

RANCANG BANGUN PEMANAS DAN PENGADUK LARUTAN TERINTEGRASI UNTUK SINTESIS MATERIAL BERBASIS MIKROKONTROLER

INTEGRATED HEATER AND SOLUTION STIRRER DESIGN FOR MATERIAL SYNTHESIS BASED ON MICROCONTROLLER

Fatahillah¹, Indra W.F.², Rahmat A.S.³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹Fatahillah@Yandex.com, ²IndraFathonah@gmail.com, ³awaludinsalam@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan perancangan suatu sistem pemanas dan pengaduk larutan terintegrasi yang berbasis *hotplate* dan *magnetic stirrer*. Pengaturan kecepatan putaran pada pengaduk yakni dengan cara mengatur lebar pulsa (PWM), sedangkan untuk pengaturan temperatur pemanas menggunakan teknik kontrol otomatis pada sistem tertutup berupa PID dengan parameter $K_p = 8$, $K_i = 4.5$, dan $K_d = 5$ yang didapatkan dengan menggunakan pendekatan tuning *trial and error*. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan sesuai dengan kebutuhan alat untuk sintesis material polimer. Oleh karena polimer memiliki viskositas yang cenderung tinggi, maka kecepatan putaran motor dibuat hingga dapat mencapai (\pm) 5000 RPM dengan kondisi diberikan beban magnet. Pemberian beban magnet pada motor dc, diuji pada penelitian ini yang hasilnya adalah pemberian beban magnet tersebut dapat menurunkan nilai tegangan dan kecepatan putaran motor yang dihasilkan dibandingkan kondisi tanpa beban magnet. Selain itu, stabilitas dan daya tahan alat juga diuji karena penggunaan alat pada larutan polimer cenderung membutuhkan waktu yang lama (4 – 24 jam). Pengujian stabilitas dilakukan selama 24 jam menggunakan larutan PEG (150 ml) pada tiap variasi temperatur uji (80 °C, 100 °C, 120 °C, 140 °C, dan 160 °C) sembari diaduk pada kecepatan konstan (2500 RPM) dan menghasilkan simpangan kesalahan pada pemanas <2% dan pada pengaduk (\pm)8%. Pada akhir penelitian dilakukan juga pengujian terkait pengaruh kecepatan pengaduk yang dibuat konstan (2500 RPM) terhadap viskositas larutan PVA 400 yang divariasikan persen massanya (5 Wt%, 10 Wt%, 15 Wt%) pada temperatur ruangan dengan hasil pengujian tersebut berupa penurunan viskositas PVA 400. Berdasarkan ketiga pengujian tersebut, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa pemanas dan pengaduk ini dapat digunakan untuk sintesis material polimer PEG dan PVA 400 dengan indikator berupa penurunan viskositas pada kedua larutan tersebut.

Kata kunci : pemanas, pengaduk, PWM, PID, RPM, viskositas

Abstract

Integrated solution heater and stirrer system based on hotplate and magnetic stirrer have been designed. The adjustment of stirrer rotation speed adjusted by changing pulsewidth of output (PWM), while the adjustment of heater temperature using automatic control techniques in closed system by PID with the parameters of $K_p=8$, $K_i=4.5$, and $K_d=5$ with trial and error approach. In this research, testing was carried out in accordance with the needs for polymeric materials. Because the polymer has a viscosity which tends to be high, the rotational speed of motor is made up to 5000 RPM by the conditions given the magnetic load. The giving of a magnetic load on a dc motor was tested in this research that the result is magnetic load could reduce the voltage value and the rotation speed of motor produced compared to the condition without the magnetic load. Furthermore, stability and endurancy are also tested because the use of devices in polymer solutions tends to require a long time (4-24 Hours). Stability testing was carried out for 24 hours using PEG solution (150 ml) at each temperature variation tested (80 °C, 100 °C, 120 °C, 140 °C, and 160 °C) while stirring at a constant speed (2500 RPM) and produced an error deviation <2% for heater and (\pm)8% for stirrer. At the end session of research, a test was also carried out related to the effect of constant stirring speed (2500 RPM) to the thickness (viscosity) of PVA 400 solution which varied by mass percent (5 Wt%, 10 Wt%, and 15 Wt%) at room temperature with the test results is a decrease in PVA 400 viscosity. Based on the three tests conducted, the result show

that this Heater and Stirrer can be used for synthesis of PEG and PVA 400 polymer materials which are marked by viscosity reduced in both solutions.

Keywords: *Heater, Stirrer, PWM, PID, RPM, viscosity*

1. Pendahuluan

Perkembangan dalam bidang material saat ini sangat berkembang pesat, diantaranya adalah pada material dalam bentuk larutan yang pemanfaatannya sangat beragam baik di industri maupun di universitas. Dalam proses pembuatan material yang membutuhkan campuran zat kimia dalam bentuk larutan, biasa digunakan mekanisme pemanasan atau pengadukan. Kedua proses tersebut bertujuan agar larutan yang disintesis dapat lebih cepat larut dan tercampur, selain itu proses pemanasan disertai pengadukan pada larutan juga dapat membuat campuran larutan menjadi lebih cepat homogen. Untuk metode pemanasan pada material larutan saat ini berkembang dari yang tadinya hanya menggunakan cara manual seperti dengan spirtus ataupun Bunsen menjadi cara otomatis dengan menggunakan pemanas listrik. Perkembangan tersebutpun terjadi pada pengaduk yang tadinya masih sangat konvensional yakni dengan batang pengaduk atau mengguncang wadah cairan (*shake*) menjadi menggunakan pengaduk otomatis yang sangat beragam. Pada dasarnya metode pemanasan atau pengadukan dengan alat otomatis (metode inkonvensional) cenderung lebih mahal baik pada harga alat maupun pada biaya listrik alat, namun secara efisiensi penggunaan jelas lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional. Secara teknis saat ini sudah sangat banyak diproduksi pemanas maupun pengaduk otomatis namun masih memiliki beberapa kekurangan seperti harganya yang tidak murah, bidang kerjanya hanya satu, sistem kontrol yang masih sederhana, serta sulitnya pengembangan pada fitur alat karena belum *programmable*. Pada penelitian kali ini memberikan solusi dari permasalahan tersebut yakni dengan harganya yang relatif lebih murah namun sudah memiliki 4 bidang kerja (untuk gelas kimia 500 ml), sudah dilengkapi sistem kontrol otomatis PID pada pemanas dan penggunaannya dapat melalui perangkat lunak antarmuka sehingga fitur-fiturnya lebih banyak serta untuk pengembangannya dapat lebih mudah dilakukan. Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian pada stabilitas dan daya tahan alat selama 24 jam pada larutan PVA 400 dan PEG yang keduanya memiliki viskositas tinggi.

2. Dasar Teori dan Perancangan Sistem

2.1 Prinsip Kerja Zero Cross detector Pada Pemanas

Pemanas adalah alat yang biasa terbuat dari elemen berbahan dasar logam dengan bentuk beragam sesuai pada penggunaannya. Elemen pemanas untuk dapat memanaskan tentu membutuhkan masukan daya listrik, oleh karena itu dibutuhkan rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pengontrol masuknya daya ke elemen pemanas. Secara umum banyak sekali jenis metode yang digunakan untuk mengatur daya masukan pada pemanas seperti membatasi tegangan masukannya dengan kontrol relay sederhana, *Zero Cross Detector*, dan masih banyak lagi. Diantara metode tersebut yang paling umum digunakan adalah metode *Zero Cross Detector* (ZCD) karena pengendalian masukan daya lebih stabil dibanding pada metode lain.

Secara umum prinsip kerja dari rangkaian ZCD adalah mendeteksi gelombang sinusoidal 220 Vac saat melewati titik tegangan nol. Sebrangan titik nol yang dideteksi tersebut adalah peralihan dari puncak gelombang sinus ke lembah gelombang sinus (positif ke negatif / negatif ke positif). Pada sebrangan-sebrangan tersebut dijadikan titik acuan awal pemberian waktu tunda (*delay*) untuk memicu aktifnya komponen TRIAC (*Triode for Alternating-Current*) dengan memberikan tegangan pada gate-nya. Maka dengan metode ini kita dapat menentukan frekuensi suatu gelombang dengan mendeteksi banyaknya *zero point* pada rentang waktu tertentu yang kemudian *zero point* tersebut dimanfaatkan untuk mengatur interupsi pada gelombang AC sesuai *delay* yang diinginkan sehingga dapat berpengaruh pada besar-kecilnya daya keluaran.

Dalam pengaturan waktu secara tepat pada TRIAC *gate* membutuhkan perhitungan pada fungsi interupsi dan *timer* pada mikrokontroler yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan untuk mendapatkan *delay*-nya perlu di selaraskan antara sinyal AC dengan *clock* pada mikrokontroler. Untuk frekuensi sinyal AC pada umumnya di Indonesia adalah 50 Hz. Hal tersebut dapat diartikan yang mana apabila sinyal AC melewati nol, mencapai puncak tegangan, melewati nol kembali dan mencapai dasar lembah tegangannya hingga kembali ke nol lagi sebanyak 50 kali tiap detik.

Periode (Panjang waktu yang dibutuhkan)-nya adalah $1/50$ atau 0.02 sekon (20 millisekon). Setengah siklus gelombang nya (waktu antara dua *zero-crossing*) terjadi selama 10 millisekon.

Clock pada mikrokontroler yang biasa digunakan seperti Arduino adalah 16 MHz, dimana berate 16,000,000 siklus gelombang terjadi tiap detiknya, maka dikarenakan :

$$F = 1/T \quad (1)$$

Dapat ditentukan dalam satu kali siklus *clock*-nya membutuhkan waktu selama 0.0625 mikrosekon. Setengah siklus gelombang dari arus bolak-baliknya dengan frekuensi 60 Hz memiliki 160 siklus *clock*. Parameter tersebut sangatlah penting untuk di hitung terlebih dahulu dikarenakan pada tahapan pemrograman mikrokontroler (Arduino) membutuhkan penentuan interval waktu (*time delay*) oleh waktu *clock*.

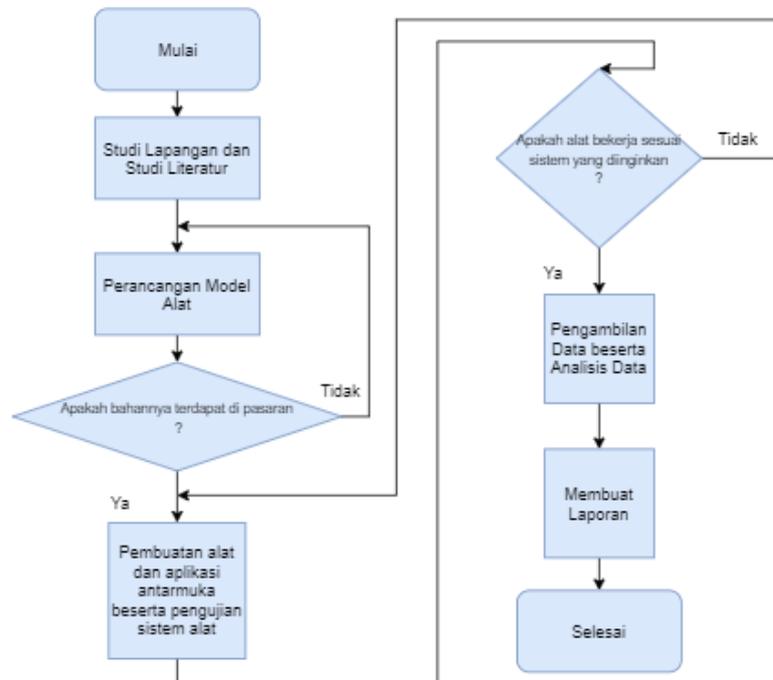
2.2 Prinsip Kerja PWM (Pulse Width Modulation) pada Pengaduk

Sama halnya dengan pemanas, pengaduk otomatis yang menggunakan motor dc sebagai aktuatornya tentu membutuhkan metode untuk mengatur masukan daya pada motor dc. Untuk metode pengendalian masukan daya tersebut ditentukan dari sistem pengaduk yang digunakan yakni sistem terbuka (*open-loop system*) atau sistem tertutup (*closed-loop system*). Pada umumnya sistem yang digunakan pada pengaduk ialah hanya sistem terbuka dikarenakan penggunaan sensor kecepatan putaran tidak digunakan sebagai *feedback* pada sistem pengaduk. PWM adalah metode yang cukup sering digunakan dalam metode pengendalian daya masukan pada motor dc dikarenakan kemudahan dalam pengaturannya bila dibandingkan dengan metode PID pada sistem tertutup.

Pada dasarnya rangkaian PWM memiliki prinsip kerja sebagai rangkaian yang memiliki lebar pulsa tegangan keluarannya dapat diatur atau dimodulasi. Dengan kemampuan tersebut kita dapat menghasilkan sebuah sinyal PWM dengan menentukan frekuensi dan waktu dari variabel *ON* dan *OFF*. Pmodulasian sinyal yang beragam dapat menghasilkan *duty cycle* sesuai keinginan.

2.3 Perancangan Sistem

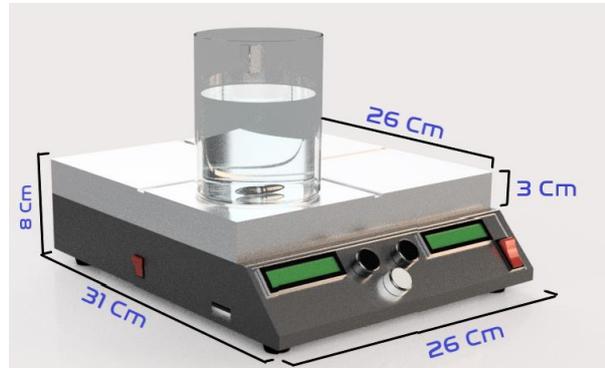
Diagram alir pada penelitian dan perancangan sistem hingga selesai penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram alir metodologi penelitian

Alat yang telah dirancang memiliki tujuan agar dapat berfungsi sebagai pemanas maupun pengaduk pada material dalam bentuk larutan dengan penggunaannya berbasis perangkat lunak antarmuka. Secara umum prinsip kerja pemanas yakni elemen pemanas yang dikontrol dengan mikrokontroler dan modul *AC phase control* dapat menghantarkan panas pada pelat aluminium

yang di tempelkan langsung pada elemen tersebut untuk kemudian dibaca temperaturnya melalui perangkat lunak dan LCD pada kotak alat. Pada pengaduk, prinsip kerjanya yakni motor dc yang di pasang magnet pada bagian besi rotornya diatur kecepatannya dengan menggunakan *driver motor* dan mikrokontroler untuk kemudian batang magnet pengaduk yang berada pada wadah larutan diatas pelat dapat ikut berputar apabila motor dc berputar.



Gambar 2.2 Tampilan desain alat beserta dimensi ukurannya

Pada Gambar 2.2 dapat diamati desain alat secara keseluruhan beserta dimensi ukurannya dengan gelas kimia 500 ml pada bagian atas pelat pemanas dan pengaduknya. Pada tampak depan alat terdapat dua buah LCD untuk menampilkan kecepatan putaran motor dan temperatur pemanas disertai knop putar untuk pengaturan kedua parameter tersebut. Terdapat pula usb *drive* port pada kiri alat yang berfungsi untuk menghubungkan alat dengan perangkat lunak antarmuka pada PC.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian pengaruh beban pada kecepatan putaran motor dan tegangannya, stabilitas dan daya tahan alat dengan menggunakan larutan PEG yang suhunya di variasikan, dan pengujian pengaruh kecepatan putaran motor pada viskositas(kekentalan) larutan PVA 400 dengan variasi persen massa berbeda. Ketiga pengujian tersebut tentunya diawali oleh kalibrasi sensor alat terlebih dahulu menggunakan alat ukur acuan dari lab.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Kalibrasi Pemanas

Kalibrasi pemanas dilakukan dengan membandingkan temperatur yang dibaca termokopel tipe-k pada dalam pelat dengan temperatur pelat bagian atas menggunakan kalibrator termokopel MS7220 dari Lab. Pengukuran temperatur luar pelat di rata-rata pada 4 titik pusat bidang kerja alat agar persebarannya merata.

Tabel 3.1 Hasil Kalibrasi Termokopel Tipe-K

No	Set Point terbaca oleh termokopel (°C)	Temperatur rata-rata 4 titik pusat pada Plat (°C)
1	60	42,6
2	70	48,35
3	80	54,5
4	90	59,55
5	100	65,53
6	110	73,03
7	120	79,45
8	130	86,6
9	140	95,1
10	150	104,8

Pada Tabel 3.1 didapatkan suhu yang cukup jauh perbedaannya dikarenakan temperatur pelat agian atas terkena udara luar, oleh karena itu nilai tersebut di regresikan hingga mendapatkan persamaan berikut :

$$Y = 1.46872 * X + 0.79269 \quad (4.1)$$

3.2. Hasil Kalibrasi Pengaduk

Kalibrasi pengaduk dilakukan dengan membandingkan kecepatan putaran motor yang dibaca sensor inframerah pada motor dc dengan kecepatan putaran acuan yang diukur menggunakan tachometer laser DT-2234A dari Lab.

Tabel 3.2 Hasil Kalibrasi Sensor Inframerah pada Pengaduk

No	Rate	RPM A	RPM B		RPM C		RPM D
		Tacho.	Tacho.	IR	Tacho.	IR	Tacho.
1	+	1092,33	1081,00	1517,67	1048,33	1015,00	1098,33
2	++	1531,67	1521,33	2020,33	2042,00	1981,67	1980,67
3	+++	2057,00	2090,00	2542,33	2503,67	2557,00	2530,00
4	++++	2474,00	2556,67	3045,00	3000,33	3035,33	3062,00
5	+++++	3153,67	3026,33	3518,67	3601,33	3518,67	3418,33
6	++++++	3509,00	3504,67	4021,33	4112,00	3996,00	4021,67

Pada Tabel 3.2 dapat diamati perbandingan kecepatan putaran pada keempat motor dimana sensor inframerah terdapat pada motor B dan C. Sensor inframerah yang digunakan hanya dua karena motor a yang di paralel dengan motor b dan motor c yang di paralelkan dengan motor d di asumsikan memiliki kecepatan putaran motor yang sama karena tegangannya sama. Tanda plus pada Tabel 3.2 digunakan sebagai simbol kecepatan putaran motor yang semakin meningkat seiring makin banyaknya simbol plus (+). Dari tabel 3.2 tersebut kemudian didapatkan persamaan dengan menggunakan regresi linear yakni kedua persamaan berikut:

$$a) Y = 1.02016 * X - 20.11555 \quad (4.2)$$

$$b) Y = 0.97635 * X - 415.19557 \quad (4.3)$$

Persamaan (4.2) didapatkan dari data pada motor a dan motor b, sedangkan persamaan (4.3) didapatkan dari data pada motor c dan motor d. Kedua persamaan tersebut kemudian dapat digunakan pada algoritma pemrograman Arduino (Mikrokontroler).

3.3 Hasil Tuning parameter PID pada Pemanas

Pada pengujian ini metode *tuning* yang dilakukan menggunakan metode *trial and error*. Tahapannya adalah alat diberikan masukkan temperatur untuk kemudian datanya dibuat menjadi kurva respon waktu pada beberapa parameter konstanta (Kp, Ki, dan Kd) yang diuji pada berbagai nilai seperti pada tabel 3.3 berikut :

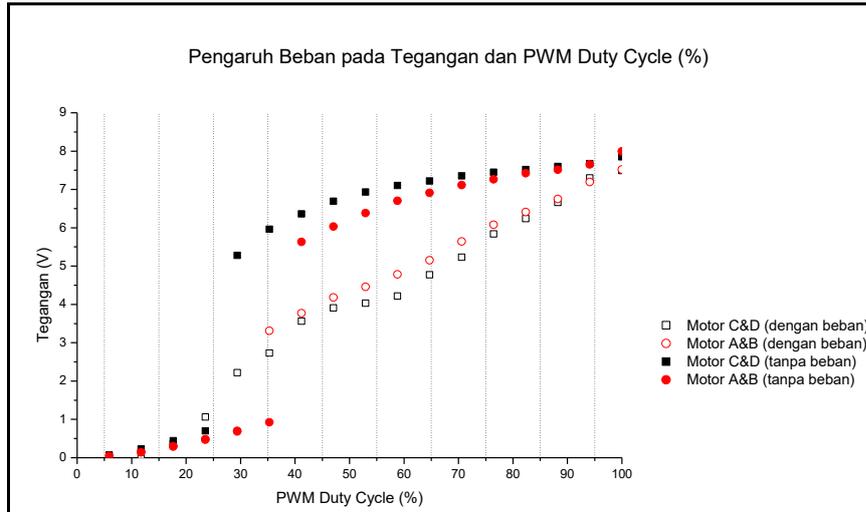
Tabel 3.3 Hasil Tuning Trial and Error pada kurva respon waktu pemanas

No	Kp	Ki	Kd	Overshoot	Rise Time	Settling Time	S-S Error
1	8	4,5	5	155	00.03.01	00.03.58	2%
2	8	4,5	5,5	156,25	00.03.22	00.04.24	2%
3	6	4,5	5,5	158,25	00.03.31	00.04.30	2%

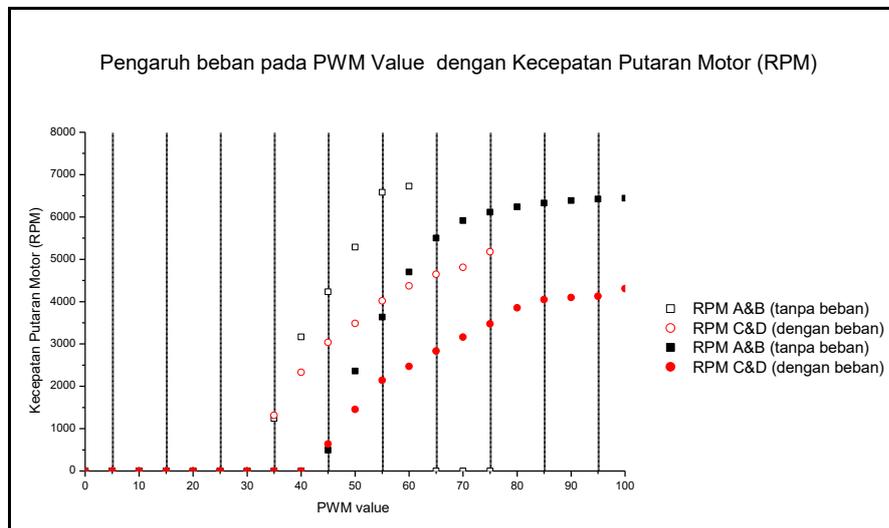
Berdasarkan Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa parameter PID dengan konstanta Kp=8, Ki=4.5, dan Kd = 5 memiliki respon *overshoot* terendah, *rise time* tercepat, dan *settling time* tercepat.

3.4 Hasil Pengujian Pengaruh Beban pada Tegangan dan Kecepatan Putaran Motor

Pada pengujian ini, motor diatur kerjanya dengan menggunakan sistem kendali PWM pada nilai *duty cycle* (%) untuk tegangan dan nilai PWM untuk kecepatan putaran motor. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan hasil pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut:



(a)



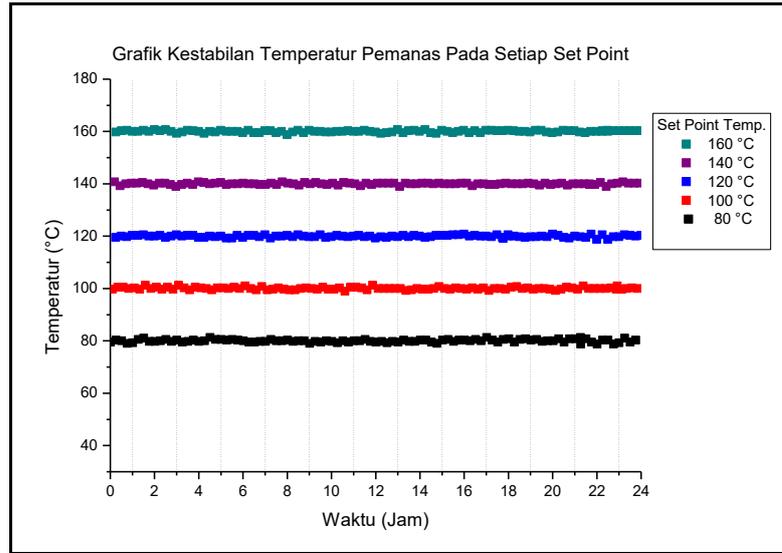
(b)

Gambar 3.1 Grafik pengujian pengaruh beban terhadap PWM *duty cycle* dengan tegangan (a) dan kecepatan putaran motor (b)

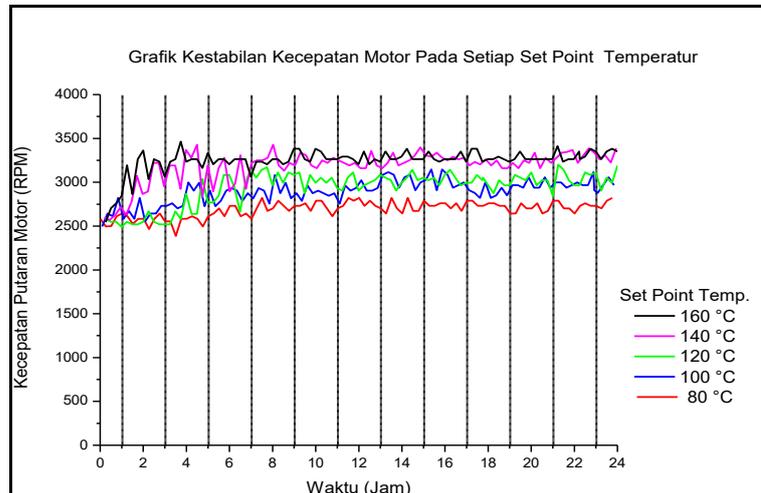
Pada Gambar 3.1 dapat dilihat dengan jelas bahwa penggunaan beban pada motor berupa magnet, dapat menurunkan nilai tegangan pada motor seperti pada Gambar 3.2 (a) yang akibatnya kecepatan putaran motor pada Gambar 3.1 (b) jadi berkurang dari semestinya (kondisi tanpa beban). Namun penggunaan beban pada motor memiliki dampak positif yakni memperkecil *starting threshold* tegangan pada motor sehingga motor lebih cepat untuk berputar dari keadaan diam.

3.5 Hasil Pengujian Stabilitas dan Daya Tahan Alat

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan larutan PEG sebanyak 150 ml yang dipanaskan dengan suhu uji bervariasi (80°C, 100°C, 120°C, 140°C dan 160°C) selama 24 jam tiap temperatur yg di uji-nya. Selama pengujian daya tahan pemanas, pengaduk dihidupkan jugadengan kecepatan konstan (2500 RPM) untuk mengaduk larutan PEG tersebut sebagai pengujian daya tahan pengaduk. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:



(a)



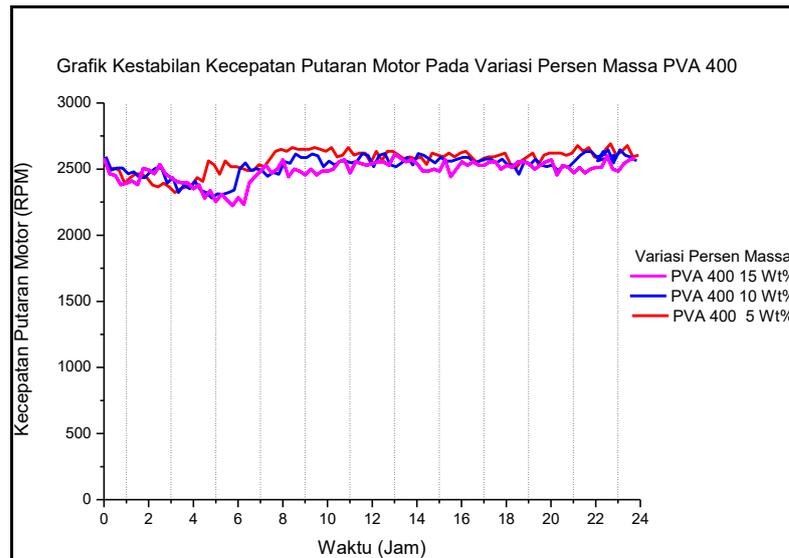
(b)

Gambar 3.2 Hasil pengujian stabilitas dan daya tahan pemanas (a) dan pengaduk(b)

Pada hasil pengujian yang dapat diamati pada Gambar 3.2 dapat diamati bahwa daya tahan kedua alat (pemanas dan pengaduk) sama-sama tinggi dikarenakan berhasil dalam melakukan pengujian selama 24 jam dalam 5 hari. Pada Gambar 3.2 dapat diamati pula bahwa stabilitas pemanas (a) lebih tinggi bila dibandingkan dengan stabilitas pengaduk (b), hal tersebut dikarenakan sistem kendali otomatis pada pemanas menggunakan sistem PID sedangkan pada pengaduk hanya berbasis PWM sehingga tidak ada umpan balik pembacaan sensor untuk koreksi data dalam mempertahankan kestabilannya.

3.6 Hasil Pengujian Pengaruh Kecepatan Putaran Pengaduk pada Viskositas larutan

Pada pengujian terakhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran motor pada viskositas larutan PVA 400 yang divariasikan persen massa (Wt%)-nya (5Wt%, 10Wt%, 15Wt%) selama 24 Jam pada tiap sampel uji. Pengaduk dikondisikan pada kecepatan putaran yang konstan (2500 RPM). Dari hasil Pengujian didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 3.3 Hasil Pengujian Pengaruh Kecepatan Pengaduk pada Viskositas PVA 400 pada berbagai variasi persen massa

Pada Gambar 3.3 dapat diamati bahwa kecepatan putaran motor dari yang awalnya dibuat konstan 2500 RPM perlahan menurun pada awal pengujian namun kecepatan putaran motor kian meningkat kembali hingga melewati angka 2500 RPM. Penurunan kecepatan putaran motor pada awal pengujian (3-6 jam awal pengujian) dikarenakan PVA yang berbentuk serbuk membentuk gumpalan-gumpalan besar saat awal mula diaduk oleh batang magnet, sehingga menurunkan kecepatan putaran motor dikarenakan batang magnet terhambat laju putarannya oleh viskositas larutan yang tinggi akibat munculnya gumpalan. Perbedaan dari ketiga variasi persen massa tersebut terletak pada durasi gumpalan pada PVA 400 dapat terpecah, dimana durasinya berbanding lurus dengan persen massanya akibat viskositasnya ikut meningkat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang rancang bangun pemanas dan pengaduk larutan terintegrasi untuk sintesis material berbasis mikrokontroler dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Pemanas dan pengaduk sama-sama memiliki daya tahan tinggi berdasarkan pengujian daya tahan alat, namun pemanas lebih memiliki stabilitas kontrol yang lebih tinggi dikarenakan penggunaan sistem PID sedangkan pada pengaduk hanya berbasis PWM.
2. Hasil *tuning* parameter PID pada pemanas dengan menggunakan metode *trial and error* menghasilkan konstanta $K_p = 8$, $K_i = 4.5$, dan $K_d = 5$ sebagai respon paling optimum pada kurva respon waktu
3. Berdasarkan pengujian pada PVA 400 dengan variasi persen massa dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran pada motor dapat menurunkan viskositas larutan.
4. Pemberian beban pada motor dapat menurunkan tegangan pada motor sehingga akibatnya penurunan nilai kecepatan putaran pada motor, namun pemberian beban pada motor dapat mempercepat motor dalam berputar dari keadaan diam.

Daftar Pustaka:

- [1] Armando, M Guidote, "Low-Cost Magnetic Stirrer from Recycled Computer Parts with Optional Hot Plate", in *Jornal of Chemical Education*, 2007.
- [2] R. Wall, "Simple Methods for Detecting Zero Crossing" in *Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society Paper*, 2007.
- [3] Ogata, Katsuhiko.(1985). *Teknik Kontrol Automatik*. Erlangga.
- [4] Gupta, Ankita, "An Efficient Approach to Zero Crossing Detection Based on-OptoCoupler

