

## RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI PROSES SPUTTERING DENGAN MIKROKONTROLER

Taxwim, Yunanto, Sayono

Puslitbang Teknologi Maju BATAN Yogyakarta

### ABSTRAK

**RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI PROSES SPUTTERING DENGAN MIKROKONTROLER.** Salah satu peralatan sputtering di laboratorium Akselerator P3TM-BATAN Yogyakarta pengoperasiannya masih dilakukan secara manual. Pengoperasian secara manual tersebut memiliki kelemahan yaitu ketelitian yang rendah dan pengoperasian yang tidak praktis. Oleh karena itu telah dirancang suatu sistem kendali otomatis pada proses sputtering berbasis mikrokontroler. Sistem otomatisasi proses sputtering terdiri dari hardware dan software yang meliputi tombol panel timer, modul mikrokontroler, display timer, modul opto-coupler dan modul sensor suhu. Dengan menekan salah satu tombol panel timer maka display timer dan modul opto-coupler akan aktif. Modul opto-coupler akan mengaktifkan pompa vakum dan tegangan tinggi DC. Sensor suhu difungsikan untuk menjaga agar elemen-elemen didalam tabung sputtering tidak rusak, yaitu dengan cara menetapkan nilai suhu  $70^{\circ}\text{C}$  di modul mikrokontroler dari suhu tabung sebesar  $80^{\circ}\text{C}$ . Pengujian dilakukan dengan mencari selisih waktu penelitian dengan waktu acuan. Hasil sampel proses sputtering berupa Aluminium-Seng dengan melakukan pengujian pada XRF diperoleh kesamaan ketebalan lapisan tipis sebesar 80 netto dengan selisih toleransi sebesar 2 %. Sistem kendali manual yang ada dapat digantikan dengan sistem otomatis berbasis mikrokontroler AT89C51. Ketelitian sistem pada timer 10 menit sebesar 99,9819 %, pada timer 15 menit sebesar 99,9909 %, pada timer 20 menit sebesar 99,9884 %, pada timer 25 menit sebesar 99,9936 % dan pada timer 30 menit sebesar 99,9966 %.

**Kata kunci:** sputtering, pewaktu, kontrol suhu, mikrokontroler

### ABSTRAK

**MICROCONTROLLER BASES AUTOMATIZATION SYSTEM FOR SPUTTERING PROCESS.** There is sputtering equipment at Accelerator laboratory of P3TM-BATAN Yogyakarta which is operated manually. The disadvantage of the manually operation are low precision and impractical operation. Therefore a microcontroller based automatic control system for sputtering process has been made. The system consists of hardware and software, namely timer panel button, module of microcontroller, timer displayed, module of opto-coupler and modul.of temperature sensor. By pushing one of the timer panel button hence the display module and timer of opto-coupler will be active. The module of opto-coupler activates vacuum pump and DC high voltage. The role of temperature sensor is protection of elements in sputtering tube by determining temperature value of  $70^{\circ}\text{C}$  in module of microcontroller, where as the tube temperature is  $80^{\circ}\text{C}$ . The test of the system was done by comparing the time difference between measurement time and reference time. The result of sample process sputtering of Aluminum zing by XRF obtained by thick equality of thin film equal to 80 net with tolerance difference equal 2 %. The Manual control system can be replaced with automatic system base on AT89C51 microcontroller. The precision of the system of timer at 10 minute was equal 99.9819 %, timer at 15 minute was equal 99.9909 %, timer at 20 minute was equal 99.9884 %, timer at 25 minute was equal 99.9936 % and timer at 30 minute was equal 99.9966

**Keyword:** sputtering, timer, temperature control, microcontroller

## PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan ketahanan aus atau ketahanan korosi suatu bahan salah satu metode yang dipakai adalah menggunakan teknik *sputtering*. *Sputtering* adalah suatu peristiwa lepasnya atom dari suatu bahan karena ditumbuki partikel berenergi. Lepasnya atom dari permukaan bahan tersebut menuju ke segala arah dan masih mempunyai energi. Besarnya energi atom yang terlepas tergantung dari tenaga ion penumbuk, daya ikat bahan yang ditumbuki dan sudut datangnya partikel. Dengan demikian atom yang terlepas dapat merekat pada bahan lain dengan daya ikat yang cukup kuat.

Selama ini untuk menentukan waktu deposisi hanya menggunakan pewaktu dan masih manual sehingga ketelitiannya kurang baik. Pengendalian secara manual yang dilakukan oleh seorang operator selain memiliki kelemahan-kelemahan fundamental, seperti ketelitiannya rendah dan pengoperasian yang tidak praktis juga mengandung resiko yang tinggi. Dikarenakan manusia memiliki sifat-sifat kelelahan fisik dan psikis maka pengendalian secara manual dapat menyebabkan *human error* yang tinggi. Atas dasar kenyataan tersebut perlu dilakukan usaha-usaha pengendalian proses *sputtering* secara otomatis.

Selama proses *sputtering* berlangsung, dengan digunakan pewaktu berupa *timer analog* ada kemungkinan suhu pada tabung *sputtering* meningkat pesat mencapai suhu yang tinggi (*overheat*) sehingga pada proses tersebut dapat menimbulkan beberapa masalah. Masalah yang muncul pada pengendalian proses *sputtering* secara manual, yaitu kerusakan pada elemen dalam tabung *sputtering*, akurasi waktu pada *timer* yang rendah atau tidak spesifik dan pengoperasian yang tidak praktis. Dengan adanya keterbatasan sistem pengendali *timer analog* tersebut, maka perlu diupayakan suatu sistem kendali agar persoalan-persoalan fundamental pengendalian yang terjadi dapat teratasi sekaligus mengurangi resiko pengoperasian.

Sistem pengendalian secara otomatis sangat dibutuhkan pada proses *sputtering* agar diperoleh hasil yang optimal, yaitu dengan memperoleh hasil proses yang seragam. Dalam hal ini, pengendalian proses tersebut akan diterapkan atau diaplikasikan dengan pewaktu (*timer*) untuk penggunaan proses *sputtering* (pendeposisian lapisan tipis) atau proses

perpaduan dua bahan di tabung *sputtering*. Pada penelitian ini akan dirancang perbaikan sistem pengendalian pada proses *sputtering* yang secara manual menjadi sistem pengendalian secara otomatis dengan berbasis mikrokontroler AT89C51. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji sistem otomatisasi proses *sputtering* berbasis mikrokontroler AT89C51 agar dapat memperbaiki kinerja sistem yang telah ada. Hasil rancangan *prototype* pada penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi pada penggantian sistem kendali manual dengan sistem kendali otomatis untuk pengendalian proses *sputtering* dan sejenisnya yang menggunakan *timer* sebagai proses kendali.

## TATA KERJA

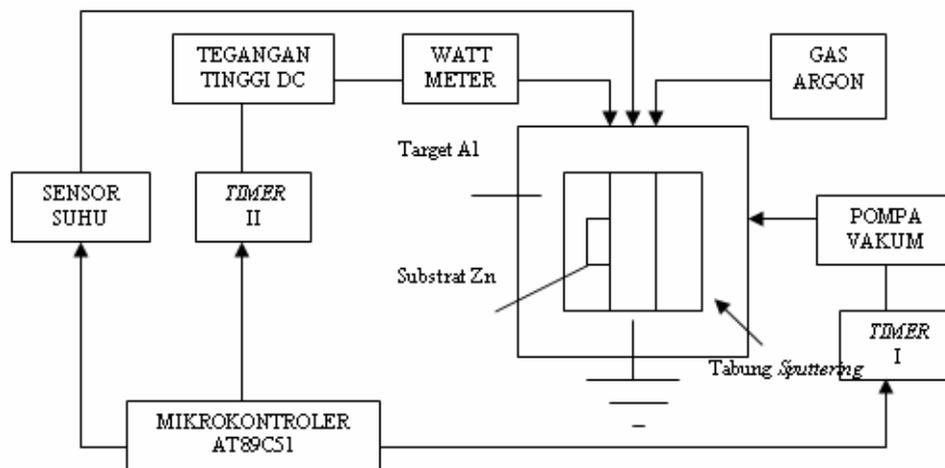
Sistem otomatisasi proses *sputtering* berbasis mikrokontroler ini menggunakan komponen elektronik antara lain : transduser suhu yang digunakan adalah jenis IC LM35. Penguat transduser suhu yang digunakan adalah op-amp LM 308. Display *timer* menggunakan IC 74LS90 dan IC 74LS92 sebagai pencacah decoder serta IC 74LS247 sebagai konverter BCD ke penampil *seven segment* dan sebagai sistem pengolah data dari sistem ini menggunakan mikrokontroler AT89C51.

### Perangkat Keras

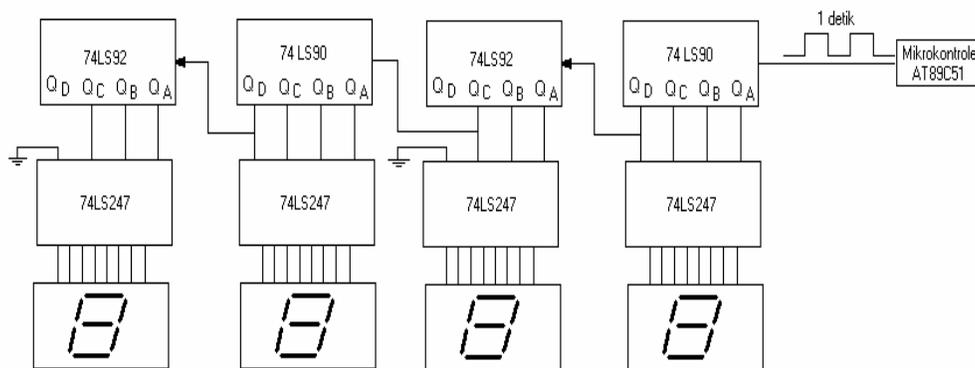
Secara garis besar, diagram kotak proses *sputtering* berbasis mikrokontroler AT89C51 dapat dilihat pada Gambar 1.

### Sistem Penampil

Display *timer* digital dirancang dengan menggunakan penampil tujuh segmen dengan perkiraan waktu menit dan detik yang digunakan sebagai penampil waktu proses metode *sputtering*. Frekuensi untuk menghidupkan display *timer* digital diambil dari mikro-kontroler AT89C51 dengan perhitungan keluaran frekuensi selama 1 detik melalui perintah pemrograman. Frekuensi keluaran dari mikrokontroler masuk ke pencacah dekode IC 74LS90 dan IC 74LS92 yang kemudian keluaran dari IC tersebut masuk ke IC pengubah bilangan BCD ke tujuh segmen yakni IC 74LS247. Diagram blok display *timer* digital dapat dilihat pada Gambar 2<sup>[1]</sup>.



Gambar 1. Diagram Kotak Proses *Sputtering* Berbasis Mikrokontroler AT89C51.



Gambar 2. Diagram Blok *Timer Digital*.

**Sensor Suhu**

Pada modul sensor suhu terdiri dari IC LM35 dan rangkaian penguat op-amp dengan menggunakan IC 308<sup>[2]</sup>. Sensor suhu tersebut digunakan untuk melindungi elemen-elemen yang ada di dalam tabung *sputtering* dari suhu yang tinggi (sebesar 400 °C suhu dalam tabung) dengan cara memberi batasan suhu maksimum pada sensor suhu (sebesar 80 °C suhu pada sisi tabung) dari proses metode *sputtering* sehingga pada saat proses metode *sputtering* dijalankan dan suhu pada tabung meningkat pesat, tepat mengenai batasan suhu yang ditetapkan pada

sensor suhu maka proses yang sedang berjalan segera terhenti melalui program yang ada di dalam mikrokontroler. Batasan suhu yang ditetapkan pada sensor suhu sebesar 70 °C diasumsikan sebagai suhu maksimum yang ada di dalam tabung *sputtering*. Pemberian nilai batasan suhu tersebut tidak sampai 80 °C (sama dengan 400 °C suhu di dalam tabung) karena pada saat proses dihentikan suhu yang ada di dalam tabung tidak segera berhenti melainkan meningkat sebesar 10 °C. Oleh karena itu, pemberian nilai batasan suhu sebesar 70 °C mencegah agar elemen-elemen di dalam tabung *sputtering* tidak sampai rusak atau terbakar.

### Sistem Panel

Pada tombol panel terdiri dari 1 tombol *reset* dan 5 tombol waktu *timer* yang telah ditetapkan, yaitu dengan nilai waktu sebesar 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Masing-masing waktu tersebut dipotong 5 menit untuk proses kevakuman tabung *sputtering* melalui pompa vakum. Sisa waktu dari waktu yang telah terpakai untuk kevakuman tabung *sputtering* digunakan untuk menghidupkan tegangan DC tinggi sebesar 0 - 1500 V sampai akhir waktu yang ditetapkan. Gambar 3 menunjukkan tombol panel otomatisasi proses *sputtering* berbasis mikrokontroler AT89C51.

### Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak diawali dari diagram alir seperti pada Lampiran 1 sebagai gambaran umum langkah dan perintah pada mikrokontroler AT89C51<sup>[3]</sup>.

#### a. Proses Inisialisasi Sistem

Masing-masing port, register-register, dan alamat awal program pada modul *downloader* AT89C51 di-*setting* atau di konfigurasi sesuai dengan fungsi-fungsi yang akan digunakan dalam sistem otomatisasi proses *sputtering*, yaitu inisialisasi *port 0*, *port 1*, *port 2* dan *port 3*, dan register-register pada AT89C51 yang berhubungan dengan *port-port* tersebut.

#### b. Proses pembacaan keypad (pilih *timer*)

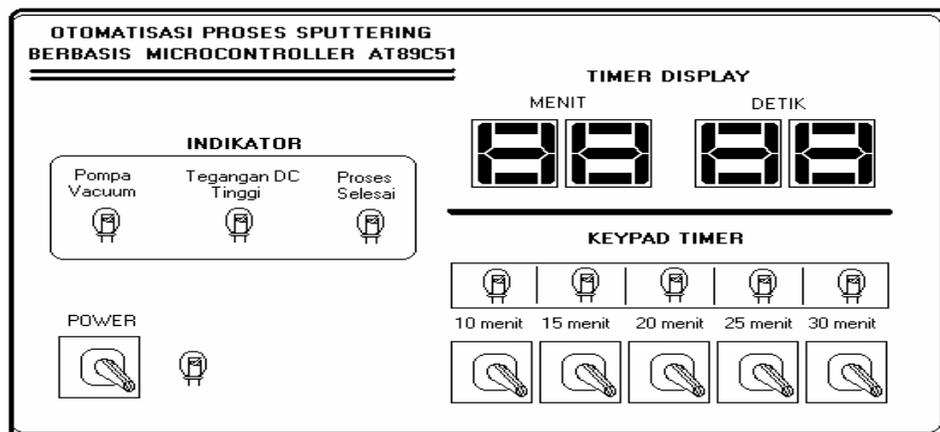
Pada proses ini, *port 3* yang digunakan sebagai pemilihan waktu *timer* yang telah ditetapkan meliputi waktu *timer* 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit.

#### c. Proses pembacaan suhu

Pada proses ini port 2 yang dikonfigurasi sebagai masukan ADC 0804, yaitu masukan dari penguat transduser suhu LM 35.

#### d. Proses pengaktifan *timer*

Pada saat *timer* diaktifkan maka indikator LED untuk pompa vakum hidup beserta aktifnya pompa vakum. Selisih antara pengaktifan *timer* dengan aktifnya pompa vakum sebesar 1 mikro-detik. Karena di dalam bahasa *assembly* mikrokontroler AT89C51, selisih waktu antara instruksi pengalamatan baris pertama dengan kedua adalah 1 mikro-detik (Agfianto<sup>[3]</sup>). Waktu selisih tersebut juga sama dengan penghidupan tegangan DC tinggi dan akhir dari proses. Pada saat *timer* sama dengan 3 menit, tegangan DC tinggi akan aktif beserta indikator LED-nya. Setelah itu, *timer* beserta pompa vakum dan tegangan DC tinggi akan terus aktif sampai akhir waktu yang dipilih. Dan pada akhir waktu proses, *timer* berhenti lalu pompa vakum dan tegangan DC tinggi juga berhenti. Untuk indikator LED pada kedua proses yakni pompa vakum dan tegangan DC tinggi juga mati berganti dengan hidupnya indikator LED untuk status proses telah selesai.



Gambar 3. Tombol Panel Otomatisasi Proses *Sputtering* berbasis Mikrokontroler.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perancangan dan pembuatan otomatisasi proses *sputtering* (pendeposisian lapisan tipis) berbasis mikrokontroler AT89C51, maka dilakukan uji coba *prototype* secara bertahap dan setelah mendapatkan hasil yang baik, maka langkah selanjutnya dilakukan percobaan seluruh rangkaian sistem pengatur waktu.

#### Pewaktu

Perbandingan *setting* waktu dilakukan dengan membandingkan *setting timer* dengan *stopwatch* sebagai pewaktu acuan, untuk 5 kombinasi *setting* waktu yang telah ditentukan, yaitu 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Hasil data perbandingan waktu yang dihasilkan *timer* dengan *stopwatch*, terlihat dalam tabel Lampiran 2. Dari hasil data perbandingan waktu sebagaimana dalam tabel Lampiran 2 maka dapat dihitung koreksi faktor kesalahan dari selisih waktu yang dihasilkan, dengan menggunakan persamaan

$$Faktor\ kesalahan = \frac{|Pewaktu\ acuan - Pewaktu\ Penelitian|}{Pewaktu\ acuan} \times 100\%$$

faktor kesalahan data *timer* 10 menit.

- Pewaktu penelitian = 10 menit = 600 detik.

- Pewaktu acuan (*stopwatch*) = 10:00.21 menit = 600,21 detik

$$\begin{aligned} \text{Faktor kesalahan} &= \frac{|600,21 - 600|}{600,21} \times 100\% \\ &= \frac{|0,21|}{600,21} \times 100\% \\ &= 0.035\% \end{aligned}$$

Kesalahan rerata dapat dihitung :

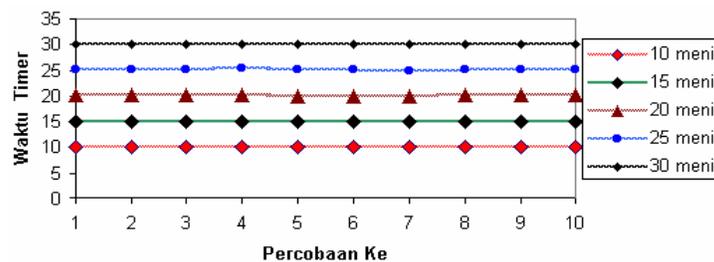
$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum x_i}{n} \\ \bar{x} &= \frac{0,181}{10} \\ \bar{x} &= 0,0181\% \\ Q_n &= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \\ Q_n &= \sqrt{\frac{0,0010816}{10}} \\ Q_n &= \sqrt{0,00010816} \\ Q_n &= 0,0104\% \end{aligned}$$

dengan  $x_i$  menyatakan data presentase faktor kesalahan, dan n menyatakan jumlah data.

Presentase faktor kesalahan yang ditimbulkan *timer* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Kesalahan Rerata dan Standar Deviasi pada Waktu *Timer*

No.	Waktu <i>Timer</i> (menit)	Kesalahan Rerata ( $\bar{x}$ )	Ketelitian	Standar Deviasi ( $Q_n$ )
1.	10 menit	0.0181 %	99,9819 %	0.0104 %
2.	15 menit	0.0091 %	99,9909 %	0.0087 %
3.	20 menit	0.0116 %	99,9884 %	0.0053 %
4.	25 menit	0.0064 %	99,9936 %	0.0052 %
5.	30 menit	0.0034 %	99,9966 %	0.0026 %



Gambar 4. Grafik waktu *Timer* digital terhadap waktu acuan *Stopwatch*.

### Tranduser suhu

Pengujian suhu yang merupakan data variable masukan untuk menentukan setpoint dan kalibrasi pada temperature disisi tabung sputtering, perlu dilakukan sebagai kalibrasi nilai suhu dan nilai digital yang dihasilkan oleh sensor suhu, sehingga ketika suhu pada proses sputtering bernilai 70 °C maka tranduser suhu

akan memberikan respon pada mikrontroler untuk memetikan proses sputtering dengan memutuskan hubungan pada modul *opto coupler* dan proses berakhir, hal ini merupakan salah satu sistem pengamanan untuk menjaga agar elemen-elemen didalam tabung *sputtering* tidak rusak.

Tabel 2 adalah hasil konversi dari sensor suhu.

**Tabel 2. Hasil konversi suhu ke digital.**

No.	Suhu (°C)	Kode (Heksadesimal)	Data Digital ADC0804 pada LED (Biner)							
			P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0
1.	100	82 H	1	0	0	0	0	0	1	0
2.	98	81 H	1	0	0	0	0	0	0	1
3.	95	7F H	0	1	1	1	1	1	1	1
4.	93	7A H	0	1	1	1	1	0	1	0
5.	90	75 H	0	1	1	1	0	1	0	1
6.	87	73 H	0	1	1	1	0	0	1	1
7.	85	70 H	0	1	1	1	0	0	0	0
8.	83	6D H	0	1	1	0	1	1	0	1
9.	80	67 H	0	1	1	0	0	1	1	1
10.	78	65 H	0	1	1	0	0	1	0	1
11.	75	63 H	0	1	1	0	0	0	1	1
12.	73	60 H	0	1	1	0	0	0	0	0
13.	70	55 H	0	1	0	1	0	1	0	1
14.	68	53 H	0	1	0	1	0	0	1	1
15.	65	50 H	0	1	0	1	0	0	0	0
16.	63	4D H	0	1	0	0	1	1	0	1
17.	60	48 H	0	1	0	0	1	0	0	0
18.	57	45 H	0	1	0	0	0	1	0	1
19.	55	43 H	0	1	0	0	0	0	1	1
20.	53	41 H	0	1	0	0	0	0	0	1
21.	50	3F H	0	0	1	1	1	1	1	1
22.	48	3D H	0	0	1	1	1	1	0	1
23.	45	3B H	0	0	1	1	1	0	1	1
24.	40	33 H	0	0	1	1	0	0	1	1
25.	38	30 H	0	0	1	1	0	0	0	0

### Pengujian Sampel

Hasil pengujian sampel Aluminium yang diperoleh dari berbasis mikrokontroler AT89C51 tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Dengan menerapkan tegangan DC tinggi yang sama, sebesar 480 V dan tingkat kevakuman yang sama pula, yakni  $10^{-1}$  mbar serta waktu proses yang sama yaitu 15 menit pada tiap-tiap sampel dan pada pengujian diterapkan waktu pengujian yang sama pula yakni 10 menit

**Tabel 3. Hasil Pengujian Lapisan Tipis pada Seng (ZN) menggunakan XRF.**

Sampel	Net Area Seng (Netto)
1	82
2	80
3	83
4	80
5	85

Dengan mendapatkan hasil *Net Area* (Netto) atau ketebalan lapisan tipis Seng (Zn) pada bahan Aluminium (Al) saat penelitian bahwasanya hasil sampel yang diperoleh pada penelitian dikatakan sama, dengan persentase rata-rata ketebalan lapisan tipis sebesar 2 % , dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Selisih ketebalan hasil pengujian lapisan tipis pada Seng (ZN) menggunakan XRF.**

Sampel	Standard Net Area Seng	Net Area Seng (Netto)	Selisih Ketebalan
1	80	82	2
2	80	80	0
3	80	83	3
4	80	80	0
5	80	85	5

Persentase rata-rata dapat dicari dengan persamaan sbb:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{2+0+3+0+5}{5} = \frac{10}{5} = 2\%$$

Ketidaksamaan hasil tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor seperti pada tegangan DC tinggi yang tidak stabil, area pengujian sampel yang tidak sama dan media sampel yang tidak merata dan sebagainya.

### KESIMPULAN

Dari hasil pelaksanaan yang telah dilakukan dalam penelitian berbasis mikrokontroler AT89C51 ini, dapat disimpulkan bahwa:

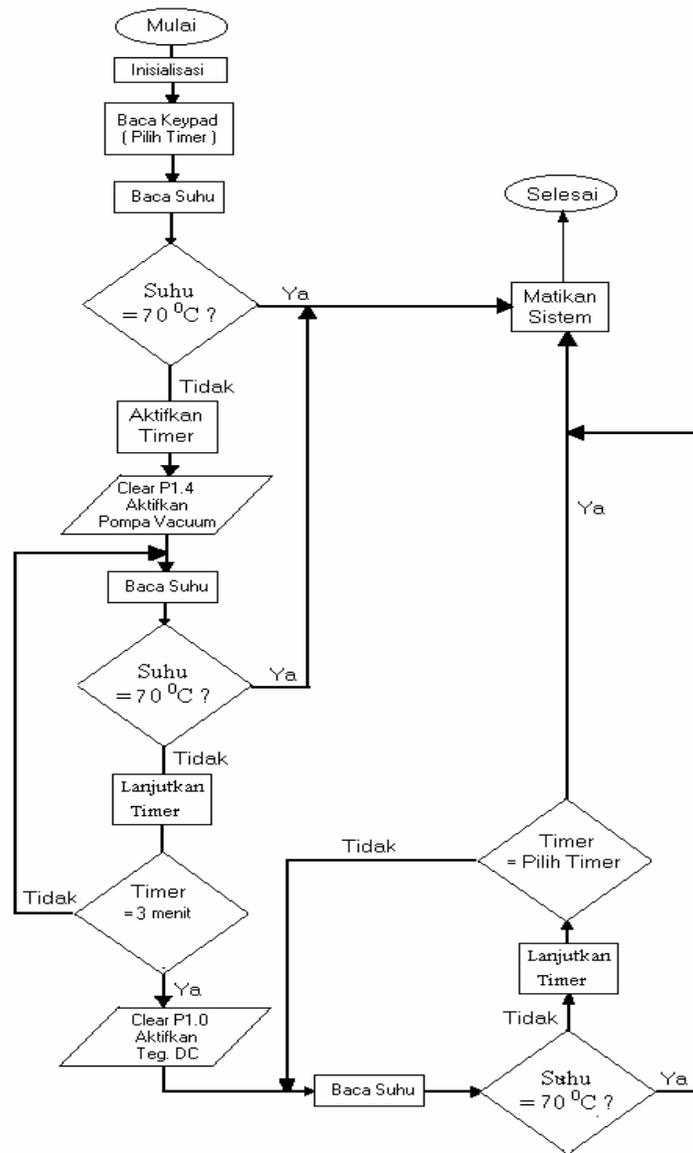
1. Otomatisasi pada proses *sputtering* berbasis mikrokontroler AT89C51 yang telah dirancang, dapat direalisasikan dengan hasil sesuai kinerja yang diinginkan.
2. Pada sistem *timer* 10 menit mempunyai ketelitian 99,9819 %, *timer* 15 menit mempunyai ketelitian 99,9909 %, *timer* 20 menit mempunyai ketelitian 99,9884 %, *timer* 25 menit mempunyai ketelitian 99,9936 %, dan *timer* 30 menit mempunyai ketelitian 99,9966 %.
3. Proses yang dilakukan secara otomatis lebih menguntungkan dari segi keefisienan sistem yang hanya dengan menekan tombol yang telah ditentukan waktunya untuk sistem proses *sputtering*, maka sistem akan bekerja sendiri secara otomatis tanpa harus ditunggu terusan-menerus oleh operator dan dapat mengendalikan kondisi suhu agar tidak mencapai kelebihan panas (*overheat*) pada saat proses *sputtering* berlangsung.
4. Dengan menggunakan sensor suhu seluruh sistem dapat berhenti bekerja kalau suhu melebihi yang ditentukan (sebagai sistem pengaman)
5. Dengan menggunakan pewaktu yang stabil dapat diperoleh hasil yang relative hamper sama untuk contoh 5 sampel yang diuji, sehingga diharapkan akan menghasilkan lapisan tipis yang dapat meningkatkan ketahanan aus dan korosi sampel satu dengan yang lain yang relatif hampir sama.

**DAFTAR ACUAN**

[1] MILMAN. J., HALKIAS. C. C., *Elektronika Terpadu (Integrated Electronics) Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital*, Jilid-2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.  
 [2] COUGHLIN, F. R., DRISCOLL, F. F.,

*Penguat Operasional Dan Rangkaian Terpadu Linier*, Erlangga, Jakarta, 1994.  
 [3] NALWAN, ANDI, P., *Panduan Praktis Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Penerbit PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2003.

**Lampiran 1 : Bagan alir program otomatisasi proses sputtering berbasis mikrokontroler AT89C51**



**Lampiran 2 : Data selisih waktu *timer* digital berbasis mikrokontroler AT89C51 dengan waktu *stopwatch* beserta koreksi faktor kesalahan**

**Waktu : 10 menit**

No.	Waktu		Selisih Waktu (detik)	Faktor Kesalahan (%)
	Penelitian (menit)	Stopwatch (menit)		
1.	10:00.00 s	10:00.21 s	0.21 s	0.035
2.	10:00.00 s	10:00.21 s	0.21 s	0.035
3.	10:00.00 s	10:00.12 s	0.12 s	0.019
4.	10:00.00 s	10:00.16 s	0.16 s	0.026
5.	10:00.00 s	10:00.08 s	0.08 s	0.013
6.	10:00.00 s	10:00.07 s	0.07 s	0.011
7.	10:00.00 s	10:00.01 s	0.01 s	0.001
8.	10:00.00 s	10:00.06 s	0.06 s	0.009
9.	10:00.00 s	10:00.10 s	0.10 s	0.016
10.	10:00.00 s	10:00.10 s	0.10 s	0.016

**Waktu : 15 menit**

No.	Waktu		Selisih Waktu (detik)	Faktor Kesalahan (%)
	Penelitian (menit)	Stopwatch (menit)		
1.	15:00.00 s	15:00.30 s	0.30 s	0.033
2.	15:00.00 s	15:00.12 s	0.12 s	0.013
3.	15:00.00 s	15:00.14 s	0.14 s	0.015
4.	15:00.00 s	15:00.09 s	0.09 s	0.009
5.	15:00.00 s	15:00.02 s	0.02 s	0.002
6.	15:00.00 s	15:00.00 s	0.00 s	0.000
7.	15:00.00 s	15:00.04 s	0.04 s	0.004
8.	15:00.00 s	15:00.02 s	0.02 s	0.002
9.	15:00.00 s	15:00.04 s	0.04 s	0.004
10.	15:00.00 s	15:00.09 s	0.09 s	0.009

**Waktu : 20 menit**

No.	Waktu		Selisih Waktu (detik)	Faktor Kesalahan (%)
	Penelitian (menit)	Stopwatch (menit)		
1.	20:00.00 s	20:00.20 s	0.20 s	0.016
2.	20:00.00 s	20:00.12 s	0.12 s	0.009
3.	20:00.00 s	20:00.18 s	0.18 s	0.014
4.	20:00.00 s	20:00.23 s	0.23 s	0.019
5.	20:00.00 s	20:00.04 s	0.04 s	0.003
6.	20:00.00 s	20:00.08 s	0.08 s	0.006
7.	20:00.00 s	20:00.08 s	0.08 s	0.006
8.	20:00.00 s	20:00.13 s	0.13 s	0.010
9.	20:00.00 s	20:00.17 s	0.17 s	0.014
10.	20:00.00 s	20:00.23 s	0.23 s	0.019

## Lanjutan Lampiran 2

### Waktu : 25 menit

No.	Waktu		Selisih Waktu (detik)	Faktor Kesalahan (%)
	Penelitian (menit)	Stopwatch (menit)		
1.	25:00.00 s	25:00.17 s	0.17 s	0.011
2.	25:00.00 s	25:00.05 s	0.05 s	0.003
3.	25:00.00 s	25:00.16 s	0.16 s	0.010
4.	25:00.00 s	25:00.30 s	0.30 s	0.019
5.	25:00.00 s	25:00.02 s	0.02 s	0.001
6.	25:00.00 s	25:00.08 s	0.08 s	0.005
7.	25:00.00 s	25:00.01 s	0.01 s	0.001
8.	25:00.00 s	25:00.08 s	0.08 s	0.005
9.	25:00.00 s	25:00.09 s	0.09 s	0.006
10.	25:00.00 s	25:00.05 s	0.05 s	0.003

### Waktu : 30 menit

No.	Waktu		Selisih Waktu (detik)	Faktor Kesalahan (%)
	Penelitian (menit)	Stopwatch (menit)		
1.	30:00.00 s	30:00.15 s	0.15 s	0.008
2.	30:00.00 s	30:00.01 s	0.01 s	0.000
3.	30:00.00 s	30:00.06 s	0.06 s	0.003
4.	30:00.00 s	30:00.10 s	0.10 s	0.005
5.	30:00.00 s	30:00.09 s	0.09 s	0.004
6.	30:00.00 s	30:00.04 s	0.04 s	0.002
7.	30:00.00 s	30:00.05 s	0.05 s	0.002
8.	30:00.00 s	30:00.16 s	0.16 s	0.008
9.	30:00.00 s	30:00.00 s	0.00 s	0.000
10.	30:00.00 s	30:00.05 s	0.05 s	0.002

## TANYA JAWAB

### Bambang Siswanto

- Parameter apa saja yang dikontrol dengan alat yang saudara buat.
- Otomatisasi proses sputtering tentunya berhubungan dengan parameter sputtering, apakah alat ini sudah mencakup semua

parameter proses diantaranya waktu deposisi, suhu substrat dan tekanan gas.

### Taxwim

- Parameter deposisi yaitu untuk 10, 15, 20, 25 dan 30 menit, juga parameter keselamatan yaitu pemantauan batas panas dari tabung sputtering serta indikator dan display timer.
- Belum mencakup semua, hanya seperti diatas.