

## PERANCANGAN SISTEM KENDALI OTOMATIK PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S52

**Barita Bram Ardiwinata Putra**

Program Studi Teknik Informatika,  
Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Pontianak  
Jln. Merdeka No 372 Pontianak, Kalimantan Barat  
E-mail: [barita.bram@yahoo.com](mailto:barita.bram@yahoo.com)

***Abstract :** Tofu industry is one of the people industries which are many in Pontianak. The existence of this industry causes a negative impact which is environmental pollution caused by tofu liquid waste. Tofu liquid waste is a kind of wastewater which is produced along with the making of tofu. The environmental pollution caused by tofu liquid waste can be overcome by giving the tofu liquid waste a treatment process before it's being wasted to the environment. To make the treatment process easy, I designed an automation control system for the tofu liquid waste treatment process. The controller is a microcontroller AT89S52 which is a cheap microcontroller and also easy-to-program. The assembly programming is used to program the microcontroller. The results showed 83,98 % of average reduction of Chemical Oxygen Demand (COD) for treatment process in 3 days.*

***Keywords:** tofu liquid waste, microcontroller AT89S52.*

### 1. PENDAHULUAN

Permasalahan mengenai lingkungan hidup adalah masalah yang harus dihadapi oleh semua orang yang hidup di dunia ini. Masalah-masalah tersebut akan terus timbul secara serius di berbagai pelosok dunia selama semua penduduk dunia tidak segera memikirkan serta mengusahakan keselamatan dan keseimbangan lingkungannya. Demikian juga di Indonesia, permasalahan mengenai lingkungan hidup seperti dibiarkan begitu saja sejalan dengan intensitas pertumbuhan industri. Jika masalah-masalah tersebut dibiarkan, maka bukan tidak mungkin industrialisasi yang merupakan prioritas dalam pembangunan justru akan berakibat buruk bagi kehidupan sosial masyarakat.

Salah satu industri yang cukup banyak di kota Pontianak adalah industri pembuatan tahu. Berdasarkan hasil survei, ada 40 buah industri tahu di kota Pontianak. Industri tahu merupakan industri rakyat yang sampai saat ini masih banyak yang berbentuk usaha perumahan atau industri rumah tangga. Walaupun sebagai industri rumah tangga dengan modal kecil, industri ini memberikan sumbangan perekonomian bagi kota Pontianak dan menyediakan banyak lowongan kerja. Namun pada sisi lain dihasilkan limbah cair yang sangat berpotensi untuk merusak lingkungan.

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu merupakan limbah organik yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme secara alamiah. Namun karena sebagian besar pemrakarsa yang bergerak dalam industri tahu adalah orang-orang yang hanya mempunyai modal terbatas dan tidak memiliki pengetahuan yang cukup mengenai

pentingnya menjaga kebersihan lingkungan, maka perhatian terhadap pengolahan limbah industri tersebut sangat kecil, dan bahkan sebagian besar industri tahu tidak mengolah limbahnya sama sekali dan langsung dibuang ke lingkungan. Kondisi ini sangat tidak menguntungkan dan harus mendapat perhatian yang serius (Darsono, 2007).

Pengolahan limbah cair tahu yang memerlukan ketelatenan dan ketepatan yang cukup tinggi menyebabkan tidak semua industri tahu mampu menerapkan pengolahan limbah cair tahu dalam pabriknya. Hal ini dapat diatasi dengan suatu sistem pengolahan limbah cair yang terotomatisasi sehingga kesulitan dalam mengendalikan proses pengadukan maupun debit aliran limbah cair tidak lagi menjadi alasan bagi industri tahu untuk tidak mengaplikasikan pengolahan limbah cair tahu. Oleh karena itu, penulis berusaha merancang suatu sistem pengolahan limbah cair tahu yang terotomatisasi untuk mempermudah pengolahan limbah cair sehingga dapat diimplementasikan dalam industri pembuatan tahu.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengolah limbah cair tahu menjadi limbah yang relatif aman untuk dibuang serta menghasilkan sistem pengolah limbah cair tahu yang optimal untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD).

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Limbah Cair Tahu**

Limbah cair adalah buangan berbentuk cairan yang dihasilkan dari suatu proses produksi, baik industri maupun domestik (rumah tangga), yang lebih dikenal sebagai sampah, yang kehadirannya pada waktu maupun tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Bila ditinjau secara kimiawi, limbah cair terdiri dari bahan kimia senyawa organik dan senyawa anorganik. Dengan jumlah dan kadar pencemar yang tinggi, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia.

Limbah cair tahu, seperti terlihat pada Gambar 1, adalah limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi tahu. Limbah cair tahu dapat mencemari lingkungan jika limbah cair tersebut dibuang langsung ke badan perairan tanpa proses pengolahan dimana akan terjadi *blooming* (pengendapan bahan organik pada badan perairan), proses pembusukan dan berkembangnya mikroorganisme patogen. Kondisi ini menimbulkan bau busuk dan sumber penyakit, sehingga penetrasi sinar ke dalam air berkurang. Akibatnya terjadi penurunan kecepatan fotosintesis oleh tanaman air dan kandungan oksigen terlarut dalam air menurun secara cepat. Selanjutnya terjadi gangguan pada ekosistem air sehingga kondisi dalam air menjadi tidak mengandung udara atau anaerobik (Sudaryati, 2007).



**Gambar 1.** Kolam Penampungan Limbah Cair Tahu

Air yang digunakan dalam proses produksi tahu  $\pm$  25 liter per 1 kg kedelai. Kedelai sebagai bahan baku tahu yang mengandung protein (34,9 %), karbohidrat (34,8 %), lemak (18,1 %), dan bahan-bahan nutrisi lainnya, oleh karenanya limbah cair yang dihasilkan dapat mengandung bahan organik yang sangat tinggi (Sudaryati, 2007). Bahan organik dalam limbah cair merupakan media yang baik untuk pertumbuhan mikroba. Oleh karena itu, limbah cair industri tahu merupakan salah satu sumber pencemar.

Limbah cair tahu memiliki rata-rata kandungan pencemar yang tinggi, yakni *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 7050 mg/l, *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebesar 5389,5 mg/l, *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 3800 mg/l dan derajat keasaman (pH) 4,11 (Damayanti, 2004). Sementara limbah cair yang memenuhi baku mutu menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: KEP-03/MENLH/I/1998 adalah yang mengandung nilai COD maksimal 100 mg/l, BOD maksimal 50 mg/l, TSS maksimal 200 mg/l, dan nilai pH dalam rentang 6,0 – 9,0.

COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi senyawa-senyawa kimia, sedangkan BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Bahan organik dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Dengan kata lain, BOD adalah banyaknya oksigen (mg/l) yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menetralkan bahan-bahan organik dalam air melalui proses oksidasi biologik secara aerobik dan anaerobik (Suardana, 2007). TSS adalah padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan anorganik yang dapat disaring dengan kertas millipore berpori-pori 0,45  $\mu$ m (Monoarfa, 2002). Nilai COD, BOD dan TSS serta pH dari limbah cair industri tahu menunjukkan bahwa limbah cair tersebut dapat menyebabkan pencemaran jika dibuang tanpa diolah terlebih dahulu.

## 2.2 Pengolahan Limbah Cair Tahu

Dalam upaya mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh limbah cair, maka proses pengolahan limbah wajib dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke badan perairan. Pengolahan limbah cair dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu

---

pengolahan secara fisika, kimia, dan biologi. Pengolahan fisika yang paling sederhana adalah *filtrasi* (penyaringan). Dari penyaringan yang dilakukan, diharapkan tingkat TSS atau kekeruhan limbah cair dapat berkurang. Pengolahan limbah cair secara kimia adalah pengolahan yang menggunakan senyawa-senyawa kimia tertentu untuk mengurangi kadar COD, BOD, maupun TSS. Misalnya penambahan gula atau kapur pada limbah cair untuk menghilangkan bau dari limbah tersebut. Sedangkan pengolahan secara biologi adalah pengolahan limbah cair yang menggunakan mikroorganisme pengurai. Salah satu sistem pengolahan limbah secara biologi yang mengurangi kadar cemaran limbah cair industri adalah dengan sistem lumpur aktif (*activated sludge*). Istilah lumpur aktif digunakan untuk suspensi biologis atau massa mikroba yang sangat aktif mendegradasi bahan-bahan organik yang terlarut. Cara ini dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan mikroba mendegradasi bahan organik kompleks menjadi senyawa stabil dan dapat menurunkan nilai BOD dan COD limbah sekitar 70-95 %. Lumpur aktif juga mampu memetabolisme dan memecah zat-zat pencemar yang ada dalam limbah. Lumpur ini merupakan materi yang tidak larut, biasanya tersusun serat-serat organik yang kaya akan selulosa dan terhimpun kehidupan mikroorganisme (Mustofa, 2000). Pengolahan biologi ini dapat dilakukan secara *anaerob* (anaerobik) maupun *aerob* (aerobik).

Proses pengolahan anaerobik adalah proses pengolahan senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah menjadi gas metana dan karbon dioksida tanpa memerlukan oksigen. Mikroorganisme pengurai limbah akan menguraikan limbah cair tersebut tanpa bantuan oksigen (udara). Sedangkan pengolahan limbah cair secara aerobik adalah pengolahan limbah cair yang menggunakan udara dalam prosesnya.

Sebagian industri tahu di Kota Pontianak telah mengolah limbahnya, tapi pengolahannya hanya sebatas penyaringan dengan menggunakan kain untuk mengurangi kadar kekeruhan limbah cair tersebut. Ada beberapa industri tahu yang telah menggunakan pengolahan secara kimia, yaitu menambahkan kapur ke dalam limbah tahu untuk mengurangi baunya, tetapi kadar pencemarnya (BOD, COD, dan TSS) tidak diukur sebelum dibuang ke lingkungan sekitar sehingga pengolahan seperti itu belum bisa dikatakan layak. Sedangkan pengolahan limbah cair tahu secara biologi belum dilakukan, padahal pengolahan limbah cair tahu secara anaerobik dapat menurunkan nilai COD dari limbah tersebut sebesar 46,645 mg/l dengan waktu retensi 37 hari (Sudaryati, 2007). COD adalah parameter yang penting dalam menentukan pencemaran air oleh limbah industri maupun domestik (Mahvi, 2005).

### **2.3 Mikrokontroler AT89S52**

Mikrokontroler merupakan sebuah chip yang dapat digunakan untuk mengendalikan suatu sistem, baik yang bersifat sederhana maupun kompleks. Chip ini dibuat dengan beberapa ciri khasnya, yaitu memiliki memori internal yang relatif sedikit dengan beberapa varian seperti memiliki unit input/output langsung, memproses bit, memiliki program relatif sederhana yang berhubungan langsung dengan input/output. Sedangkan untuk aplikasinya, sistem ini memiliki karakteristik tersendiri, yaitu memiliki program khusus yang disimpan dalam memori untuk aplikasi tertentu, mengkonsumsi sedikit daya, murah, memiliki rangkaian dan unit input/output yang sederhana dan kompak, serta tahan lama. Chip ini mudah diprogram, sederhana, dan baik untuk para pemula atau profesional di bidang elektronika (Sudjadi, 2005).

Mikrokontroler telah digunakan untuk berbagai aplikasi, misalnya jam digital, pengendali lampu lalu lintas, hingga otak dari robot pengikut garis maupun robot lainnya. Penggunaan mikrokontroler dalam berbagai aplikasi dikarenakan harga mikrokontroler yang tidak mahal dan mudah diprogram. Mikrokontroler mudah ditemukan di pasaran dan memiliki kemampuan *in-system programming*, dimana mikrokontroler AT89S52 dapat diprogram langsung tanpa menggunakan modul *downloader* sehingga bila ingin melakukan perubahan program dapat dilakukan dengan lebih cepat (Utama, 2006).

### 2.3 Signal Interpreted Petri Net (SIPN)

Suatu sistem yang akan dikendalikan umumnya mempunyai spesifikasi informal. Spesifikasi informal ini dapat menimbulkan perbedaan interpretasi. Oleh karena itu, spesifikasi informal dari suatu sistem yang akan dikendalikan harus diubah menjadi spesifikasi formal. Proses konversi suatu spesifikasi informal menjadi spesifikasi formal disebut dengan formalisasi.

Formalisasi merupakan kunci untuk memperoleh solusi sistematis dari suatu persoalan kendali (Frey, 2002). Salah satu bentuk spesifikasi formal yang dapat digunakan adalah *Signal Interpreted Petri Net* (SIPN). Sebuah *petri net* dalam definisi umumnya adalah sistem terotomatisasi. *Petri net* adalah sebuah bahasa pemodelan matematis untuk mendeskripsikan sistem terdistribusi diskrit. Sebuah *petri net* adalah grafik terarah yang melibatkan dua jenis keadaan. *Node-node* yang ada mewakili transisi-transisi (kejadian-kejadian diskrit yang mungkin muncul, dilambangkan dengan *bar*), *place-place* (kondisi-kondisi, dilambangkan dengan lingkaran), dan *arc-arc* yang mempunyai arah (yang menggambarkan *place-place* mana yang merupakan kondisi awal ataupun kondisi akhir dari setiap transisi, dilambangkan dengan tanda panah). *Petri net* awalnya ditemukan pada bulan Agustus 1939 oleh Carl Adam Petri, yang saat itu berusia 13 tahun, untuk mendeskripsikan proses-proses kimia. *Arc-arc* selalu mengarah dari sebuah *place* menuju sebuah transisi atau sebaliknya. *Arc* tidak pernah mengarah dari sebuah *place* menuju *place* yang lain ataupun dari sebuah transisi menuju transisi yang lain. *Place* yang menjadi pangkal dari suatu *arc* yang mengarah ke sebuah transisi disebut sebagai *place* masukan, sedangkan *place* yang merupakan tujuan dari suatu *arc*, yang berpangkal pada sebuah transisi, disebut sebagai *place* keluaran. Algoritma kendali berbasis SIPN dapat dilihat pada Gambar 2. SIPN mempunyai struktur sebagai berikut:

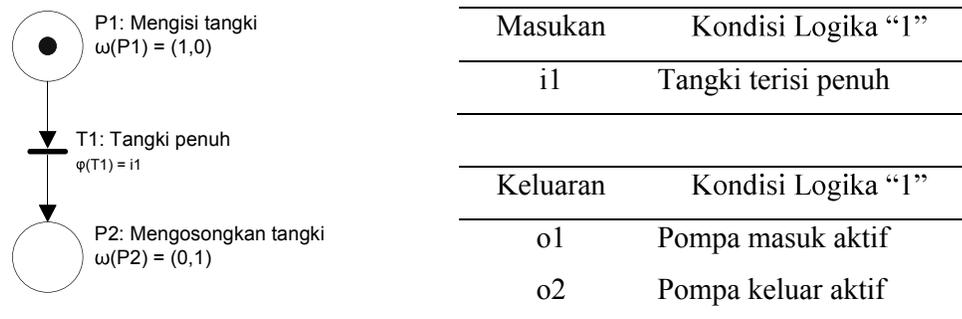
$$SIPN = (P, T, F, m_0, i, o, \varphi, \omega, \Omega) \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- $(P, T, F, m_0)$  adalah sama dengan *petri net* konvensional, P adalah jumlah set terbatas dari *place*, T dari transisi, F dari *arc*, dan  $m_0$  adalah penandaan awal.
- $i$  adalah set terbatas yang tidak kosong dari sinyal masukan logika.
- $o$  adalah set terbatas yang tidak kosong dari sinyal keluaran logika.
- $\varphi$  adalah sebuah pemetaan yang mengasosiasikan setiap transisi dengan sebuah kondisi penembakan atau *firing* (fungsi Boolean pada  $i$ ).
- $\omega$  adalah sebuah pemetaan yang mengasosiasikan setiap *place* dengan sebuah keluaran:  $p \rightarrow \{-1, 0\}^{|0|}$ .
- $\Omega m \rightarrow \{-1, 0, c\}^{|0|}$  fungsi keluaran pada sebuah SIPN.

SIPN juga mempunyai dinamika, yaitu sebagai berikut:

- Sebuah transisi *enable*, jika *pre-place*-nya ditandai dan *post-place*-nya tidak.
- Sebuah transisi yang *enable* akan menembak dengan segera jika kondisi penembakannya dipenuhi.
- Jika beberapa transisi dapat menembak, maka transisi-transisi tersebut akan menembak secara simultan.
- Proses penembakan diiterasikan sampai sebuah penandaan yang stabil dicapai (*iterative firing*). Ketika penembakan pada sebuah transisi dimaksudkan untuk tidak mempertimbangkan waktu, penembakan beriterasi diinterpretasikan bekerja secara simultan.
- Proses penembakan bekerja sebagai berikut: *place* masukan tidak ditandai dan *place* keluaran ditandai.
- Setelah kestabilan penandaan baru dicapai, sinyal keluaran dikalkulasikan.
- Setelah itu masukan-masukan baru dideteksi dan diproses.



**Gambar 2.** Algoritma Kendali Berbasis SIPN

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam perancangan pembuatan alat ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur, dengan mempelajari berbagai referensi mengenai limbah cair tahu dan produk elektronika yang berkaitan dengan perancangan alat ini.
2. Observasi dengan mengamati dan memperhatikan komponen-komponen elektronika yang akan digunakan dalam perancangan alat ini.
3. Perancangan dengan mengimplementasikan berbagai komponen elektronika ke dalam perangkat ini, melakukan formalisasi terhadap spesifikasi informal dari sistem pengolahan limbah cair tahu, dan melakukan pemrograman pengendali.
4. Pengujian dan analisa dengan mencoba berbagai aktivitas guna menguji kemampuan perangkat ini serta mengukur dan menganalisa hasil pengolahan limbah cair tahu.

### 4. HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Spesifikasi Rancangan

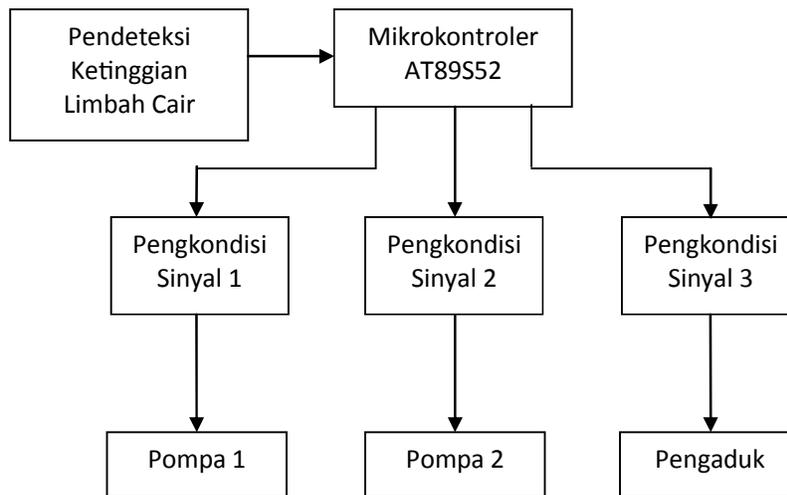
Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Mikrokontroler AT89S52 sebanyak 1 buah.
2. *Power supply* 12 volt sebanyak 1 buah.

3. *Power supply* 5 volt sebanyak 1 buah.
4. Rangkaian pendeteksi ketinggian permukaan limbah cair tahu dengan memanfaatkan elektroda.
5. Pompa air 125 watt sebanyak 1 buah.
6. Pompa air 18 watt sebanyak 1 buah.
7. Motor DC sebagai pengaduk sebanyak 1 buah.

## 4.2 Perancangan Sistem

Rancangan sistem kendali otomatis proses pengolahan limbah cair tahu ini adalah alat bantu untuk mengolah limbah cair tahu secara otomatis. Diagram blok rancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 3.

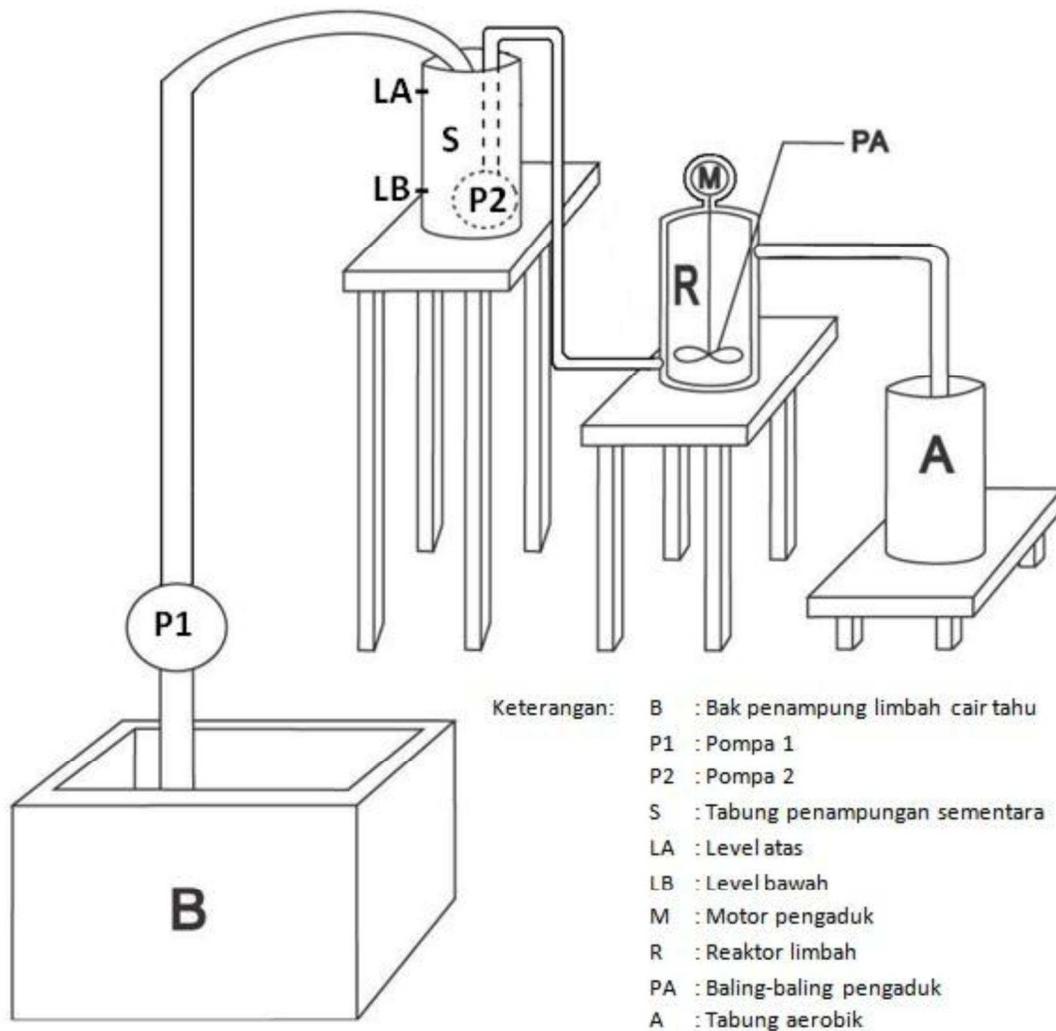


**Gambar 3.** Diagram Blok Rancangan Sistem

Pengolahan limbah cair tahu memerlukan kondisi-kondisi yang khusus agar dapat berjalan dengan baik. Pengolahan limbah cair tahu yang baik akan mengurangi kadar pencemar dalam limbah cair tahu tersebut secara optimal. Kondisi-kondisi yang dimaksud adalah:

1. Aliran limbah cair tahu ke dalam reaktor (tabung anaerobik) tidak boleh terlalu deras.
2. Pengadukan limbah dalam reaktor harus secara perlahan dan tidak boleh terlalu lama.

Sistem akan mengolah limbah cair tahu dalam tabung anaerobik selama 3 hari. Di dalam tabung anaerobik, limbah cair tahu akan diaduk secara perlahan selama 1 menit dan didiamkan selama 59 menit secara berulang-ulang. Setelah 3 hari, limbah cair tahu yang baru akan dipompa masuk ke dalam tabung anaerobik dan limbah cair tahu yang telah diolah akan terdorong keluar menuju tabung aerobik. Pengolahan anaerobik adalah pengolahan hampa udara (tanpa oksigen) sedangkan pengolahan aerobik adalah pengolahan yang melibatkan udara. Rancangan fisik sistem kendali otomatis proses pengolahan limbah cair tahu dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Rancangan Fisik Sistem

### 4.3 Implementasi

Perancangan dan implementasi sistem kendali otomatis proses pengolahan limbah cair tahu ini menggunakan mikrokontroler sebagai komponen utamanya. Mikrokontroler yang digunakan adalah keluaran ATMEL dengan tipe AT89S52. Jumlah I/O pada mikrokontroler ini sebanyak 32 buah sehingga cukup menggunakan 1 buah mikrokontroler.

Perancangan sistem ini secara umum terdiri dari 2 bagian, yaitu perancangan *hardware* dan perancangan *software*. Perancangan *hardware* terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Perancangan sistem minimum mikrokontroler AT89S52.
2. Perancangan *power supply*.
3. Perancangan rangkaian pendeteksi ketinggian permukaan limbah cair.

#### 4. Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal.

Perancangan rangkaian pengkondisi sinyal memanfaatkan karakteristik transistor yang tidak dapat dialiri arus pada keadaan *off* (terbuka) dan tidak mempunyai tegangan jatuh pada keadaan *on* (tertutup). Jika sebuah transistor berada dalam keadaan saturasi, transistor seperti sebuah saklar yang tertutup dari kolektor ke emitor (Malvino, 1985). Sedangkan pada keadaan *cut-off*, transistor tidak akan melewatkan arus, hal ini menyerupai karakteristik sebuah saklar yang terbuka.

Perancangan *software* dilakukan dengan menggunakan *Assembler* ASM51 yang kemudian akan di-*download* ke dalam mikrokontroler. Sebelum melakukan pemrograman, penulis melakukan perancangan *hardware* terlebih dahulu. Hal ini dilakukan agar dapat mempermudah penulis dalam melakukan pengecekan apabila terdapat kesalahan dalam melakukan pemrograman.

### 4.3 Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap alat-alat yang telah dirancang. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah alat yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik. Hasil pengujian sistem minimum mikrokontroler AT89S52 dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa sistem minimum yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik dan memenuhi kriteria untuk rancangan alat yang dibuat.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Minimum Mikrokontroler AT89S52

No.	Kondisi	Tegangan	Arus
1.	Logika 0	0 volt	0 Ampere
2.	Logika 1	3,11 volt	0,006 Ampere

Pengujian yang dilakukan berikutnya adalah pengujian rangkaian *power supply*. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2. Tegangan 14,76 volt digunakan untuk rangkaian pendeteksi ketinggian permukaan limbah cair tahu dan rangkaian pengkondisi sinyal, sedangkan tegangan 5,02 volt digunakan untuk sistem minimum mikrokontroler.

Tabel 2. Hasil Pengujian Rangkaian *Power Supply*

No.	Tegangan Masukan	Tegangan Keluaran
1.	13,13 volt	14,76 volt
2.	6,54 volt	5,02 volt

Pengujian dilanjutkan pada rangkaian pendeteksi ketinggian permukaan limbah cair. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian yang dirancang dapat bekerja dengan baik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Rangkaian Pendeteksi Ketinggian Permukaan Limbah Cair

No.	Elektroda	Kondisi	Sinyal Keluaran
1.	Batas atas	Tabung penuh	5 volt
2.		Tabung tidak penuh	0 volt

3.	Batas bawah	Tabung kosong	0 volt
4.		Tabung tidak kosong	5 volt

Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap rangkaian pengkondisi sinyal. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

No.	Kondisi	Tegangan Keluaran
1.	Logika 0	0 volt
2.	Logika 1	14,7 volt

Setelah semua selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan. Unjuk-kerja sistem dapat dilihat dari penurunan kandungan COD dalam limbah cair tahu yang telah diolah serta konsumsi daya keseluruhan rangkaian.

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran kandungan COD dalam limbah cair tahu yang telah diolah. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lamanya proses pengolahan limbah cair tahu di dalam reaktor yang paling optimal adalah selama 72 jam. Rata-rata persentase pengurangan nilai COD dalam limbah cair tahu setelah melalui proses pengolahan selama 72 jam adalah sebesar 83,98 %.

Tabel 5. Optimasi Pengolahan Limbah Cair Tahu Dalam Reaktor

Nilai COD Sebelum Diolah (mg/l)	Rata-Rata Nilai COD Setelah Diolah (mg/l)				Rata-Rata Persentase Pengurangan Nilai COD (%)			
	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam
22080	14425,6	10892,8	3536	12364,8	34,67	50,67	83,98	44

Tabel 6 menyajikan data hasil pengukuran konsumsi energi yang dilakukan terhadap keseluruhan rangkaian. Walaupun lamanya proses pengolahan bervariasi, namun energi listrik yang dikonsumsi oleh pompa 1 dan pompa 2 tidak variatif. Hal ini dikarenakan pompa 1 dan pompa 2 hanya aktif pada permulaan proses, yaitu pompa 1 untuk mengisi limbah cair tahu ke tabung penampungan sementara dan pompa 2 untuk mengisi limbah cair tahu ke dalam reaktor limbah.

Tabel 4.3. Konsumsi Energi Listrik Sistem Pengolahan Limbah Cair Tahu

No.	Lama Pengolahan	Keterangan	Konsumsi Daya (watt)	Waktu Operasi (s)	Konsumsi Energi (WH)	Total Konsumsi Energi (WH)
1	24 Jam	Pompa 1	125	90	3,125	353,94
		Pompa 2	18	5	0,025	
		Pengaduk	6,3	1320	2,31	
		Pengendali	14,52	86400	348,48	
2	48 Jam	Pompa 1	125	90	3,125	704,94
		Pompa 2	18	5	0,025	
		Pengaduk	6,3	2760	4,83	
		Pengendali	14,52	172800	696,96	
3	72 Jam	Pompa 1	125	90	3,125	1055,94

		Pompa 2	18	5	0,025	
		Pengaduk	6,3	4200	7,35	
		Pengendali	14,52	259200	1045,44	
		Pompa 1	125	90	3,125	
4	96 Jam	Pompa 2	18	5	0,025	1406,94
		Pengaduk	6,3	5640	9,87	
		Pengendali	14,52	345600	1393,92	

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pengamatan yang dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Sistem kendali otomatis proses pengolahan limbah cair tahu yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik.
2. Pengolahan limbah cair tahu dalam reaktor yang paling optimal adalah selama 72 jam atau 3 hari dengan rata-rata persentase pengurangan nilai COD sebesar 83,98 %.
3. Konsumsi energi sistem pengolahan limbah cair tahu selama 72 jam tidak terlalu besar, yaitu 1055,94 WH.

## DAFTAR RUJUKAN

- Astuti, D., 2004, Uji Toksisitas Limbah Cair Msg (Mono Sodium Glutamat) terhadap Ikan Nila (*Tillapia nilotica*) di Palur Karanganyar. *Infokes*, Vol.8. hal.1-10.
- Damayanti, A., J. Hermana, dan A. Masduqi., 2004, Analisis Resiko Lingkungan dari Pengolahan Limbah Pabrik Tahu dengan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*), *Jurnal Purifikasi*, Vol.5. hal.151-156.
- Darsono, V., 2007, Pengolahan Limbah Cair Tahu Secara Anaerob dan Aerob. *Jurnal Teknologi Industri*, Vol.11. hal.9-20.
- Frey, G., 2002, *Design and Formal Analysis of Petri Net Based Logic Control Algorithms*, Aachen – Germany: Shaker Verlag.
- Mahvi, A. H., E. Bazrafshan, and Gh. R. Jahed., 2005, Evaluation of COD Determination by ISO, 6060 Method, Comparing with Standard Method (5220, B), *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol.8. pp.892-894.
- Malvino, Albert Paul, 1985, *Prinsip-Prinsip Elektronika*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Monoarfa, W., 2002, Dampak Pembangunan bagi Kualitas Air di Kawasan Pesisir Pantai Losari, *Makassar Sci & Tech*, Vol.3. hal.37-44.
- Mustofa, H. A., 2000, *Kamus Lingkungan*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Suardana, I. W., 2007, Karakterisasi Limbah Cair Rumah Pematangan Hewan Pesanggaran, *Animal Production*, Vol.9. hal.116-122.

- Sudaryati, N. L. G., I. W. Kasa, dan I. W. B. Suyasa., 2007, Pemanfaatan Sedimen Perairan Tercemar sebagai Bahan Lumpur Aktif dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu, *Ecotrophic*, Vol.3. hal.21-29.
- Sudjadi., 2005, *Teori dan Aplikasi Mikrokontroler*, Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Usman., 2008, *Teknik Antarmuka + Pemrograman Mikrokontroler AT89S52*, Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Utama, H. S., S. M. Isa, dan A. Indragunawan., 2006, Perancangan dan Implementasi Sistem Otomatisasi Pemeliharaan Tanaman Hidroponik, *Jurnal Teknik Elektro*, Vol.8. hal.1-4.