



UNIVERSITAS INDONESIA

INTEGRASI SISTEM DETEKSI PANAS DAN AKTIVASI ALAT
PEMADAM KEBAKARAN BERBASIS KABUT AIR

SKRIPSI

ERIC GUNAWAN
0806454733

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**INTEGRASI SISTEM DETEKSI PANAS DAN AKTIVASI ALAT
PEMADAM KEBAKARAN BERBASIS KABUT AIR**

SKRIPSI

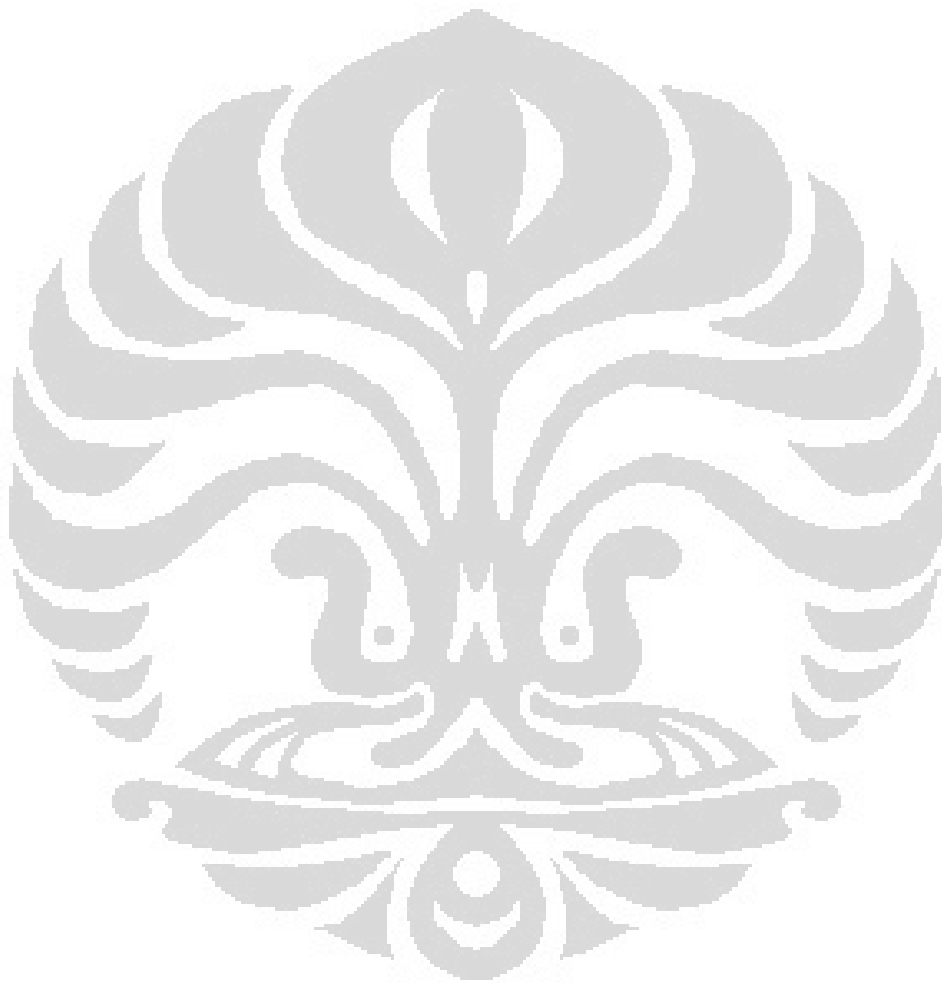
Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

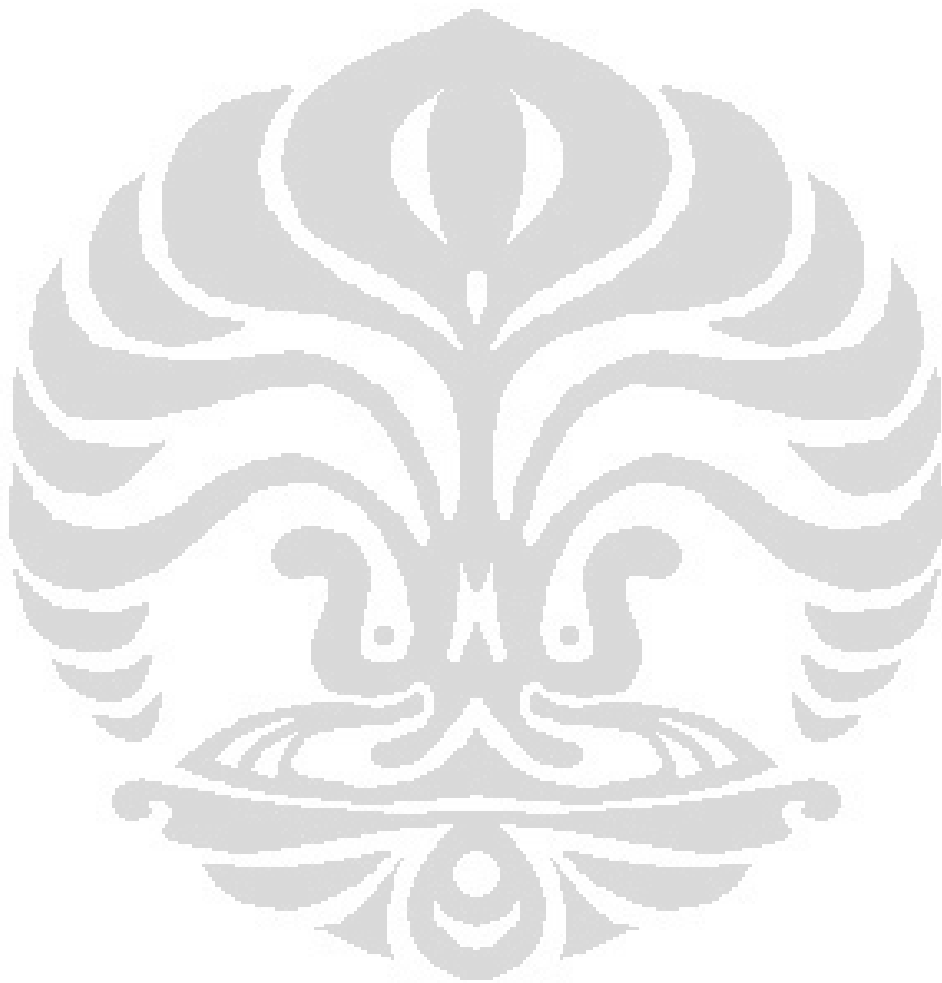
**ERIC GUNAWAN
0806454733**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN MESIN**

DEPOK

JANUARI 2012





KATA PENGANTAR

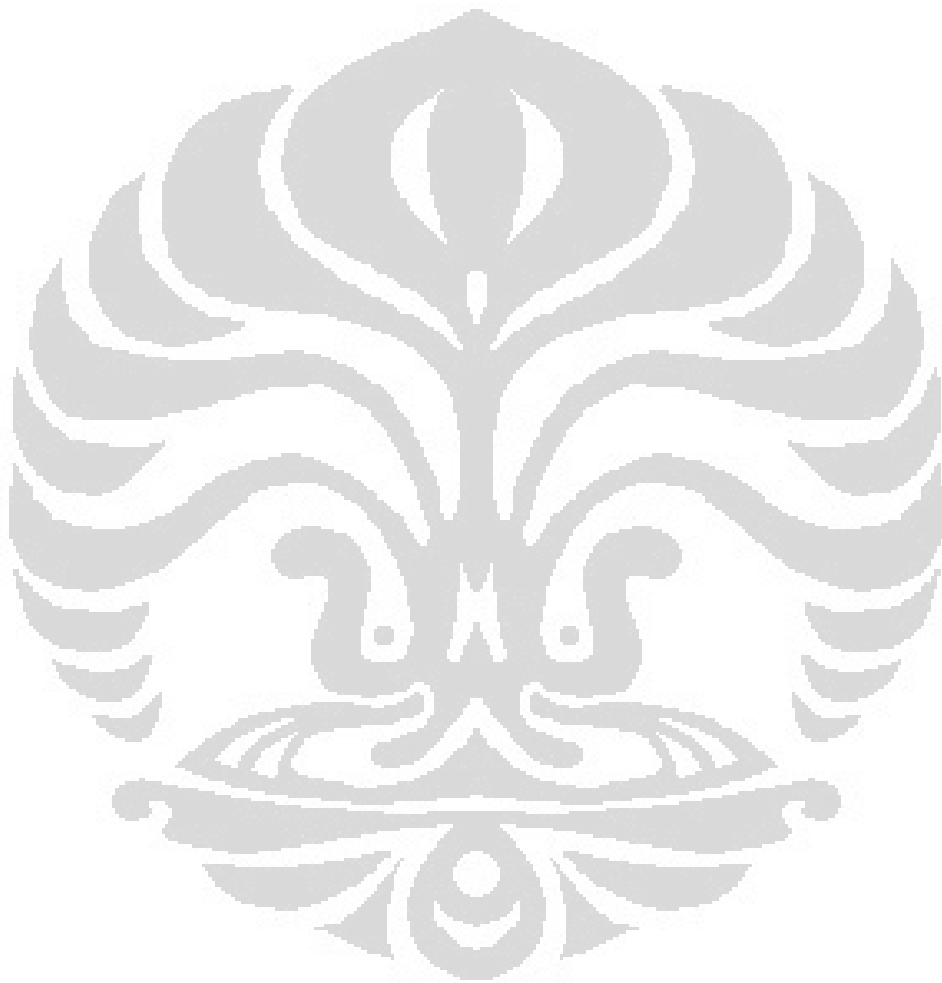
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho M.Sc., Ph.D dan Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA. PE selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Hendar Kusnandar dan Teguh Santoso yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini;
- (4) Mas Yasin dan seluruh staff DTM-FTUI;
- (5) Seluruh teman-teman Mesin khususnya angkatan 2008 dan seluruh rekan kerja di lantai 2 departemen Teknik Mesin FTUI;

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 25 Januari 2012

Penulis



ABSTRAK

Nama : Eric Gunawan
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Integrasi Sistem Deteksi Panas Dan Aktivasi Alat Pemadam Berbasis Kabut Air

Serangkaian penelitian dilakukan di lingkup dapur untuk mempelajari mekanisme dan efektivitas pemadaman kabut air terhadap kebakaran minyak goreng di kompor. Penelitian dilakukan pada pengembangan alat pemadam kebakaran yang dapat diintegrasikan dengan menggunakan sensor suhu dan dikendalikan secara otomatis oleh *micro controller*. Serangkaian percobaan juga dilakukan untuk mengetahui temperatur sekitar kompor ketika minyak goreng terbakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebakaran minyak goreng sangat sulit untuk dipadamkan, karena minyak goreng memiliki suhu pengapian yang tinggi dan memiliki sifat *auto ignition* dimana minyak goreng dapat terbakar sendiri setelah melalui fase *flash point*. Sistem kabut air yang dikembangkan dalam penelitian ini bertujuan untuk mencegah terjadinya *re-ignition* dari minyak goreng yang terbakar agar tidak menyebabkan kebakaran yang lebih besar. Respon waktu antara sensor temperatur dan pengaktifan sistem *water-mist* adalah faktor penting untuk menentukan efektivitas sistem kabut air ini dalam menangani kebakaran minyak goreng di kompor.

Kata kunci:

Integrasi sistem kabut air, alat pemadam kebakaran, api minyak goreng, dan *re-ignition*

ABSTRACT

Name : Eric Gunawan
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Integration Heat Detection Systems And Activation Of
Fire Extinguishers Based On Water Mist

A series of studies conducted in the scope of the kitchen to study the mechanisms and effectiveness of water mist suppression of fires on the stove cooking oil. The study was conducted on the development of a fire extinguisher that can be integrated by using a temperature sensor and automatically controlled by a micro controller. A series of experiments are also performed to determine the temperature of the stove when cooking oil burned. The results showed that cooking oil fires are very difficult to extinguish, because oil has a high ignition temperature and have the property where the auto ignition of cooking oil can ignite itself after it pass the flash point fase. Water mist systems developed in this study aims to prevent re-ignition of cooking oil that burned so it can't cause a bigger fire. Response time between the sensor temperature and water-mist system activation is an important factor to determine the effectiveness of water mist system in dealing with cooking oil fires in the stove.

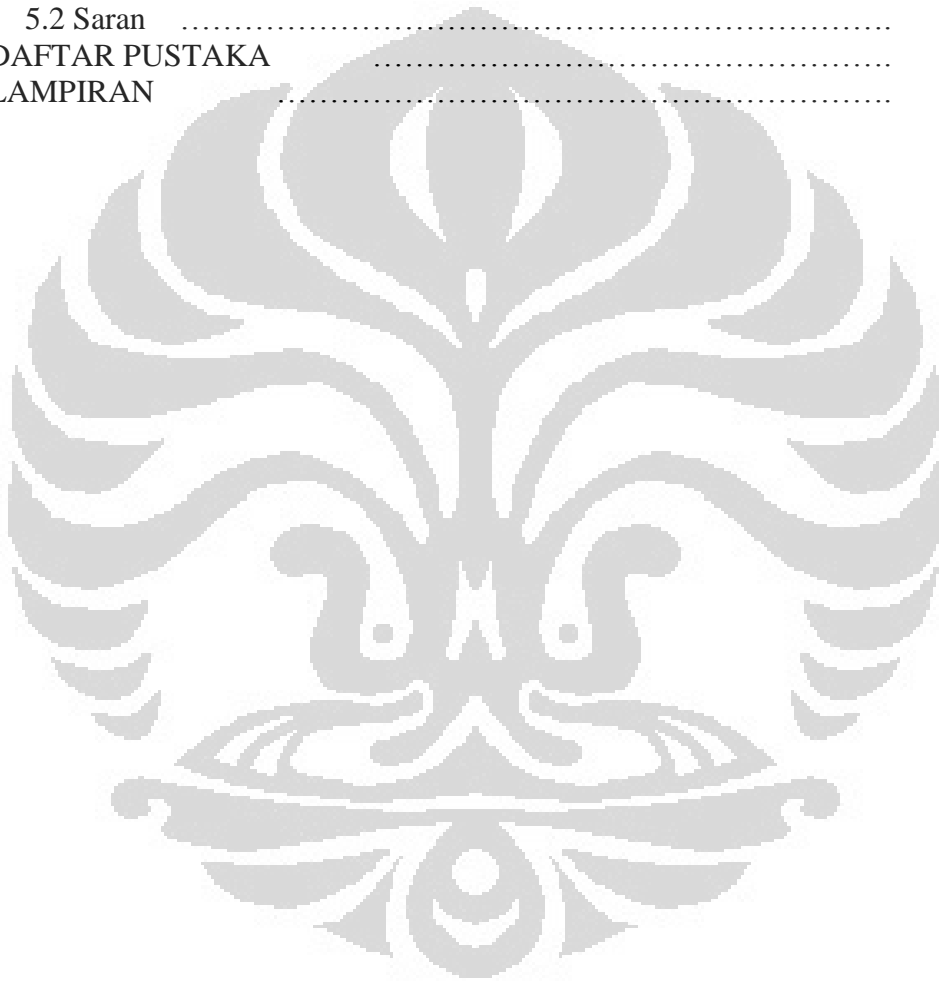
Key Words:

Integrated water mist systems, fire extinguishers, fire cooking oil, and re-ignition

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Metodologi Penelitian	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
2. DASAR TEORI	9
2.1 Fase Api Di Dalam Ruangan	9
2.2 Pool Fire	12
2.3 Minyak Goreng	13
2.4 Kabut Air	14
2.4.1 Kelebihan Kabut Air	14
2.4.2 Mekanisme Pemadaman Api Oleh Kabut Air	16
2.5 Sistem Deteksi Kebakaran	19
2.6 <i>Heat Loss</i>	22
2.7 Sistem Deteksi Panas Berbasis <i>Micro Controller</i>	23
2.7.1 <i>Micro Controller</i> ATmega 16	23
2.7.1.1 Spesifikasi <i>Micro Controller</i> ATmega 16	25
2.7.1.2 Konfigurasi Pin ATmega 16	27
2.7.1.3 Arsitektur <i>Micro Controller</i> ATmega 16	28
2.7.1.4 <i>Software Micro Controller</i> ATmega 16	29
2.7.1.5 Komunikasi Serial USART	31
2.7.2 Sensor Temperatur DS18B20	32
3. METODOLOGI PERANCANGAN DAN PENELITIAN	34
3.1 Konsep Perancangan Rangka Dudukan <i>Nozzle</i>	34
3.2 Hasil Rancangan Rangka Dudukan <i>Nozzle</i> Kabut Air	35
3.3 Perakitan Sistem Kabut Air	39
3.4 Sistem Kendali Otomasi <i>Water Mist</i>	44
3.4.1 <i>Solenoid Valve</i>	44
3.4.2 5/2 <i>Solenoid Valve</i>	45
3.4.3 <i>Power Supply</i>	46
3.4.4 Rangkaian IRF 540 dan PC 817	47
3.4.5 <i>Buzzer</i> dan LED	48
3.4.6 LCD	49
3.5 Integrasi Sistem Pendeteksi Panas Dan Aktivasi Sistem <i>Water Mist</i>	49
3.6 Komponen Pengujian	50
3.6.1 Termokopel	50

3.6.2 Data Akuisisi	52
3.6.3 Wadah Bahan Bakar (<i>pool fire</i>)	53
3.7 Metode Penelitian	54
4. HASIL DAN ANALISIS	55
4.1 Hasil Dan Analisa Pengujian Karakteristik Api Minyak Goreng	55
4.1.1 Pengambilan Data Karakteristik Dari Minyak Goreng	55
4.1.2 Pengambilan Data Temperatur Sekitar Kompor Dari Minyak Goreng Yang Terbakar.....	62
4.2 Hasil Dan Analisa Waktu Respon Sistem	66
5. KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fase perkembangan api	9
Gambar 2.2	<i>Pool fire</i>	12
Gambar 2.3	Grafik antara <i>regression rate</i> dan <i>flame height</i> untuk <i>pool fire</i>	13
Gambar 2.4	Waktu respon sensor	21
Gambar 2.5	<i>Heat loss</i> melalui dinding <i>pool fire</i>	22
Gambar 2.6	ATmega16	24
Gambar 2.7	Blok diagram ATmega16	26
Gambar 2.8	Konfigurasi ATmega16	27
Gambar 2.9	Arsitektur <i>Micro controller</i> ATmega16	29
Gambar 2.10	Sensor DS18B20	33
Gambar 2.11	Rangkaian sensor DS18B20	33
Gambar 3.1	Rancangan rangka dudukan <i>nozzle</i> kabut air	35
Gambar 3.2	Hasil rancangan rangka dudukan <i>nozzle</i> kabut air	36
Gambar 3.3	Half thread bolt	36
Gambar 3.4	Dudukan aluminium	37
Gambar 3.5	Dudukan <i>nozzle</i> kabut air	37
Gambar 3.6	<i>Pneumatic</i> pendorong dudukan <i>nozzle</i>	38
Gambar 3.7	<i>Pneumatic</i> pendorong dudukan <i>nozzle</i>	38
Gambar 3.8	Pelat pengatur sudut dan dudukan <i>pneumatic</i>	39
Gambar 3.9	<i>Nozzle</i> kabut air	39
Gambar 3.10	Skema sistem <i>piping</i> kabut air	40
Gambar 3.11	Sistem <i>piping</i> kabut air	40
Gambar 3.12	Cabang aliran saluran air pada sistem <i>water-mist</i>	41
Gambar 3.13	Selang bertekanan	41
Gambar 3.14	<i>Union Ferrule</i>	41
Gambar 3.15	<i>Caps</i> dan <i>plug</i>	42

Gambar 3.16	Tabung nitrogen dan regulator	42
Gambar 3.17	<i>Pressure gauge</i>	43
Gambar 3.18	Hasil pembuatan dudukan <i>nozzle</i> kabut air dengan sistem <i>controller</i>	43
Gambar 3.19	<i>Solenoid valve</i>	44
Gambar 3.20	<i>5/2 solenoid valve</i>	45
Gambar 3.21	<i>Power supply 24V-220V</i>	46
Gambar 3.22	<i>Power supply 5V-220V</i>	46
Gambar 3.23	Rangkaian IRF 540	47
Gambar 3.24	IRF 540	48
Gambar 3.25	PC 817	48
Gambar 3.26	<i>Buzzer</i>	48
Gambar 3.27	LED	48
Gambar 3.28	LCD	49
Gambar 3.29	Posisi termokopel di dalam minyak goreng	50
Gambar 3.30	Posisi termokopel 10 cm dari temperatur minyak goreng	51
Gambar 3.31	Posisi termokopel 20 cm dari temperatur minyak goreng	51
Gambar 3.32	Posisi termokopel 30 cm dari temperatur minyak goreng	52
Gambar 3.33	<i>National Instruments</i>	53
Gambar 3.34	APPA-109N	53
Gambar 3.35	Wadah bahan bakar	54
Gambar 3.36	<i>Experimental Setup</i>	54
Gambar 4.1	Letak termokopel	56

Gambar 4.2	Detik pertama minyak goreng dipanaskan	57
Gambar 4.3	Auto ignition minyak goreng pada detik ke-303	58
Gambar 4.4	Grafik temperatur dan waktu tiap termokopel	59
Gambar 4.5	Penyekat antara <i>pool fire</i> dan kompor	60
Gambar 4.6	Grafik termokopel 2 dalam kondisi berbeda	61
Gambar 4.7	Nyala api padam setelah 143 detik	61
Gambar 4.8	Letak termokopel	62
Gambar 4.9	Grafik temperatur dan waktu tiap termokopel	63
Gambar 4.10	Grafik temperatur dan waktu tiap termokopel	64
Gambar 4.11	Pengukuran temperatur saat mmenggoreng daging ayam	65
Gambar 4.12	Grafik waktu dan temperatur termokopel	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat-sifat <i>flame</i> pada <i>pool fire</i>	12
Tabel 2.2	Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran <i>droplet</i>	16
Tabel 2.3	<i>Fire signature</i> dan sistem deteksi yang sesuai	21



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir ini perkembangan teknologi sangat pesat, tidak terkecuali untuk alat-alat rumah tangga. Salah satu contohnya adalah pada kompor atau penggorengan. Banyak pengembangan yang dilakukan oleh para ilmuwan maupun produsen kompor untuk menciptakan kompor yang memiliki efisiensi tinggi sehingga dapat menghemat penggunaan bahan bakar. Kemudian terciptalah kompor listrik, dimana konsumen dapat menggunakan kompor tanpa menggunakan bahan bakar minyak tanah atau LPG (*Liquid Petroleum Gas*), namun efisiensi dari kompor listrik lebih kecil dibandingkan dengan kompor berbahan bakar gas dan membutuhkan biaya yang cukup mahal untuk membeli kompor listrik itu sendiri. Pada saat ini sudah banyak masyarakat Indonesia yang lebih memilih untuk menggunakan kompor berbahan bakar gas (LPG) di dapur, hal tersebut juga dikarenakan adanya program Pemerintah berupa pengkonversian minyak tanah dengan LPG 3 kg[1]. Dengan beralihnya masyarakat menggunakan LPG 3 kg ini maka akan meningkatkan resiko terjadinya kebakaran dikarenakan masih minimnya kesadaran masyarakat akan bahaya kebakaran.

Pada umumnya kompor digunakan untuk menggoreng bahan makanan yang masih mentah dengan menggunakan media minyak goreng. Minyak goreng memiliki sifat suhu pengapian yang sangat tinggi dan api minyak goreng diketahui sulit untuk dipadamkan dibandingkan dengan jenis api berbahan bakar cair lainnya[2,3]. Selama proses menggoreng, minyak akan dipanaskan hingga mencapai temperatur *flash point* dengan ditandai munculnya asap pada permukaan minyak goreng, jika terus dipanaskan maka minyak goreng akan mencapai titik *auto ignition*. Pada titik *auto ignition*, api akan muncul dari permukaan minyak goreng dan temperatur minyak goreng akan sulit diturunkan kembali di bawah temperatur *auto ignition*. Oleh karena itu, api minyak goreng dapat

menyebabkan resiko yang lebih besar untuk menyebabkan terjadinya kebakaran di dapur dan dalam penanggulangannya pun menurut *National Fire Protection Association* (NFPA) digolongkan ke dalam kelas khusus yaitu kelas K berupa kebakaran yang melibatkan media memasak seperti minyak goreng (baik yang berbahan dasar tumbuhan atau hewan)[2].

Data statistik telah menunjukkan bahwa hampir 50% dari semua kecelakaan kebakaran di hotel, restoran, dan gerai makanan cepat saji dimulai dari dapur[4]. Hal tersebut telah meningkatkan potensi resiko bagi kehidupan manusia dan kerugian harta benda akibat kebakaran di dapur. Di Indonesia pada umumnya masih sangat jarang ditemukan sistem keamanan terhadap kebakaran (*fire safety*) di dapur. Hal tersebut dikarenakan kesadaran masyarakat yang masih sangat rendah tentang tingginya bahaya kebakaran di dapur. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi dini di dapur agar resiko kebakaran dapat dihindari.

Pada umumnya dalam kondisi panik karena minyak goreng yang terbakar, manusia akan meninggalkan tempat terjadinya kebakaran tersebut dan berusaha untuk mencari Alat Pemadam Api Ringan (APAR) untuk memadamkan api tersebut atau mencari bantuan orang lain. Sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk memadamkan api yang sudah menyebar tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan sistem keamanan di dapur yang dapat berjalan secara otomatis dan dikendalikan oleh sensor sehingga dapat memadamkan dan mencegah terjadinya penyalaan kembali (*re-ignition*) minyak goreng agar tidak menjalar dan menyebabkan kebakaran yang lebih besar.

Salah satu sistem pemadaman kebakaran yang dapat digunakan dan aplikasinya cukup meluas adalah sistem pemadam kebakaran kabut air atau *water-mist*. Sistem pemadaman kebakaran dengan menggunakan *water-mist* telah menunjukkan efektivitas yang baik dan dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis kebakaran[5]. Sistem *water-mist* ini dapat diaplikasikan untuk memadamkan api pada minyak goreng yang memiliki suhu pengapian tinggi dan sifatnya yang mudah untuk terbakar kembali (*re-ignition*). Sistem *sprinkler* konvensional tidak dapat

memadamkan kebakaran jenis ini karena akan menyebabkan percikan dan menumpahkan minyak goreng yang disebabkan air memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan minyak goreng sehingga api akan menjalar lebih besar[4].

Salah satu pengembangan yang dilakukan oleh Laboratorium *Fire Safety* Teknik Mesin UI berupa alat-alat pemadam yang menggunakan prinsip sistem kabut air. Sistem ini mampu memadamkan kebakaran pada cairan *flammable* serta memberikan efek “cooling” pada sasaran permukaan panas. Kabut air yang terjadi kerap memiliki daya penembusan yang mirip dengan bahan pemadam gas, sehingga mampu mengendalikan kebakaran pada lokasi dalam timbunan bahan terbakar (*deep seat fire*). Efek pendinginan air berasal dari kalor laten penguapan (*evaporation*). Karena proses penguapan terjadi pada permukaan cairan, maka semakin luas permukaan yang dijangkau oleh kabut air, semakin besar pula efek pendinginannya. Media yang digunakan adalah air sehingga tidak menimbulkan bahaya racun seperti jika menggunakan media pemadam halon. Kemudian biaya yang murah dikarenakan penyediaan air relatif murah dibandingkan dengan zat media pemadam lainnya. Sistem *water-mist* hanya menggunakan pemakaian air sepersepuluh dari pemakaian *sprinkler* biasa yang menghasilkan sedikit (bahkan tidak ada) residu, sehingga aman bagi komponen-komponen listrik dan peralatan yang sensitif terhadap air. Dan yang terakhir adalah penetrasi yang luas, dimana kabut air dapat menjangkau area yang luas, sehingga laju penyerapan panas menjadi lebih besar[19].

Sistem *water-mist* otomatis berbasis *micro controller* yang diletakkan pada kompor merupakan salah satu pengembangan yang ditujukan sebagai sistem proteksi dini pada kebakaran di dapur. Sistem ini diharapkan mampu memadamkan kebakaran dengan cepat dan mencegah terjadinya penyebaran api minyak goreng di dapur. Sistem pemadaman *water-mist* ini akan mulai beroperasi ketika sensor temperatur mendeteksi adanya temperatur yang berlebih di sekitar kompor. Temperatur tersebut diatur berdasarkan penelitian dengan mengukur temperatur sekitar kompor

pada saat minyak goreng terbakar. Setelah sensor aktif, maka alat peringatan berupa *buzzer* dan lampu led akan aktif untuk memberitahukan adanya bahaya kebakaran, kemudian sensor akan meneruskan perintah melalui *micro controller* untuk menjalankan *5/2 solenoid valve* yang berfungsi menggerakkan kedudukan *nozzle water-mist* pada ketinggian dan sudut yang telah ditentukan, dan perintah dilanjutkan pada *solenoid valve* untuk membuka katup air bertekanan tinggi untuk memadamkan api pada minyak goreng di kompor. Sistem *water-mist* ini akan terus memadamkan api pada kompor selama temperatur yang terbaca oleh sensor masih diatas batas normal. Kemudian barulah sensor akan menonaktifkan sistem *water-mist* secara otomatis ketika sensor membaca temperatur lingkungan. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pengembangan alat pemadam api di kompor ini adalah temperatur sekitar sebelum dan pada saat terjadi nyala api minyak goreng di kompor dan respon waktu sensor setelah terbentuk nyala api dari minyak goreng.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian yang dilakukan adalah pengembangan alat pemadam kebakaran menggunakan *water-mist* berbasis *micro controller* dimana sumber kebakarannya berasal dari minyak goreng. Kabut air dipilih karena memiliki berbagai kelebihan dalam memadamkan api minyak goreng dibandingkan alat pemadam lainnya. Penelitian dilakukan untuk mengetahui keefektifan penggunaan sensor temperatur dan *micro controller* yang diselaraskan dengan fungsi kabut air untuk memadamkan api berbahan bakar minyak goreng dengan menggunakan 2 buah *nozzle* kabut air.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mendesain alat pemadam yang dapat diaktifasi secara otomatis melalui sensor untuk memadamkan api pada minyak goreng di kompor dan mengurangi resiko terjadinya *re-ignition* yang dapat menyebabkan penyebaran kebakaran secara cepat dan meluas.
2. Mempelajari karakteristik temperatur di sekitar kompor pada keadaan sebelum dan pada saat terjadi kebakaran dan menentukan tekanan air *water-mist* yang dikeluarkan oleh *nozzle*. Pengukuran temperatur di sekitar kompor yang terbakar dilakukan dengan memanaskan minyak goreng hingga mengalami *auto ignition* dan dicatat temperatur yang terbaca untuk dijadikan acuan untuk mengaktifkan sensor. Tekanan air yang digunakan adalah 8 bar dikarenakan *solenoid valve* memiliki kapasitas maksimal 10 bar. Tekanan air yang digunakan harus cukup besar untuk mendapatkan ukuran *droplet* air yang baik, sehingga *droplet* air tidak sampai mengakibatkan percikan api.
3. Penelitian ini juga merupakan salah satu pengembangan untuk mengetahui lebih jauh potensi kabut air sebagai sistem pemadaman api yang menjadi salah satu cabang penelitian yang dilakukan di Laboratorium *Fire Safety* Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penelitian pertama kali difokuskan pada minyak goreng yang dipanaskan hingga terjadi *auto ignition* kemudian dihitung temperatur pada beberapa titik. Kemudian penelitian dilanjutkan untuk melihat respon waktu integrasi antara sensor temperatur dan pengaktifan sistem pemadam.

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi;

1. Merancang dan membuat alat sistem kabut air otomatis yang diintegrasikan oleh *micro controller* dan sensor temperatur. Temperatur maksimum yang dapat terbaca sensor adalah sebesar

125⁰C dan tekanan maksimum yang dapat diterima *solenoid valve* untuk suplai air pada *nozzle water-mist* adalah 10 bar.

2. Sistem pemadam kebakaran ini dipalikasikan untuk keperluan rumah tangga pada bagian dapur.
3. Menggunakan *nozzle full cone spray* dengan jenis *fine spray hydroulic atomizing*.
4. Tekanan air yang digunakan pada *nozzel water-mist* ini adalah 8 bar yang dibaca pada *pressure gauge* tabung nitrogen.
5. Jumlah *nozzel* yang digunakan sebanyak 2 buah.
6. Karakteristik temperatur sekitar pembakaran *pool fire* yang diamati adalah sebelum dan sesudah minyak goreng terbakar pada *pool* diameter 10 cm.
7. Minyak goreng yang digunakan adalah minyak goreng jenis kelapa sawit.
8. Waktu pemadaman, ukuran *droplet*, besarnya *flow rate*, dan sudut *nozzel* tidak diukur pada penelitian ini.
9. Pengukuran temperatur pada 3 titik dengan jarak yang telah ditentukan.
10. Untuk proses pengolahan data menggunakan beberapa *software* seperti *National Instruments Lab View*, *VitCam*, *OriginPro 8*, *WinDMM100s*, dan *Code Vision AVR C Compiler*

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metode untuk mengumpulkan sumber data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal, skripsi dengan tema yang sama, serta referensi artikel yang terdapat di internet.

2. Perancangan alat uji

Perancangan alat uji sesuai dengan tujuan penelitian. Pada penelitian ini alat seperti *nozzel*, kompor gas, tabung gas, dan tangki nitrogen telah tersedia, sehingga yang dilakukan yaitu membuat rangka kompor yang terhubung dengan sistem otomatisasi *nozzle*, *controller* sistem *water-mist*, memprogram *micro controller*, dan sistem pengaktifan *nozzle*.

3. Pengujian sistem pemadaman api minyak goreng berbasis kabut air
Melakukan pengujian atau pengambilan data setelah alat uji selesai dibuat. Pengambilan data dan pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur percobaan yang telah ditentukan sebelumnya
4. Analisa dan kesimpulan hasil pengujian
Melakukan pengolahan data dengan menggunakan *software OriginPro 8* dan *National Instruments Lab View* untuk simulasi, setelah data penelitian diperoleh dan menganalisis grafik hasil pengolahan data.
5. Dari penganalisisan grafik hasil pengolahan data maka dapat di buat suatu kesimpulan akhir dari seluruh kegiatan penelitian, dimana kesimpulan yang dibuat mengacu pada tujuan penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini :

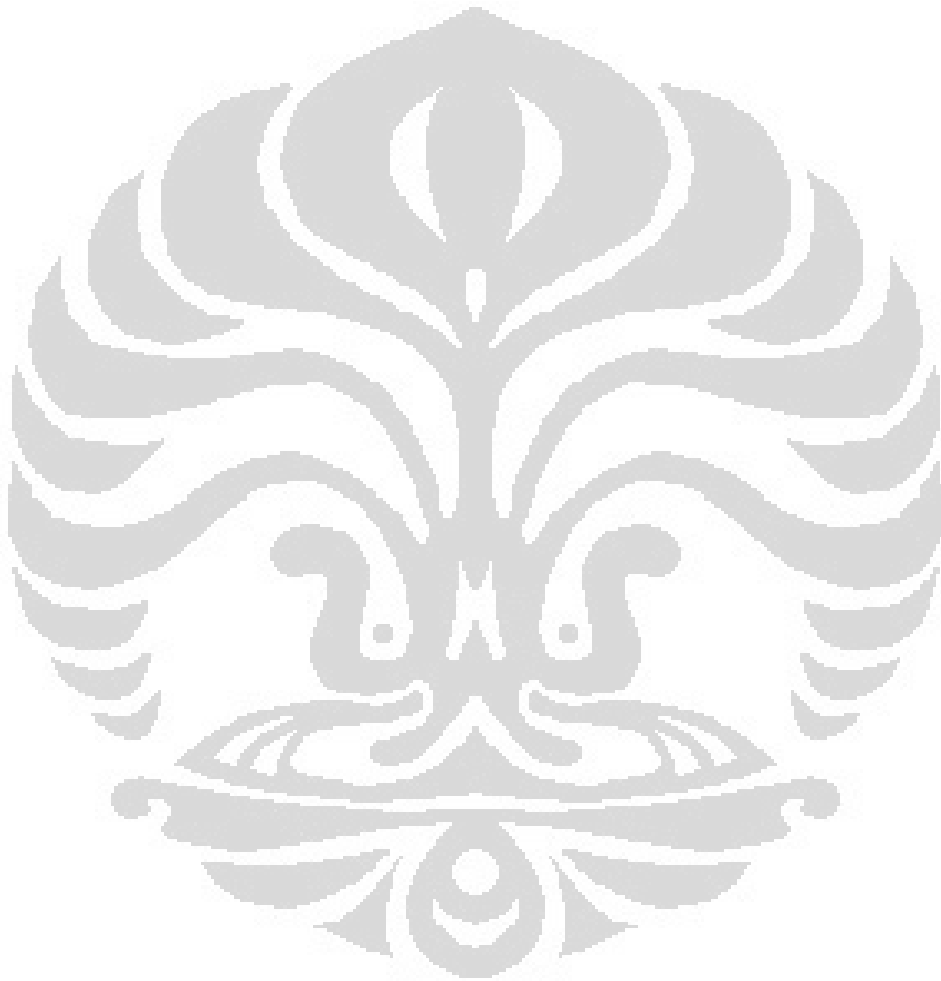
BAB 1 : Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB 2 : Pada bab ini diuraikan tentang dasar teori yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB 3 : Pada bab ini berisi prosedur penelitian, daftar alat, dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

BAB 4 : Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut yang dibandingkan dengan hasil dari studi literatur.

BAB 5 : Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini.

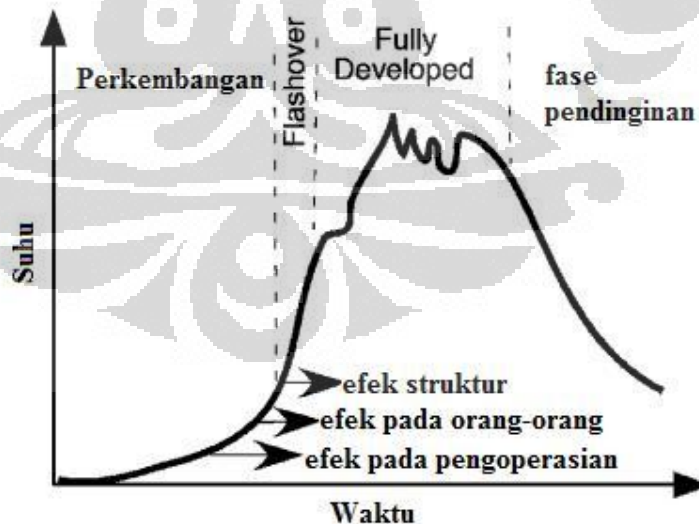


BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan mengenai teori dan konsep yang dipakai dalam penelitian ini. Penjelasan mengenai teori dan konsep ini bertujuan untuk memberikan kemudahan dalam memahami isi karya tulis dan maksud dari penelitian ini sehingga dapat bermanfaat untuk pengembangan selanjutnya.

2.1 Fase Api Di Dalam Ruang

Kebakaran di dalam ruangan dapat dibedakan menjadi tiga fase. Fase pertama adalah perkembangan fase api akibat penambahan ukuran api dari kebakaran kecil. Jika tidak ada tindakan yang dilakukan untuk mengurangi perkembangan fase api maka fase api akan bertambah besar dan akan dikendalikan oleh dua hal yaitu bahan bakar dan jumlah udara yang tersedia melalui ventilasi. Karena semua bahan bakar dikonsumsi secara keseluruhan, pertumbuhan api juga akan semakin turun. Tingkat perkembangan dan penurunan dari sebuah kebakaran dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Fase perkembangan api [6]

Perkembangan api sepenuhnya dipengaruhi oleh (a) ukuran dan bentuk ruangan, (b) jumlah, distribusi, dan jenis bahan bakar di ruangan, (c) jumlah, distribusi, dan bentuk ventilasi ruangan, dan (d) bentuk dan jenis bahan konstruksi terdiri dari atap (atau langit-langit), dinding, dan lantai ruangan. Selain itu, perilaku dari orang-orang yang ada didalam ruangan juga mempengaruhi berkembangnya suatu kebakaran, dan pengaruh dari pengoperasian dari penggunaan suatu bahan bakar seperti kompor gas.

Dalam kebakaran pada suatu ruangan, perkembangan suatu kebakaran dalam suatu ruangan yang harus diperhatikan adalah *flashover*. Pada umumnya, *flashover* merupakan transisi antara perkembangan api yang masih bersifat aman atau dapat dikendalikan dan membesarnya suatu kebakaran atau *fully developed fire*. Hal tersebut juga ditandai oleh perbedaan kontrol dari bahan bakar dan jumlah udara. Jika suatu ruangan mempunyai sedikit udara pada suatu kondisi tertentu, kebakaran akan menjadi lebih tak terkontrol dan dapat memproduksi api sampai keluar ruangan. Pada suatu ventilasi ruangan, api dapat membakar tempat aliran udara tersebut dan mempunyai tingkat toksitas yang tinggi karena proses pembakaran yang tidak sempurna.

Mekanisme dari *flashover* dapat terjadi karena beberapa kejadian berikut ini :

1. ***Remote Ignition***, yaitu proses pemercikan api yang dikontrol oleh suatu sifat *thermal* dari material tersebut, proses kebakaran seperti ini terkadang bersifat tiba-tiba oleh *autoignition* atau *piloted ignition* karena jenis api dan menghasilkan pemanasan akibat radiasi. Kriteria *heat release* yang umumnya terjadi pada suatu *flashover* jenis ini berada pada 20 kW/m^2 untuk jenis material yang biasanya ada dalam suatu ruangan. Suhu yang terukur pada lantai untuk mekanisme ini yaitu antara $500^\circ - 600^\circ\text{C}$.
2. ***Rapid Flame Spread***, yaitu pelebaran lidah api secara cepat. Mekanisme semacam ini diakibatkan oleh panas radiasi yang ditimbulkan oleh terbakarnya suatu material. Namun, perbedaanya

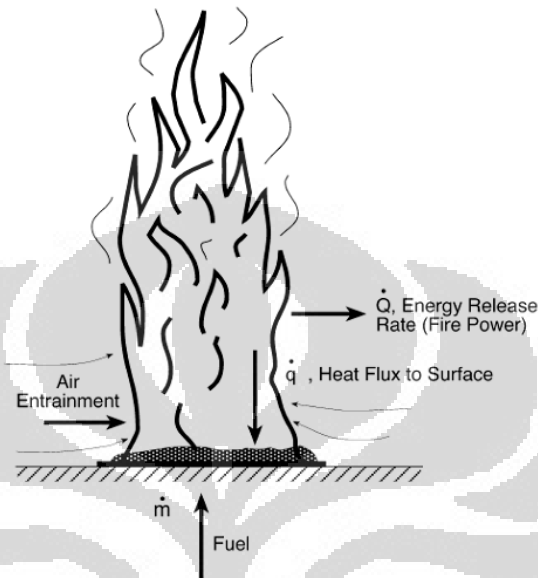
adalah mekanisme ini ditimbulkan oleh bercampurnya uap bahan bakar dan udara dan terbakar secara bersamaan tetapi proses terjadinya berlangsung cepat dan tidak berlangsung lama. Sehingga mekanisme *flashover* seperti ini terjadi dengan kecepatan suatu *rapid flame spread* dengan kisaran 1 m/s.

3. **Burning Instability**, yaitu sebuah ketidakstabilan dari proses pembakaran akibat dari perluasan api. Terjadi *thermal feed back* pada proses ini yaitu proses perpindahan panas antara objek yang terbakar dan ruangan yang dipanaskan sehingga terjadi peningkatan yang sangat cepat pada suhu ruangan dan pembakaran pada suatu bahan bakar pada titik equilibrium.
4. **Oxygen supply**. Mekanisme ini terjadi karena penambahan oksigen secara tiba-tiba akibat dari rusaknya dan terbukanya pintu atau jendela akibat kebakaran sehingga memungkinkan udara segar masuk ke dalam ruangan dan bercampur dengan uap bahan bakar yang berlebih. Proses ini terjadi secara cepat dan tiba-tiba sehingga peningkatan proses pembakarannya pun terjadi dengan cepat. Peningkatan tekanan pada ruangan pun terjadi sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada pintu dan juga jendela.
5. **Boilover**. Fenomena ini terjadi karena semprotan air pada kolam api dengan suhu yang lebih besar dari air. Butiran – butiran air yang ada pada permukaan kolam api menguap dengan uap bahan bakar sehingga terjadi peningkatan jumlah masa yang terbakar dan dapat menimbulkan peledakan.

Sedangkan untuk fase selanjutnya yaitu *fully developed fire*. Fase ini sangat dipengaruhi oleh pendekatan ukuran dan bentuk perkembangan api, pendekatan terhadap jumlah, distribusi, dan tipe bahan bakar. Dan terakhir adalah pendekatan terhadap type dan konstruksi material seperti atap, dinding, dan lantai suatu ruangan. Perkembangan dari suatu pendekatan fase kebakaran ini sangatlah berpengaruh dari sistem teknik keselamatan kebakaran seperti detector atau sensor dan sprinkler. Seluruh

fase perkembangan api ini sangatlah dipengaruhi oleh waktu ketika sistem deteksi ini mulai diaktifkan [6].

2.2 Pool Fire

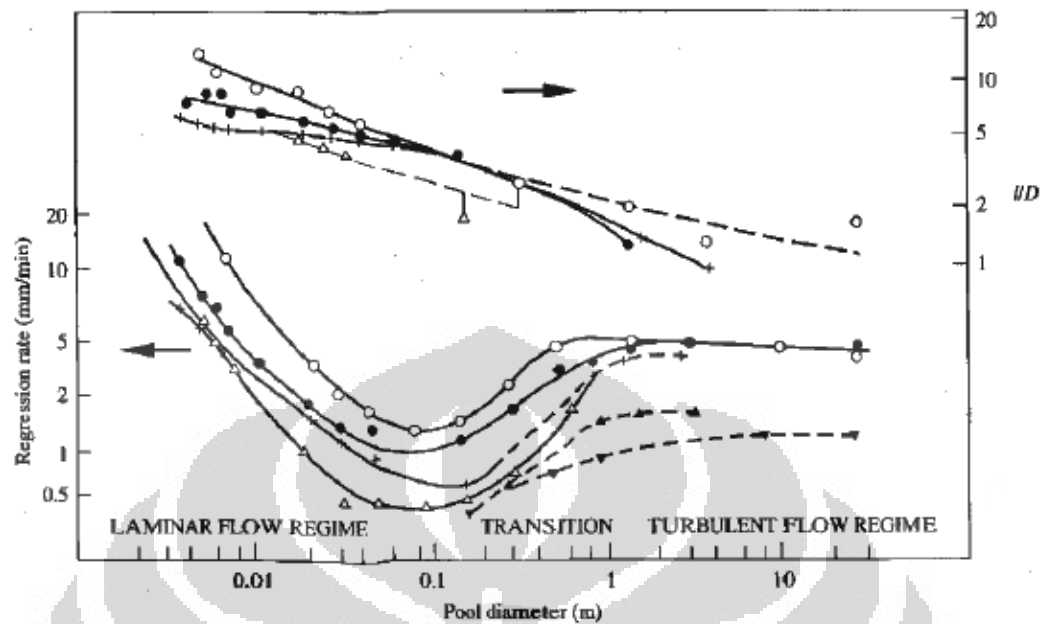


Gambar 2.2 *Pool fire*

Bahan bakar cair cenderung untuk terbakar sebagai suatu 'kolam api' dengan permukaan yang mendatar dan *uniform*. *Pool fire* adalah api yang terbakar secara difusi dari penguapan cairan bahan bakar dengan momentum bahan bakarnya yang sangat rendah. Api yang terbakar dari bahan bakar jenis ini sangat sulit dipadamkan dan menimbulkan dampak kerugian yang besar. Penanganan kebakaran dari api jenis ini berbeda dengan kebakaran dari bahan bakar padat. Kebakaran jenis *pool fire* tidak bias dipadamkan dengan air karena berat jenis air lebih berat dari pada berat jenis bahan bakar. Sehingga memadamkan *pool fire* dengan menyiramkan air justru akan memperbesar nyala apinya.

Tabel 2.1 Sifat-sifat *flame* pada *pool fire*

Diameter <i>pool fire</i> (m)	Sifat <i>Flame</i>
< 0,05	Laminar, konveksi
<0,2	Turbulen, konveksi
0,2 hingga 1,0	Turbulen, radiasi
>1,0	Turbulen, radiasi



Gambar 2.3 Grafik antara *regression rate* dan *pool diameter* untuk *pool fire* [6]

2.3 Minyak Goreng

Minyak adalah senyawa yang berbentuk cairan pekat pada suhu ruangan (25°C) dan tidak larut dalam air. Berdasarkan sumbernya, minyak dibagi menjadi dua macam, yaitu minyak bumi (*mineral oils* atau *petroleum*), dan minyak dari makhluk hidup (lipida atau lipids). Adapun minyak dari makhluk hidup terbagi lagi menjadi minyak nabati (*vegetable oils*) dan minyak hewani (*animal oils*). Minyak hewani lebih populer disebut dengan istilah lemak (*fats*) karena pada umumnya berbentuk padat pada suhu ruangan (25°C).

Minyak nabati merupakan hasil akhir (*refined oils*) lemak murni dari tumbuhan yang telah mengalami proses penyulingan, dimana pada suhu ruangan berbentuk cairan. Berdasarkan kegunaannya, minyak nabati terbagi menjadi dua golongan. Pertama, minyak nabati yang dapat digunakan dalam industri makanan (*edible oils*) dan dikenal dengan nama minyak goreng meliputi minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak zaitun, minyak kedelai, minyak kanola dan sebagainya. Golongan kedua adalah minyak yang digunakan dalam industri non makanan (*non edible oils*) misalnya minyak kayu putih, dan minyak jarak.

Pada penelitian ini penulis memilih batasan minyak goreng yang akan digunakan adalah minyak goreng yang diolah dari kelapa sawit (*palm oil*), karena pada umumnya lebih banyak digunakan dan dijual di pasaran Indonesia.

Pada suhu ruangan minyak goreng akan berbentuk cairan, jika dipanaskan akan merubah karakteristik dari minyak goreng tersebut. Beberapa karakteristik yang perlu di ketahui mengenai temperatur minyak goreng;

1. Titik asap (*smoke point*) pada minyak goreng adalah temperatur dimana struktur kimia dari minyak mulai mengurai menjadi gliserol dan asam lemak bebas dan ditandai dengan munculnya asap. Minyak yang sudah timbul asap pada saat dipanaskan mengindikasikan akan terjadinya pembakaran minyak goreng.
2. *Flash point* minyak goreng adalah temperatur terendah minyak goreng agar dapat menguap untuk membentuk campuran yang bisa terbakar di udara jika disulut dengan api.
3. Temperatur *auto ignition* atau disebut juga sebagai *fire point* adalah temperatur dimana uap minyak goreng terbakar secara spontan, tanpa membutuhkan sumber luar untuk menyalakan api pada temperatur normal atmosfer.

2.4 Kabut Air

Kabut air adalah air yang dipecahkan menjadi bentuk seperti awan dengan ukuran tetesan air (*droplet*) yang sangat halus. Hal ini menyebabkan luas permukaannya menjadi sangat besar, sehingga memperbesar laju perpindahan panas. Menurut sumber lain pengertian kabut air (*water-mist*) adalah semprotan air yang berukuran halus yang mana 99% dari volume semprotan air tersebut berupa tetesan yang mempunyai diameter kurang dari 1000 mikron [7].

2.4.1 Kelebihan Kabut Air

Penelitian mengenai pemadaman api oleh kabut air telah dimulai semenjak pertengahan tahun 1950-an, dari beberapa

penelitian tersebut menyebutkan bahwa sistem kabut air memiliki beberapa kelebihan dalam memadamkan api dibandingkan dengan pemadam kebakaran konvensional diantaranya;

1. Sistem kabut air tidak beracun dan tidak menyebabkan sesak napas karena media yang digunakan adalah air, dibandingkan dengan penggunaan halon
2. Tidak mengganggu lingkungan
3. Akses air yang mudah diperoleh. Air adalah materi yang dapat diperoleh dari mana saja, tidak seperti zat lainnya yang sulit untuk didapat
4. Biaya penyediaannya air lebih murah dibandingkan dengan zat media pemadam lainnya
5. Mempunyai penetrasi yang luas. Kabut air dapat menjangkau areal yang luas, sehingga laju penyerapan panas menjadi lebih besar
6. Laju aliran yang rendah. Hal ini mengurangi jumlah konsumsi air yang digunakan

Kelebihan penggunaan sistem kabut air dibandingkan dengan sistem *springkler* konvensional yaitu

1. Mempunyai laju aliran air yang lebih rendah, sehingga mengurangi konsumsi air
2. Kerusakan peralatan-peralatan yang sensitif yang ditimbulkan oleh air karena proses pemadaman lebih sedikit
3. Ceceran air atau bahkan genangan bekas proses pemadaman lebih sedikit sehingga mudah dalam pembersihannya
4. Kabut air mempunyai diameter tetesan air yang sangat kecil sehingga saat memadamkan kebakaran minyak goreng fenomena cipratan minyak dapat dihindarkan

2.4.2 Mekanisme Pemadaman Api Oleh Kabut Air

Air mempunyai sifat fisik yang menguntungkan dalam memadamkan. Air mempunyai kapasitas panas yang tinggi (4,2 J/g.K) dan panas laten uap yang tinggi (2442 J/g) dan dapat menyerap panas api dan bahan bakar dalam jumlah yang cukup banyak secara signifikan. Air juga dapat mengembang 1700 kali ketika menguap menjadi uap panas, dan dapat mengurangi kadar oksigen dan penguapan bahan bakar. Dengan ukuran *droplet* yang sangat halus, efektifitas air dalam memadamkan api menjadi meningkat karena terjadinya peningkatan yang cukup signifikan pada area permukaan dari air yang tersedia untuk menyerap panas dan penguapan. Seperti penambahan area permukaan dari air yang ditunjukkan pada tabel 2.2 dimana volume air yang dimaksud adalah 0,001m³ [8].

Tabel 2.2 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran *droplet* (volume air 0,001m³)

Ukuran <i>droplet</i> (mm)	6	1	0,1
Jumlah total <i>droplet</i>	8,8 x 10 ³	1,9 x 10 ⁶	1,9 x 10 ⁹
Luas area permukaan (m ²)	1	6	60

Pada pemadaman api dengan sistem kabut air tidak semua *droplet* yang dihasilkan akan memadamkan api karena sifat dari kabut air yang tidak seperti sifat gas pada umumnya [9], sebagian *droplet* ini akan terbagi menjadi;

1. *Droplet* yang terhembus menjauh sebelum mencapai api.
2. *Droplet* yang kemudian menetrasi nyala api, atau mencapai permukaan pembakaran dibawah nyala api sehingga dapat menghambat terjadinya pyrolisis dengan cara mendinginkan dan membentuk uap panas yang dapat mengurangi jumlah oksigen disekelilingnya.

3. *Droplet* yang mengenai dinding, lantai dari ruangan dan mendinginkan permukaan dinding dan lantai dan peralatan yang lain, jika permukaan tersebut panas, jika tidak maka *droplet* akan terbuang sia-sia.
4. *Droplet* yang menguap menjadi uap panas pada saat melintasi dinding dan peralatan lainnya akan memberikan kontribusi pada pendinginan nyala api, gas panas, dan permukaan lainnya.
5. *Droplet* yang akan membasahi beberapa permukaan yang mudah terbakar untuk mencegah api menyebar.

Air dapat memadamkan api dengan berbagai cara, diantaranya adalah :

a. Pemadaman *flame*

Droplet memasuki *flame*, kemudian *flame* mengalami pendinginan temperatur yang cukup rendah sehingga *flame* tidak bisa menyala lagi, akibatnya api akan padam. Permukaan panas dari bahan bakar tersebut akan terus memproduksi produk pyrolisis untuk jangka waktu tertentu yang dapat memicu terjadinya re-ignition. Mekanisme pendinginan nyala api oleh kabut air dengan cara merubah air menjadi uap panas, perubahan ini terjadi ketika kabut air dengan ukuran *droplet* yang kecil dan jumlah yang banyak memasuki nyala api dan dengan menguap secara cepat. Api akan padam pada saat temperatur adiabatik dari nyala api berkurang menjadi temperatur di bawah temperatur limitnya, sehingga mengakibatkan reaksi pembakaran antara bahan bakar dan udara menjadi terhenti. Api juga dapat dipadamkan ketika bahan bakar didinginkan dibawah temperatur nyala (*fire point*) dengan menghilangkan panas dari permukaan bahan bakar, atau pada saat konsentrasi dari uap/campuran udara

yang berada diatas permukaan bahan bakar didinginkan dibawah temperatur nyala.

b. Pendinginan permukaan

Droplet mengenai permukaan bahan bakar, yang mendinginkannya ke temperatur dimana produk pyrolisis tidak lagi dapat diproduksi untuk menghasilkan nyala api kembali. Agar kabut air dapat memadamkan permukaan bahan bakar, semprotan kabut air harus bisa menembus nyala api agar dapat mencapai permukaan bahan bakar dan kemudian memindahkan sejumlah panas dari permukaan bahan bakar dengan laju perpindahan yang tinggi dari laju perpindahan panas yang diberikan oleh nyala api.

c. *Droplet* menghalangi atau mengurangi re-radiasi dari nyala api dan karena itu mengurangi laju pemanasan dan laju pyrolisis dari permukaan bahan bakar.

Kabut air dapat memadamkan api dengan mekanisme pendinginan nyala api dan pendinginan permukaan bahan bakar. Mekanisme pendinginan nyala api adalah dengan cara mengkonversikan *droplet* menjadi uap panas pada saat kabut air memasuki nyala api dan dengan secara cepat akan menguap, Api akan padam apabila temperatur adiabatik nyala api berkurang menjadi temperatur minimum yang dibutuhkan agar api dapat menyala.

Rabash[10] telah melakukan perhitungan dari efisiensi kabut air dalam memadamkan nyala api, ditemukan bahwa pada saat air menguap menjadi steam, penyerapan panas yang dibutuhkan untuk memadamkan api berkurang setengah dibandingkan pada uap air yang mengalami kondensasi. Dengan ukuran *droplet* yang halus, luas permukaan dari air dan kecepatan dimana kabut air menghilangkan panas dan memadamkan nyala api secara

signifikan menjadi meningkat. Menurut Kannury[11] dan Herterich[12] laju penguapan *droplet* tergantung oleh;

- Temperatur lingkungan
- Luas permukaan *droplet*
- Koefisien perpindahan panas
- Kecepatan relatif *droplet* dengan gas yang terdapat dilingkungan sekitar

Wighus[13] mengenalkan suatu konsep hubungan antara ukuran nyala api dengan jumlah air yang dibutuhkan untuk memadamkan nyala api tersebut, konsep tersebut disebut dengan *Spray Heat Absorption Ratio* (SHAR). SHAR didefinisikan sebagai rasio antara jumlah panas yang diserap oleh spray dan panas yang dihasilkan oleh api. Akan tetapi di beberapa penelitian menyebutkan bahwa nilai dari SHAR sangat bervariasi untuk bermacam jenis api, disebabkan oleh efisiensi dari kabut air dalam memadamkan api tidak dapat diprediksi.

Api juga dapat dipadamkan ketika temperatur bahan bakar didinginkan dibawah temperatur nyala dengan cara memindahkan panas dari permukaan bahan bakar, atau konsentrasi penguapan bahan bakar berkurang dari limit yang dibutuhkan agar pembakaran dapat berlangsung. Agar kabut air dapat mendinginkan bahan bakar kabut air harus dapat menembus nyala api dan dapat mencapai permukaan bahan bakar dan kemudian menghilangkan panas dari bahan bakar dengan laju kecepatan yang lebih tinggi daripada bahan bakar dalam melakukann penguapan.

2.5 Sistem Deteksi Kebakaran

Dalam mendeteksi suatu kebakaran, diperlukan beberapa ketentuan – ketentuan khusus seperti desain ruangan dan jenis sistem proteksi aktif yang dibutuhkan. Secara umum, tujuan digunakanya sistem deteksi kebakaran adalah untuk tujuan keselamatan hidup, perlindungan terhadap struktur bangunan, perlindungan harta benda, dan dampak terhadap

lingkungan. Dalam merancang suatu sistem deteksi kebakaran, diperlukan sistem deteksi yang mampu merespon dengan cepat terhadap bahaya kebakaran.

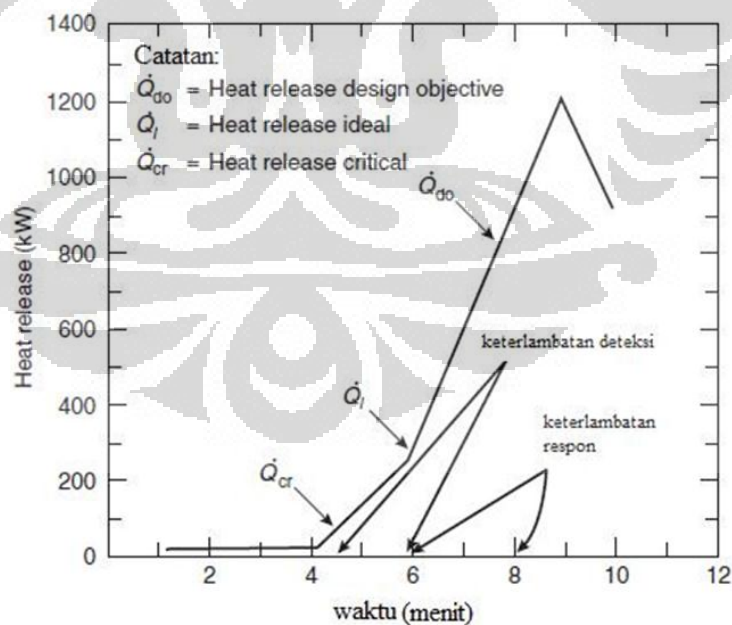
Untuk merancang suatu sistem deteksi, yang harus dilakukan adalah menentukan penempatan dimana suatu detektor tersebut diletakkan untuk mendapatkan respon detektor yang sesuai dengan bahaya kebakaran. Untuk itu, perlu dilakukan banyak pengembangan terhadap sistem deteksi kebakaran untuk menghemat biaya dan membuat efisiensi deteksi yang baik. Di dalam suatu sistem deteksi, terdapat istilah yang disebut sebagai *delay*. Istilah ini merupakan sebutan bagi suatu sistem yang mengalami keterlambatan untuk mendeteksi bahaya kebakaran. Sejumlah tipe deteksi kebakaran banyak dikembangkan untuk mendapatkan efisiensi yang sesuai. Pada tabel 2.3 di bawah memberikan informasi tentang kemampuan dan tipe deteksi yang sesuai dengan spesifikasinya.

Agar suatu sistem deteksi tidak mengalami sebuah keterlambatan, maka perancang harus memahami titik *heat release* berbahaya dimana suatu kebakaran terjadi. Kurva kenaikan *heat release rate* suatu kebakaran dapat ditunjukkan melalui gambar 2.9 yaitu dengan membagi titik *heat release* menjadi tiga bagian yaitu, \dot{Q}_{do} , sebuah *heat release design objective* yang menyatakan kondisi suatu kebakaran bahwa dimulainya pembesaran api yang sudah memasuki ambang *fully developed fire* seperti pada bahasan sebelumnya. Pada kondisi *heat release critical* suatu sistem deteksi seharusnya sudah dapat mendeteksi bahaya kebakaran. Walaupun terjadi *delay* dalam keadaan *heat release critical*, sistem deteksi memiliki batas waktu sebanyak 2 menit untuk mendeteksi adanya bahaya kebakaran pada bagian *heat release ideal*. Jika setelah itu sistem deteksi baru mendeteksi adanya bahaya kebakaran, maka harus dilakukan penelitian lebih lanjut maupun mengganti sistem deteksi karena dapat menyebabkan banyak korban jiwa.

Tabel 2.3 *Fire signature* dan sistem deteksi yang sesuai [10]

Fire Signature/ Detector Type	Electromagnetic Radiation Wave Length 1700 to 2900 Angstroms	Electromagnetic Radiation (thermal) 6500 to 8500	Invisible Products of Combustion Less Than 0.1 Micron	Visible Smoke and Products of Combustion More Than 0.1 Micron	Rapid Change in Temperature	High Temperature
Ultraviolet detector	X					
Infrared detector		X				
Sub-micron particle detector						
Wilson cloud chamber			X			
Infrared particle detector						
Smoke detector photoelectric ionization			X	X		
photo beam				X		
Rate-of-rise heat detector					X	
Rate anticipation heat detector						X
Fixed temperature heat detector						X

Sedangkan \dot{Q}_i dalam istilah ini merupakan *heat release rate* ideal yaitu sebuah titik dimana suatu kebakaran harus segera dideteksi agar bisa memberikan waktu bagi korban kebakaran untuk melakukan sebuah evakuasi atau penyelamatan diri.

**Gambar 2.4** Waktu respon sensor

Heat release critical atau \dot{Q}_{cr} adalah *heat release* yang menyatakan bahwa pada titik inilah sebuah bahaya seharusnya sudah

ditentukan untuk memenuhi kriteria evakuasi korban yang lebih aman daripada kedua *heat release* yang sebelumnya.

2.6 Heat loss

Heat loss yang terjadi pada eksperimen ini terjadi melalui dinding *pool fire* dan ventilasi yang terdapat pada ruangan. *Heat loss* pada suatu ventilasi dapat di rumuskan menjadi[6] :

$$\dot{q}_v = A_{vent} \sigma_g \left[\varepsilon_g (T^4 - T_\infty^4) + (1 - \varepsilon_g) (T_w^4 - T_\infty^4) \right] \quad (2.1)$$

di mana ε merupakan *emissivity* yang apabila diasumsikan dinding hitam sempurna (*black body*)

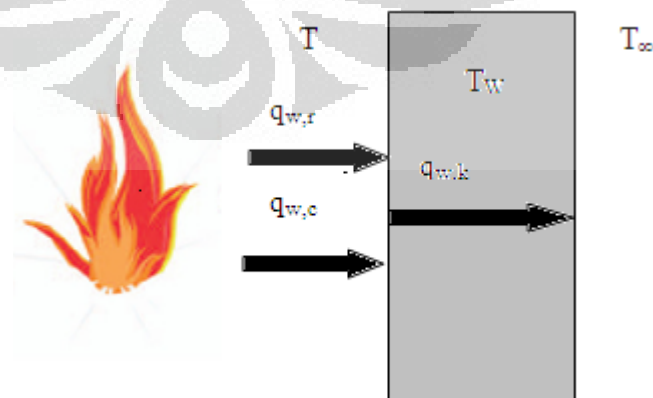
$$\varepsilon_g \approx 1 - e^{-\kappa s} \quad (2.2)$$

Dari persamaan diatas maka didapatkan suatu hubungan bilangan tak berdimensi *heat loss* melalui ventilasi oleh radiasi benda hitam sempurna

$$\Pi_2 = \kappa l \quad (2.3)$$

maka dapat di peroleh suatu hubungan bilangan tak berdimensi untuk *heat loss* pada ventilasi adalah $\kappa \approx l^{-1}$

Selain itu, *heat loss* juga terjadi melalui dinding *pool fire* ke lingkungan sekitar. Perpindahan panas terjadi secara radiasi, konveksi, dan konduksi.



Gambar 2.5 Heat loss melalui dinding *pool fire*[20]

Dari gambar maka dapat diperoleh persamaan untuk perpindahan panas pada dinding *pool fire*, yaitu[6] :

$$\dot{q}_w = \dot{q}_{w,k} = \dot{q}_{w,r} + \dot{q}_{w,c} \quad (2.4)$$

Dengan perumpamaan dinding hitam sempurna (*black body*) maka besarnya radiasi dapat dirumuskan menjadi[6] :

$$q_r \approx \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4) A_w \quad (2.5)$$

Untuk perpindahan panas secara konveksi antara nyala api dengan dinding *pool fire* dapat dirumuskan menjadi[6] :

$$\dot{q}_c \approx h_c A_w (T - T_w) \quad (2.6)$$

Untuk perpindahan panas secara konduksi yang terjadi pada dinding *pool fire* dapat dirumuskan menjadi[6] :

$$\dot{q}_k \approx \frac{k_w A_w (T_w - T_\infty)}{\delta_T} \quad (2.7)$$

2.7 Sistem Deteksi Panas Berbasis *Micro Controller*

Pada bahasan sebelumnya, sudah dibahas macam-macam respon waktu untuk deteksi. Namun, perkembangan teknologi sudah sangat berkembang terutama dalam penggunaan *micro controller* pada bidang teknik keselamatan kebakaran.

Perkembangan sistem deteksi ini juga digabungkan dengan sistem dari sensor temperatur yang memberikan informasi temperatur secara langsung melalui LCD (*Liquid Crystal Display*).

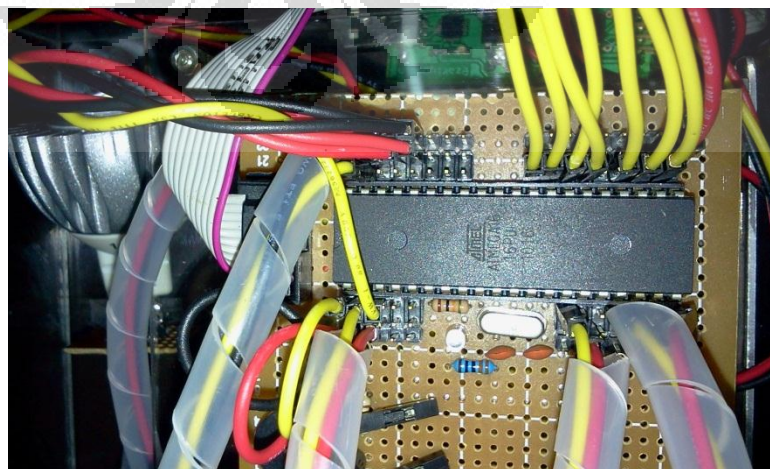
2.7.1 *Micro Controller ATmega 16*

Micro controller adalah salah satu bagian dasar dari suatu sistem komputer. Meskipun mempunyai bentuk yang jauh lebih kecil dari suatu komputer pribadi, *micro controller* dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan keluaran spesifik berdasarkan masukan yang diterima dan program yang dikerjakan. Seperti umumnya komputer, *micro controller* adalah alat yang mengerjakan instruksi-

instruksi yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem terkomputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang *programmer*. Program ini menginstruksikan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks.

Micro controller adalah suatu chip dengan tingkat kesulitan yang sangat tinggi, dimana semua bagian yang diperlukan untuk suatu kontroler sudah dikemas dalam satu keping, biasanya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM/EPROM/PROM/ROM, I/O, *Timer*, dan lain sebagainya. Rata-rata *micro controller* memiliki instruksi manipulasi bit, akses ke I/O secara langsung dan mudah, dan proses interupsi yang cepat dan efisien.

Micro controller sekarang ini sudah banyak dapat kita temui dalam berbagai peralatan elektronik, misalnya peralatan yang terdapat di rumah, seperti telepon digital, *microwave oven*, televisi, dan masih banyak lagi. *Micro controller* juga dapat kita gunakan untuk berbagai aplikasi misalnya untuk pengendalian suatu alat, otomasi dalam industri, dan lain-lain. Keuntungan menggunakan *micro controller* adalah harganya murah, dapat diprogram berulang kali, dan dapat diprogram sesuai dengan keinginan kita.



Gambar 2.6 ATmega16

2.7.1.1 Spesifikasi *Micro Controller* ATmega16

Micro controller AVR adalah *micro controller* RISC 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan *micro controller* lain, keunggulan AVR yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus clock, lebih cepat dibandingkan MCS51 yang membutuhkan 12 siklus clock untuk mengeksekusi 1 instruksi. *Micro controller* ATmega16 memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, Timer/Counter, Watchdog Timer, PWM, Port I/O, komunikasi serial, Komparator, I2C,dll).

Berikut ini merupakan beberapa spesifikasi ATmega16:

1. Arsitektur RISC dengan throughput mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 Mhz
2. Memiliki kapasitas flash memori 16Kbyte, EEPROM 512 Byte, dan SRAM 1Kbyte
3. Saluran Port I/O sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D
4. CPU yang terdiri atas 32 buah register
5. User interupsi internal dan eksternal
6. Port USART sebagai komunikasi serial
7. Konsumsi daya rendah (DC 5V)
8. Fitur peripheral, yang terdiri dari
 - a. Tiga buah Timer/Counter dengan perbandingan
 - 2 (dua) buah Timer/Counter 8 bit dengan Prescaler terpisah dan Mode Compare
 - 1 (satu) buah Timer/Counter 16 bit dengan Prescaler terpisah, Mode Compare, dan Mode Capture
 - b. Real Time Counter dengan osilator tersendiri

c. 4 channel PWM

d. 8 channel, 10-bit ADC

- 8 Single-ended Channel

- 7 Differential Channel hanya pada kemasan TQFP

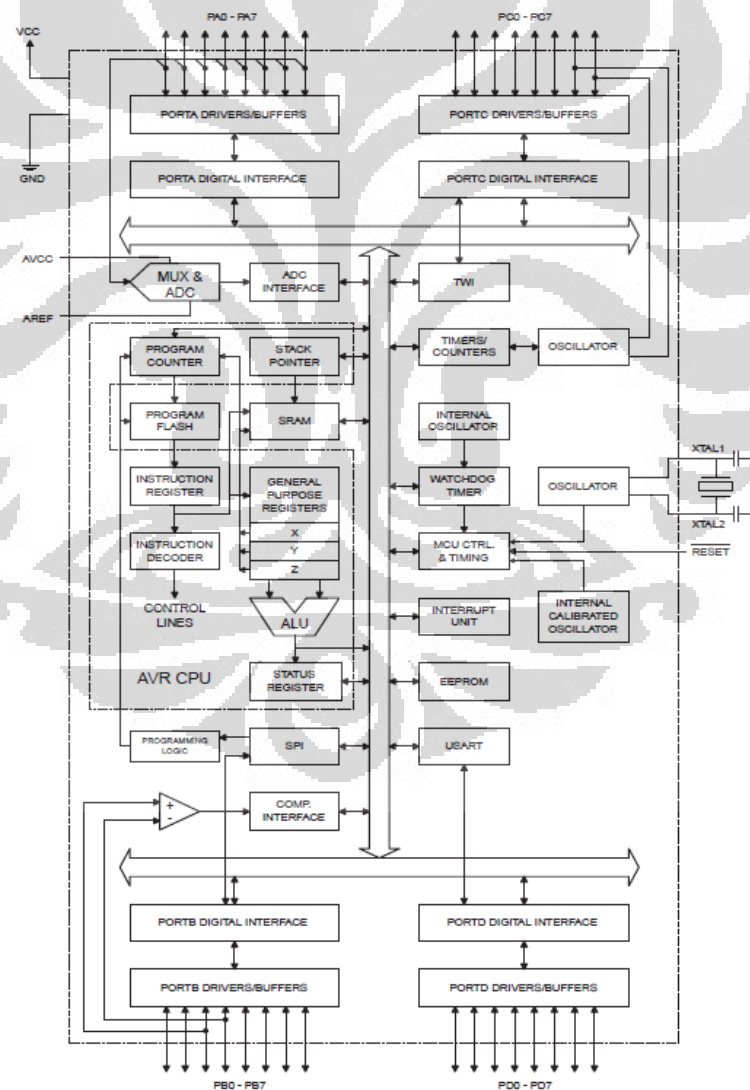
- 2 Differential Channel dengan Programmable Gain 1x, 10x, atau 200x

e. Byte-oriented Two-wire Serial Interface

f. Antarmuka SPI

g. Watchdog Timer dengan osilator internal

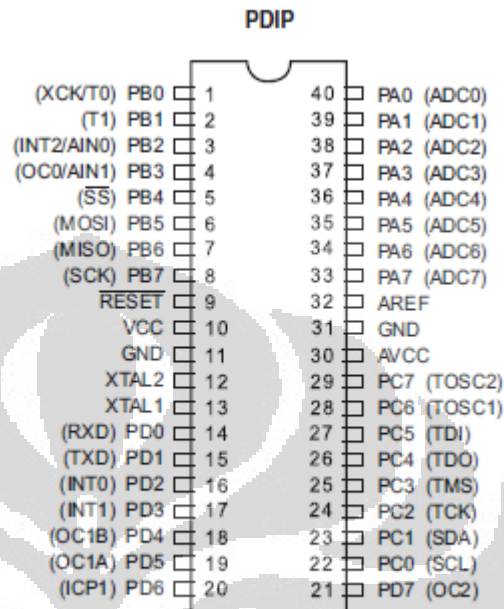
h. On-chip Analog Comparator



Gambar 2.7 Blok diagram ATmega 16

2.7.1.2 Konfigurasi Pin ATmega16

Susunan pin *micro controller* ATmega16 diperlihatkan pada Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.8 Konfigurasi ATmega 16

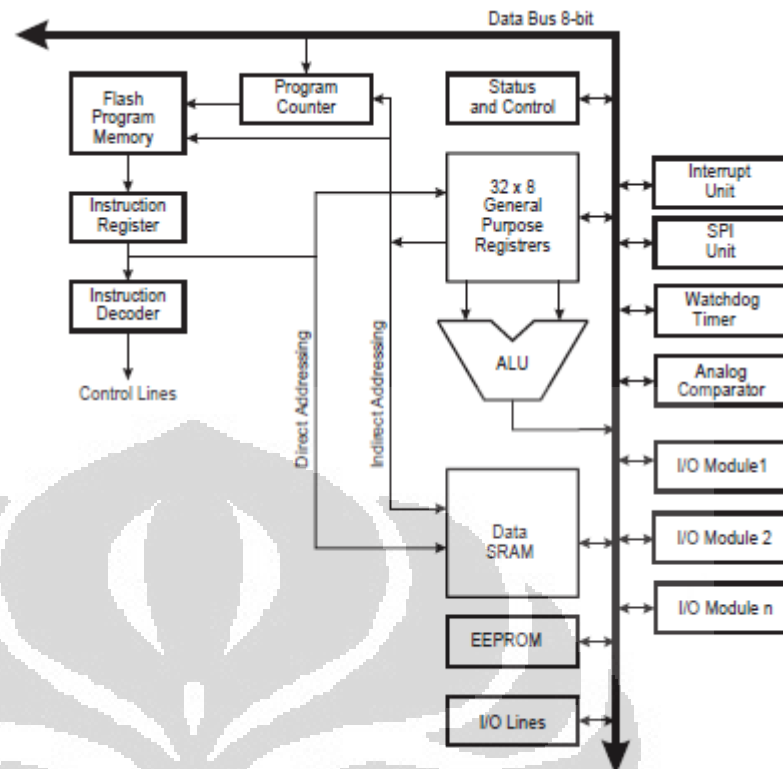
Konfigurasi pin ATmega16 dengan kemasan 40 pin DIP (*Dual In-line Package*) dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dari gambar di atas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing pin ATmega16 sebagai berikut:

1. Vcc merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya.
2. GND merupakan pin *Ground*
3. Port A (PA0...7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin masukan ADC.
4. Port B (PB0...7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin dengan fungsi khusus seperti SPI, MISO, MOSI, SS, AIN1/OC0, AIN0/INT2, T1, T0 T1/XCK
5. Port C (PC0...7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin dengan fungsi khusus, seperti TOSC2, TOSC1, TDI, TDO, TMS, TCK, SDA, SCL

6. Port D (PD0...7) merupakan pin input/output dua arah dan pin dengan fungsi khusus, seperti RXD, TXD, INT0, INT1, OC1B, OC1A, ICP1
7. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset *micro controller*.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC

2.7.1.3 Arsitektur *Micro controller* ATmega16

ATmega16 menggunakan arsitektur Harvard dengan memisahkan antara memori dan bus untuk program dan data untuk memaksimalkan kemampuan dan kecepatan. Instruksi dalam memori program dieksekusi dengan *pipelining single level* dimana ketika satu instruksi dieksekusi, instruksi berikutnya diambil dari memori program. Konsep ini mengakibatkan instruksi dieksekusi setiap siklus *clock*. CPU terdiri dari 32x8 *bit general purpose register* yang dapat diakses dengan cepat dalam satu siklus *clock*, yang mengakibatkan operasi *Arithmetic Logic Unit* (ALU) dapat dilakukan dalam satu siklus. Pada operasi ALU, dua operand berasal dari register, kemudian operasi dieksekusi dan hasilnya disimpan kembali pada register dalam satu siklus *clock*. Operasi aritmetik dan logika pada ALU akan mengubah bit-bit yang terdapat pada Status Register (SREG). Arsitektur *Micro controller* ATmega16 dapat dilihat pada Gambar 2.8 yang terdapat di bawah ini.



Gambar 2.9 Arsitektur *Micro controller* ATmega 16

2.7.1.4 Software *Micro controller* ATmega16

Sebuah *micro controller* tidak akan bekerja bila tidak diberikan program untuk diisikan ke dalam *micro controller* tersebut. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan digunakan perangkat lunak *CodeVision AVR* sebagai media penghubung antara program yang akan diisikan ke *micro controller* ATmega16 yang menggunakan bahasa C.

Pemrograman *micro controller* AVR dapat menggunakan *low level language* (assembly) dan *high level language* (C, Basic, Pascal, JAVA, dll) tergantung *compiler* yang digunakan. Bahasa Assembler pada *micro controller* AVR memiliki kesamaan instruksi, sehingga jika telah menguasai pemrograman satu jenis *micro controller* AVR, maka akan dengan mudah untuk memprogram *micro controller* AVR jenis lain, tetapi bahasa assembler relatif lebih sulit dipelajari daripada bahasa C, untuk pembuatan

suatu proyek yang besar akan memakan waktu yang lama, serta penulisan programnya akan panjang. Sedangkan bahasa C memiliki keunggulan dibandingkan bahasa *assembly* yaitu penyusunan program akan lebih sederhana dan mudah pada proyek yang lebih besar. Bahasa C hampir bisa melakukan semua operasi yang dapat dikerjakan oleh bahasa mesin.

CodeVisionAVR pada dasarnya merupakan perangkat lunak pemrograman *micro controller* keluarga AVR berbasis bahasa C. Ada tiga komponen penting yang telah diintegrasikan dalam perangkat lunak ini: *Compiler C*, IDE dan program *generator*.

Berdasarkan spesifikasi yang dikeluarkan oleh perusahaan pengembangnya, *Compiler C* yang digunakan hampir mengimplementasikan semua komponen standar yang ada pada bahasa C standar ANSI (seperti struktur program, jenis tipe data, jenis operator, dan library fungsi standar berikut penamaannya). Tetapi walaupun demikian, dibandingkan bahasa C untuk aplikasi komputer, compiler C untuk *micro controller* ini memiliki sedikit perbedaan yang disesuaikan dengan arsitektur AVR tempat program C tersebut ditanamkan (*embedded*).

Khusus untuk library fungsi, disamping library standar (seperti fungsi-fungsi matematik, manipulasi string, pengaksesan memori dan sebagainya), *CodeVisionAVR* juga menyediakan fungsi-fungsi tambahan yang sangat bermanfaat dalam pemrograman antarmuka AVR dengan perangkat luar yang umum digunakan dalam aplikasi kontrol. Beberapa fungsi library yang penting diantaranya adalah fungsi-fungsi untuk pengaksesan LCD, komunikasi I2C, IC RTC (Real time Clock), sensor suhu, SPI (Serial Peripheral Interface) dan lain sebagainya.

Untuk memudahkan pengembangan program aplikasi, CodeVisionAVR juga dilengkapi IDE yang sangat user friendly. Selain menu-menu pilihan yang umum dijumpai pada setiap perangkat lunak berbasis Windows, CodeVisionAVR ini telah mengintegrasikan perangkat lunak downloader yang bersifat In System Programmer yang dapat digunakan untuk mentransfer kode mesin hasil kompilasi ke dalam sistem memori *micro controller* AVR yang sedang diprogram.

Selain itu, CodeVisionAVR juga menyediakan sebuah fitur yang dinamakan dengan Code Generator atau CodeWizardAVR. Secara praktis, fitur ini sangat bermanfaat membentuk sebuah kerangka program (template), dan juga memberi kemudahan bagi programmer dalam peng-inisialisasian register-register yang terdapat pada *micro controller* AVR yang sedang diprogram. Dinamakan Code Generator, karena perangkat lunak CodeVision ini akan membangkitkan kode-kode program secara otomatis setelah fase inisialisasi pada jendela CodeWizardAVR selesai dilakukan. Penggunaan fitur ini pada dasarnya hampir sama dengan application wizard pada bahasa-bahasa pemrograman visual untuk komputer.

2.7.1.5 Komunikasi Serial USART

Komunikasi data adalah perpindahan data antara dua atau lebih peranti, baik yang berjauhan maupun yang berdekatan. Perpindahan data antara dua atau lebih peranti dapat dilaksanakan secara paralel atau seri. Komunikasi seri dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu komunikasi data seri sinkron dan komunikasi data asinkron. Dikatakan sinkron jika sisi pengirim dan sisi penerima ditabuh (clocked) oleh penabuh (clock) yang sama, satu sumber

penabuh; data dikirim beserta penabuh. Dikatakan asinkron jika sisi pengirim dan sisi penerima ditabuh oleh penabuh yang terpisah dengan frekuensi yang hampir sama, data dikirim disertai informasi sinkronisasi. Pada proses inialisasi ini setiap perangkat yang terhubung harus memiliki baudrate yang sama. Beberapa fasilitas yang disediakan USART AVR adalah sebagai berikut:

- Operasi full duplex (mempunyai register receive dan transmit yang terpisah)
- Mendukung kecepatan multiprosesor
- Mode kecepatan berorde Mbps
- Operasi asinkron atau sinkron
- Operasi master atau slave clock sinkron
- Dapat menghasilkan baud-rate (laju data) dengan resolusi tinggi
- Modus komunikasi kecepatan ganda pada asinkron

2.7.2 Sensor Temperatur DS18B20

Sensor temperatur DS18B20 merupakan suatu komponen elektronika yang dapat menangkap perubahan temperatur lingkungan lalu kemudian mengkonversinya menjadi besaran listrik. Sensor ini merupakan sensor digital yang menggunakan 1 wire untuk berkomunikasi dengan *micro controller*. Sensor DS18B20 memiliki kemampuan untuk mengukur suhu pada kisaran -55°C sampai 125°C dan bekerja secara akurat dengan kesalahan $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada kisaran -10°C sampai 85°C . Selain itu, daya yang digunakan sensor suhu DS18B20 bisa langsung didapat dari data line ("parasite power"), sehingga tidak perlu lagi listrik eksternal. Sensor DS18B20 memiliki keunikan yaitu 64-bit, yang memungkinkan DS18B20 untuk terhubung ke beberapa fungsi yang sama melalui satu kabel yang sama. Oleh karena itu, satu *microprocessor* dapat digunakan untuk mengendalikan banyak sensor yang akan didistribusikan ke daerah

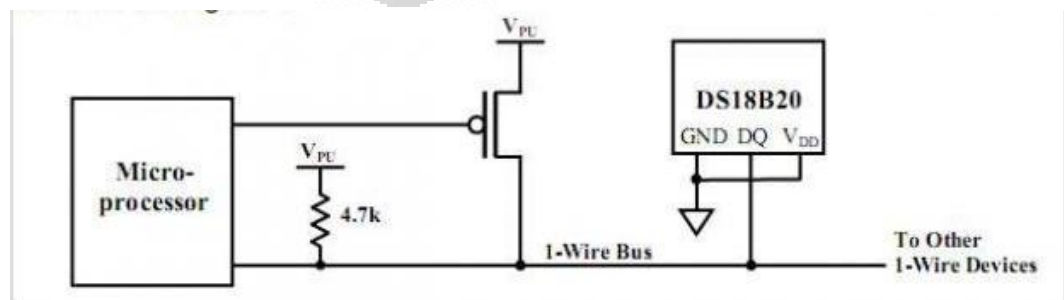
yang lebih besar. Aplikasi dari fitur ini meliputi pengontrol lingkungan (HVAC), sistem pemantauan suhu di dalam bangunan, peralatan, atau mesin, proses *monitoring* dan sistem kontrol.

Keuntungan penggunaan DS18B20 adalah :

- Hanya memerlukan satu port pin untuk komunikasi
- Setiap perangkat memiliki 64-bit dalam *on-board* ROM
- Kemampuan *simplifies distributed temperature sensing*
- Tidak memerlukan komponen eksternal
- *Power Supply* berkisar 3,0V sampai 5,5V
- Resolusi termometer 9-bit
- Kecepatan mengukur suhu dalam 750-800 ms (max)
- Pengaturan alarm dapat disesuaikan



Gambar 2.10 Sensor DS18B20



Gambar 2.11 Rangkaian sensor DS18B20

BAB III

METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN

Setiap melakukan penelitian dan pengujian harus melalui beberapa tahapan-tahapan yang ditujukan agar hasil penelitian dan pengujian tersebut sesuai dengan standar yang ada. Caranya adalah dengan menerapkan prosedur yang sama dan konsisten, sehingga didapatkan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan atau valid. Dalam melakukan penelitian dan pengujian dari sistem water mist ini dibutuhkan beberapa komponen yang harus dipersiapkan, yaitu *pool fire*, rangkaian *water-mist*, termokopel, dan *controller* sistem *water-mist*.

3.1 Konsep Perancangan Rangka Dudukan *Nozzle*

Tahap konsep merupakan tahap awal dalam kegiatan perancangan, tahap ini bertujuan untuk mengetahui berbagai kemungkinan yang dapat diterapkan untuk membuat rangka dudukan *nozzle* yang dapat dikonfigurasi sesuai dengan kebutuhan pada saat pengujian, sehingga akan memperjelas masalah atau tugas yang akan diproses selanjutnya.

Tujuan perancangan adalah menghasilkan desain dudukan *nozzle* yang terintegrasi dengan sistem deteksi panas dan dapat diatur sudut kemiringannya.

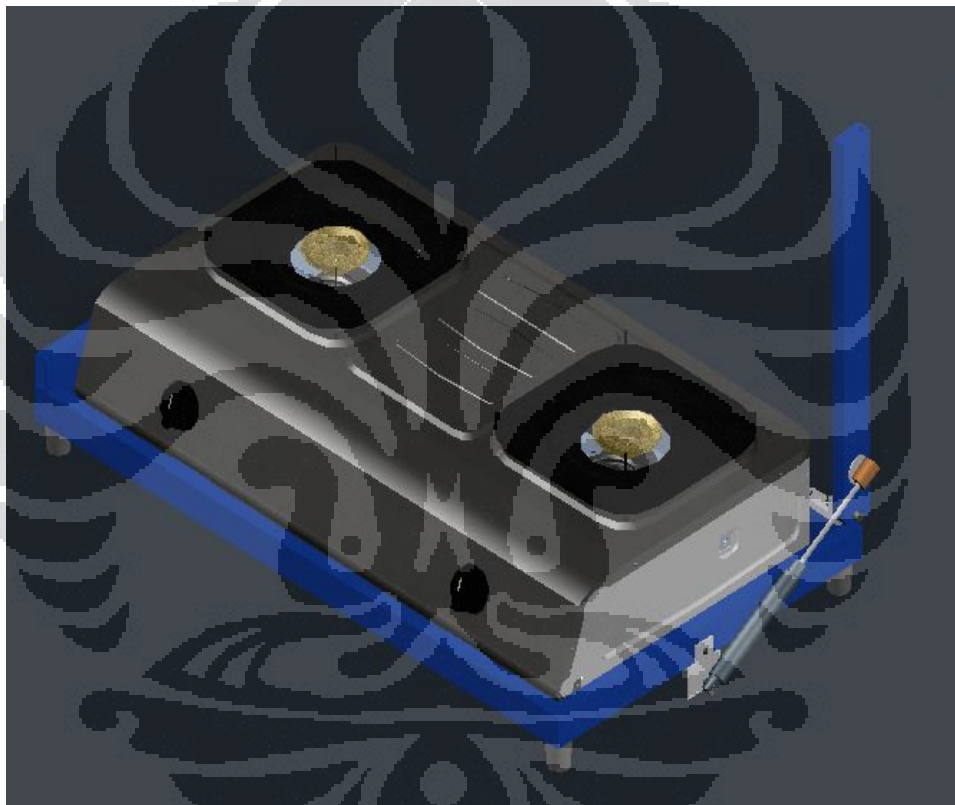
Untuk memperjelas batasan-batasan masalah pembuatan konsep rancangan dan persyaratan apa saja yang harus dipenuhi oleh rangka dudukan *nozzle* kabut air, maka muncullah beberapa tuntutan seperti berikut ini :

- Alat ini menggunakan 2 *nozzle* kabut air dan diletakan saling berhadapan satu sama lain, dengan ketinggian maksimum untuk *nozzle* adalah 0,45 m dan *nozzle* dapat diputar 0° - 90° terhadap rangka kompor.
- Karakteristik bahan bakar adalah minyak goreng yang mempunyai temperatur nyala yang dapat mencapai suhu 400°C , dan sangat

- berbahaya apabila terkena air karena akan menyebabkan cipratan minyak panas.

3.2 Hasil Rancangan Rangka Dudukan *Nozzle* Kabut Air

Dalam merancang rangka dudukan *nozzle* kabut air tentunya mengacu pada ukuran komponen-komponen lainnya seperti, ukuran dan bentuk *nozzle* kabut air, ukuran *fitting*, selang *nozzle* bertekanan, dan ukuran komponen-komponen pelengkap lainnya.



Gambar 3.1 Rancangan rangka dudukan *nozzle* kabut air



Gambar 3.2 Hasil rancangan rangka dudukan *nozzle* kabut air

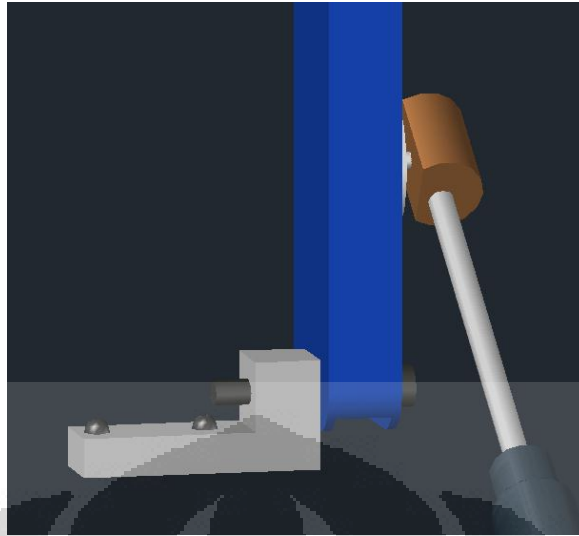
Setiap bagian yang melekat pada bagian rangka kompor mempunyai fungsi masing-masing, berikut adalah penjelasan dari fungsi rangka sistem kabut air yang terintegrasi dengan sensor temperatur :

1. Dudukan *nozzle*

Dudukan *nozzle* ini dikunci dengan *half thread bolt* pada bagian rangka yang dihubungkan dengan dudukan aluminium, sehingga rangka dudukan *nozzle* dapat digerakkan oleh *pneumatic hydraulic* hingga tegak lurus dengan rangka kompor.



Gambar 3.3 *Half thread bolt*



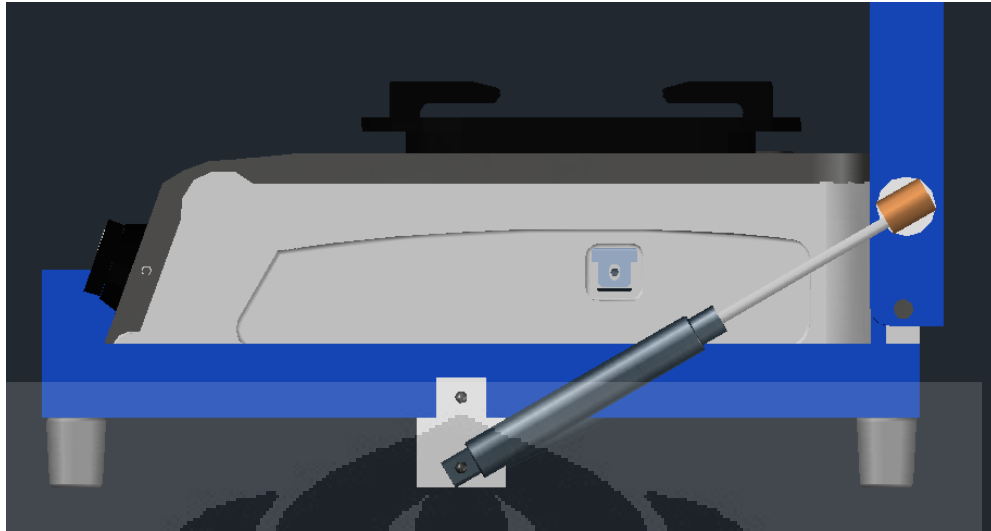
Gambar 3.4 Dudukan aluminium



Gambar 3.5 Dudukan *nozzle* kabut air

2. *Pneumatic*

Pneumatic berfungsi untuk mendorong rangka dudukan *nozzle* agar *nozzle* dapat mencapai ketinggian yang telah ditentukan untuk mengeluarkan kabut air.



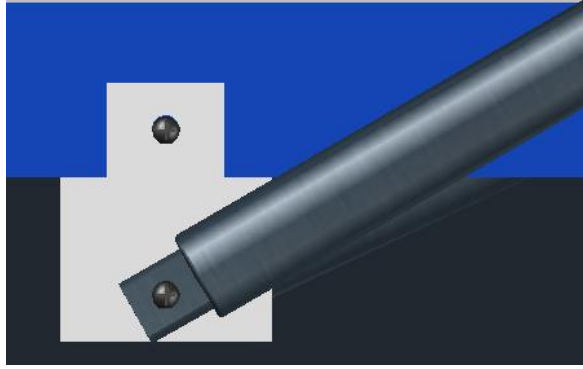
Gambar 3.6 *Pneumatic* pendorong dudukan *nozzle*



Gambar 3.7 *Pneumatic* pendorong dudukan *nozzle*

3. Pelat pengatur sudut dan dudukan *pneumatic*

Pelat ini berfungsi untuk mengatur sudut *pneumatic* yang berhubungan dengan sudut rangka *nozzle*. Jika dalam peletakan *pneumatic* tidak sesuai dengan jarak yang telah ditentukan dapat menyebabkan rangka *nozzle* tidak tegak lurus dengan rangka kompor sehingga dapat mengakibatkan *nozzle* mengarah ke belakang kompor.



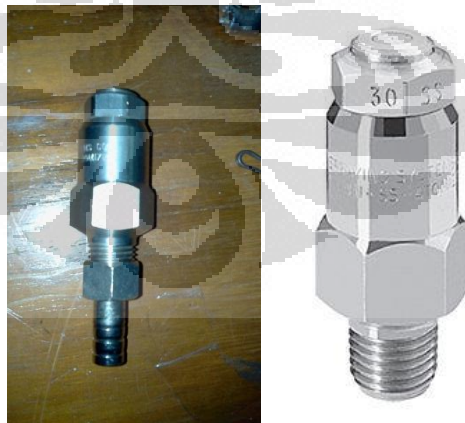
Gambar 3.8 Pelat pengatur sudut dan dudukan *pneumatic*

3.3 Perakitan Sistem Kabut Air

Didalam sistem kabut air terdapat beberapa komponen penunjang lainnya dimana komponen ini sudah ada dan tersedia. Komponen-komponen tersebut adalah;

1. *Nozzle* kabut air

Agar dapat menghasilkan *droplet* air dengan ukuran yang memenuhi syarat kabut air, maka harus digunakan *nozzle* yang sesuai dengan kebutuhan. *Nozzle* yang akan dipakai dalam pengujian ini adalah *nozzle* yang memiliki *flow rate* besar untuk memadamkan api minyak goreng.



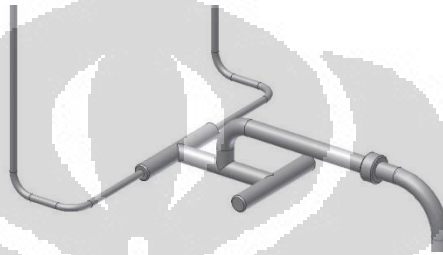
Gambar 3.9 *Nozzle* Kabut air

Spesifikasi *nozzle* yang digunakan :

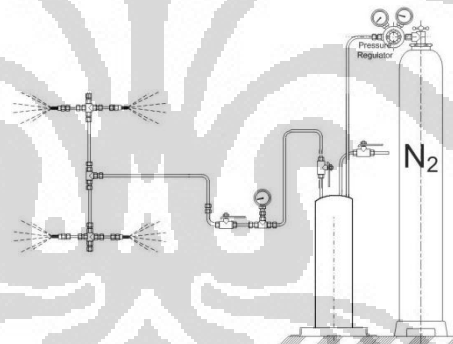
Nama pasaran/merek : 1/4 - LNN – SS1.5

Material	: Stainless Steel 303
Diameter Orifice	: 0,51 mm
Tekanan kerja	: 2 – 70 bar
<i>Droplet</i> Keluaran	: 10 - 50 μ m
Sudut Spray	: 65 ⁰ - 72 ⁰ (Bergantung dari tekanan)
Jumlah kebutuhan air	: 4,8 – 29 L/jam

2. Sistem *piping*

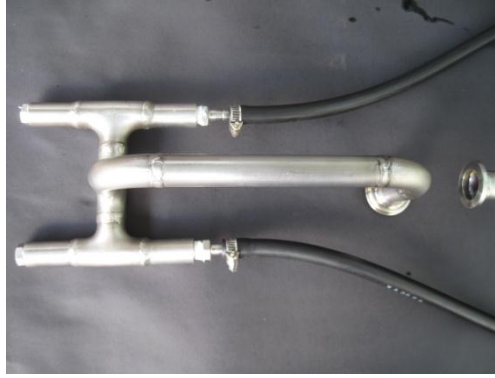


Gambar 3.10 Skema sistem *piping* kabut air



Gambar 3.11 Sistem *piping* kabut air

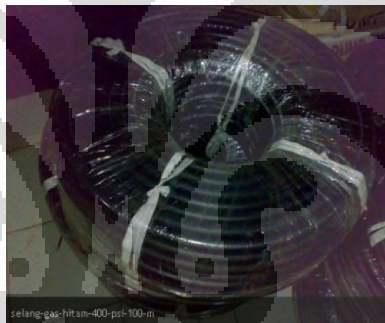
Sistem kabut air ini menggunakan pipa yang terbuat dari bahan *stainless steel* yang memiliki ukuran 1/4 inci. Pipa ini cukup baik untuk menahan tekanan tinggi, dimana setiap sambungan menggunakan *ferrul* agar sambungan kuat dan tidak bocor. *Piping* sistem terdiri atas; pipa *stainless steel* ukuran 1/4 inci, *plastik tube* ukuran 1/4 inch, dan beberapa *fittings*. Pipa rangkaian ini digunakan sebagai terminal atau pembagi aliran air jika menggunakan konfigurasi *nozzle* lebih dari satu, rangkaian ini terdiri dari *elbow* dan *tee pipe* yang diwelding menjadi satu rangkaian.



Gambar 3.12 Cabang aliran saluran air pada sistem *water-mist*

3. Selang bertekanan

Selang ini digunakan sebagai penghubung antara sistem pemipaan dengan tabung air atau *pressure vessel* yang berfungsi mengalirkan air yang bertekanan dari tabung.



Gambar 3.13 Selang bertekanan

4. *Union Ferrule*

Part ini digunakan pada tiap sambungan dari sistem pemipaan, agar tidak bocor dan sambungan sistem pemipaan bisa dilepas pasang.



Gambar 3.14 *Union Ferrule*

5. *Caps & Plug*

Berfungsi sebagai penyumbat jika konfigurasi *nozzle* yang digunakan kurang dari 4 *nozzle*,



Gambar 3.15 *Caps & Plug*

6. Tabung nitrogen dan regulator

Untuk menghasilkan air yang bertekanan digunakan nitrogen bertekanan sebagai tenaga pendorong. Nitrogen akan mendorong air di dalam *pressure vessel* untuk mengalir keluar sampai ke *nozzle*. Untuk mengatur tekanan yang dikeluarkan dari tabung, digunakan *pressure regulator*. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa tekanan nitrogen masih cukup dan tidak ada kebocoran.



Gambar 3.16 Tabung nitrogen dan regulator

7. *Check Valve*

Check valve merupakan alat yang digunakan agar tidak terjadi aliran tekanan balik. Pada rancangan, alat ini dipasang antar nitrogen dan *pressure vessel* supaya mencegah tekanan nitrogen kembali ke tabung gas.

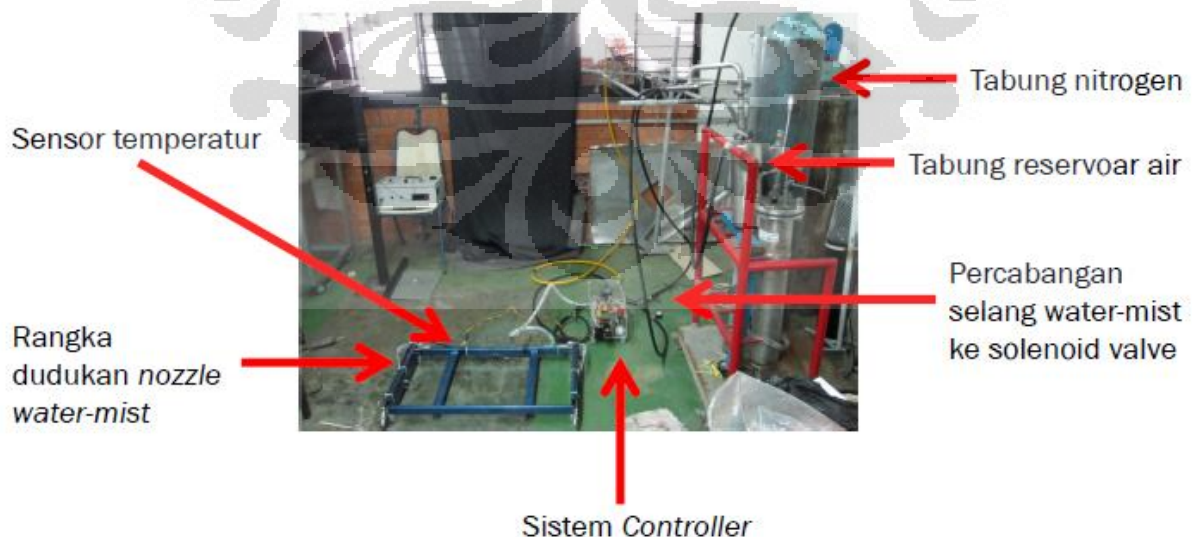
8. *Pressure Gauge*

Alat ini berfungsi untuk mengetahui tekanan air yang mengalir menuju *nozzle*. Dengan mengetahui tekanan ini, maka dapat dijadikan *variable* untuk mencari karakteristik pemadaman.



Gambar 3.17 *Pressure gauge*

Hasil perakitan rangka kompor dengan kabut air dapat dilihat pada gambar berikut ini

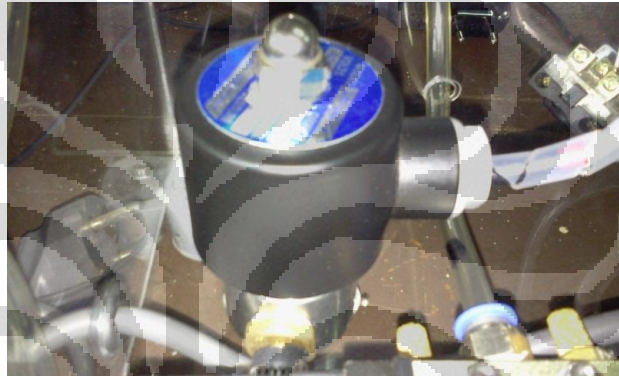


Gambar 3.18 Hasil pembuatan dudukan *nozzle* kabut air dengan sistem *controller*

3.4 Sistem Kendali Otomasi *Water-mist*

Dalam melakukan penelitian dan pengujian karakteristik dari sistem *water-mist* ini dibutuhkan beberapa komponen yang harus dipersiapkan, yaitu *controller water-mist* yang didalamnya terdapat berbagai macam rangkaian dan dikendalikan oleh *micro controller* ATmega16. *Controller* ini terdiri dari *solenoid valve*, *5/2 solenoid valve*, rangkaian IRF540, *buzzer* dan *led (light emitting diode)*, *lcd (liquid crystal display)*, dan *power supply*.

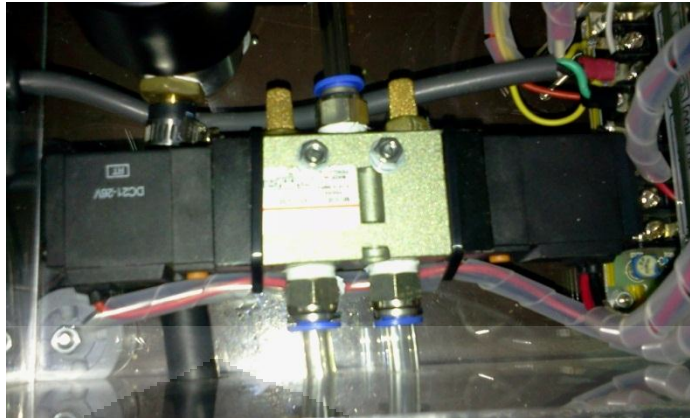
3.4.1 *Solenoid Valve*



Gambar 3.19 *Solenoid valve*

Solenoid valve pada sistem *water-mist* ini digunakan sebagai pembuka dan penutup katup air bertekanan yang melewati *nozzle* pada akhirnya. *Solenoid valve* akan membuka katup ketika sensor temperatur membaca suhu lingkungan sekitar kompor melebihi batas normal dan menutup kembali katup ketika suhu yang terbaca sudah normal kembali. *Solenoid valve* yang digunakan hanya dapat mengalirkan air bertekanan maksimal 10 bar, jika air bertekanan melebihi 10 bar maka *solenoid valve* tidak akan berkerja sesuai fungsinya, dalam artian katup *solenoid valve* akan terbuka terus. *Solenoid valve* ini dikendalikan oleh *micro controller* melalui IRF 540 karena *solenoid valve* ini membutuhkan voltage sebesar 24V DC.

3.4.2 5/2 Solenoid Valve



Gambar 3.20 5/2 Solenoid valve

5/2 solenoid valve pada sistem *water-mist* ini digunakan sebagai pembuka dan penutup katup udara bertekanan yang berasal dari kompresor dan disalurkan ke *pneumatic hydraulic*. 5/2 solenoid valve akan membuka katup dorong ketika sensor temperatur membaca suhu lingkungan sekitar kompor melebihi batas normal sehingga rangka dudukan *nozzle* akan bergerak tegak lurus terhadap rangka kompor dan membuka katup tarik yang mengakibatkan rangka dudukan *nozzle* kembali ke posisi semula ketika suhu yang terbaca sudah normal kembali. 5/2 solenoid valve ini dikendalikan oleh *micro controller* melalui IRF 540 seperti pada solenoid valve karena 5/2 solenoid valve juga dioperasikan pada voltage sebesar 24V DC.

3.4.3 Power Supply



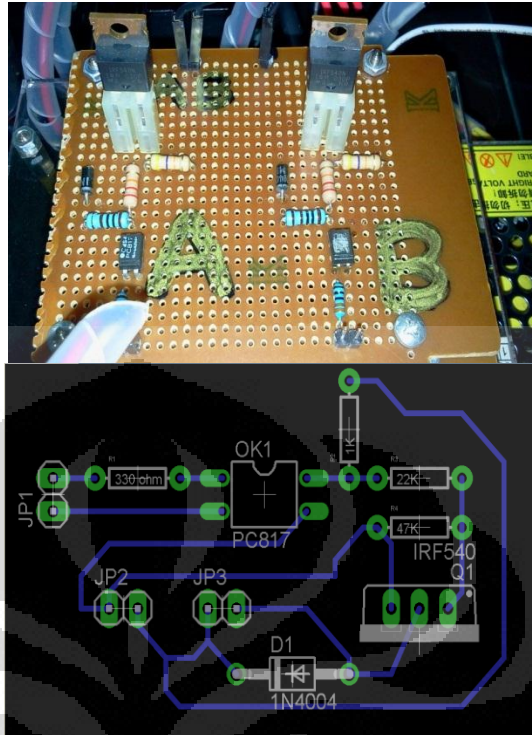
Gambar 3.21 Power supply 24V – 220V



Gambar 3.22 Power supply 5V – 220V

Pada sistem *water-mist* ini digunakan 2 *power supply* dimana *power supply* 24V digunakan untuk mensuplai *solenoid valve* dan *5/2 solenoid valve*. Sedangkan untuk *power supply* 5V digunakan untuk mensuplai *micro controller ATmega 16*.

3.4.4 Rangkaian IRF 540 dan PC 817

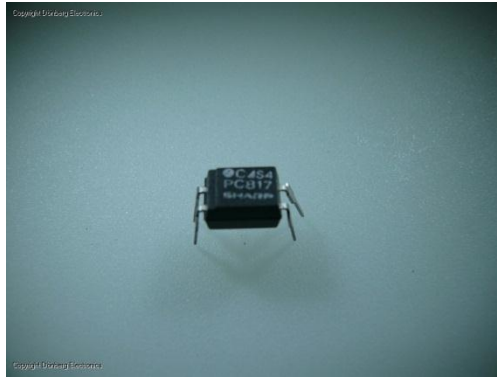


Gambar 3.23 Rangkaian IRF 540

Rangkaian IRF 540 digunakan untuk kebutuhan pengontrolan *solenoid valve* dan *5/2 solenoid valve* yang membutuhkan tegangan 24V, sedangkan ATmega16 mensuplai tegangan 5V. Pada rangkaian IRF 540 ini terdapat PC 817 yang memisahkan tegangan 24V dan 5V sehingga tegangan yang berasal dari *micro controller* dan *power supply* 24V tetap stabil.

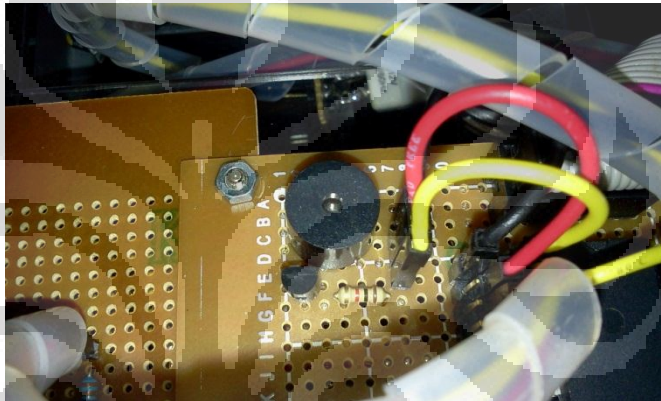


Gambar 3.24 IRF 540



Gambar 3.25 PC 817

3.4.5 *Buzzer* dan LED



Gambar 3.26 Buzzer



Gambar 3.27 LED

Pada sistem water-mist ini digunakan buzzer dan LED sebagai tanda peringatan terhadap bahaya kebakaran. Buzzer

mengeluarkan bunyi dan LED akan berkedap-kedip setelah sensor temperatur yang terbaca di sekitar kompor melebihi temperatur pada keadaan normal.

3.4.6 LCD



Gambar 3.28 LCD

LCD berfungsi sebagai alat pantau suhu yang terbaca oleh sistem deteksi suhu yang diletakkan di belakang kompor. Karena sensor suhu yang diletakkan sebanyak 2 buah maka pembacaan suhu akan dilakukan secara bergantian dimulai dari sensor pertama kemudian dilanjutkan sensor kedua dengan rentang waktu yang telah ditentukan.

3.5 Integrasi Sistem Pendeteksi Panas Dan Aktivasi Sistem Water-mist

Setelah semua *controller* terpasang dan terprogram, sistem pemadaman *water-mist* ini akan mulai beroperasi ketika sensor temperatur mendeteksi adanya temperatur yang berlebih di sekitar kompor. Temperatur tersebut diatur berdasarkan penelitian dengan mengukur temperatur sekitar kompor pada saat minyak goreng terbakar. Setelah sensor aktif, maka alat peringatan berupa *buzzer* dan lampu led akan aktif untuk memberitahukan adanya bahaya kebakaran, kemudian sensor akan meneruskan perintah melalui *micro controller* untuk menjalankan *5/2 valve* yang berfungsi menggerakkan *nozzle water-mist* pada ketinggian dan sudut yang telah ditentukan, dan perintah dilanjutkan pada *solenoid valve* untuk membuka katup air bertekanan tinggi untuk memadamkan api

pada minyak goreng di kompor. Sistem *water-mist* ini akan terus memadamkan api pada kompor selama temperatur yang terbaca oleh sensor masih diatas batas normal. Kemudian barulah sensor akan menonaktifkan sistem *water-mist* secara otomatis ketika sensor membaca temperatur lingkungan.

3.6 Komponen Pengujian

Peralatan pendukung diperlukan agar pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan, peralatan tersebut berupa *pool fire*, rangka kompor beserta dudukan *nozzle* kabut air, alat ukur berupa termokopel, kompor gas beserta tabung gas, dan data akuisisi (*data logger*) *National Instruments LabView* dan APPA-109N.

3.6.1 Termokopel

Termokopel yang digunakan dalam pengujian adalah termokopel tipe K, Untuk menjamin keakuratan data, termokopel perlu diletakan pada posisi yang tepat, peletakan termokopel yang salah akan menyebabkan data yang dihasilkan menjadi tidak valid. Berikut ini dijelaskan mengenai posisi dan peletakan termokopel pada pengujian pemadaman minyak goreng dengan kabut air.

1. Temperatur minyak goreng

Berfungsi untuk mengukur suhu temperatur minyak goreng didalam *pool fire*. Ujung sensor diletakan mengambang dan tidak bersentuhan dengan permukaan dasar *pool fire*.



Gambar 3.29 Posisi termokopel di dalam minyak goreng

2. Temperatur nyala api di ketinggian 10 cm dari temperatur minyak goreng

Berfungsi untuk mengukur temperatur nyala api di ketinggian 10 cm dari permukaan *pool fire*.



Gambar 3.30 Posisi termokopel 10 cm dari temperatur minyak goreng

3. Temperatur nyala api di ketinggian 20 cm
Berfungsi untuk pengukuran temperatur nyala api di ketinggian 20 cm dari temperatur minyak goreng.



Gambar 3.31 Posisi termokopel 20 cm dari temperatur minyak goreng

4. Temperatur nyala api di ketinggian 30 cm
Berfungsi untuk pengukuran temperatur nyala api di ketinggian 30 cm dari temperatur minyak goreng.



Gambar 3.32 Posisi termokopel 30 cm dari temperatur minyak goreng

3.6.2 Data Akuisisi

Data akuisisi yang digunakan yaitu *National Instruments* (gambar 3.33) dan APPA-109N (gambar 3.34). Data akuisisi ini digunakan untuk membaca termokopel tipe K yang digunakan pada penelitian ini. Data akuisisi ini menggunakan software LabView dan 100S *Virtual DMM* sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi Windows XP. Data keluaran *LabView* dan 100S *Virtual DMM* adalah berupa file *notepad* yang bisa langsung terbaca pertermokopel yang digunakan.



Gambar 3.33 *National Instruments*



Gambar 3.34 APPA-109N

3.6.3 Wadah bahan bakar (*pool fire*)

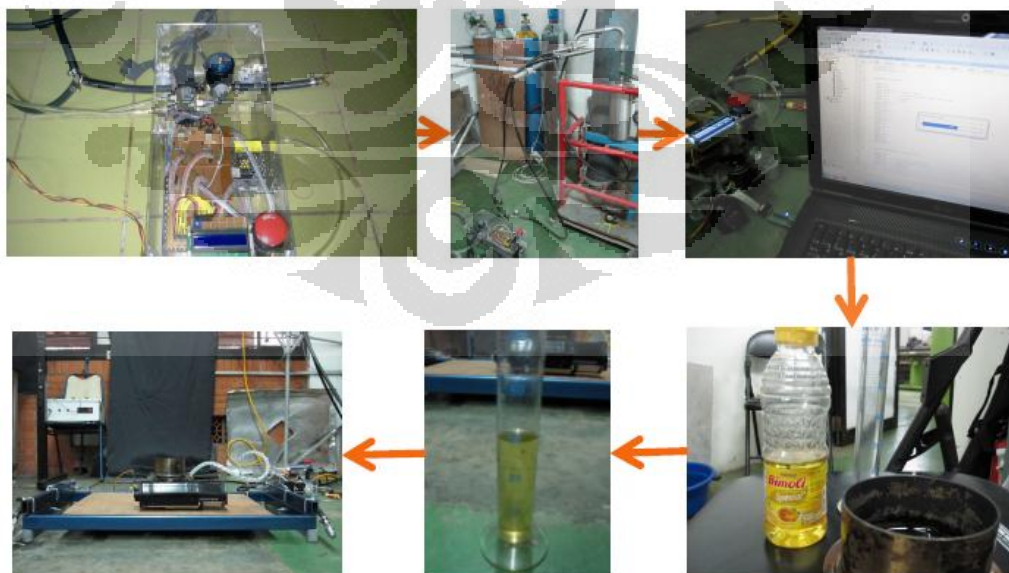
Wadah bahan bakar berfungsi sebagai tempat menampung bahan bakar yang akan digunakan dalam proses pembakaran (kebakaran). Wadah yang digunakan untuk pengujian ini memiliki diameter 10 cm dengan tinggi *pool* 4 cm. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa wadah ini bersih dan tidak ada kebocoran.



Gambar 3.35 Wadah bahan bakar

3.7 Metode Penelitian

Proses pengambilan data dimulai dengan mempersiapkan sistem *controller* pemadam kebakaran berbasis *water-mist*, kemudian disambungkan dengan tabung air bertekanan tinggi yang berasal dari nitrogen. Lalu sistem *controller* tersebut diprogram agar dapat merespon setelah sensor membaca temperatur berlebih di sekitar kompor. Setelah itu pengambilan data dapat dilakukan dengan mempersiapkan *pool fire* yang diisi dengan minyak goreng sebanyak 30 ml. Data yang didapatkan dari penelitian berupa karakteristik temperatur api minyak goreng, temperatur sekitar kompor ketika minyak goreng mengalami *auto-ignition*, respon waktu sensor untuk mendeteksi nyala api, dan respon waktu sistem untuk memadamkan api.



Gambar 3.36 *Experimental Setup*

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Dan Analisa Pengujian Karakteristik Api Minyak Goreng

Berikut adalah data-data dan analisa karakteristik api minyak goreng dan penyajian data yang diperoleh akan digambarkan dalam bentuk grafik.

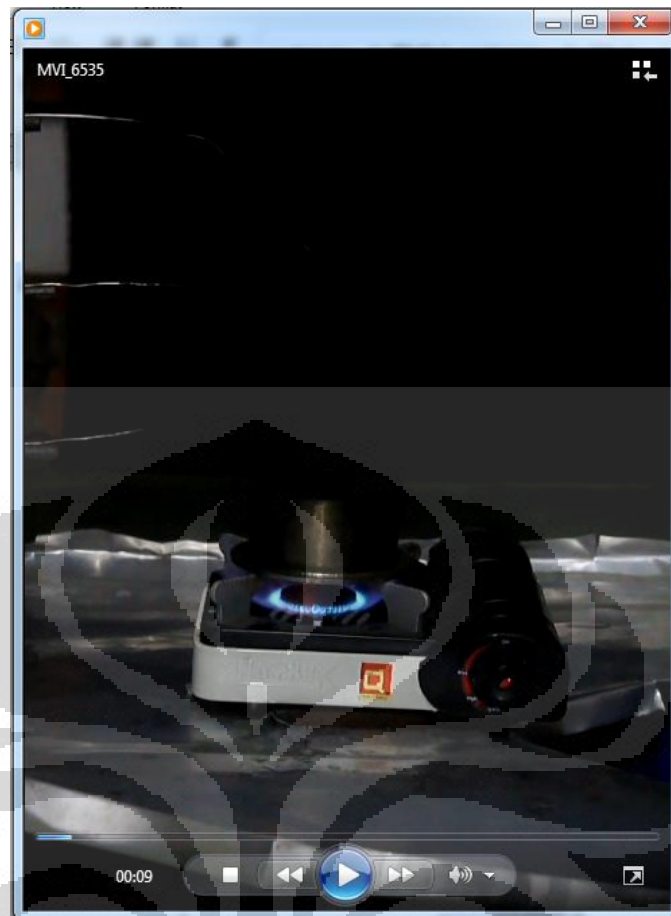
4.1.1 Pengambilan Data Karakteristik Dari Minyak Goreng

Minyak goreng akan menyala sendiri pada saat mencapai temperatur *auto-igniton* dengan pemanasan yang dilakukan secara terus-menerus. Pada penelitian yang dilakukan dengan skala laboratorium didapatkan temperatur *auto igniton* dari minyak goreng bervariasi antara 400°C sampai 450°C. Temperatur dari nyala api minyak goreng diukur pada empat ketinggian yaitu di permukaan *pool fire*, pada 10 cm, 20 cm, dan 30 cm dari permukaan *pool fire*. Temperatur minyak goreng diukur menggunakan 4 termokopel, dimana letak termokopel 1 diletakkan mengambang pada minyak goreng (permukaan *pool fire*), termokopel 2 pada ketinggian 10 cm dari termokopel 1, termokopel 3 pada ketinggian 10 cm dari termokopel 2, dan termokopel 4 pada ketinggian 10 cm dari termokopel 3.



Gambar 4.1 Letak termokopel

Pemanasan minyak goreng dilakukan dengan media kompor gas *portable*. *Pool fire* yang digunakan memiliki diameter 10 cm dan tinggi 4 cm. Minyak goreng yang digunakan adalah minyak kelapa sawit dan dipanaskan sebanyak 30ml.



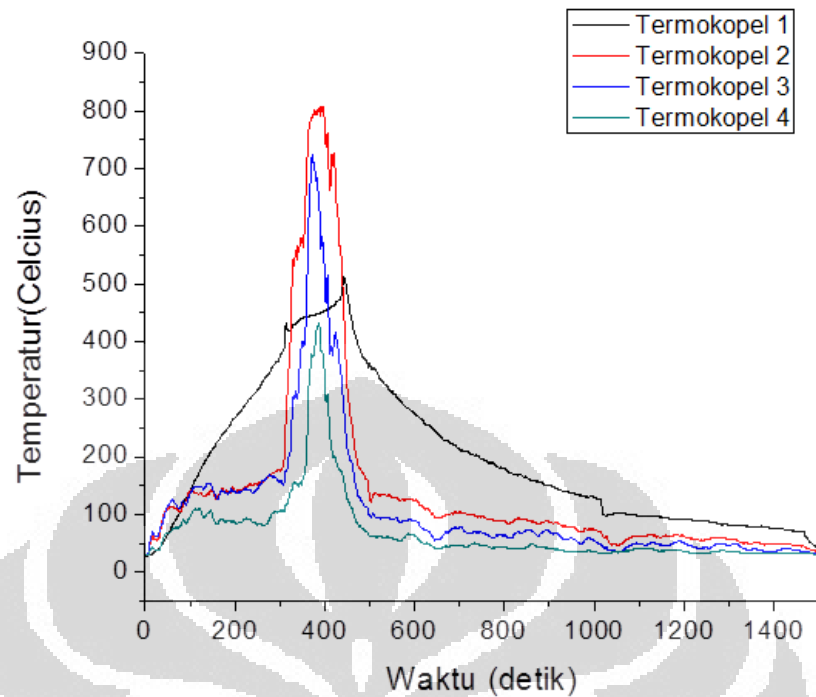
Gambar 4.2 Detik pertama minyak goreng dipanaskan

Minyak goreng dipanaskan pada detik kesembilan seperti pada gambar 4.2 yang dijadikan acuan sebagai detik pertama. Kemudian minyak goreng terus dipanaskan hingga mencapai suhu lebih besar dari 400°C dan kemudian terjadi nyala api dari minyak goreng (*auto ignition*). Dari hasil pengambilan data diketahui bahwa pada detik ke 312 terjadi *auto ignition* (gambar 4.3), sehingga diketahui untuk pemanasan minyak goreng hingga terjadi *auto ignition* dibutuhkan waktu selama 303 detik atau 5 menit 3 detik.



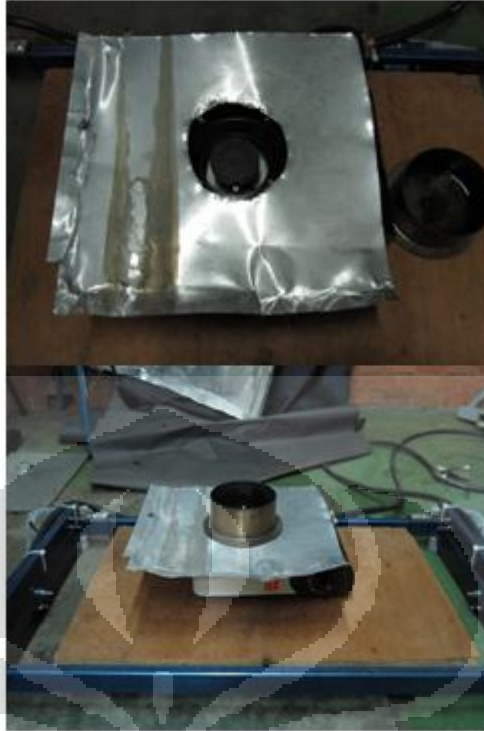
Gambar 4.3 *Auto ignition* minyak goreng pada detik ke-303

Dari data yang didapatkan melalui *software LabView*, diketahui suhu tiap termokopel yang terbaca terhadap waktu, kemudian diplotkan kedalam grafik antara temperatur dan waktu. Grafik yang dihasilkan terbukti sesuai dengan fase perkembangan api dimana nyala api mengalami fase *flashover*, *fully developed*, dan fase pendinginan seperti pada gambar 4.4.



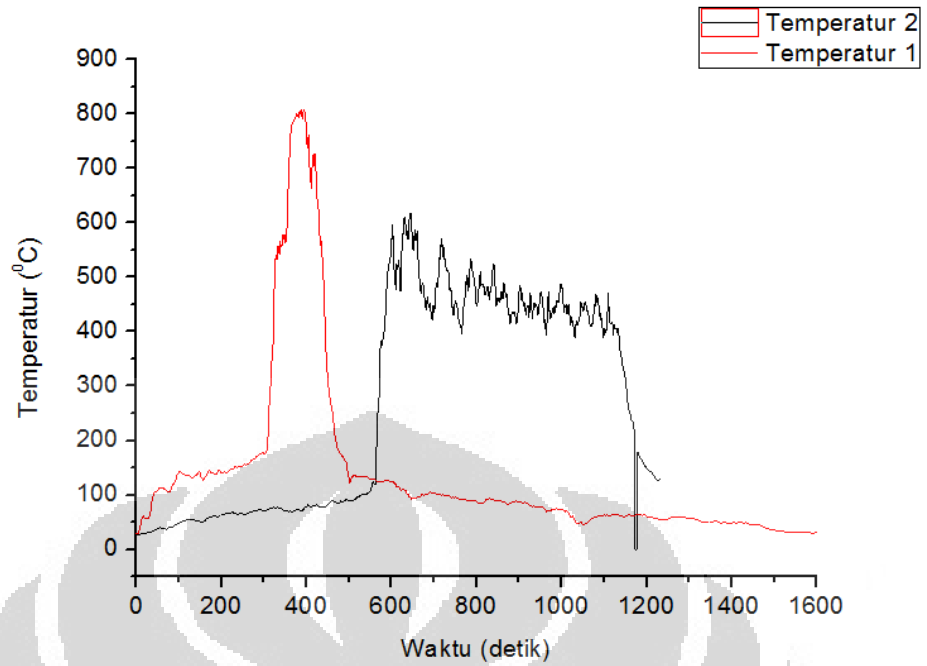
Gambar 4.4 Grafik temperatur dan waktu tiap termokopel

Auto ignition minyak goreng muncul pada temperatur 418°C yang terbaca pada termokopel 1 dan 2. Namun pada pengambilan data ini *pool fire* dan kompor tidak diberi penyekat sehingga panas yang diberikan oleh kompor juga diserap oleh dinding *pool fire* bagian samping secara konduksi, konveksi, maupun radiasi, sehingga panas yang terbaca pada termokopel 2 adalah akumulasi panas dari api minyak goreng dan kompor. Akumulasi panas terbaca pada termokopel 2 karena letak termokopel 2 yang paling dekat dengan nyala api dan dinding *pool fire*. Oleh karena itu dilakukan lagi percobaan dimana pengambilan data untuk termokopel 2 selanjutnya menggunakan penyekat antara *pool fire* dan kompor seperti yang terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Penyekat antara *pool fire* dan kompor

Kemudian didapatkan data temperatur termokopel 2 dengan jarak yang sama terhadap *pool fire* namun dibedakan pada penempatan penyekat untuk grafik berwarna hitam sedangkan grafik berwarna merah tidak diberikan penyekat antara *pool fire* dan kompor. Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada grafik berwarna hitam untuk auto ignition minyak goreng sendiri membutuhkan waktu yang lebih lama karena panas yang diberikan kompor mengalami konduksi pada plat penyekat yang diberikan dan proses konveksi maupun radiasi juga terhambat oleh plat penyekat tersebut.



Gambar 4.6 Grafik termokopel 2 dalam kondisi berbeda



Gambar 4.7 Nyala api padam setelah 143 detik

Waktu yang di butuhkan oleh minyak goreng untuk menghabiskan massa pembakarannya adalah berkisar 2 menit 23 detik. Temperatur paling tinggi yang dicapai oleh minyak goreng pada *pool* ukuran 10 cm adalah 802°C yang terbaca pada termokopel 2.

Fluktuasi atau tidak stabilnya nyala api sesuai dengan karakteristik daripada *pool fire* yaitu penguapan cairan bahan bakar dengan momentum bahan bakar tidak terjadi secara serentak sehingga nyala api akan mencari bahan bakar yang dapat menguap terlebih dahulu selain itu kondisi aliran udara yang menyebabkan api sedikit bergerak. Fluktuasi kecil yang terjadi dikarenakan dinamika api yang terus bergerak, dikarenakan adanya aliran udara (angin) yang menerpa nyala api. Data ini kemudian akan digunakan sebagai pembanding keefektifan pemakaian kabut air pada saat pemadaman.

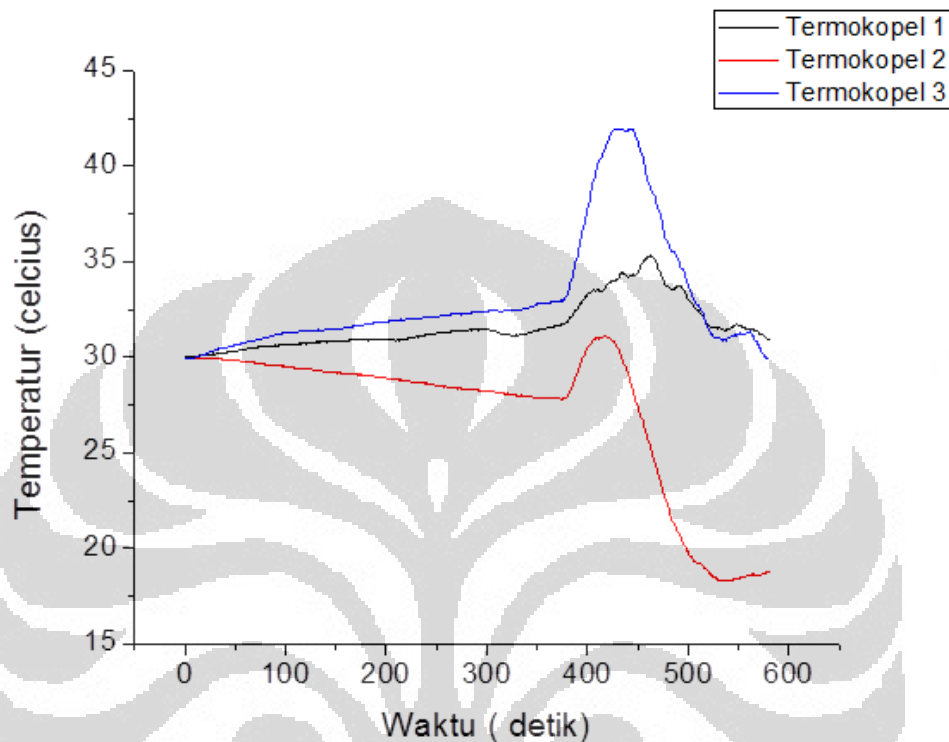
4.1.2 Pengambilan Data Temperatur Sekitar Kompor Dari Minyak Goreng Yang Terbakar

Untuk mengetahui batasan temperatur yang akan dijadikan sebagai acuan pengaktivasian sistem *water-mist*, maka perlu dilakukan percobaan pengukuran temperatur pada beberapa titik di bagian rangka kompor dengan menggunakan termokopel.



Gambar 4.8 Letak termokopel

Seperti yang terlihat pada gambar 4.8, letak termokopel 1 di sebelah kiri kompor, letak termokopel 2 di sebelah kanan kompor, dan letak termokopel 3 ada di bagian tengah belakang kompor.

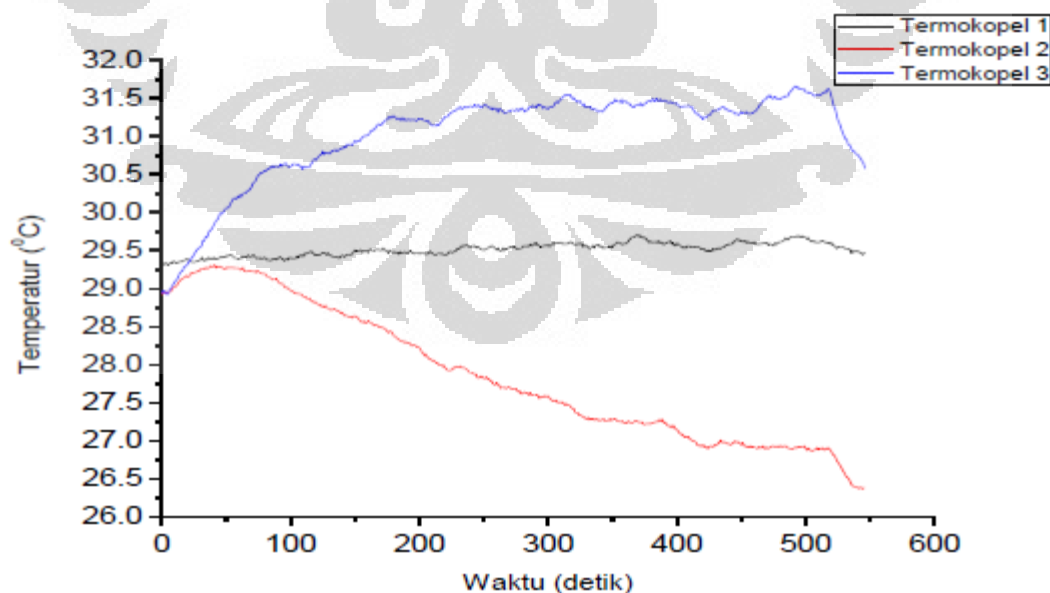


Gambar 4.9 Grafik temperatur dan waktu tiap termokopel

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa temperatur tertinggi yang dapat diterima termokopel ketika minyak goreng terbakar adalah sekitar 33°C - 43°C . Waktu nyala api minyak goreng adalah pada detik ke 345 dan nyala api padam pada detik 534, sehingga didapatkan rentang waktu sebesar 189 detik bagi termokopel 2 untuk membaca temperatur hingga temperatur tertinggi yaitu 43°C . Kemudian data inilah yang akan dijadikan sebagai acuan temperatur untuk pengaktivasian sistem *water-mist* pada *micro controller* dan sensor deteksi panas. Batas normal temperatur sekitar kompor adalah sekitar 30°C - 32°C dan pada temperatur diatas 35°C maka sistem pemadaman *water-mist* ini akan diaktifkan. Berdasarkan percobaan didapatkan waktu terlama yang dibutuhkan

rangka dudukan *nozzle* untuk mencapai tinggi maksimum adalah 3 detik setelah mendapatkan perintah dari sensor deteksi panas dan *micro controller*. Respon waktu ini dipengaruhi oleh besarnya tekanan yang diberikan ke *5/2 solenoid valve*, semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin cepat pula respon rangka dudukan *nozzle* untuk mencapai ketinggian maksimum. Namun untuk alasan keselamatan maka tekanan yang diberikan tidak boleh terlalu besar karena dikhawatirkan rangka dudukan *nozzle* dapat melukai orang yang berada dekat dengan rangka kompor. Hal tersebut dikarenakan rangka dudukan *nozzle* terbuat dari besi *hollow* yang cukup keras, sehingga jika bergerak terlalu cepat dapat membahayakan.

Jika dilihat pada grafik gambar 4.9, termokopel 2 membaca penurunan suhu ketika minyak goreng dipanaskan, hal tersebut dikarenakan letak termokopel 2 dekat dengan tabung gas untuk suplai kompor gas *portable*. Tabung gas ketika digunakan akan membuat temperatur sekitar tabung gas menjadi dingin karena sifatnya yang menyerap panas.



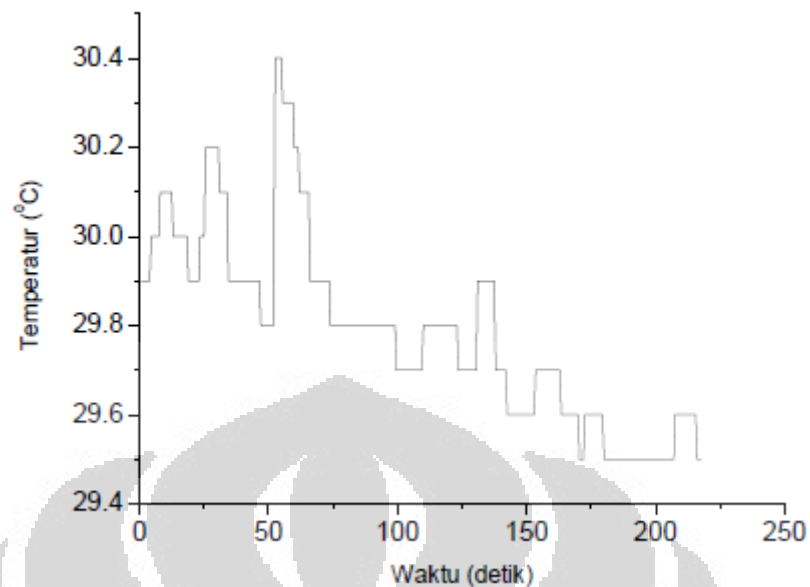
Gambar 4.10 Grafik temperatur dan waktu tiap termokopel

Kemudian dengan metode yang sama pula, pengukuran temperatur dilakukan pada percobaan memasak air. Seperti terlihat pada gambar 4.10, temperatur maksimal yang terbaca pada termokopel 3 saat memasak air adalah $31,6^{\circ}\text{C}$.

Lalu untuk memastikan bahwa temperatur rata-rata memasak tidak melebihi acuan temperatur pengaktifan sensor maka dilakukan percobaan dengan menggoreng daging ayam seperti pada gambar 4.11. Percobaan dilakukan dengan meletakkan satu termokopel tipe K pada bagian belakang wadah penggorengan sejauh 15-20cm dan menggunakan APPA-109N. Maka didapatkan bahwa pada saat menggoreng daging ayam temperatur maksimal yang terbaca adalah $30,4^{\circ}\text{C}$ seperti yang terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 – Pengukuran temperatur saat menggoreng daging ayam



Gambar 4.12 Grafik waktu dan temperatur termokopel

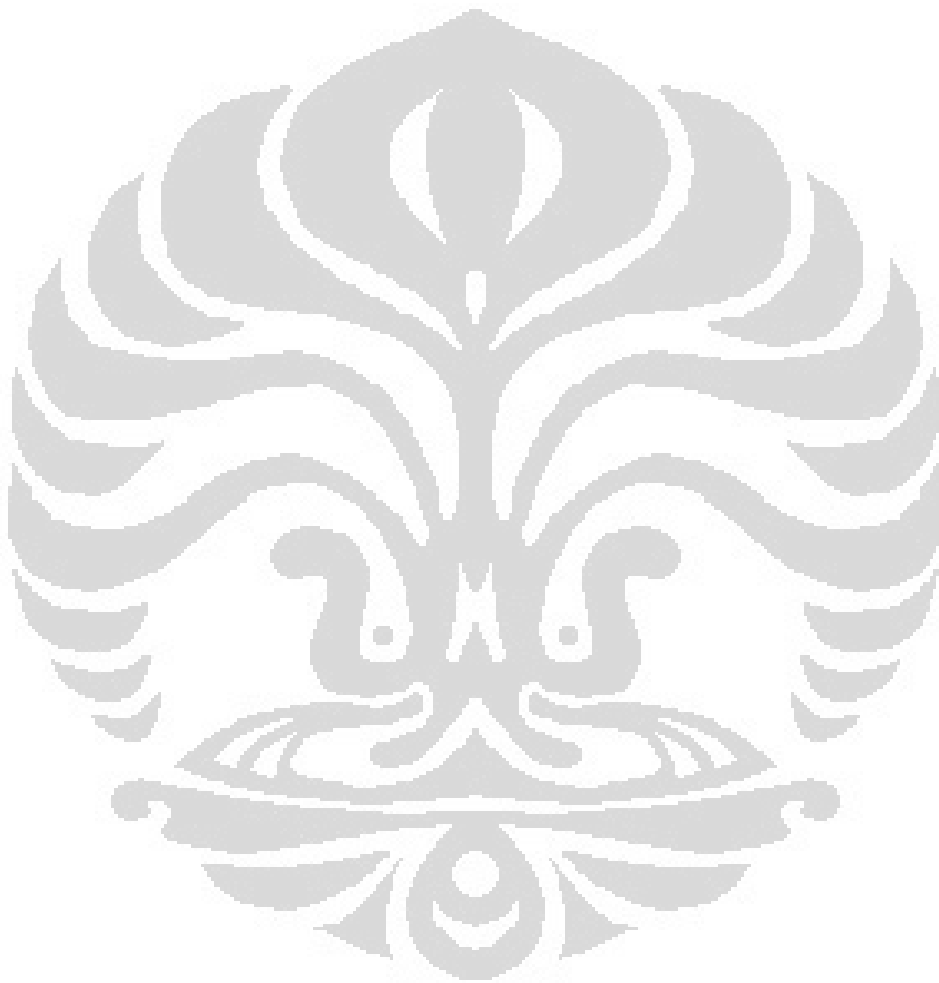
Sehingga batas temperatur maksimal sensor untuk non-aktif adalah 35°C dan diatas 35°C sensor akan aktif. Batas ini diambil karena nyala api terjadi pada temperatur $33\text{-}35^{\circ}\text{C}$ yang terbaca pada termokopel 3 pada percobaan sebelumnya. Sehingga sensor akan aktif setelah nyala api minyak goreng muncul untuk selama beberapa detik dan melewati 35°C . Pengaktifan sensor tidak dilakukan pada saat temperatur nyala api minyak goreng karena untuk memastikan bahwa api yang berasal dari minyak goreng tidak dibuat-buat sehingga akan menyala terus dan menyebabkan sensor aktif karena temperatur menjadi semakin tinggi.

4.2 Hasil Dan Analisa Waktu Respon Sistem

Waktu yang dibutuhkan rangka dudukan *nozzle* untuk bergerak tegak lurus adalah 1 detik dan kabut air akan keluar setelah 2 detik rangka dudukan *nozzle* berhenti bergerak. Sehingga waktu yang dibutuhkan sistem pemadam ini untuk memadamkan api adalah 3 detik.

Sensor mengaktifasi sistem pada temperatur diatas 35°C dan dari penelitian didapati bahwa dibutuhkan waktu 1 menit 29 detik setelah api dari minyak goreng menyala (5.23 - 6.32) untuk sistem aktif.

Sedangkan untuk aktivasi yang diatur pada temperatur diatas 40°C dibutuhkan waktu 2 menit 1 detik (5.21-7.22) untuk sistem aktif.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari perancangan dan pengujian sistem kabut air pada pemadaman api minyak goreng yang terintegrasi pada *micro controller* dan sistem deteksi panas adalah sebagai berikut:

1. Temperatur nyala *pool fire* akan langsung meningkat dan tidak membutuhkan waktu lama untuk mencapai nilai maksimal. Ini merupakan sifat bahan bakar cair yang akan mudah menguap sehingga terjadi proses pembakaran. Temperatur nyala api berkisar antara 480° - 800° C
2. Mekanisme pemadaman dari kabut air pada penelitian ini adalah dengan cara mendinginkan bahan bakar minyak goreng dan nyala api dan mengurangi laju penguapan dari minyak goreng
3. Aktivasi sistem pemadam pada temperature $>35^{\circ}$ C sudah baik karena sensor merespon setelah 1 menit 29 detik setelah api minyak goreng menyala yang masih di bawah daerah *heat release ideal*.
4. Desain alat pemadam kebakaran yang terintegrasi dengan sensor deteksi panas dan *micro controller* ini sudah memiliki mekanisme respon waktu yang baik untuk memadamkan nyala api minyak goreng yaitu selama 3 detik.
5. Penempatan atau letak sensor pendeteksi panas mempengaruhi lamanya waktu sistem pemadam untuk aktif
6. Sensor pendeteksi panas dan *controller* sistem ini dapat diaplikasikan dengan alat pemadam api ringan (APAR) maupun untuk contoh kasus kebakaran lainnya
7. Sistem kabut air dapat diaplikasikan untuk memadamkan nyala api yang berasal dari minyak goreng

5.2 Saran

Agar desain sistem kabut air lebih efektif, berikut adalah saran-saran untuk penelitian lebih lanjut;

1. Meningkatkan *working pressure* pada *nozzel* untuk menghasilkan *droplet* dengan ukuran yang lebih halus, sehingga waktu pemadaman dari minyak goreng bisa lebih cepat atau singkat.
2. Mengganti *solenoid valve* dengan tekanan maksimum yang lebih besar sehingga pengaplikasian *working pressure* yang lebih besar dapat dilakukan
3. Menggunakan sensor deteksi panas yang memiliki kecepatan mengukur lebih tinggi dan tingkat ketelitian yang lebih tinggi
4. Menggunakan ukuran *nozzle* yang lebih kecil namun tetap dengan tekanan yang besar untuk menambah nilai desain dan kemudahan dalam proses manufakturnya
5. Mendesainudukan *nozzle*, kedudukan sensor, dan alur selang *nozzle* dan *pneumatic* agar lebih terlihat sederhana

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surat Wakil Presiden RI Nomor 20/WP/9/2006 tentang peralihan minyak tanah ke LPG (1 September 2006)
- [2] Voelkert C. The new class K. NFPA J, 1999, 7/8
- [3] Wijayasinghe M S, Makey T B. Cooking oil: A home fire hazard in Alberta, Canada. Fire Tech, 1997, 33: 140—166
- [4] Liu Z G, Andrew K, Don C, et al. Extinguishment of cooking oil fires by water mist fire suppression systems. Fire Technology, 40, (4), October 2004 : 309—333
- [5] Bjarne Paulsen Husted, Per Petersson , Ivar Lund , and Toran Holmstedt. Comparison of PIV and PDA *droplet* velocity measurement techniques on two high-pressure water mist nozzles. Fire safety Journal 44 2009.
- [6] Drysdale, D. *An Introduction to Fire Dynamics 2nd Edition*. England : John Wiley & Sons, 2002
- [7] Mawhinney, J.R., "Fire Protection Water Mist Suppression Systems," NFPA Handbook - 18th Edition, 1997
- [8] Zhigang Liu and Andrew K. Kim, A Review Of The Research and Application of Water Mist Fire Suppression Systems – Fundamental Studies, Journal of Fire Protection Engineering, v. 10, no. 3, 2000, pp. 32-50
- [9] Pietrzak, L.M. and Ball, J.A., "A Physically Based Fire Suppression Computer Simulation - Definition, Feasibility Assessment, Development Plan, and Applications," Mission Research Corporation, MRC-R-732, April 1983.

- [10] Rasbash, D.J., "Extinction of Fire with Plain Water: A Review," Proceedings of the First International Symposium on Fire Safety Science, Hemisphere Publishing Corporation, 1986, pp. 1145-1163.
- [11] Kanury, A.M., "Introduction to Combustion Phenomena," Eighth Edition, Gordon and Breach Science Publishers, USA, 1994.
- [12] Herterich, A.O., "Library of the Science of Fire Protection and Related Areas: Section 3: the Diffuse Jet – Spray Jet," The Dr. Alfred Huthig Publishing Co., Heidelberg, 1960.
- [13] Wighus, R., "Active Fire Protection: Extinguishment of Enclosed Gas Fires with Water Sprays," SINTEF Norwegian Fire Research Laboratory, Trondheim, 1990.
- [14] Quintiere, G.J. (2006). *Fundamentals of Fire Phenomena*. England: John Willey & Sons.
- [15] Edwards, N., "A New Class of Fire," Fire Prevention, Vol. 310, p. 8, June 1998
- [16] Voelkert, C., "Out of the Frying Pan ...," Fire Prevention, Vol. 314, pp. 24-26, November 1998
- [17] Robert, PS. JM, Brian. LP Custer, Richard., *Design of Detection System*, section four. Chapter 1:, The SFPE Handbook, 3rd.Edition, 2002.
- [18] Setiaji, Danang. (2011, August 11). Ada 479 Kasus Kebakaran di Jakarta Sampai Agustus 2011. Tribun Jakarta.
<http://jakarta.tribunnews.com/2011/08/11/ada-479-kasus-kebakaran-di-jakarta-sampai-agustus-2011>

- [19] Satrio. (2011, March 2). Pemadam Kebakaran Water Mist Sistem. Jakarta.
<http://elektindo.com/lpemadam-kebakaran-water-mist-sistem.html>
- [20] Wang M, et all, “Scale Modeling of Compartment Fires for Structural Fire Testing”, Jurnal of Fire Protection Engineering, Sage Publication, 2008.



LAMPIRAN

Bahasa pemrograman yang dimasukkan kedalam ATmega16 menggunakan software Code Vision AVR C Compiler. Berikut adalah contoh pemrograman yang digunakan

```
#include <mega16.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
#asm
    .equ __w1_port=0x18
    .equ __w1_bit=2
#endasm
#include <1wire.h>
#include <ds1820.h>
#define MAX_DS1820 8
unsigned char ds1820_devices;
unsigned char ds1820_rom_codes[MAX_DS1820][9];
#include <alcd.h>
char lcd_buffer[33];
void main(void)
{
float suhu;
float suhu1;
float temp;
float temp1;
PORTA=0x00;
DDRA=0xFF;

PORTB=0x02;
DDRB=0x07;
```

```
PORTC=0x00;
```

```
DDRC=0x00;
```

```
PORTD=0x00;
```

```
DDRD=0xFF;
```

```
// D0>0
```

```
// D3>0
```

```
TCCR0=0x00;
```

```
TCNT0=0x00;
```

```
OCR0=0x00;
```

```
TCCR1A=0x00;
```

```
TCCR1B=0x00;
```

```
TCNT1H=0x00;
```

```
TCNT1L=0x00;
```

```
ICR1H=0x00;
```

```
ICR1L=0x00;
```

```
OCR1AH=0x00;
```

```
OCR1AL=0x00;
```

```
OCR1BH=0x00;
```

```
OCR1BL=0x00;
```

```
ASSR=0x00;
```

```
TCCR2=0x00;
```

```
TCNT2=0x00;
```

```
OCR2=0x00;
```

```
MCUCR=0x00;
```

```
MCUCSR=0x00;
```

```
TIMSK=0x00;
```

```
UCSRB=0x00;
```

```
ACSR=0x80;
```

```
SFIOR=0x00;
```




```
ADCSRA=0x00;  
SPCR=0x00;  
TWCR=0x00;  
lcd_init(16);  
w1_init();
```

```
ds1820_devices=w1_search(0xf0,ds1820_rom_codes);  
sprintf lcd_buffer,"%u SensorDetected",ds1820_devices);  
lcd_puts lcd_buffer);  
delay_ms(3000);  
lcd_clear();  
  
temp=ds1820_temperature_10(&ds1820_rom_codes[0][0]);  
temp1=ds1820_temperature_10(&ds1820_rom_codes[1][0]);  
  
suhu=0;  
suhu1=0;  
  
while (1)  
{  
    lcd_clear();  
    lcd_gotoxy(0,0);  
    lcd_putsf("Sensor 1 =");  
    lcd_gotoxy(0,1);  
    lcd_putsf("Sensor 2 =");  
  
    if(suhu>35||suhu1>35)
```

```

{
PORTD.0=1;
PORTD.3=0;
delay_ms(3000); // respon 3 detik
PORTB.1=0; // solenoid valve air masuk max 10 bar
PORTB.0=1; // buzzer on
PORTA.1=1; // LED on
delay_ms(100);
PORTB.0=0;
PORTA.1=0;
delay_ms(100);
PORTA.1=1;
PORTB.0=1;
delay_ms(100);
PORTB.0=0;
PORTA.1=0;
delay_ms(100);
PORTB.0=1;
PORTA.1=1;
delay_ms(100);
PORTA.1=0;
PORTB.0=0;
delay_ms(100);
}
else if(33<suhu<35 && 33<suhu1<35)
{
PORTD.3=1;
PORTD.0=0; // 5/2 solenoid valve tarik
PORTB.1=1; // solenoid valve air tutup
PORTB.0=0; // buzzer off
PORTA.1=0; // LED off

```

```

}

else
{
PORTD.3=0; // 5/2 solenoid valve tarik
PORTD.0=0;
PORTB.1=1; // solenoid valve air tutup
PORTB.0=0; // buzzer off
PORTA.1=0;
}

temp=ds1820_temperature_10(&ds1820_rom_codes[0][0]);
lcd_gotoxy(11,0);
sprintf(lcd_buffer,"%0.1fC",(temp/100)+4);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(100);
suhu=(temp/100)+4;

temp1=ds1820_temperature_10(&ds1820_rom_codes[1][0]);
lcd_gotoxy(11,1);
sprintf(lcd_buffer,"%0.1fC",(temp1/100)+4);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(100);
suhu1=(temp1/100)+4;
}
}

```