

SISTEM PENGAWASAN DAN PENGONTROLAN COOLING TOWER PADA INDUSTRI MANUFAKTUR

Handi Winata¹, Eko Syamsuddin²² dan Yohanes Calvinus¹

Abstract: Automation of supervision and control system of an industrial cooling tower enables the cooling tower to operate more effectively. The automated system is equipped with a monitoring computer in order to supervise the process. The system operates automatically based on inputs from temperature sensors and the number of machines in use. This design utilizes several modules: a series of communication modules connect the microcontroller with the computer so that the operational status of the cooling tower appears on the monitor, the ADC module converts the analog data from the temperature sensors into digital data and the microcontroller module functions as the brain of the entire system. Each module is designed to conduct tests aim to determine discrepancies between its theoretical and practical operation, while the tests conducted on the system aim to determine the fit between the system operation and the design objectives. Based on these tests, the cooling tower operates on as-needs basis, as the inputs for the automation process are derived from the system's detection of the temperature sensor received data and the number of machines in operation. Supervision is done via the monitoring computer, operational cooling towers marked in green, non-operational cooling towers marked in white and damaged cooling towers marked in red so that an alert is activated.

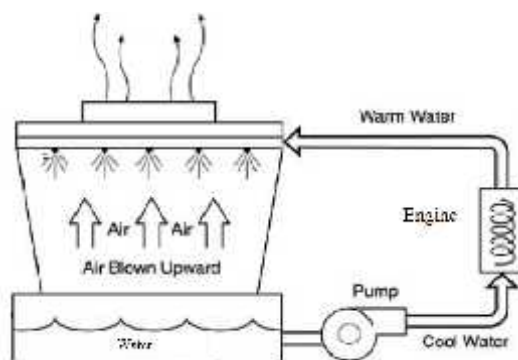
Key words: cooling tower, temperature sensor, microcontroller, ADC

Abstrak: Perancangan sistem pengawasan dan pengontrolan *cooling tower* adalah suatu sistem yang dapat mengotomatisasi proses kerja dari cooling tower pada suatu industri sehingga dapat berjalan lebih efektif. Sistem dilengkapi dengan monitor komputer untuk proses pengawasannya. Sistem bekerja secara otomatis berdasarkan input dari sensor suhu dan jumlah mesin yang beroperasi. Terdapat beberapa modul yang digunakan dalam perancangan ini, yaitu modul komunikasi serial yang digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler dengan PC sehingga keadaan operasional dari cooling tower dapat tampil pada layar monitor, modul ADC yang digunakan untuk merubah data analog yang diterima oleh sensor suhu menjadi data digital, dan modul mikrokontroler sebagai otak dari keseluruhan sistem. Modul yang dirancang dilakukan pengujian untuk mengetahui ketidaksesuaian antara cara kerja modul dengan teori, sedangkan pengujian yang dilakukan pada sistem bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara cara kerja sistem dengan tujuan rancangan. Berdasarkan pengujian, sistem ini teruji dapat mendeteksi data yang diterima sensor suhu dan jumlah mesin yang beroperasi untuk dijadikan input proses otomatisasinya, sehingga cooling tower beroperasi berdasarkan kebutuhan. Pengawasan dapat dilihat dari layar monitor, *cooling tower* yang beroperasi ditunjukkan dengan warna hijau, yang tidak beroperasi ditunjukkan dengan warna putih, dan yang rusak ditunjukkan dengan warna merah sehingga alarm menyala. Sistem yang dibuat dapat melakukan simulasi proses kerja *cooling tower* baik secara otomatis maupun secara manual dan pengawasan *cooling tower* dapat dilihat langsung pada layar monitor sebuah PC. Berdasarkan pengujian terhadap otomatisasi sistem, sistem dapat mengaktifkan semua *cooling tower* pada saat pembacaan suhu *low* sebesar 42 °C saat mesin yang beroperasi sebanyak 2 buah. Modul catu daya 5 Volt dengan menggunakan beban, tegangan rata-rata yang didapat sebesar 4,912 Volt dengan toleransi kesalahan sebesar 1,76%.

Kata kunci: cooling tower, sensor suhu, mikrokontroler, ADC

PENDAHULUAN

Industri merupakan suatu usaha atau kegiatan pengolahan bahan mentah atau barang setengah jadi menjadi barang jadi sehingga memiliki nilai tambah untuk mendapatkan keuntungan. Industri pengolahan (manufaktur) merupakan bagian dari cabang industri yang menggunakan sejumlah peralatan modern seperti mesin industri, program manajemen yang teratur dan terukur untuk melakukan transformasi barang mentah menjadi barang jadi dan layak jual [1]. Perusahaan manufaktur memiliki beberapa *support* penting dalam proses produksinya, salah satunya adalah *cooling tower*. *Cooling tower* merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk proses pendinginan mesin produksi dan proses produksi. *Cooling tower* bekerja berdasarkan sirkulasi yang mengalirkan air dingin ke mesin produksi dengan menggunakan pompa, kemudian keluaran air dari mesin produksi akan kembali lagi ke *cooling tower* untuk didinginkan. *Cooling tower* bekerja dengan menggunakan sistem *exhaust* yang menarik uap panas air keluar dengan menggunakan sebuah kipas yang cukup besar. *Cooling tower* juga memiliki plastik-plastik yang dibentuk seperti sarang lebah dibagian dalamnya. Proses pembuangan panas pada *cooling tower* dapat dilihat pada Gambar 1.



■ Gambar 1 Proses Kerja Pembuangan Panas Pada *Cooling Tower* [2]

¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Tarumanagara

² BPP Teknologi

Secara umum masalah yang ditemukan pada *cooling tower*, antara lain masalah kipas pada *cooling tower* yang berhenti beroperasi, sehingga produk yang dihasilkan tidak sempurna (cacat produksi). Cacat produksi dapat dilihat secara kasat mata paling cepat sekitar 30 menit setelah proses pengolahan selesai, sehingga perusahaan harus membuang barang produksinya, hal tersebut mengakibatkan kerugian yang cukup besar bagi perusahaan. Pada industri tersebut juga terjadi pemborosan daya karena *cooling tower* tidak beroperasi secara efektif. Hal ini disebabkan pengontrolannya masih dilakukan secara manual dan pengawasan yang dilakukan tidak berjalan dengan teratur. Berdasarkan hal tersebut, maka dibutuhkan suatu sistem yang dapat memantau dan mengontrol *cooling tower* secara otomatis agar dapat berjalan secara efektif. Hal inilah yang menjadi latar belakang dari perancangan sistem pengawasan dan pengontrolan *cooling tower*.

Survei dilakukan di PT. Artolite Indah Mediatama yang beralamat pada Jl. Raya Bogor KM 34,5 Gg. Nangka, Cimanggis, Depok. Survei dilakukan dengan tujuan untuk melihat proses pengawasan dan pengontrolan terhadap *cooling tower*. Gambar *cooling tower* dan ruang kontrol dapat dilihat pada Gambar 2. Temuan yang didapat selama survei, antara lain kipas yang tidak dapat beroperasi dikarenakan motor kipas berkarat. Motor kipas berkarat dikarenakan *cooling tower* bekerja menggunakan air. Proses pendinginan terjadi dengan pemindahan panas dari air ke udara, dalam proses ini uap panas ditarik ke atas dan dilepas ke udara dengan bantuan kipas [3]. Apabila kipas pada *cooling tower* tidak beroperasi maka temperatur pada mesin akan naik secara perlahan. Kenaikan temperatur yang melebihi batasnya akan menyebabkan terganggunya proses pendinginan mesin produksi dan proses produksi sehingga menyebabkan terjadinya cacat produksi. Mesin produksi beroperasi berdasarkan kebutuhan dari perusahaan sedangkan *cooling tower* beroperasi semua sehingga menyebabkan pemborosan daya. Ruang teknisi cukup jauh dari ruang kontrol, hal ini membuat pengawasan dan pengontrolan terhadap *cooling tower* menjadi tidak teratur. Sistem yang dirancang merupakan suatu simulasi sistem yang dapat menampilkan kondisi operasional dari *cooling tower*, suhu dan jumlah mesin produksi yang beroperasi. Sistem yang dirancang juga dapat melakukan pengontrolan terhadap *cooling tower* secara otomatis dan manual, serta dapat mengetahui kondisi operasional kipas dari *cooling tower*. Parameter pengontrolan *cooling tower* berdasarkan dua buah variabel yaitu pembacaan suhu dan jumlah mesin produksi yang beroperasi, sedangkan pengawasannya akan ditampilkan pada layar monitor sebuah PC.



■ Gambar 2 Cooling Tower dan Ruang Kontrol

KONSEP SISTEM

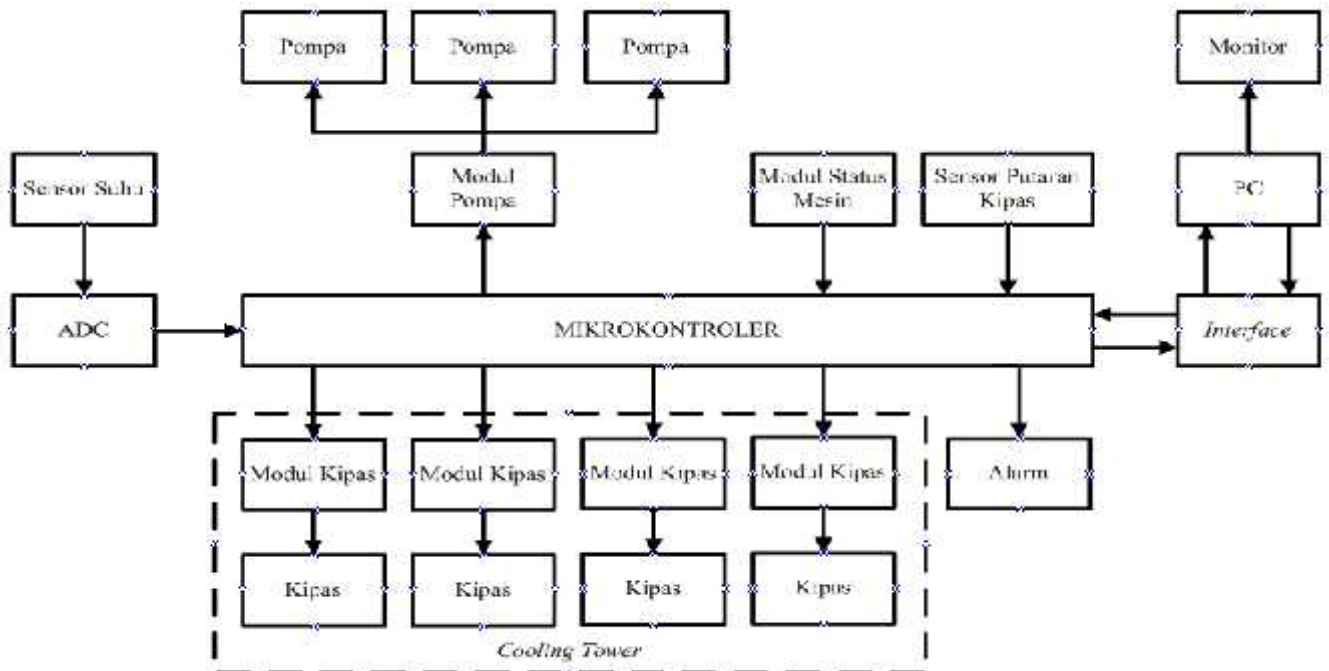
Alat yang dirancang merupakan sebuah simulasi sistem pengawasan yang dapat melakukan proses pengontrolan *cooling tower* secara manual dan otomatis. *Cooling tower* yang dibuat menggunakan pemodelan dan menggunakan *heater* sebagai pengganti mesin produksi. Sistem menggunakan dua variabel untuk bekerja secara otomatis, yaitu suhu dan jumlah mesin yang beroperasi. Pengaturan dari sistem ini menggunakan mikrokontroler dan tampilan pengawasan ditampilkan pada monitor sebuah PC yang dilengkapi dengan perangkat lunak *Visual Basic* (VB). Pengontrolan *cooling tower* secara otomatis menggunakan sensor suhu dan jumlah mesin yang beroperasi sebagai *input* mikrokontroler, untuk mengaktifkan jumlah *cooling tower* yang beroperasi. Sensor suhu digunakan untuk mengetahui temperatur air yang berada dalam wadah *cooling tower* dan air yang keluar dari mesin menuju *cooling tower*. Data yang diperoleh oleh sensor suhu berupa data *analog*, agar data tersebut dapat diproses oleh mikrokontroler, maka diubah terlebih dahulu menjadi data *digital* dengan menggunakan ADC. Jumlah mesin menyatakan banyaknya mesin yang sedang beroperasi. Sensor putaran kipas digunakan untuk mengetahui kondisi operasional kipas pada *cooling tower* apakah kipas sedang beroperasi, tidak beroperasi atau rusak. Kondisi operasional dari kipas tersebut dikirim ke mikrokontroler untuk diproses.

Data yang diterima oleh mikrokontroler diproses untuk mengaktifkan jumlah *cooling tower* yang perlu bekerja, ketika mikrokontroler memberikan instruksi pada *cooling tower*, tetapi sensor kipas mendeteksi bahwa *cooling tower* tidak mengikuti instruksi dari mikrokontroler maka sensor kipas memberikan informasi ke mikrokontroler kemudian mikrokontroler akan mengaktifkan *alarm*. Mikrokontroler terhubung dengan PC melalui *interface* yang berfungsi untuk mengirimkan data hasil olahan mikrokontroler untuk ditampilkan pada monitor sebuah PC. Bentuk tampilan dapat dilihat pada Gambar 3.



■ Gambar 3 Tampilan Sistem pada Layar Monitor

Tombol Auto digunakan untuk memilih proses pengontrolan *cooling tower* secara otomatis, sedangkan untuk tombol Manual berfungsi sebagai pemilihan pengontrolan *cooling tower* secara manual. Sistem otomatisasi bekerja berdasarkan jumlah mesin dan suhu yang ada pada tampilan. Suhu pada tampilan didapat berdasarkan pembacaan dari sensor suhu. Ketika *cooling tower* diinstruksikan untuk beroperasi, tetapi sensor kipas mendeteksi bahwa kipas pada *cooling tower* tidak bekerja, maka sensor akan mengirimkan informasi dan membuat tampilan pada *cooling tower* berwarna merah. *Cooling tower* yang sedang beroperasi akan ditunjukkan dengan warna hijau, sedangkan yang tidak beroperasi akan ditunjukkan dengan warna putih. Diagram blok sistem secara keseluruhan dari perancangan sistem pengawasan dan pengontrolan *cooling tower* dapat dilihat pada Gambar 4.



■ Gambar 4 Diagram Blok Sistem

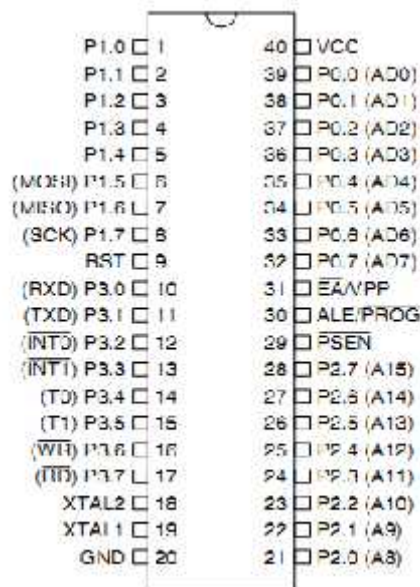
Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip yang berukuran kecil dan memiliki elemen yang sama dengan sistem komputer sehingga dapat menekan penggunaan biaya dan membuat sistem elektronik menjadi lebih ringkas. Elemen yang dimiliki oleh mikrokontroler yang berukuran kecil tersebut terdiri dari: CPU, Memori dan *Clock*, *Input* atau *Output* (I/O), *Interrupt*, dan *Analog to Digital Converter* (ADC). CPU adalah otak dari sistem komputer. Pekerjaan utama dari CPU adalah mengerjakan program yang terdiri atas instruksi-instruksi yang diprogram oleh programmer. Suatu program komputer akan menginstruksikan CPU untuk membaca informasi dari *input*, membaca informasi dari dan menulis informasi ke memori dan untuk memberikan informasi ke *output*. Memori merupakan bagian komputer yang berfungsi sebagai media penyimpanan data. Jenis memori yang sering ditemui dalam mikrokontroler adalah ROM (*Read Only Memory*) dan RAM (*Random Access Memory*). ROM digunakan sebagai media penyimpan program dan data permanen yang tidak akan berubah meskipun tidak ada tegangan yang diberikan pada mikrokontroler. RAM digunakan sebagai tempat penyimpanan data sementara dan hasil kalkulasi selama proses operasi. *Clock* dibutuhkan oleh mikrokontroler karena proses yang dilakukan berjalan melalui sinkronisasi *clock*.

Mikrokontroler yang digunakan alat ini adalah ATMELE 89S51. Komponen ini dipilih karena ATMELE 89S51 memiliki fitur yang mendukung dan sesuai dengan yang dibutuhkan dalam alat ini. Fitur tersebut, antara lain:

- Empat buah Programmable *port* I/O, masing-masing terdiri atas 8 jalur I/O
- Dua buah *Timer Counter* 16 bit.
- Lima buah jalur interupsi (2 interupsi external dan 3 interupsi internal)
- Sebuah *port* serial dengan kontrol serial full duplex UART.
- 4 Kbytes Flash ROM yang dapat diisi dan dihapus sampai 1000 kali
- In-System Programmable Flash Memory.

Mikrokontroler ATMELE 89S51 terdiri dari 40 pin yang terdiri dari 32 pin I/O dan beberapa pin lainnya. 32 pin I/O itu dibagi menjadi 8 bit atau 1 *byte* yang disebut *port*, sehingga pada mikrokontroler ini terdapat 4 *port*. Konfigurasi pin ATMELE 89S51 dapat dilihat pada Gambar 5. (Diakses dari www.acmel.com). I/O merupakan sarana yang dipergunakan oleh mikrokontroler untuk mengakses peralatan-peralatan lain dengan menggunakan pin-pin yang dapat berfungsi untuk mengeluarkan data ataupun memasukkan data *digital*. *Interrupt* merupakan suatu metode yang efisien bagi mikrokontroler untuk memproses periperalnya, mikrokontroler hanya bekerja memproses periperale tersebut ketika ada data. Ketika *interrupt* terjadi, mikrokontroler menunda operasi yang sedang dilakukan kemudian mengidentifikasi *interrupt* yang datang dan melayani *interrupt* tersebut. ADC merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal *analog* menjadi sinyal *digital*. Suatu elemen yang penting dalam ADC adalah adanya sebuah komparator seperti pada Gambar 6 (diakses dari *understanding SAR ADC*, www.maxim-ic.com). Keluaran komparator akan *high* jika masukan *analog* (+) lebih besar dari masukan (-), selain itu keluarannya akan selalu *low*. Komponen penting yang lain yaitu adanya *Digital to Analog Converter* (DAC). Tegangan *analog* yang akan dikonversi dihubungkan pada masukan (-) komparator, sedangkan keluaran dari DAC dihubungkan pada masukan (+) komparator. Pertama kali DAC diinisialisasi dengan cara mengaktifkan bit 7. Jika keluaran komparator adalah *low*, maka tegangan yang dihasilkan oleh DAC masih dibawah dari tegangan yang akan dikonversi, maka bit-7 tersebut tetap dijaga dalam kondisi *high*. Namun jika keluaran komparatornya adalah *high*, artinya tegangan dari DAC terlalu tinggi, sehingga keluaran bit-7 di-*low*-kan. Bit-bit yang lain diuji dengan cara yang sama dan akhirnya kondisi *high* atau *low* tergantung dari status dari komparator. Proses konversi berakhir ketika ada logika 1 pada pin EOC. ADC yang digunakan adalah ADC 0809. Waktu konversi 100µs dan penggunaannya tidak terlalu rumit karena dapat digunakan sebagai *interface* untuk segala jenis mikroprosesor. Gambar 7 menunjukkan diagram blok dari ADC 0809 (diakses dari www.learn-ic.com).

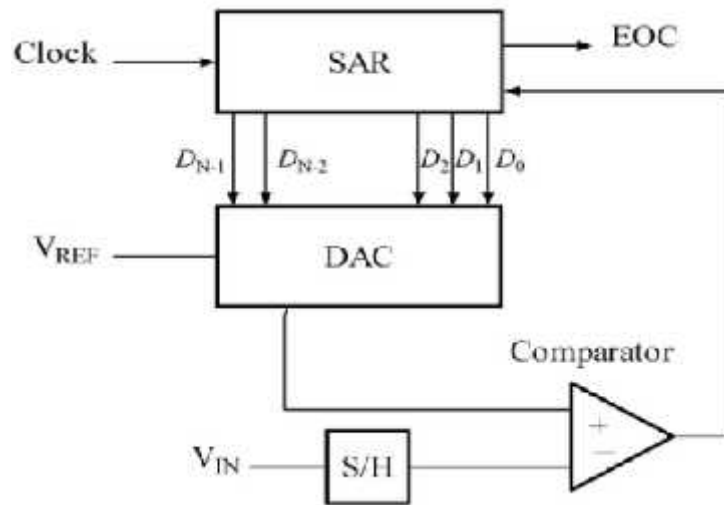


■ Gambar 5 Konfigurasi Pin ATMELE 89S51

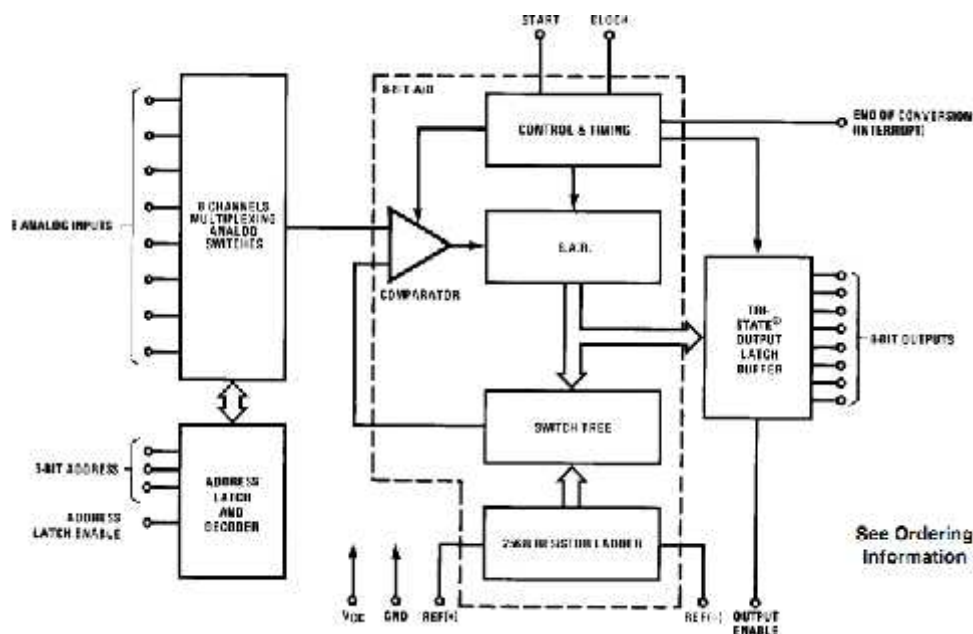
Catu Daya

Catu daya diperlukan untuk memberikan tegangan kepada rangkaian-rangkaian tiap modul pada perancangan otomatisasi sistem pengawasan dan pengontrolan *cooling tower* agar modul tersebut dapat bekerja. Pertama-tama tegangan AC sebesar 220 Volt masuk ke *transformer*. *Transformer* yang digunakan dalam catu daya ini adalah *transformer* jenis *step down* untuk menurunkan level tegangan sesuai yang diinginkan. Tegangan yang dihasilkan dari *transformer* masih berupa tegangan AC, tetapi tegangan yang dihasilkan *transformer* sudah diturunkan. Tegangan ini kemudian dilewatkan ke *rectifier* untuk disearahkan menjadi tegangan DC. Tegangan

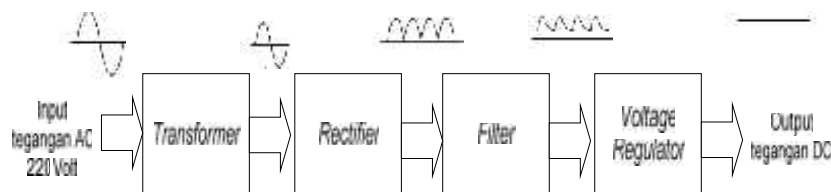
DC yang dihasilkan dari proses penyearahan merupakan tegangan DC yang masih memiliki *ripple-ripple*. Tegangan ini kemudian dilewatkan melalui kapasitor yang berfungsi sebagai filter untuk memperhalus *ripple-ripple* tegangan DC. Tegangan DC yang telah diperhalus *ripple*-nya kemudian dilewatkan pada *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan *output* sesuai dengan tegangan yang diinginkan, sehingga tegangan keluaran tidak naik turun saat diberikan beban. Tegangan keluaran dari catu daya berupa *Direct Current* (DC). Diagram blok rangkaian catu daya ditunjukkan pada Gambar 8.



■ Gambar 6 Diagram Blok ADC SAR

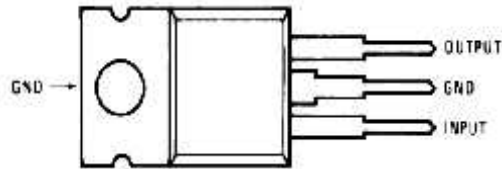


■ Gambar 7 Diagram Blok ADC 0809



■ Gambar 8 Diagram Blok Rangkaian Catu Daya [4]

Alat ini menggunakan dua buah IC regulator yaitu IC regulator LM 7805 dan LM 7812. LM 7805 digunakan untuk meregulasi tegangan DC sebesar 5 volt yang digunakan untuk mensuplai tegangan sistem, sedangkan LM 7812 digunakan untuk meregulasi tegangan DC sebesar 12 volt yang digunakan untuk mensuplai modul kipas sehingga kipas dapat berputar secara optimal. Konfigurasi pin dari IC regulator ini dapat dilihat pada Gambar 9 (diakses dari LM 78 XX, www.national.com).



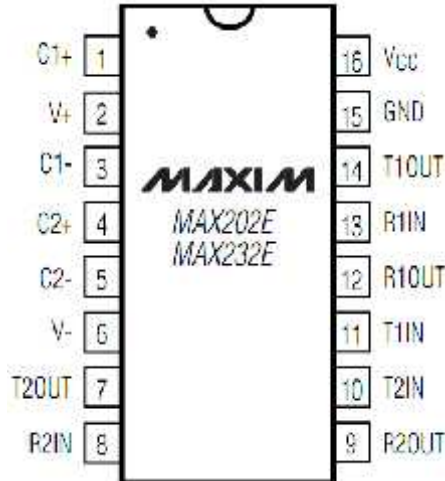
■ Gambar 9 Konfigurasi IC Regulator

Interface Serial

Interface serial (RS-232) adalah suatu standar komunikasi untuk *serial binary single-ended data* dan sinyal kontrol yang berada di antara *Data Terminal Equipment* (DTE) dan *Data Circuit-terminating Equipment* (DCE). Pertama kali diperkenalkan pada tahun 1962 oleh *Electronic Industry Association and Telecommunication Industry Association* (EIA/TIA) [6]. EIA/TIA telah menetapkan standar untuk RS 232, yaitu bentuk sinyal dan level tegangan yang dipakai. RS 232 bekerja pada level tegangan berbeda dengan level tegangan yang ada pada suatu mikrokontroler. Level tegangan yang bekerja pada mikrokontroler adalah level tegangan Transistor-Transistor Logic (TTL). RS 232 memiliki ketentuan level tegangan, sebagai berikut:

1. Logika '1' terletak antara -3 volt hingga -25 volt.
2. Logika '0' terletak antara +3 volt hingga +25 volt.
3. Daerah tegangan antara -3 volt hingga +3 volt adalah *invalid* level, yaitu daerah tegangan yang tidak memiliki nilai logika, sehingga harus dihindari. Demikian juga untuk level tegangan negatif lebih dari -25 volt atau positif lebih dari +25 volt.

Komponen yang biasa digunakan untuk sistem komunikasi RS 232 ini adalah *Integrated Circuit* (IC) MAX 232. Fungsi dari IC MAX 232 ini adalah mengubah tegangan 5 volt yang keluar dari mikrokontroler menjadi 10 volt, data yang keluar dari mikrokontroler yang bertegangan 0 – 1,5 volt dan 3,5 – 5 volt, dapat dibaca oleh komputer yang bertegangan -3 volt sampai -12 volt dan +3 volt sampai +12 volt. Fungsi dari IC MAX 232 ini adalah mengubah tegangan 0 volt untuk *logic* '0' dan 5 volt untuk *logic* '1' yang digunakan oleh mikrokontroler menjadi tegangan -3 volt sampai -15 volt untuk *logic* '1' dan +3 volt sampai +15 volt untuk *logic* '0' yang digunakan oleh PC. Gambar 10 dari MAX 232 menunjukkan konfigurasi pin, diakses dari Maxim-IC, max 232, www.maxim-ic.com)



■ Gambar 10 Konfigurasi Pin IC MAX 232

Sensor

Sensor adalah komponen elektronik yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur sesuatu besaran, dengan cara mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia (besaran fisik) menjadi tegangan dan arus listrik (besaran listrik). Sensor dapat diilustrasikan seperti indra pada manusia yaitu mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya. Contoh sensor dapat dilihat pada Gambar 11. Sensor tersebut harus memenuhi persyaratan-persyaratan kualitas (diakses dari syarat sensor, www.doctoc.com) yakni :

1. Linieritas
Konversi harus benar-benar proposional, jadi karakteristik konversi harus linier.
2. Tidak tergantung temperatur
Keluaran konverter tidak boleh tergantung pada temperatur di sekelilingnya, kecuali sensor suhu.
3. Kepekaan
Kepekaan sensor harus dipilih sedemikian, sehingga pada nilai-nilai masukan yang ada dapat diperoleh tegangan listrik keluaran yang cukup besar.

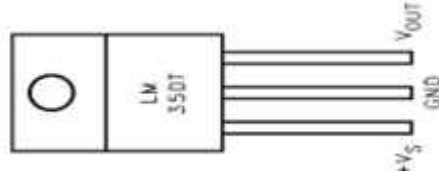
4. Waktu tanggapan

Waktu tanggapan adalah waktu yang diperlukan keluaran sensor untuk mencapai nilai akhirnya pada nilai masukan yang berubah secara mendadak. Sensor harus dapat berubah cepat bila nilai masukan pada sistem tempat sensor tersebut berubah.

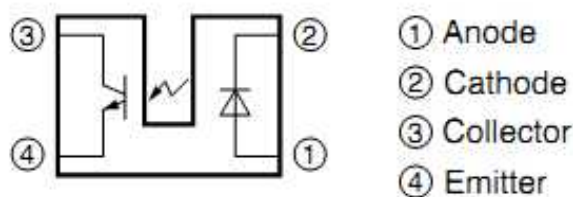


■ Gambar 11 Contoh Sensor Suhu

Alat ini menggunakan sebuah sensor suhu dengan tipe LM 35, sensor suhu harus digabungkan dengan suatu rangkaian pendukung tertentu yaitu rangkaian ADC. Dipilihnya sensor suhu ini karena *output* keluaran dari LM 35 berbanding lurus dengan $^{\circ}\text{Celsius}$, sehingga tidak lagi perlu mengurangi besarnya tegangan konstan dari *output* untuk mendapatkan kecocokan dengan skala $^{\circ}\text{Celsius}$. Konfigurasi pin dapat dilihat pada Gambar 12 (diakses dari LM 35, www.national.com). Sensor putaran kipas pada perancangan ini dipergunakan untuk mendeteksi adanya pergerakan dari kipas cooling tower. Pada perancangan tugas akhir ini digunakan *photo interrupter* tipe GP1S53VJ000F. Menggunakan sensor *photo interrupter* tipe GP1S53VJ000F karena sensor ini memiliki ukuran yang kecil sehingga mudah diletakkan pada kipas *cooling tower*, serta dapat melakukan komunikasi dengan mikrokontroler. Sensor tipe GP1S53VJ000F bekerja pada tegangan 5 V_{DC} . Konfigurasi pin *photo interrupter* dapat dilihat pada Gambar 13. *Photo interrupter* merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk mendeteksi terjadinya perubahan cahaya. *Photo interrupter* terdapat celah kosong yang digunakan sebagai pensaklaran. Celah kosong pada *photo interrupter* memisahkan antara LED infra merah dengan *photo transistor*. LED infra merah digunakan untuk memancarkan sinar, sedangkan *photo transistor* digunakan sebagai pengindera cahaya. Kaki *photo transistor* akan menimbulkan arus listrik apabila gelombang infra merah dari LED tidak terhalang menuju *photo transistor*, sebaliknya bila gelombang infra merah dari LED terhalang maka kaki *photo transistor* tidak akan menimbulkan arus listrik.



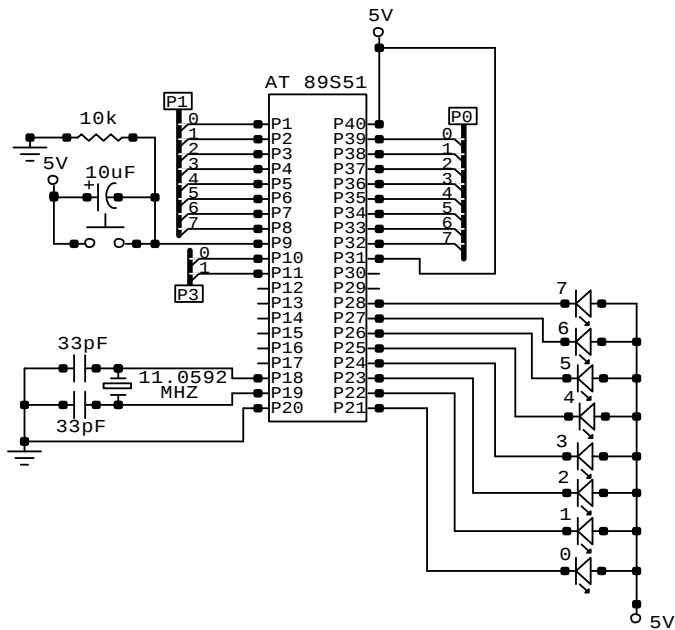
■ Gambar 12 Konfigurasi Pin LM 35



■ Gambar 13 Konfigurasi Pin *Photo Interrupter*

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian mikrokontroler dilakukan dengan cara memasukkan program untuk menyalakan LED secara bolak balik ke dalam mikrokontroler. Program yang dirancang membuat LED yang terhubung ke *port* 2.0 menyala pertama kali dan kemudian LED bergantian menyala ke *port* 2.1 sampai *port* 2.7. LED yang telah menyala sampai *port* 2.7 akan berbalik menyalakan LED sampai ke *port* 2.0. Gambar 14 merupakan rangkaian pengujian modul mikrokontroler dan Tabel 1 merupakan hasil pengujian dari modul mikrokontroler.

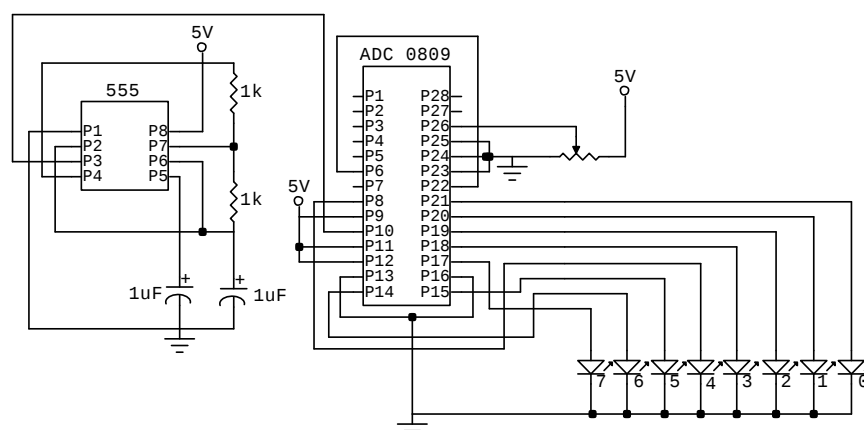


■ **Gambar 14** Rangkaian Pengujian Modul Mikrokontroler

■ **Tabel 1.** Hasil pengujian modul mikrokontroler

LED Waktu Ke-	0	1	2	3	4	5	6	7
1	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
5	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF
6	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF
7	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
8	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
9	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF
10	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF
11	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
12	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
13	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

Pengujian modul ADC dilakukan dengan menggunakan sebuah potensiometer dan LED. jumlah LED yang digunakan pada pengujian ini adalah 8 buah. Pada *input* modul ADC dipasang sebuah potensiometer agar dapat diubah-ubah nilai tahanannya, dan pada *output* dipasang LED. *Input* tegangan pada rangkaian tersebut sebesar 5 volt DC. Gambar 15 adalah Rangkaian Pengujian Modul ADC 0809 dan hasil pengujian dari modul ini terdapat pada Tabel 2.



■ **Gambar 15** Rangkaian Pengujian Modul ADC 0809

■ **Tabel 2.** Hasil Pengujian Modul ADC 0809

Pengujian	Tegangan Input	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0 Volt	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
2	1 Volt	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
3	2 Volt	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF
4	3 Volt	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON
5	4 Volt	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF
6	5 Volt	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON

Pengujian terhadap modul catu daya dilakukan pada catu daya 5 Volt dan 12 Volt. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban dan tanpa menggunakan beban. Pengujian modul catu daya dilakukan untuk mengetahui hasil tegangan *ouput* yang stabil atau tidak. Alat ukur tegangan yang dilakukan pada pengujian ini yaitu multimeter digital. Pengujian pertama untuk catu daya 5 Volt dilakukan tanpa menggunakan beban dan dengan beban. Beban yang digunakan adalah sistem yang dirancang yang mempunyai nilai tahanan sebesar 15 ohm. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan multimeter ke *output* dari catu daya. Hasil pengujian tanpa dan dengan beban untuk catu daya 5 volt pada Tabel 3 dan 12 volt Tabel 4.

■ **Tabel 3.** Hasil Pengujian Modul Catu Daya 5 Volt Tanpa dan dengan Beban

Pengukuran ke-	Tegangan keluaran (V)	Nilai beban (ohm)	Tegangan keluaran (V)
1	4,95	15	4,89
2	4,94	15	4,92
3	4,96	15	4,92
4	4,94	15	4,90
5	4,95	15	4,93

Pengujian kedua untuk catu daya 12 Volt dilakukan dengan menggunakan beban dan tanpa beban. Beban yang digunakan adalah kipas yang mempunyai nilai tahanan sebesar 50 ohm. Keluaran dari modul catu daya dihubungkan dengan multimeter. Hasil pengujian dengan dan tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 4.

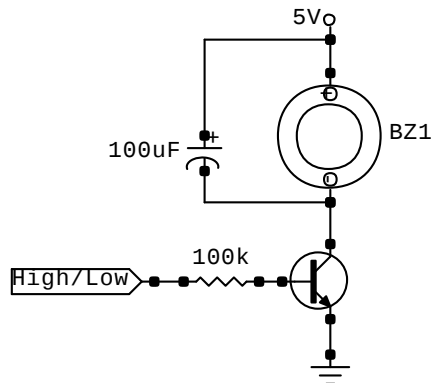
■ **Tabel 4.** Hasil Pengujian Modul Catu Daya 12 Volt Tanpa dan dengan Beban

Pengukuran ke-	Tegangan keluaran (V)	Nilai beban (ohm)	Tegangan keluaran (V)
1	11,94	50	11,90
2	11,97	50	11,91
3	11,96	50	11,93
4	11,98	50	11,90
5	11,95	50	11,92

Pengujian modul *interface* dilakukan dengan cara menghubungkan antarmuka RS-232 dengan komputer. Pengujian ini menggunakan bantuan *hyperterminal* pada komputer. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan kaki pin 11 (T1_{in}) dengan kaki pin 12 (R1_{out}) sehingga *input* yang diberikan dari *keyboard* dapat ditampilkan pada *hyperterminal*. *Input* yang diberikan adalah berupa nama “Handi Winata”. Gambar 16 menunjukkan hasil pengujian modul antarmuka serial sesuai dengan *input* yang diberikan. Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 16 dapat disimpulkan bahwa modul ini bekerja dengan baik.

■ **Gambar 16** Hasil Pengujian Modul *Interface* Serial

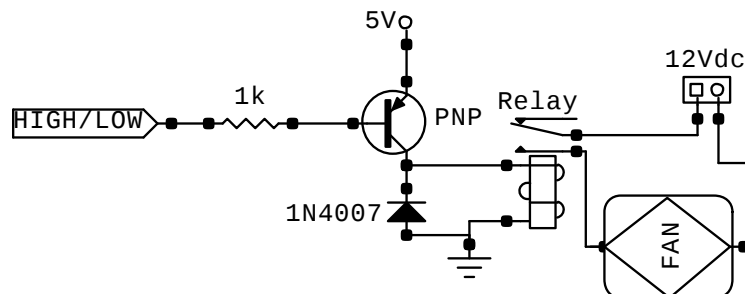
Pengujian modul *alarm* dilakukan dengan cara memberi *input high* dan *low* bergantian pada *buzzer*. Pemberian *input* tegangan dilakukan melalui kaki *base* transistor. Pengujian dilakukan sesuai Gambar 17 dan hasil pengujian pada Tabel 5. Pengujian modul kipas dilakukan dengan dua cara. Pertama dilakukan pengujian terhadap *relay*, *relay* diuji dengan cara diberikan tegangan, *switch* pada *relay* akan menutup jika dineri input tegangan. Pengujian kedua dilakukan dengan cara memberi sebuah beban berupa kipas yang mempunyai *input* tegangan sebesar 12 Volt. Pengujian dilakukan sesuai dengan Gambar 18 dan hasil pengujian pada Tabel 6



■ Gambar 17 Rangkaian Pengujian Modul Alarm

■ Tabel 5. Hasil pengujian Modul Alarm

Pengujian ke	Input tegangan	Kondisi Buzzer
1	High	Tidak Aktif
2	Low	Aktif
3	High	Tidak Aktif
4	Low	Aktif

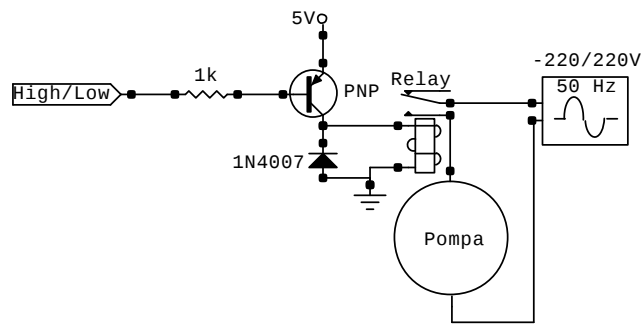


■ Gambar 18. Rangkaian Pengujian Modul Kipas

■ Tabel 6. Hasil Pengujian Modul Kipas

Pengujian ke-	Input	Status
1	High	Kipas Aktif
2	Low	Kipas Tidak Aktif
3	High	Kipas Aktif
4	Low	Kipas Tidak Aktif

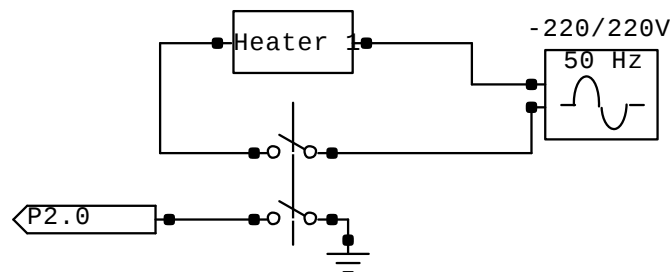
Pengujian modul pompa dilakukan dengan dua cara. Pertama dilakukan pengujian terhadap *relay*, *relay* diuji dengan cara diberikan tegangan, *switch* pada *relay* akan menutup jika dineri input tegangan. Pengujian kedua dilakukan dengan cara memberi sebuah beban berupa pompa yang mempunyai input tegangan sebesar 220 VAC. Gambar 19 adalah rangkaian pengujian modul pompa dan hasil pengujian pada Tabel 7. Pengujian dan Analisis Modul Status Mesin, Pengujian modul ini dilakukan dengan cara menekan *switch* yang terdapat pada Gambar 20, apabila *switch* di tekan maka *heater* akan menyala dan mikrokontroler akan menerima status dari heater tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 21.



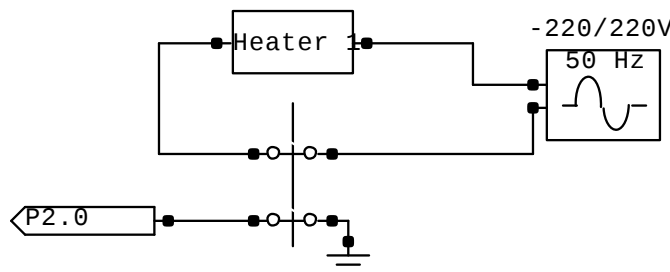
■ **Gambar 19** Rangkaian Pengujian Modul Pompa

Tabel 7 Hasil Pengujian Modul Pompa

Pengujian ke-	Input	Status
1	High	Pompa Aktif
2	Low	Pompa Tidak Aktif
3	High	Pompa Aktif
4	Low	Pompa Tidak Aktif

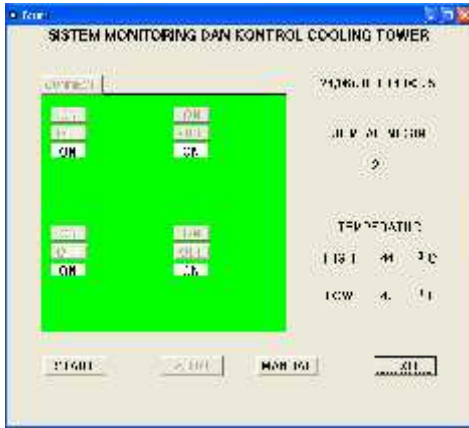


■ **Gambar 20** Rangkaian Pengujian Modul Status Mesin saat Switch OFF

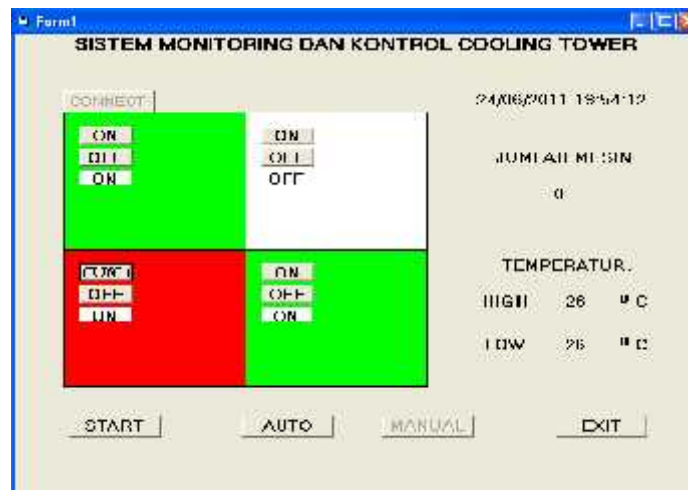


■ **Gambar 21** Rangkaian Pengujian Modul Status Mesin saat Switch ON

Pengujian dilanjutkan dengan menguji sistem rancangan secara keseluruhan. Pengujian mula-mula dilakukan dengan meletakkan seluruh modul yang sudah dirancang pada sistem, kemudian dilakukan pengujian sistem secara otomatis dan manual. Pengujian untuk proses manual dilakukan dengan cara menekan tombol panel yang ada berada pada tampilan dilayar monitor, *cooling tower* akan aktif bila tombol *on* dalam tampilan layar monitor ditekan, dan menekan tombol *off* untuk membuat *cooling tower* tidak aktif. Pengujian untuk proses otomatisasi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem otomatis yang telah dirancang dapat berkerja dengan baik atau tidak. Pengujian sistem ini dilakukan dengan cara menerima *input* yang berasal dari jumlah mesin, sensor suhu dan sensor putaran kipas, apabila suhu tidak terlalu tinggi dan jumlah mesin yang beroperasi sedikit, maka sistem akan menginstruksikan *cooling tower* untuk beroperasi berdasarkan kebutuhan dan pada tampilan akan berubah warna menjadi hijau apabila *cooling tower* beroperasi dengan baik, ketika *cooling tower* tidak beroperasi akan berwarna putih, sedangkan warna merah berarti kipas pada *cooling tower* rusak dan sistem mengaktifkan alarm. Berdasarkan hasil pengujian seluruh sistem ini, dapat disimpulkan bahwa perancangan sistem pengawasan dan pengontrolan *cooling tower* dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 22 adalah tampilan simulasi sistem dan Gambar 23 adalah keadaan operasional *Cooling Tower*.



■ Gambar 22 Tampilan Simulasi Sistem



■ Gambar 23 Keadaan Operasional Cooling Tower

KESIMPULAN

Sistem yang dibuat dapat melakukan simulasi proses kerja *cooling tower* baik secara otomatis maupun secara manual dan pengawasan *cooling tower* dapat dilihat langsung pada layar monitor sebuah PC. Berdasarkan pengujian terhadap otomatisasi sistem, sistem dapat mengaktifkan semua *cooling tower* pada saat pembacaan suhu *low* sebesar 42 °C saat mesin yang beroperasi sebanyak 2 buah. Modul catu daya 5 Volt dengan menggunakan beban, tegangan rata-rata yang didapat sebesar 4,912 Volt dengan toleransi kesalahan sebesar 1,76%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pengertian Industri Manufaktur, Memahami Pengertian Industri Manufaktur", <http://www.anneahira.com/pengertian-industri-manufaktur.htm>, Senin, 28 Februari 2011, Pukul 11.17 WIB.
- [2] Pengertian Cooling Tower, "Menara Pendingin" http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter20.pdf, Senin 28 Februari 2011, Pukul 15.03 WIB
- [3] Djunaidi dan Y. Andriyanto, Kajian Perawatan Menara Pendingin Reaktor Serba Guna G.A. Siwabesy, Yogyakarta: SDM Teknologi Nuklir, 2009, pp. 214.
- [4] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 10th ed, New Jersey: Prentice-Hall International, 1992, pp. 773.
- [5] D. V. Hall, *Mikroprocessors and Interfacing "Programming and Hardware"*, 2nd ed. Singapore:1992, pp. 494