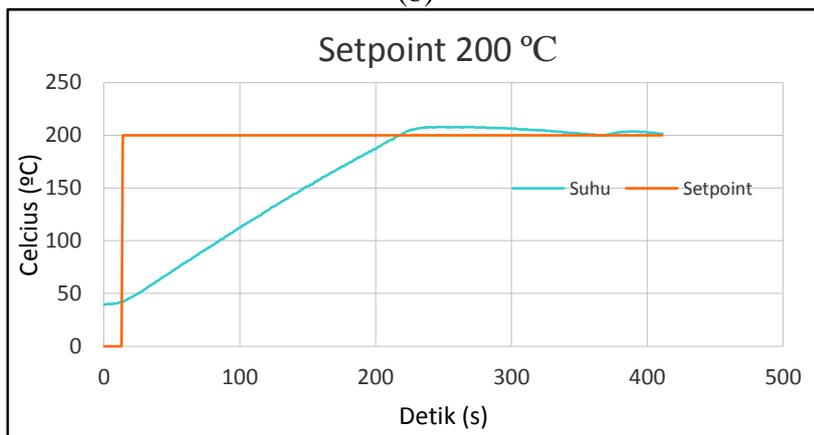
Gambar 4.3 Pembacaan suhu termometer analog



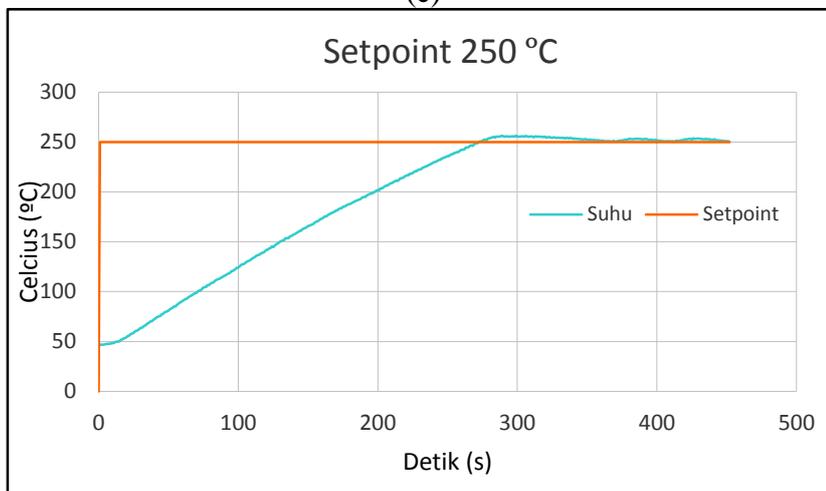
(a)



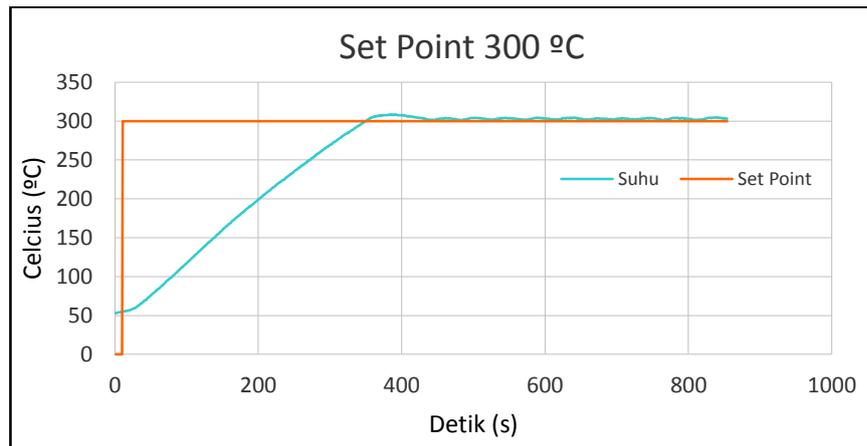
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.4 Grafik respon suhu, (a) *Set Point* 100°C; (b) *Set Point* 150°C; (c) *Set Point* 200°C; (d) *Set Point* 250°C; (e) *Set Point* 300°C.

Tabel 4.1 Efek yang disebabkan oleh parameter kontrol PID

Set-Point	Settling Time (detik)	Rise Time (detik)	Over Shoot (%)	Stady State Error (%)
100	200	110	6.87	0.05
150	220	200	2.64	0.10
200	250	220	2.69	0.57
250	310	280	1.52	0.92
300	484	352	2.75	1.41

4.2 Pengujian Sistem Identifikasi Rata-Rata RGB

4.2.1 Tujuan Pengujian

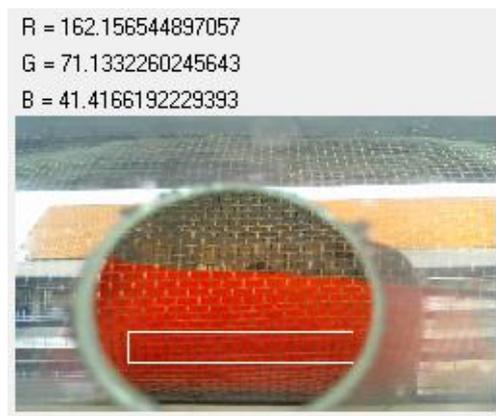
Pengujian sistem identifikasi RGB bertujuan untuk mengetahui keberhasilan algoritma program tentang pembacaan rata-rata RGB yang telah dibuat. Indikator dari keberhasilan sub sistem ini adalah hasil dari pembacaan rata-rata setiap komponen RGB pada warna kertas mewakili warna kertas uji keseluruhan.

4.2.2 Prosedur Pengujian

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kertas berwarna merah, hijau, biru, hitam, dan putih.
2. Kemudian proses pembacaan warna rata-rata dari setiap komponen dilakukan menggunakan algoritma yang telah dibuat.

4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2, dan contoh proses percobaan ditunjukkan pada gambar 4.5. Dari hasil pengujian terlihat bahwa komponen warna merah pada kertas merah memiliki nilai tertinggi, komponen warna biru pada kertas biru adalah yang tertinggi, dan begitu juga pada kertas warna hijau komponen warna hijau adalah yang tertinggi. Kertas putih memiliki nilai rata-rata grayscale lebih tinggi dibandingkan kertas warna hitam, dan pengujian pada citra cahaya putih memiliki nilai grayscale tinggi yaitu 253,33. Dari hasil tersebut membuktikan



Gambar 4.5 Contoh hasil pengujian dengan kertas berwarna merah

Tabel 4.2 Data pengujian kertas berwarna dan cahaya pada citra

Percobaan (Warna)	Merah (rerata)	Hijau (rerata)	Biru (rerata)
Kertas Merah	162,16	71,13	61,41
Kertas Hijau	76,77	101,61	71,63
Kertas Biru	81,46	93,11	113,40
Kertas Putih	125,14	121,47	110,01
Cahaya Putih	211,90	210,45	209,81
Kertas Hitam	76,44	67,48	54,72

bahwa algoritma program untuk pembacaan rata-rata warna dapat diterapkan dalam proses pembacaan nilai rata-rata warna kopi.

4.3 Pengujian Sistem Identifikasi Tingkat Kematangan Biji Kopi

4.3.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana keberhasilan program dalam mendeteksi tingkat kematangan biji kopi pada saat pemanggangan. Indikator dari keberhasilan sub sistem ini adalah hasil dari pembacaan setiap komponen RGB pada biji kopi yang telah dipanggang berdasarkan waktu. Setelah itu dihitung nilai rata-rata dari tiap tingkat biji kopi yang telah dipanggang berdasarkan waktu dan digolongkan tiap tingkat kematangannya.

4.3.2 Prosedur pengujian

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan biji kopi yang telah dipanggang tiap menit.
2. Kemudian proses pembacaan warna rata-rata dari setiap komponen dilakukan menggunakan algoritma yang telah dibuat.
3. Dilakukan penyeleksian tiap rata-rata RGB untuk digolongkan tingkat kematangannya

4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3, dan contoh proses percobaan ditunjukkan pada gambar 4.6. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa komponen rata-rata RGB pada tiap tingkat mengalami penurunan nilai. Untuk tingkat

Tabel 4.3 Data pengujian RGB pada tingkat kematangan biji kopi

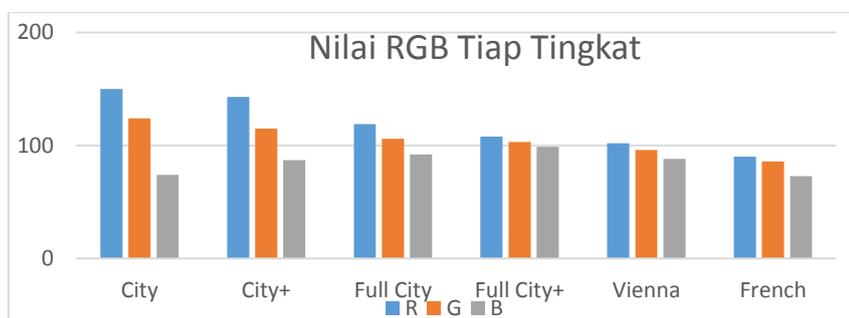
Percobaan (Tingkat)	Merah (jarak)	Hijau (jarak)	Biru (jarak)
City	144-150	116-124	72-99
City+	120-143	107-115	72-99
Full City	109-119	104-106	72-99
Full City+	103-108	97-103	72-99
Vienna	91-102	91-96	72-99
French	86-90	86-90	72-99

kematangan *city* mempunyai nilai jarak merah 144-150, jarak hijau 116-124, dan jarak biru 72-99. Sedangkan untuk tingkat *city+* mempunyai nilai jarak merah 120-143, jarak hijau 107-115, dan jarak biru 72-99. Begitu pula untuk tingkat selanjutnya mempunyai nilai jarak yang menurun dari tingkat sebelumnya, dikarenakan warna tingkat kematangan biji kopi semakin lama akan semakin hitam. Pada tingkat *vienna* dan *french* mempunyai nilai jarak masing-masing dibawah 100 karena berwarna gelap. Untuk nilai dari jarak biru dapat dilihat mempunyai yang sama pada semua tingkat warna dikarenakan warna dominan dari biji kopi ialah hijau dan merah.

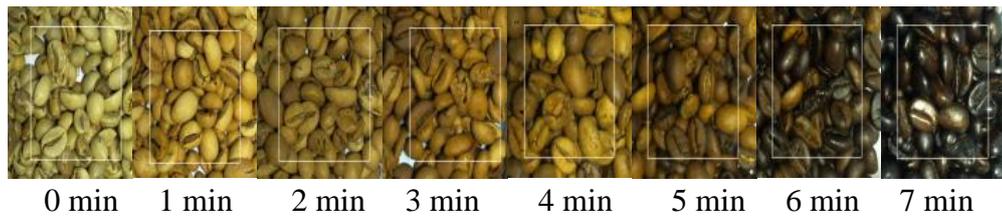
Pada Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara warna biji kopi terhadap waktu disaat pemanggangan berlangsung. Perubahan warna ini dapat dilihat secara jelas pada tiap menitnya. Parameter kematangan standar yang biasa digunakan yaitu pada durasi 5-6 menit pemanggangan.



Gambar 4.6 Contoh hasil pengujian RGB pada tingkat kematangan biji kopi



Gambar 4.7 Hasil pengujian RGB pada tingkat kematangan biji kopi



Gambar 4.8 Warna biji kopi selama pemanggangan terhadap waktu

4.4 Pengujian Fenomena Suara Keretakan

4.4.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui fenomena suara keretakan yang terjadi pada saat pemanggangan berlangsung, serta untuk mengetahui posisi dan karakteristik dari tiap suara keretakan yang terjadi.

4.4.2 Prosedur Pengujian

Langkah yang dilakukan adalah dengan merekam seluruh aktivitas suara yang terjadi pada saat pemanggangan berlangsung dari awal hingga biji kopi dalam keadaan hangus. Setelah didapat data rekaman, dengan menggunakan *software audio* data tersebut dapat dilihat posisi dan karakteristik dari tiap suara keretakan. Posisi dapat dilihat dari awal amplitudo yang terjadi, karakteristik dapat dilihat dengan besar amplitudo dari suara keretakan pertama dan suara keretakan kedua, dan durasi dapat dilihat dengan memotong satu suara keretakan dan dilihat durasi suara keretakannya.

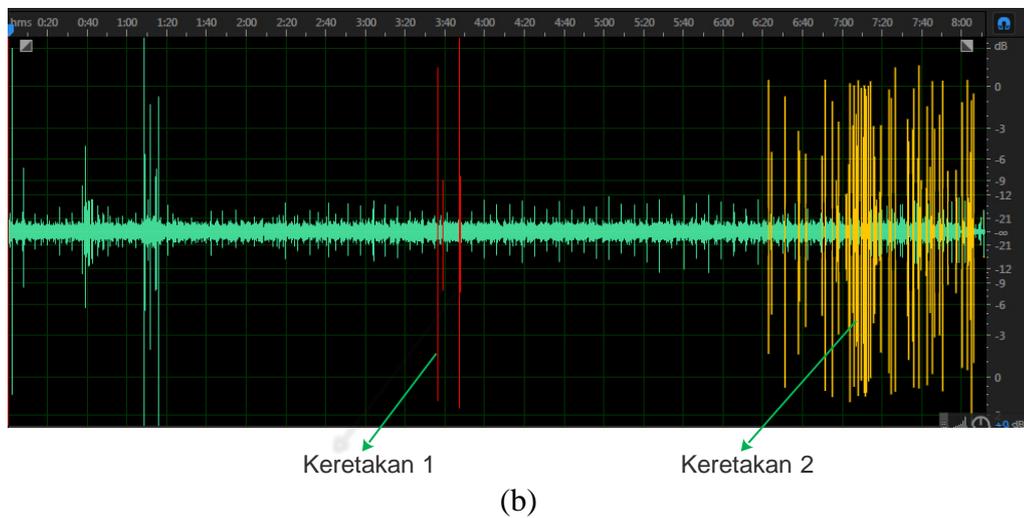
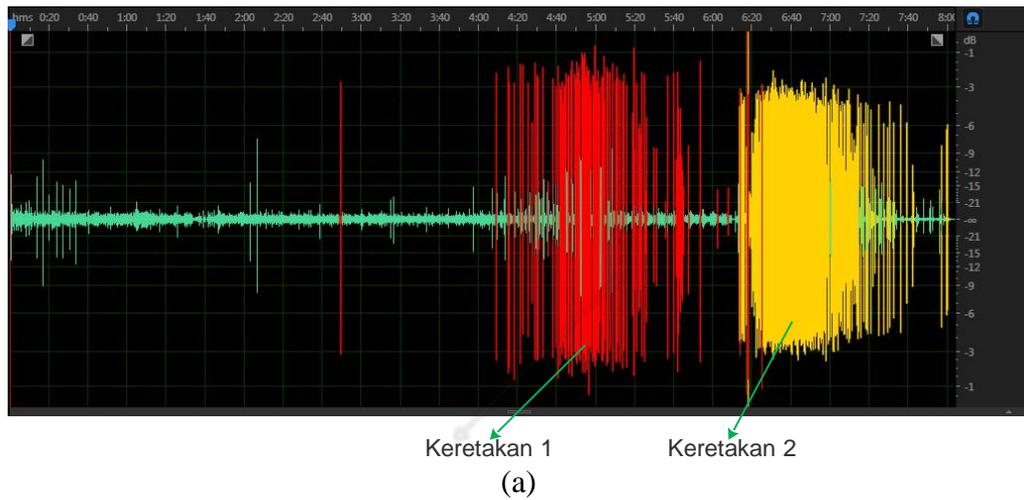
4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Pengujian fenomena suara keretakan untuk biji kopi Arabika dapat dilihat pada Gambar 4.9 (a). Dapat dilihat awal terjadinya suara keretakan pertama pada menit 4:14 hingga menit 6:26 dan suara keretakan kedua terjadi pada menit 6:11 hingga menit 8:00. Disaat awal terjadinya suara keretakan kedua masih terdapat sisa dari suara keretakan pertama yang bercampur disaat waktu suara keretakan kedua dikarenakan terdapat beberapa biji kopi yang kelembapannya berbeda dengan biji kopi yang lainnya sehingga telat merekah. Pada biji kopi Robusta dapat

dilihat pada Gambar 4.9 (b) awal terjadinya suara keretakan pertama pada menit 3:36 hingga menit 3:47. Suara keretakan pertama pada biji kopi Robusta hanya terjadi 4 suara keretakan, dikarenakan tidak semua jenis biji kopi mengalami keretakan pertama. Suara keretakan kedua terjadi pada menit 6:22 hingga menit 8:06.

Pada suara keretakan pertama untuk biji kopi Arabika terdapat ± 110 suara keretakan yang terjadi dalam rentang waktu 2 menit 18 detik sedangkan pada suara keretakan kedua terdapat ± 139 suara keretakan yang terjadi dalam rentang waktu 1 menit 20 detik. Disini terdapat perbedaan jumlah antara suara keretakan pertama dan suarang keretakan yang kedua dikarenakan biji kopi kadang tidak mengalami proses keretakan yang pertama. Sedangkan pada biji kopi robusta terdapat 4 buah suara keretakan pertama dengan rentang waktu 12 detik, jika dibandingkan dengan biji kopi Arabika terpaut jauh jaraknya, dikarenakan tidak setiap jenis biji kopi mengalami keretakan pertama. Pada suara keretakan kedua terdapat ± 62 suara keretakan dengan rentang waktu 1 menit 44 detik.

Besaran amplitudo disetiap keretakan juga dapat dilihat perbedaannya. Pada biji kopi Arabika untuk keretakan pertama mempunyai amplitudo terbesar 0dB, terkecil -9dB, dan nilai rata-rata -2dB, sedangkan untuk keretakan kedua mempunyai amplitudo terbesar -2,5dB, terkecil -10dB, dan dengan nilai amplitudo rata-rata -4dB. Untuk biji kopi Robusta di kertakan pertama mempunyai nilai amplitudo terbesar +2dB, terkecil -9dB dan nilai amplitudo rata-rata 0dB dan untuk keretakan kedua mempunyai nilai amplitudo terbesar +1, terkecil -9dB, dan amplitudo rata-rata -2dB. Nilai amplitudo dari biji kopi Robusta mempunyai nilai yang lebih besar dari pada biji kopi Arabika dikarenakan jenis biji kopi Robusta tumbuh pada ketinggian 700 mdpl sedangkan biji kopi Arabika tumbuh pada ketinggian diatas 700 hingga 1700 mdpl sehingga kopi robusta memiliki karakteristik biji yang lebih kering dari pada biji kopi Arabika. Dari nilai amplitudo tersebut dapat dilihat perbedaan antar suara keretakan pada masing-masing biji kopi Arabika dan biji kopi Robusta.



Gambar 4.9 Pengujian fenomena keretakan biji kopi: (a) Arabika, (b) Robusta

4.5 Pengujian *Voice Activity Detection* (VAD)

4.5.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah program *Voice Activity Detection* (VAD) telah bekerja dengan baik atau tidak, serta untuk mengetahui parameter-parameter dari VAD (frekuensi dan amplitudo) yang digunakan pada sistem

4.5.2 Prosedur Pengujian

Langkah yang dilakukan adalah dengan mencari *threshold* spektrum dari bingkai suara yang telah didapatkan, selanjutnya dengan menguji cobakan pada

macam-macam suara dari *noise* diantaranya suara tepukan, burung, orang bicara pelan, orang bicara sedang, orang bicara keras, dan suara mesin pemanggang. Begitu pula suara keretakan dari biji kopi turut diujicobakan dari suara keretakan pertama dan suara keretakan kedua. Masing-masing suara dilakukan percobaan 10 kali untuk mendapatkan parameter VAD yang akan diterapkan.

4.5.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian VAD yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 hingga Tabel 4.7. adalah presentase tingkat VAD dalam menyeleksi dari suara *noise* hingga suara keretakan. Suara *noise* yang diuji ialah suara tepukan, burung, bicara pelan, bicara sedang, bicara keras, dan juga suara dari mesin pemanggang. Untuk suara keretakan yang diuji adalah suara keretakan pertama dan suara keretakan kedua.

Pengujian pada amplitudo 12.72 dB tingkat keberhasilan untuk suara keretakan pertama bernilai 40% keberhasilan dan untuk suara keretakan kedua sama sekali tidak bisa terdeteksi oleh sistem VAD. Suara *noise* yang lolos pada amplitudo ini hanya suara tepukan. Pada pengujian amplitudo 6 dB keberhasilan dalam meloloskan suara keretakan kedua bernilai 30%, begitu juga untuk suara keretakan pertama bernilai 80%, namun pada amplitudo ini suara *noise* orang bicara keras bernilai 20%.

Tabel 4.4 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 12.72 dB

Jenis Suara	Keberhasilan
Tepukan	100%
Burung	0%
Bicara pelan	0%
Bicara sedang	0%
Bicara keras	0%
Mesin pemanggang	0%
Keretakan1	40%
Keretakan2	0%

Tabel 4.5 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 6 dB

Jenis Suara	Keberhasilan
Tepukan	100%
Burung	0%
Bicara pelan	0%
Bicara sedang	0%
Bicara keras	20%
Mesin pemanggang	0%
Keretakan1	80%
Keretakan2	30%

Pengujian pada amplitudo selanjutnya adalah 1.12 dB. Pada amplitudo ini suara keretakan pertama bernilai 100% keberhasilan dalam meloloskan data, begitu juga untuk suara keretakan kedua bernilai lebih besar dari pada amplitudo sebelumnya. Kekurangan pada amplitudo ini adalah *noise* yang lolos lebih banyak dan bernilai lebih besar seperti suara dari mesin pemanggang yang bernilai 10%. Selanjutnya pada pengujian amplitudo 0.78 dB. Pada amplitudo ini mempunyai kelebihan suara keretakan pertama dan kedua mempunyai nilai 100%, namun tingkat *noise* yang lolos juga bernilai tinggi seperti suara burung yang lolos dalam sistem VAD.

Tabel 4.6 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 1.12 dB

Jenis Suara	Keberhasilan
Tepukan	100%
Burung	30%
Bicara pelan	0%
Bicara sedang	10%
Bicara keras	60%
Mesin pemanggang	10%
Keretakan1	100%
Keretakan2	70%

Tabel 4.7 Data pengujian VAD dengan nilai amplitudo 0.78 dB

Jenis Suara	Keberhasilan
Tepukan	100%
Burung	100%
Bicara pelan	0%
Bicara sedang	40%
Bicara keras	80%
Mesin pemanggang	60%
Keretakan1	100%
Keretakan2	100%

4.6 Pengujian Fast Fourier Transform (FFT)

4.6.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah program *Fast Fourier Transform* (FFT) telah bekerja dengan baik atau tidak. FFT disini berguna sebagai pemberitahuan nilai

4.6.2 Prosedur Pengujian

Langkah yang dilakukan ialah dengan mempersiapkan aplikasi *opensource* dari android yang bernama frekuensi generator yang nantinya bertugas untuk menciptakan suara dengan frekuensi dari 1000 Hz hingga 17000 Hz. Selanjutnya suara ditujukan pada mikrofon dan frekuensi dapat dilihat pada grafik sistem FFT.

4.6.3 Hasil dan Analisa

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan contoh pengujian pada Gambar 4.10. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada saat frekuensi generator diatur pada frekuensi 1000 Hz, frekuensi yang dihasilkan oleh sistem FFT adalah 992 Hz sehingga memiliki error 0.80% dari frekuensi generator. Pada frekuensi 3000 Hz, frekuensi yang dihasilkan oleh sistem FFT adalah 2972 Hz. Pada frekuensi ini memiliki error yang paling besar diantara yang lain yaitu 0.93%. Sedangkan pada frekuensi 10000 Hz dan frekuensi 14000 Hz memiliki error yang

paling kecil dari semua percobaan yaitu senilai 0.07%. Dapat dilihat pada Gambar 4.11 grafik error rate dari sistem FFT yang dihasilkan pada frekuensi 5000 Hz grafik error turun drastis, dikarenakan terpengaruh sensitivitas dari mikrofon.

Tabel 4.8 Suara frekuensi terhadap sistem FFT

Frekuensi Generator (hz)	FFT (hz)	Error%
1000	992	0.80
2000	1988	0.60
3000	2972	0.93
4000	3970	0.75
5000	4992	0.16
6000	5991	0.15
7000	6989	0.16
8000	7990	0.13
9000	8988	0.13
10000	9993	0.07
11000	10988	0.11
12000	11983	0.14
13000	12986	0.11
14000	13990	0.07
15000	14985	0.10
16000	15981	0.12
17000	16976	0.14



Gambar 4.10 Pengujian sistem FFT dengan menggunakan aplikasi frekuensi generator terhadap mikrofon dan sistem FFT

4.7 Pengujian Sistem Identifikasi Neural Network

4.7.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah program *Neural Network* (NN) telah bekerja dengan baik atau tidak, serta untuk mengetahui parameter-parameter NN (*error terget*, *learning rate*, *alpha*) yang digunakan pada sistem.

4.7.2 Prosedur Pengujian

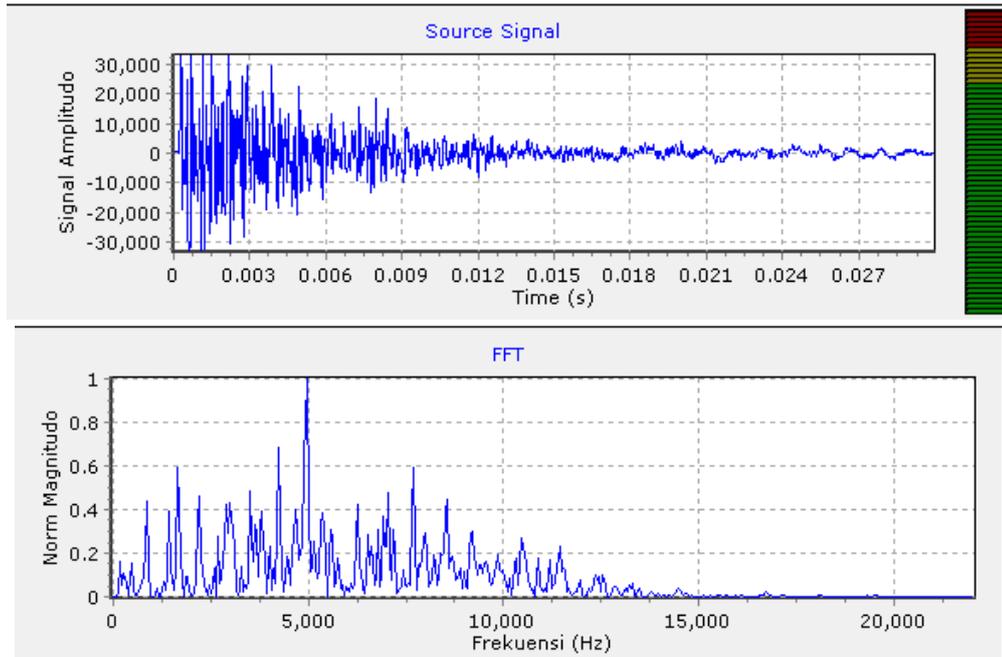
Langkah pertama yang dilakukan adalah merekam semua aktivitas suara pada proses pemanggangan biji kopi dari awal hingga akhir. Dari rekaman tersebut dapat dilihat data suara keretakan dan dipotong dengan durasi 0.03 s sebagai sampel data pembelajaran. Setelah itu diambil nilai FFT tiap data yang selanjutnya digunakan sebagai data pembelajaran dan target *output* NN dalam bentuk .csv untuk proses pembelajaran. Data pembelajaran yang digunakan untuk setiap sampel suara keretakan adalah sepuluh data sehingga total data yang digunakan dalam pembelajaran berjumlah 20 data. Setelah data dan target output NN di-load, kemudian tentukan nilai target kesalahan (*error target*), *learning rate* (μ), *alpha* dengan nilai yang diinginkan. Setelah semua siap, maka proses *learning* dapat dimulai dengan bobot acak pada awal proses. Jika proses *learning* telah selesai maka dapat diketahui iterasi pada setiap percobaan.

4.7.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat data dari *source signal* dan hasil FFT dari sampel suara keretakan pertama. Dengan periode data 0.03 s dihasilkan nilai jarak FFT antara 0 hingga 13000 Hz dengan frekuensi dominan berada pada frekuensi 5000 Hz. Untuk sampel dari suara keretakan yang kedua dapat dilihat pada Gambar 4.12. Dengan periode yang sama yaitu 0.03 s dihasilkan nilai jarak FFT antara 5000 Hz hingga 15000 Hz dengan frekuensi dominan berada pada frekuensi 10000 Hz. Pada sampel suara keretakan kedua mempunyai karakteristik frekuensi ripple pada jarak frekuensi 13000 Hz hingga 15000 Hz. Pada Gambar 4.13 adalah perbandingan FFT dari suara keretakan pertama dan suara keretakan kedua. Dari perbandingan

tersebut dapat dilihat bahwa suara keretakan pertama dan suara keretakan kedua memiliki karakteristik frekuensi yang berbeda. Dari data sampel tersebut digunakan sebagai data pembelajaran NN.

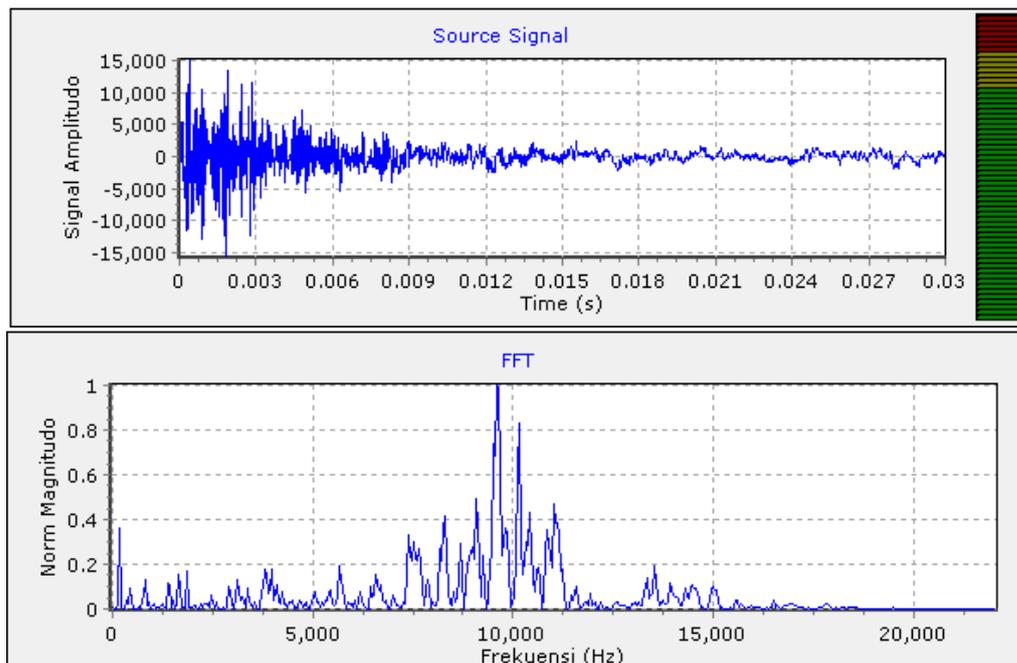
Pengujian menggunakan 1 *hidden layer* dengan variasi node hidden layer dan *mean square error* (MSE). Nilai MSE yang digunakan 0.01 dan 0.001, kemudian setiap nilai MSE divariasi node hidden layer-nya. Node *hidden layer* yang



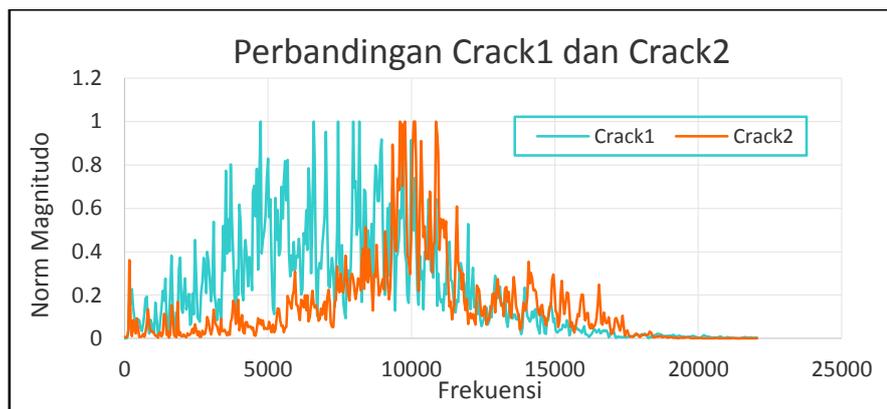
Gambar 4.11 *Source signal* dan hasil FFT dari sampel suara keretakan pertama

Tabel 4.9 Hasil pengujian *neural network*.

MSE	Neuron Hidden Layer	MIU	ALPHA	ITERASI
0.01	10	0.6	0.3	10874
	50	0.6	0.3	16840
	100	0.6	0.3	23910
0.001	10	0.6	0.3	13850
	50	0.6	0.3	25918
	100	0.6	0.3	32475



Gambar 4.12 *Source signal* dan hasil FFT dari sampel suara keretakan kedua



Gambar 4.13 Contoh hasil pengujian tingkat kematangan biji kopi

digunakan dalam pengujian ada tiga, yaitu 10 neuron, 50 neuron dan 100 neuron, namun yang dipilih hanya parameter dengan 100 neuron untuk pengenalan suara keretakan. Parameter μ 0,6 dan α 0,3 digunakan untuk setiap pengujian. Hasil pengujian dengan nilai MSE yang bermacam-macam yang di *learning* dengan μ dan α yang sama, maka dihasilkan iterasi yang berbeda-beda. Hasil pengujian NN ditunjukkan pada Tabel 4.9.

4.8 Pengujian Neural Network Sebagai Pengenalan Suara Keretakan

4.8.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi keberhasilan *neural network* dalam suara keretakan dalam bentuk persentase. Pengujian ini dapat memudahkan dalam proses penilaian apakah sistem ini telah bekerja dengan baik atau tidak.

4.8.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap suara keretakan, dan setiap suara keretakan diambil dari dua jenis biji kopi yaitu jenis robusta dan arabika, jadi total pengujian untuk setiap suara keretakan adalah 10. pengujian dilakukan pada biji kopi robusta dan biji kopi arabika.

4.8.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian identifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 sampai Tabel 4.11 adalah presentase tingkat keberhasilan NN dalam mengidentifikasi jenis suara keretakan. Semua pengujian dilakukan dengan 1 hidden layer dengan jumlah node 100. Pengujian biji kopi robusta terhadap suara keretakan menunjukkan keberhasilan dengan rerata presentase tingkat keberhasilan pada MSE 0.01 adalah 80%, sedangkan tingkat keberhasilan pada MSE 0.001 adalah 100%. Pada pengujian biji kopi arabika menunjukkan keberhasilan dengan rerata presentasi tingkat keberhasilan tidak jauh beda dengan biji kopi robusta yaitu 80% untuk MSE 0.01 dan 100% untuk MSE 0.001.

Tabel 4.10 Pengujian untuk identifikasi suara keretakan jenis biji kopi robusta

Jenis Suara	Pengujian	MSE	
		0,01	0,001
Crack1	1	Crack1	Crack1
	2	Crack1	Crack1
	3	Crack1	Crack1
	4	Crack1	Crack1
	5	Crack2	Crack1
Crack2	1	Crack1	Crack2
	2	Crack2	Crack2
	3	Crack2	Crack2
	4	Crack2	Crack2
	5	Crack2	Crack2
Rata-rata		80%	100%

Tabel 4.11 Pengujian untuk identifikasi suara keretakan jenis biji kopi Arabika

Jenis Suara	Pengujian	MSE	
		0,01	0,001
Crack1	1	Crack1	Crack1
	2	Crack1	Crack1
	3	Crack1	Crack1
	4	Crack1	Crack1
	5	Crack1	Crack1
Crack2	1	Crack2	Crack2
	2	Crack2	Crack2
	3	Crack2	Crack2
	4	Crack2	Crack2
	5	Crack2	Crack2
Rata-rata		80%	100%

BAB 5

PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pada penelitian dengan judul “RANCANG BANGUN MESIN PEMANGGANG BIJI KOPI BERBASIS *IMAGE PROCESSING* DAN AKUSTIK”, penulis dapat memberikan kesimpulan serta saran yang akan berguna bagi pengembangan penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dihasilkan oven pemanggang biji kopi dengan menggunakan sistem fluides dimana menggunakan elemen pemanas didalamnya. Silinder digunakan sebagai wadah biji kopi yang dihubungkan langsung dengan motor yang bertugas mengaduk biji kopi saat pemangangan berlangsung.

Tingkat kematangan biji kopi dapat diklasifikasikan dengan menggunakan parameter RGB dengan menentukan jarak nilainya. Pada tingkat kematangan vienna yang bertugas sebagai parameter matang memiliki nilai jarak R=91-102, G= 91-96, B=72-99.

Fenomena suara keretakan yang terjadi untuk biji kopi Arabika untuk keretakan pertama terjadi pada menit 4:14 hingga menit 6:26 terdapat ± 110 suara keretakan dengan amplitudo rata-rata -2dB dan keretakan kedua terjadi pada menit 6:11 hingga 8:00 terdapat ± 139 suara keretakan dengan amplitudo rata-rata -4dB. Untuk biji kopi Robusta keretakan pertama terjadi pada menit 3:36 hingga menit 3:47 dengan jumlah 4 suara keretakan dengan nilai amplitudo rata-rata 0dB dan suara keretakan kedua terjadi pada menit 6:22 hingga menit 8:06 terdapat ± 62 suara keretakan dengan nilai amplitudo rata-rata -2dB.

Pada sistem VAD, nilai amplitudo yang digunakan dalam sistem adalah 1.12 dB dengan keberhasilan meloloskan suara keretakan pertama 100% dan suara keretakan kedua 70%. Dengan menggunakan sistem FFT, dapat diketahui karakteristik dari masing-masing suara keretakan, untuk keretakan pertama

mempunyai jarak frekuensi antara 0-13000 Hz, sedangkan untuk keretakan kedua mempunyai jarak frekuensi antara 5000-15000Hz.

Identifikasi suara keretakan dilakukan menggunakan metode *neural network*. Terdapat 2 jenis suara keretakan dengan masing-masing 5 sampel. Pengujian juga dilakukan terhadap jenis biji kopi yaitu robusta dan arabika. Tingkat keberhasilan sistem dalam mengidentifikasi suara keretakan untuk biji robusta adalah 80% dan untuk biji kopi arabika adalah 100%

5.2 Saran

Pada penelitian ini proses sistem *Image Processing* masih dipengaruhi oleh cahaya dari luar, oleh sebab itu pada penelitian selanjutnya sistem *image processing* metode selain RGB

Pada sistem *Voice Activity Detection* (VAD) masih terdapat kekurangan dalam menyeleksi suara dalam hal *noise* maupun suara keretakan itu sendiri, diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menyeleksi suara keretakan saja

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, U., (2005), *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemogramannya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Griffin, M., (2006), “*Coffee Roast Color and Characteristics*,” <http://www.coffeeresearch.org/coffee/roast.htm>, diakses 10 Juni 2015.
- Hakim, M.A., (2011), “Strategi Peningkatan Produktivitas Kopi Arabika Desa Sitinjo Induk Kecamatan Sitinjo Kabupaten Dairi,” Departemen Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Ham, F.M. dan Kostanic, I., (2001), *Principles of Neurocomputing for Science and Engineering, 1st Edition*, McGraw Hill, New York.
- Hernandez, A., Heyd, B., dan Trystram, G., (2008), “Prediction of Brightness and Surface Area Kinetics During Coffee Roasting,” *Journal of Food Engineering*, Vol. 87, hal. 156-163.
- Killian C.T. dan William, G.E., (2001), *Modern Control Technology: Components and Systems, 2nd edition*, Delmar Thomson Learning, Michigan.
- Ky, C. L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., dan Noiro, M., (2001), “Caffeine, Trigonellin, Chlorogenic Acids and Sucrose Diversity in Wild Coffea Arabica L. and C. canephora P. Accessions,” *Food Chemistry*, Vol. 75, hal. 223-230.
- Madihah, K., Zaibunnisa, A.H., Norashikin, S., Rozita, O., dan Misnawi, J., (2013), “Optimization of Roasting Conditions for High Quality Arabika Coffee,” *International Food Research Journal*, Vol. 20, No. 4, hal. 1623-1627.
- Madihah, K., Zaibunnisa, A.H., Norashikin, S., Rozita, O., dan Misnawi, J., (2012), “Optimization of Roasting Conditions for High Quality Robusta Coffee,” *APCBEE Procedia*, Vol. 4, hal. 209-214.
- Margulis, D., (2005), *Photoshop LAB Color: The Canyon Conundrum and Other Adventures in the Most Powerful Colorspace*, Peachpit Press, San Fransisco.
- Najiyati, S. dan Danarti., (2001), *Kopi : Budidaya dan Penanganan Lepas Panen*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Ngabirano, H. dan Silva, R.O., (2011), *Coffee: Botanical Aspects*, International Coffee Organization, hal. 8-11.
- Rao, S., (2014), *The Coffee Roaster’s Companion*, Scott Rao, New York.
- Sinot, K., (2010), *The Art and Craft of Coffee*, Quarry Books, Massachusetts.

Sofi'i, I., (2005), "Pemukuan Biji Kopi dengan Pengolahan Citra Digital dan *Artificial Neural Network*," Tesis, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Wilson, P.S., (2014), "Coffe Roasting Acoustic," *Acoustical Society of America*, hal. 265-269.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Fathurrozi Winjaya dilahirkan di Jember, 1 Juni 1991. Merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Bapak Drs. H. Supardi M.Si dan Ibu Hj. Supartiningsih S.Pd. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Karangrejo II Jember pada tahun 1998-2003, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Jember pada tahun 2003-2006. Selanjutnya penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Atas Negeri 3 Jember pada tahun 2006-2009. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi pada Program Sarjana di Universitas Negeri Jember dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2014. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, penulis melanjutkan pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang keahlian Teknik Elektronika pada tahun 2014.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan