DESAIN ALAT SISTEM KONTROL SUHU DAN KELEMBABAN UNTUK OPTIMASI PROSES PEMBUATAN TEMPE PADA SKALA INDUSTRI RUMAH TANGGA

Andik Setyawan[1], Ratna Adil[2], Legowo Sulistijono[3]
[1]Penulis, Mahasiswa Jurusan Teknik Elektronika PENS - ITS
[2]Dosen Pembimbing, Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektronika PENS ï ITS
[3]Dosen Pembimbing, Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektronika PENS - ITS
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Electronics Engineering Polytechnic Institute of Surabaya
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, INDONESIA
Tel: +62 (31) 594 7280; Fax: +62 (31) 594 6114
email : kidna_alien@yahoo.co.id

Abstrak

Sistem pengendalian proses sangat diperlukan didalam dunia industri untuk menghasilkan produk yang bagus maka diperlukan suatu sistem pengendalian yang stabil. Salah satu dasar dari sistem kontrol yang banyak digunakan *on-off*. Adapun pada tugas akhir sistem kontrol *on-off* diaplikasikan pada proses optimasi pembuatan tempe sebagai pengendali suhu dan kelembaban yang memakai tekonologi mikrokontroler. Dengan kondisi awal yang sudah di setting nilai suhu dan kelembaban pada programnya, mikrokontroler yang juga bertindak sebagai eksekutor untuk menggearakkan aktuator.

Desain alat ini terdiri dari rangkaian power supply, rangkaian sensor,dan minimum system dari mikrokontroler ATmega16. Power supply berfungsi untuk memberikan tegangan yang dibutuhkan pada masing-masing rangkaian tersebut. Mikrokontroler ATmega16 sebagai pusat pengaturan pada rangkaian sensor, dan rangkaian aktuator.

Kata Kunci: **kontroller, mikrokontroler, suhu, kelembaban, actuator, sensor.**

1. PENDAHULUAN

Salah satu makanan tradisional Indonesia yang mempunyai kandungan gizi sangat baik adalah tempe. Hampir sebagian besar masyarakat Indonesia menjadikan tempe sebagai menu harian mereka. Tidak hanya masyarakat kelas bawah, masyarakat menengah ke atas pun juga mengonsumsinya. Oleh karena itu banyak sekali orang yang memanfaatkan peluang ini dengan memproduksi dan berjualan tempe. Namun sering kali timbul masalah dalam pembuatan tempe khususnya di musim yang suhu dan kelembabannya tidak menentu seperti saat ini. Berubah-ubahnya cuaca membuat suhu dan kelembaban didalam ruangan pembuatan tempe juga berubah-ubah. Hal ini dapat mengakibatkan tempe tidak bisa terbentuk tepat pada waktunya dan kualitasnya juga berkurang.[1]

Pada umumnya, dalam pembuatan tempe para produsen tempe masih menggunakan cara manual. Pada cuaca dingin, tempe biasanya ditutupi dengan kain atau penutup lain supaya suhu pada tempe tetap stabil dan tempe dapat matang tepat waktu. Saat melakukan ini, mereka tidak tahu berapa suhu dan kelembaban dalam ruangan tersebut. Sehingga dibutuhkan suatu alat yang dapat mendeteksi suhu dan kelembaban di ruangan pembuatan tempe. Alat pendeteksi ini memanfaatkan modul rangkaian sensor suhu dan sensor kelembaban SHT 11. Sistem sensor yang digunakan berbasis pada sifat polimer kapasitif untuk sensor kelembaban dan bandgap untuk sensor temperatur. Seluruh aktifitas pengontrolan sistem dilakukan olaeh mikrokontroler Atmega16. Kontroler yang digunakan adalah jenis *on-off* yang dimaksudkan untuk mengaktifkan aktuator yang digunakan. Ketika temperatur dari sensor sudah sesuai dengan input maka frekuensi tegangan akan disesuaikan, sehingga temperatur tidak akan berubah-ubah.

Alat pendeteksi ini dapat membantu dalam proses pembuatan tempe, sehingga proses tersebut dapat berhasil tepat waktu dan dihasilkan tempe yang berkualitas. Hasil produksi tempe akan stabil dan tepat waktu sesuai yang diharapkan. Dengan adanya alat kontrol suhu dan kelembaban ini diharapkan produsen tempe tidak merugi. Konsumen juga tidak akan mengeluh dengan kualitas tempe karena mereka dapat mengonsumsi tempe yang bergizi setiap hari.

2. DASAR TEORI

2.1 Kandungan dan Manfaat Tempe

Tempe adalah salah satu produk pangan di Indonesia yang proses pembuatannya dengan cara fermentasi kacang kedelai atau kacang-kacangan lainnya yang dapat difermentasikan oleh *Rhizopus oligosporus*. Tempe merupakan makanan alami yang baik untuk kesehatan dan juga mengandung anti oksidan yang dapat menghambat infiltrasi lemak / LDL teroksidasi ke dalam jaringan pembuluh darah, sehingga dapat mencegah terjadinya penyempitan pembuluh darah yang memicu timbulnya penyakit jantung koroner. [3]

Tempe merupakan makanan asli masyarakat Indonesia yang dibuat dari kacang kedelai (*Glicine max* (L) Merril). Pembuatan tempe selama ini menggunakan kapang *Rhizopus* sp. yang merupakan jenis kapang yang tumbuh baik suhu optimum pertumbuhan 28-35ęC dan kelembaban di bawah 65-70%. Kebanyakan pengerajin tempe saat ini mempunyai kapasitas produksi yang berbeda-beda, sehingga berakibat pada perbedaan kondisi ruang fermentasi yang digunakan. Terutama dari suhu dan kelembaban ruang fermentasi yang berpengaruh langsung terhadap mutu tempe. Tempe dibuat dari kacang kedelai yang difermentasikan menggunakan kapang *rhizopus* (òragi tempeò) salah satunya *Rhizopus oligosporus*. Kapang yang tumbuh pada kedelai menghidrolisis senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana yang mudah di cerna manusia. [3] Jenis kedelai terdiri atas 4 macam, kedelai kuning, kedelai hitam, kedelai coklat dan kedelai hijau. Para pengrajin tempe biasanya memakai kedelai kuning sebagai bahan baku utama, akan tetapi juga kedelai jenis lain, terutama kedelai hitam. [2] Syarat mutu kedelai untuk memproduksi tempe kualitas pertama adalah sebagai berikut:

- Bebas dari sisa tanaman (kulit palang, potongan batang atau ranting, batu, kerikil, tanah atau biji-bijian).
- Biji kedelai tidak luka atau bebas serangan hama dan penyakit.
- Biji kedelai tidak memar
- Kulit biji kedelai tidak keriput.

Tempe yang baik dicirikan oleh permukaan tempe yang ditutupi oleh miselium kapang secara merata, kompak, dan berwarna putih. Antar butiran kacang kedelei di penuhi oleh miselium dengan ikatan yang kuat dan merata. Sehingga bila di iris tempe tersebut tidak hancur. Tempe yang buruk sering kali terdapat pecah2, pertumbuhan kapang tidak merata atau bahkan tidak tumbuh sama sekali, kedelei menjadi busuk dan berbau amoniak. Beberapa penyimpangan dan penyebab kegagalan pembauatn tempe adalah:

1. Tempe terlalu basah: suhu fermentasi terlalu tinggi, kelembaban
   udara terlalu tinggi, lubang pembungkus terlalu kecil.
2. Tempe tidak kompak: pengadukan laru tidak merata, waktu fermentasi kurang lama, suhu fermentasi terlalu rendah.
3. Permukaan tempe bercak-bercak: fermentasi terlalu lama, suhu terlalu tinggi, kelembaban terlalu kering.
4. Tempe terlalu panas: pengatur suhu, kelembaban, suhu terlalu tinggi, inkubasi terlalu tertutup.

Gambar 2.1. Tempe Kualitas Baik.[2]

Gambar 2.2. Tempe Kualitas Buruk.[2]

Kedelai yang merupakan bahan dasar tempe mengandung protein 35% bahkan pada varietas unggul kadar proteinnya dapat mencapai 40-43%. Dibandingkan dengan beras, jagung, singkong, kacang hijau, daging, ikan segar, dan telur, kedelai mempunyai protein yang lebih tinggi, hampir menyamai kadar protein susu skim kering. [2]

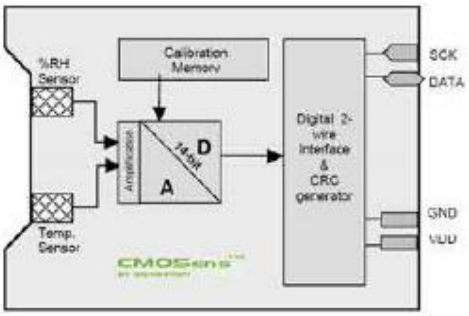
2.2 Sensor

Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk merubah suatu besaran fisis menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Sensor yang digunakan dalam sistem control ini yaitu sensor SHT 11 yang mampu mendeteksi nilai suhu dan kelembaban tertentu.

2.2.1 Sensor SHT 11[6]

SHT 11 adalah sebuah *single chip* sensor suhu dan kelembaban relatif dengan multi modul sensor yang outputnya telah dikalibrasikan secara digital. Dibagian dalamnya terdapat kapasitif polimer sebagai elemen untuk sensor kelembaban relative dan sebuah pita regangan yang digunakan sebagai sensor temperatur. Output kedua sensor digabungkan dan dihubungkan pada ADC 14 bit dan sebuah interface serial pada satu *chip* yang sama.

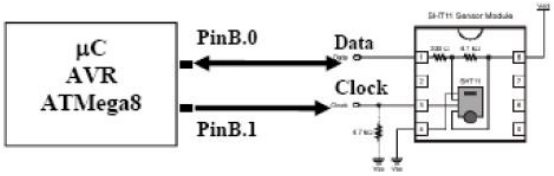
Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran yang baik dengan waktu respon yang cepat. SHT 11 dikalibrasi pada ruangan dengan kelembaban yang teliti menggunakan hygrometer sebagai referensinya. Koefisien kalibrasinya telah di programkan kedalam OTP memory. Koefisien tersebut akan digunakan untuk mengkalibrasi keluaran dari sensor selama proses pengukuran. 2-*wire* alat penghubung serial dan regulasi tegangan internal membuat lebih mudah dalam pengintegrasian sistem. Ukurannya yang kecil dan konsumsi daya yang rendah membuat sensor ini adalah pilihan yang tepat, bahkan untuk aplikasi yang paling menuntut. Didalam piranti SHT 11 terdapat suatu *surface-mountable* LLC (*Leadless Chip Carrier*) yang berfungsi sebagai suatu *pluggable* 4- pin *single-in-line* untuk jalur data dan clock, blok diagram chip SHT 11 dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.3. Blok diagram pada chip SHT 11[6]

2.2.2 Sistem Sensor Kelembaban dan Temperatur SHT 11[6]

Sistem sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban adalah SHT 11 dengan sumber tegangan 5 volt dan komunikasi *idirectional 2-wire.* Sistem sensor ini mempunyai 1 jalur data yang digunakan untuk perintah pengalamatan dan pembacaan data. Pengambilan data untuk masing-masing pengukuran dilakukan dengan memberikan perintah pengalamatan oleh mikrokontroler. Port B pin 0 (PinB.0) mikrokontroler memberikan perintah pengalamatan pada pin Data SHT 11 ò00000101ò untuk pengukuran kelembaban relatif dan ò00000011ò untuk pengukuran temperatur. SHT 11 memberikan eluaran data kelembaban dan temperatur pada pin Data secara bergantian sesuai dengan *clock* yang diberikan oleh mikrokontroler pada port B pin 1 (PinB.1) agar sensor dapat bekerja. Sensor SHT 11 memiliki ADC (*Analog to Digital Converter*) di dalamnya sehingga keluaran data SHT 11 sudah terkonversi dalam bentuk data digital dan tidak memerlukan ADC *eksternal* dalam pengolahan data pada mikrokontroler. Skema pengambilan data SHT 11 disajikan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.4. Skema Pengambilan Data SHT 11

SHT 11 membutuhkan supply tegangan 2.4 dan 5.5 V. SCK *(Serial Clock Input)* digunakan untuk mensinkronkan komunikasi antara mikrokontroller dengan SHT 11. DATA *(Serial Data)* digunakan untuk transfer data dari dan ke SHT 11.

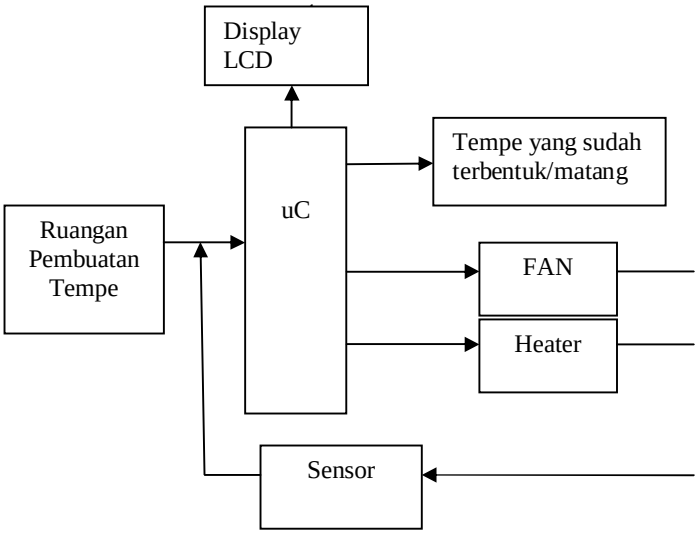
3. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

3.1 Perancangan dan Pembuatan *Hardware*

3.1.1 Sistem Desain Kontrol Suhu dan Kelembaban pada Tempe

Untuk perangkat keras (*hardware*) meliputi pembuatan rangkaian hasil perancangan sistem baik rangkaian penunjang maupun rangkaian utama. Selain itu dibuat juga konstruksi secara mekanik. Pada bab ini akan diberikan teori penunjang yang mendukung dalam pembuatan keseluruhan dari mesin penetas telur, terdiri antara lain :

ÅLCD ÅHeater
ÅATMega16 ÅBlower



Gambar 3.1. Blok Diagram Desain Alat Kontrol Suhu dan Kelembaban

Sistem utama pada control suhu dan kelembaban ini diatur oleh mikrokontroler. Input mikrokontroler ini diperoleh dari sensor suhu dan kelembaban SHT11 untuk mendapatkan nilai

suhu dan kelembaban. Data dari sensor tersebut akan ditampilkan nilainya pada LCD.

Dalam pembuatan alat ini terlebih dahulu dilakukan pencarian informasi tentang cara pembuatan dari tempe. Tujuannya untuk memperoleh informasi tentang tahap-tahap pada proses pembuatan tempe dari awal sampai akhir (tempe sudah terbentuk). Sehingga didapatkan data nilai suhu dan kelembaban pada masing-masing tahap dari proses tersebut. Tempat wadah pembuatan tempe di desain dengan luas 1.3 meter persegi dengan ukuran panjang 1.3 meter dan lebarnya 1 meter. Berdasarkan referensi yang diperoleh bahwa untuk pembuatan tempe dengan bahan baku kedelai dengan berat 10 kilo gram (kg) dapat dihasilkan tempe dengan jumlah kurang lebih 30-35 tempe dengan panjang, lebar, dan tinggi masing-masing tempe adalah 10cmx5cmx3cm.

Pembuatan perangkat lunak menggunakan bahasa yang dapat dikenali oleh mikrokontroler seperti assembly dan bahasa C, perangkat lunak ini dimaksudkan sebagai kontrol yang mengatur sistem pada wadah proses pembuatan tempe yang akan dibuat dan pembacaan sensor SHT 11. Akan tetapi disini menggunakan bahasa C mikrokontroler AVR, karena lebih mudah dalam pengaturan sistem yang kompleks. Program yang akan dibuat antara lain program pengatur suhu, kelembaban, *Heater*, dan *Blower*. Selain itu akan dibuat suatu program untuk mengatur tampilan LCD.

3.1.2 Mikrokontroler ATMega16[5]

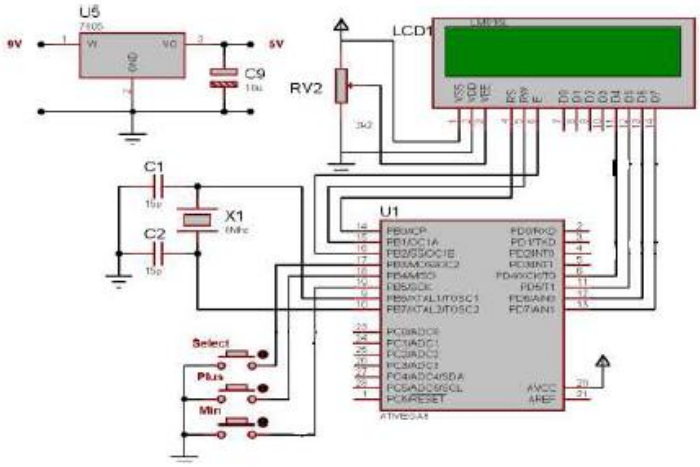
Minimum sistem ini merupakan sistem kontrol dari keseluruhan system kerja (menggunakan tiga minimum sistem). Pada proyek akhir ini digunakan sistem minimum yang berbasis pada mikrokontroler ATmega16, digunakan ATmega16 karena bahasa pemrograman AVR tersebut adalah bahasa C yaitu bahasa pemrograman tingkat menengah (bahasa instruksi program mendekati bahasa manusia) sehingga lebih mudah untuk membuat atau menerapkan suatu algoritma program. Kelebihan lainnya adalah setiap pin dalam satu port dapat kita tentukan sebagai input atau output secara mudah karena didalamnya sudah dilengkapi fasilitas tersendiri untuk inisialisasi

Rangkaian I/O dari mikrokontroller mempunyai kontrol direksi yang tiap bitnya dapat dikonfigurasikan secara indifidual, maka dalam pengkonfigurasikan I/O yang digunakan ada yang berupa operasi port ada pula yang dikonfigurasikan tiap bit I/O. berikut ini akan diberikan konfigurasi dari I/O mikrokontroller tiap bit yang ada pada masing-masing port yang terdapat pada mikrokontroller.

- Port A

  Port A ini dalam perancangan system diguanakan untuk input dari sensor. Dari 8 bit yang ada digunakan 7 bit untuk MSB difungsikan sebagai aktif low, sedangkan LSB difungsikan sebagai aktif high.
- Port B
  - Port C ini dalam perancangan system difungsikan sebagai output LCD.
  - Port D
    - PIND.0 dikonfigurasikan sebagai output aktuator lampu.
    - PIND.1 dikonfigurasikan sebagai output kipas .

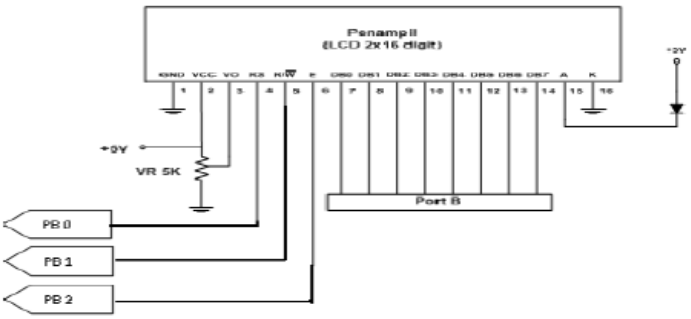
Gambar dibawah ini merupakan rancangan dari minimum system yang dibuat lengkap dengan konfigurasi pin yang digunakan.



Gambar 3.2. Rangkaian ATMega16[5]

3.1.3 LCD 2x16 Karakter[4]

Salah satu alasan mengapa modul LCD makin banyak dipakai dalam proyek akhir ini adalah kenyataan bahwa modul LCD relatif jauh lebih sedikit memerlukan daya ketimbang modul-modul display berbasis LED. Selain itu, desain LCD lebih kompak dan dimensinya juga lebih kecil. Ilustrasi tampak depan modul LCD 2x16 karakter dapat dilihat pada Gambar 3.13. Pada Gambar 3.14 merupakan rangkaian LCD 16x2 beserta koneksinya pada port C dari mikrokontroler.



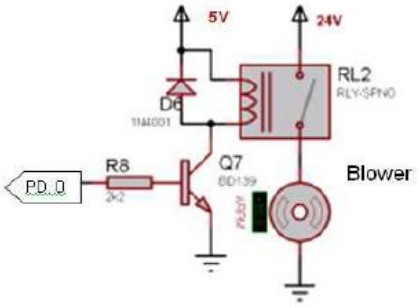
Gambar 3.3. Rangkaian LCD 16x2[4]

Penggunaan LCD difungsikan untuk menampilkan kondisi temperatur, kelembaban, dan kondisi aktuator-aktuatornya dalam inkubator pada saat itu yang dilengkapi dengan tampilan waktu berupa detik, menit, dan jam. Sehingga melalui LCD dapat diketahui kondisi mesin pada proses penetasan secara keseluruhan. Kondisi actuator tersebut dilambangkan dengan logika ñ0ò dan ñ1ò, maksudnya

jika logika ñ0ò maka aktuator tersebut mati (tidak menyala), sedangkan logika ñ1ò berarti aktuator tesebut sedang menyala (hidup). Sedangkan pengambilan data dari sensor SHT 11 tersebut akan di *up date* setiap 1 detik untuk mendapatkan nilai suhu maupun kelembaban yang kemudian ditampilkan pada LCD, dimana pengambilan data dari sensor SHT 11 secara bergantian dalam waktu 1 detik tersebut. Dengan mikrokontroler dapat mengendalikan suatu peralatan agar dapat bekerja secara otomatis. Untuk mengakses LCD 2x16 harus mengkonfigurasikan pin dari LCD dengan pin I/O mikrokontroler tersebut. Pada Tabel 3.4 menunjukkan konfigurasi dari pin-pin LCD tersebut.

3.1.4 Rangkaian Driver untuk Kontrol *Blower*

Rangkaian ini menggunakan transistor sebagai saklar dari mikrokontroler yang dihubungkan pada port D.0 dan relay 12 Volt yang dihubungkan ke aktuator (kipas). *Blower* yang digunakan adalah kipas 12V DC berjumlah 2 buah yang diletakkan didalam mesin.

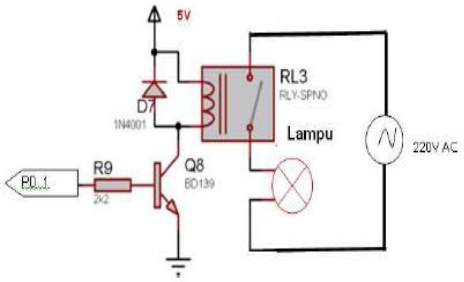


Gambar 3.4. Rangkaian driver blower

Rangkaian driver *blower* (kipas) pada Gambar 3.15 dimaksudkan untuk menurunkan temperatur dan atau kelembaban jika melebihi dari *setting point* yang diinginkan, disamping itu juga untuk meratakan temperatur dan kelembaban dalam inkubator, sehingga kipas tersebut memiliki fungsi ganda dan sangat penting dalam proses penetasan telur. Jika temperatur dan atau kelembaban lebih tinggi daripada *set point* maka kipas akan menyala sampai temperetur dan atau kelembaban sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Sehingga peran dari kipas ini sangat penting dalam pengontrolan temperatur maupun kelembaban dalam inkubator selama proses penetasan telur berlangsung. Dengan dua buah kipas tersebut diharapkan mampu mengontrol temperatur maupun kelembaban yang relatif cepat, sehingga kenaikan diatas *set point* akan bisa segera terhindari.

3.1.5 Rangkaian Driver Untuk Kontrol *Heater*

Pada Gambar 3.16 tersebut juga menggunakan transistor sebagai saklar dari mikrokontroler yang dihubungkan pada port D.1 dan relay 12 Volt yang ihubungkan ke aktuator (lampu) sebagai pemanas inkubator.



Gambar 3.5. Rangkaian driver heater

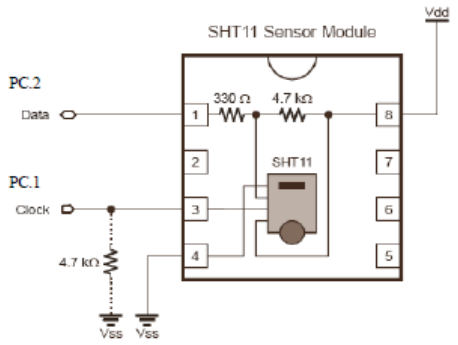
Standard untuk suhu dalam *incubator* ñpenetasanò tipe *forced air* (dengan sirkulasi udara) adalah 100°Fï 102°F. Suhu pada *incubator* penetas (*hatching*) di set 1°F lebih rendah dibandingkan dengan *incubator* ñpengeramò selama 3 hari sebelum penetasan. Untuk pemanas inkubator menggunakan 4 buah lampu dengan total daya 20 Watt dengan masing-masing lampu berdaya 5 Watt yang dimaksudkan agar keadaan temperatur dalam inkubator bersifat homogen (merata) sehingga pemanasan telur akan sama pada semua daerah. Dengan pemanasan menggunakan lampu bohlam tidak dikhawatirkan terjadinya kenaikan suhu secara signifikan sehingga aman untuk menjaga bibit ayam dalam telur agar tidak mati. Dalam kasus sistem kontrol, temperatur T adalah variabel yang akan dikontrol, dan nilai T inilah yang diinginkan sebagai output. Kemudian input kontrol adalah output dari pemanas listrik *(electric heater)*. Besarnya kalor sebagai input kontrol selalu diatur dengan mengatur tegangan yang diberikan ke pemanas. Jika pemanas dimodelkan sebagai suatu beban resistif, maka besarnya kalor per unit waktu adalah:

$$P = \frac{V_h^2}{R_h} \quad \text{.....(4)}$$

dimana P adalah daya pemanas (watt), V_h adalah tegangan efektif (volt) yang diberikan ke pemanas, dan R_h adalah resistansi pemanas (ohm). Ini menunjukkan bahwa energi listrik yang dikonversi ke pemanas merupakan sebuah fungsi nonlinier terhadap tegangan yang diberikan ke pemanas, dan tidak dapat diperoleh *transfer function* yang menunjukkan hubungan antara temperatur T dengan tegangan input V_h. Namun telah ditunjukkan bahwa besarnya temperatur dapat diatur dengan mengatur besarnya tegangan yang diberikan ke pemanas.

3.1.3 Sensor SHT 11[6]

SHT11 adalah sensor digital untuk temperatur sekaligus kelembaban pertama di dunia yang diklaim oleh pabrik pembuatnya, **Sensirion Corp**. Mempunyai kisaran pengukuran dari 0-100% RH, dan akurasi RH absolute +/- 3% RH. Sedangkan akurasi pengukuran temperatur +/- 0.4°C @ 25°C. Sensor ini bekerja dengan interface 2- wire. Aplikasi sensor ini pada data logging, pemancar, automotive, perangkat instrumentasi dan lain sebagainya. Untuk menghubungkan sensor 2 wire dengan mikrokontroler, umumnya bentuk rangkaian seperti Gambar 14.



Gambar 3.6. Blok diagram umum sensor [6]

Kelembaban merupakan suatu tingkat keadaan lingkungan udara basah yang disebabkan oleh adanya uap air. Tingkat kejenuhan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Grafik tingkat kejenuhan tekanan uap air terhadap temperatur diperlihatkan pada Gambar 3.8. Kelembaban adalah jumlah uap air yang ada di udara. Kelembaban dapat diukur dengan dua cara :

(1) Kelembaban Absolut adalah prosentase dari uap air yang benar-benar terdapat pada udara.
(2) Kelembaban Relatif adalah kelembaban mutlak yang dibagi oleh jumlah uap air yang mungkin terdapat di udara.

4. UJI COBA DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas tentang pengujian system dan analisa berdasarkan bab perencanaan. Pengujian ini meliputi :

- Pengujian per blok meliputi pengujian Power Supply, *Heater* (lampu), *Blower* (kipas), Pompa air.
- Sensor SHT 11.
- Pengujian hasil dari pembuatan tempe.

4.1 Pengujian Power Supply

Power Supply sangat penting dalam memberikan *supply* energi untuk meghidupkan semua komponen elektronik yang membutuhkan tegangan yang cocok dan stabil. Power Supply yang digunakan disini adalah Power Supply 2 Ampere yang dibuat rangkaian output 12 Volt an 5 Volt DC untuk memberikan input pada mikrokontroler maupun komponen pendukung yang lain.

Berdasarkan pengukuran Power Supply 5 volt dapat diketahui bahwa tegangan output terpasang (tanpa beban) rata-rata 4,94 Volt, sedangkan tegangan output dengan beban rata-rata 4,93 Volt. Hal tersebut sudah cukup baik untuk tegangan supply mikrokontroler kerena tegangan tersebut tetap stabil.

Sedangkan berdasarkan pengukuran Power Supply 12 volt dapat diketahui bahwa tegangan output terpasang (tanpa beban) rata-rata 12,13 Volt, sedangkan tegangan output dengan beban rata-rata 6,22 Volt. Hal tersebut sudah lumayan baik untuk tegangan supply aktuator-aktuator seperti relay 12 Volt karena tegangan tersebut tetap stabil.

4.2 Pengujian *Heater* (Pemanas)

Alat pembuatan tempe ini mempunyai standard suhu dalam ruangan pada range 33°Cï 35°C. Untuk itu digunakan 3 buah lampu yang dipasang pada wadah pembuatan tempe dengan daya pada masing-masing lampu 60 Watt sehingga total dayanya adalah 180 Watt. Tujuan dari pemasangan lampu ini adalah agar keadaan temperatur dalam wadah tempe bersifat homogen (merata) sehingga pemanasan akan sama pada semua daerah. Kekhawatiran tentang terjadinya kenaikan suhu yang signifikan tidak akan terjadi karena pemanasnya menggunakan lampu jenis bohlam sehingga aman untuk menjaga kondisi dari tempe. Dengan memanfaatkan *blower* yang berguna umtuk menyebarkan panas sehinnga keadaan suhu ruangan merata (homogen).

Berdasarkan data pengujian respon suhu terhadap waktu pada siang hari ternyata memiliki karakteristik kenaikan suhu yang paling cepat daripada pagi hari maupun malam hari yaitu membutuhkan waktu 15 menit untuk mencapai suhu *set point* maksimal yaitu suhu 35°C.

Berdasarkan Tabel 4.5 tentang data pengujian respon suhu terhadap waktu pada malam hari ternyata memiliki karakteristik kenaikan suhu lebih lama daripada siang hari yaitu membutuhkan waktu 18 menit 41 detik untuk mencapai suhu *set point* maksimal 35°C.

Sedangkan berdasarkan data pengujian respon suhu terhadap waktu pada pagi hari ternyata memiliki karakteristik kenaikan suhu yang paling lama daripada siang hari maupun malam hari yaitu membutuhkan waktu 25 menit untuk mencapai suhu *set point* maksimal 35°C.

4.3 Pengujian *Blower* (Kipas)

Penggunaan kipas ini dimaksudkan untuk menurunkan temperatur dan atau kelembaban jika melebihi dari *setting point*, disamping itu juga untuk meratakan temperatur dan kelembaban dalam inkubator, sehingga kipas tersebut memiliki fungsi ganda dan sangat penting dalam proses penetasan telur. Digunakan 4 buah kipas yang berfungsi untuk mengatur kondisi suhu maupun kelembaban jika terjadi kenaikan suhu maupun kelembaban melebihi *setting pint.*

4.4 Pengujian LCD

Pembacaan hasil sensor suhu dan kelembaban (SHT 11) akan ditampilkan melalui display LCD 16x2. Tampilan LCD pada alat pembuatan tempe otomatis yang menampilkan nilai suhu dan kelembaban.

4.5 Pengujian Sistem Sensor SHT 11

Sensor SHT 11 merupakan sensor yang telah terkalibrasi dengan akurasi ±3,5 %. Penelitian sebelumnya telah melakukan proses pengujian sistem sensor SHT 11 dengan membandingkan terhadap alat ukur temperatur dan kelembaban lain yang mempunyai tingkat akurasi ±2,5 % yaitu dengan TESTO 625. Berdasarkan hasil pengamatan, selisih pembacaan nilai RH rata-rata antara instrument dengan kalibrator hanya 0,19%, selisih pembacaan rata-rata temperatur 0,23.

4.6 Pengujian Hasil Pembuatan Tempe

Dari hasil percobaan baik secara manual maupun otomatis, alat pembuatan tempe ini sudah cukup bagus karena memiliki tingkat keberhasilan sesuai yang diharapkan. Pada Tabel 4.1 diketahui bahwa jumlah tempe yang jadi atau layak di konsumsi adalah 31 bungkus dari 31 tempe bungkus yang telah dibuat pada percobaan pembuatan secara konvensional.

Tabel 4.1. Pengujian pembuatan tempe secara konvensional

Pengujian secara manual			
Jumlah tempe	Hasil pembuatan		
	Tempe jadi	Waktu (Jam)	Keterangan
31 bungkus	31 bungkus	26	Berhasil

Untuk hasil pembuatan tempe secara otomatis ternyata memiliki tingkat keberhasilan sesuai yang diinginkan dari total 31 bungkus tempe yang dibuat . Sedangkan yang menjadi perbedaan antara pembuatan secara manual dengan otomatis adalah perbedaan waktunya, pada pembuatan tempe secara otomatis diperlukan waktu 20 jam, sedangkan pembuatan secara manual lamanya 26 jam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Pengujian pembuatan tempe secara otomatis

Pengujian secara otomatis			
Jumlah tempe	Hasil pembuatan		
	Tempe jadi	Waktu (Jam)	Keterangan
31 bungkus	31 bungkus	20	Berhasil

Berdasarkan hasil-hasil pembuatan tempe tersebut dapat diketahui bahwa keberhasilan sesuai yang diharapkan karena pada saat membuat tempe kondisi cuaca mendukung sehingga tidak mengganggu suhu dan kelembaban dalam inkubator. Perbedaan untuk hasil pengujian pembuatan secara otomatis dengan manual adalah terletak pada faktor suhu maupun kelembaban sudah dikontrol dengan sangat baik dengan bantuan sensor SHT 11 yang memiliki nilai akurasi +/- 0.7% pada temperatur *range* kerja alat 38-39°C. Dengan metode *On-Off* sudah cukup bagus dalam pengontrolan selama proses pembuatan tempe, karena selisih 1°C pada inkubator tidak terlalu mempengaruhi hasil pematangan tempe, tetapi hanya mempengaruhi lama tidaknya tempe matang.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian dan analisa data, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dengan adanya alat pembuatan tempe otomatis ini dapat memberikan kemudahan dalam proses pembuatan tempe dibandingkan dengan cara konvensional, sehingga menjadi lebih praktis dan efisien.
2. Dengan pemanas 3 buah bohlam dengan total 18 Watt untuk kapasitas tempe 30-50 bungkus tempe menjadikan suatu alat yang hemat energi dan efisien.
3. Dari hasil percobaan, tingkat keberhasilan pembuatan tempe secara otomatis yang sesuai yang diinginkan yang memerlukan waktu selama 20 jam yang lebih cepat edibandingkan dengan cara konvensional yang membutuhkan waktu 28 jam.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Astuti, *History of the Development of Tempe. Di dalam Agranoff, J., hlm. 2–13*, Andi, Yogyakarta, 1999.

[2] http://web.ipb.ac.id. *(diakses pada 15 Desember 2010 jam 12.15 WIB)*

[3] Agustin Widya Gunawan, *Cendawan dalam Praktikum Laboratorium,* IPB Press, Bogor, 2009.

[4] Syaikul Abid, *Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Udayana, Perancangan Mesin Penetas Telur Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16*, Elangga, Surabaya, 2006.

[5] Budiharto Widodo, *Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATmega16*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.

[6]http://www.digiware.com/dw.php?p=search_result&keyword=SHT11&method=contain&category=all *(diakses pada 06 Mei 2011 pada 05.54 WIB)*

[7] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1 dan 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.