

## Kontrol Kecepatan dan Temperatur dengan Teknik *Pulse Width Modulation* untuk Aplikasi *Hotplate Stirrer* Berbasis Arduino

Junaidi<sup>\*)</sup>, Hesti Wahyu Handani, Amir Supriyanto, dan Sri Wahyu Suciwati  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, Bandar Lampung-Indonesia, 35145

<sup>\*)</sup>Email korespondensi : Junaidi.1982@fmipa.unila.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v17i1.6634>

Submitted: 12 Juli 2019; Accepted: 17 Januari 2020

**ABSTRACT**- In this research, design and realization of temperature and speed control instrument using thermocouple and pulse width modulation based on arduino for hotplate stirrer application have been carried out. This instrument is laboratory tool used for stirring and heating a chemical liquid with capability up to 1200 rpm and 300 °C, respectively. The main components used in the manufacture of hotplate stirrer are Arduino mega, DC motor, tubular heater, LM393 optocoupler sensor, MAX6675 type-K thermocouple, and seven segment. The hotplate stirrer has a tolerance of rotational speed measurement of  $\pm 5$  rpm and a tolerance of temperature measurement of  $\pm 5$  °C. The accuracy of temperature and rotating speed measurement in this instrument about 0,25 °C and 2 rpm. Based on its capabilities, this instrument can be applied to research on synthesis of material at the micro and nano scale.

**KEYWORDS** : hotplate stirrer; Arduino; thermocouple; optocoupler; DC motor

### PENDAHULUAN

Laboratorium merupakan ruang penelitian yang terdiri berbagai macam instrumen pendukung penelitian. Instrumen tersebut berfungsi sebagai alat ukur dan kontrol ketika penelitian dilakukan. Alat ukur merupakan suatu instrumen yang berfungsi mengukur besaran fisis, seperti panjang, massa, waktu, temperatur, kuat arus, intensitas cahaya, dan jumlah zat. Alat kontrol merupakan suatu instrumen yang dapat mengendalikan kecepatan putar, mengontrol temperatur, dan mengontrol pergerakan lainnya. Beberapa alat laboratorium yang sering digunakan untuk sintesis material adalah inkubator, *ultrasonic cleaner*, tanur, oven, pembakar bunsen, dan pengaduk (*stirrer*) yang dilengkapi dengan pemanas (*hotplate*) (Ziangqiang & Shijun, 2013; Ariffudin & Wuladari 2014).

Instrumen tersebut pada umumnya masih sederhana dan belum bekerja secara otomatis, sehingga dalam penggunaannya masih belum efisien. Efisiensi dan kendala

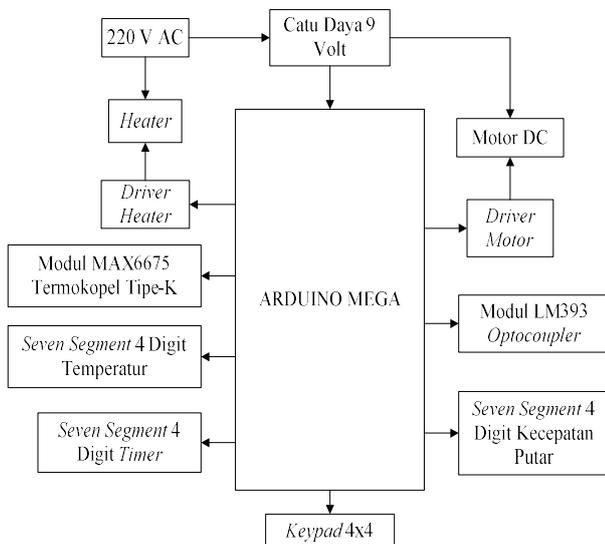
dalam melakukan riset memberi peluang dalam pembuatan alat ukur atau alat kontrol dengan memanfaatkan kelebihan piranti elektronik yang biasanya telah tersedia di laboratorium.

Salah satu alat yang sering digunakan oleh peneliti bidang material adalah *magnetic microstirrer*, yaitu suatu alat pencampur fluida dalam skala mikro. Desain pengaduk tersebut terinspirasi dari pengaduk magnet *bar* skala besar. Medan magnet yang berputar menyebabkan satu batang magnet tunggal atau susunannya untuk diputar dengan cepat dalam lingkungan cairan (Lu, Ryu & Liu, 2002). Penelitian lainnya juga dilakukan untuk membuat alat *magnetic stirrer* yang dilengkapi dengan kontrol waktu (*timer*). Timer digunakan untuk mengatur lamanya proses pengadukan serta dapat memudahkan pengguna dalam melakukan penelitian (Faisal, Wildian & Yusfi, 2013; Junaidi, 2013).

*Magnetic stirrer* juga dikembangkan dan dirancang dengan sistem pengaduk yang

diputar oleh motor DC dan magnet yang berputar diletakkan di dalam wadah (*chamber*) (Barsoum & Moidi, 2014). Alat *magnetic stirrer* dengan pengaturan kecepatan pengaduk dan pengaturan waktu ini dapat melakukan pengadukan sampel dengan kecepatan pengaduk hingga 3000 rpm dan pengatur waktu selama 60 menit. Pada riset ini, hanya sebatas membuat alat pengaduk dengan pengaturan waktu dan kecepatan menggunakan potensiometer (Irsyad, Yudianingsih & Lestari, 2016).

Berdasarkan teori pengadukan, untuk mempercepat proses pelarutan, diperlukan keterlibatan pemanas (*heater*). Pada beberapa *magnetic stirrer* belum dilengkapi dengan kontrol suhu (pemanas). Oleh sebab itu, pada penelitian dilakukan pembuatan alat pengaduk (*stirrer*) yang dilengkapi dengan alat kontrol temperatur. Elemen elektrik yang digunakan sebagai sumber panas yaitu *heater* dengan panas maksimal 300 °C. Untuk alat pengaduk digunakan motor DC dengan kecepatan mencapai 1200 rpm. Parameter nilai kecepatan, suhu, dan waktu ditampilkan pada *seven segment* dengan masing-masing 4 digit. Sebagai media antar muka (masukan) parameter kecepatan, temperatur, dan waktu digunakan keypad berukuran 4x4. Hasil pengukuran ketiga parameter di atas selanjutnya diverifikasi atau dikalibrasi menggunakan alat standar sebagai kalibrator.



Gambar 1 Diagram blok *hotplate stirrer* berbasis arduino

## METODE PENELITIAN

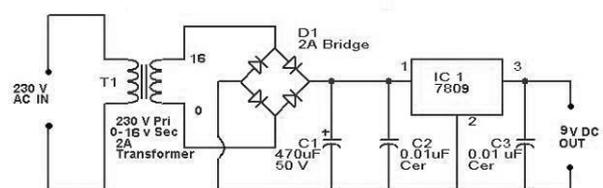
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Arduino mega, motor DC 19 V, termokopel tipe K, modul MAX6675, optocoupler LM393, heater 300 °C, modul seven segment TM1367, keypad 4x4, relay, dan power supply 9 V. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah Arduino IDE 1.6.8., Visio, Proteus, dan Kaleidagraph 4.0.

Pada penelitian ini, perangkat keras disusun dalam sebuah diagram blok seperti pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan bahwa tegangan AC 220 V digunakan sebagai sumber utama dari alat *hotplate stirrer* yang akan terhubung langsung dengan catu daya 9 volt dan *heater*. Catu daya 9 V digunakan sebagai *power supply* untuk arduino dan motor DC. Keypad 4x4 digunakan untuk memasukan nilai kecepatan putar, *timer*, dan temperatur. Kecepatan putar dideteksi oleh sensor optocoupler LM393 dengan mendeteksi lubang di *rotary encoder* yang berada di motor DC. Motor DC dikendalikan oleh *Pulse Width Modulation* (PWM) arduino melalui *driver* motor.

Nilai temperatur dapat dideteksi oleh termokopel tipe-K yang terkoneksi dengan modul MAX6675 yang memiliki kemampuan rentang pengukuran dari -200 °C sampai 1200 °C. Media pemanas pelat yang digunakan yaitu *heater* dengan suhu maksimal 300 °C dan dikendalikan oleh sebuah *driver* berupa relay. Temperatur akan ditampilkan dengan *seven segment* 4 digit. Rangkaian-rangkaian yang dibutuhkan pada pembuatan alat *hotplate stirrer* dapat diuraikan sebagai berikut.

### 1. Rangkaian Catu Daya (Penyearah)

Rangkaian ini berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC (Gambar 2). Pada Gambar 2, masukan tegangan AC sebesar 220 V akan diubah menjadi tegangan



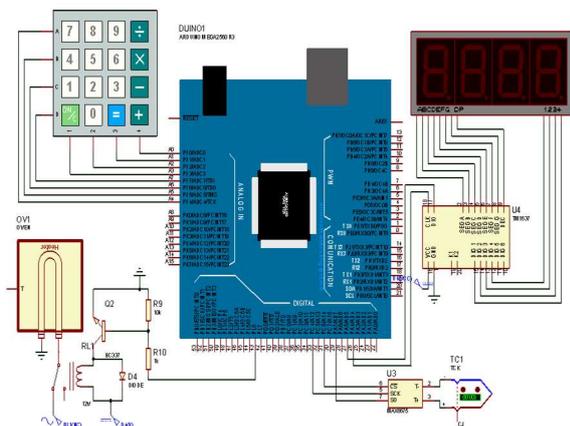
Gambar 2 Rangkaian penyearah dan catu daya

DC yang lebih kecil yaitu 9 V. Langkah-langkah dalam mengubah tegangan pada rangkaian ini yaitu, pertama tegangan AC PLN yang pada umumnya sebesar 220 V masuk ke trafo penurun tegangan, sehingga tegangan keluaran dari trafo ini menjadi lebih kecil. Tegangan keluaran dari trafo ini masih tegangan AC sehingga diperlukan rangkaian penyearah berupa jembatan wheatstone. Rangkaian ini terdiri dari 4 buah dioda. Fungsi dari dioda sendiri yaitu menyearahkan tegangan, sehingga tegangan keluaran dari dioda pada rangkaian ini yaitu tegangan DC.

2. Rangkaian kontrol temperatur

Rangkaian kontrol temperatur dapat dilihat pada Gambar 3. Sumber panas yang digunakan yaitu heater jenis tubular dengan temperatur mencapai 300 °C. Untuk mengatur temperatur tetap konstan sesuai dengan input temperatur yang dibutuhkan, heater dihubungkan ke tegangan AC 220 volt yang dikendalikan oleh arduino melalui driver heater penggerak relay dengan metode switching. Prinsip kerja relay yaitu menggunakan konsep elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi (Saleh & Haryanti, 2017).

Apabila temperatur belum mencapai batas nilai *setpoint*, maka relay akan menyambung tegangan AC 220 V. Ketika temperatur sudah mencapai *setpoint*, maka *relay* akan memutus tegangan AC 220 V secara berkala dengan jeda waktu yang sudah ditentukan. Pendeteksian temperatur



Gambar 3 Rangkaian kontrol temperatur

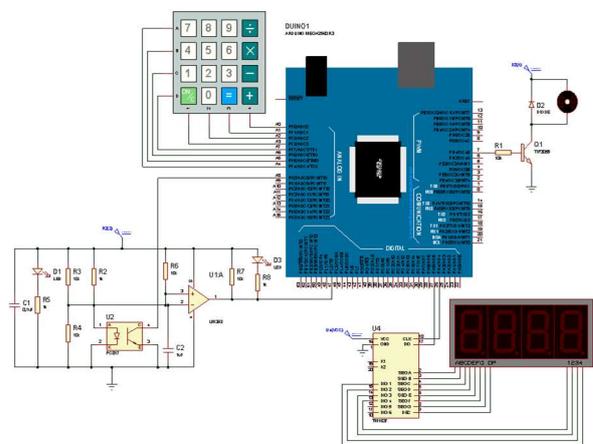
menggunakan termokopel tipe-K yang terhubung dengan modul MAX6675. Modul ini akan mengubah besaran tegangan analog ke digital dan terkoneksi dengan pin *analog to digital* (ADC) dari arduino (Louis, 2016).

3. Rangkaian kontrol kecepatan pengaduk

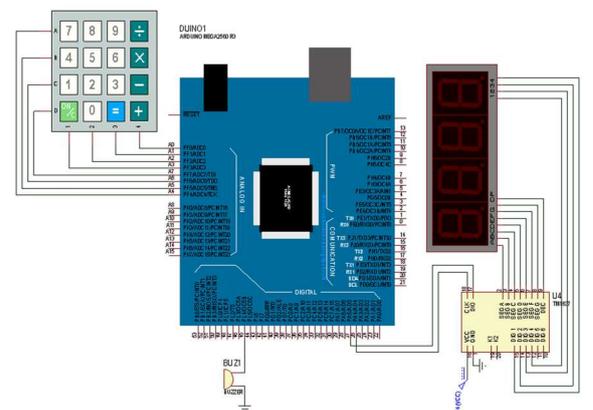
Rangkaian ini merupakan rangkaian kontrol kecepatan pengaduk dengan input melalui keypad 4x4 seperti pada Gambar 4. Rangkaian ini dilengkapi dengan sensor optocoupler LM393 yang digunakan untuk menghitung kecepatan putar dengan cara mendeteksi lubang yang terdapat pada *rotary encoder* di motor DC.

Rangkaian kontrol waktu (timer)

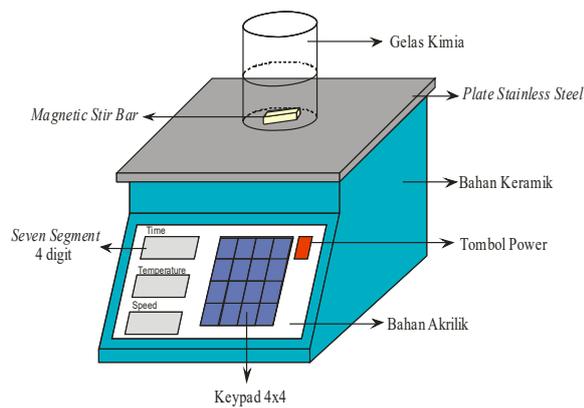
Rangkaian ini merupakan rangkaian kontrol waktuan yang dilengkapi oleh beberapa komponen seperti, keypad 4x4, modul seven segment 4 digit TM1637 dan *buzzer* seperti pada Gambar 5. Nilai *timer* yang dimasukan pada keypad 4x4 dalam satuan jam



Gambar 4 Rangkaian kontrol kecepatan



Gambar 5 Rangkaian kontrol waktu (timer)



Gambar 6 Desain box alat

dan menit. *Seven segment* menampilkan timer berupa satuan jam dan menit, sehingga timer yang dimasukkan maksimal selama 60 jam dan minimal 1 menit. Waktu yang digunakan diambil dari arduino dengan sintaks program berupa millis(). Sintaks ini digunakan untuk menampilkan nilai dalam milli detik sejak arduino mulai diberi tegangan. Selain itu terdapat *buzzer* yang digunakan sebagai alarm yang bekerja dengan cara berbunyi secara blink apabila waktu pengadukan telah selesai.

#### 4. Desain box alat

Finalisasi dari perancangan dan pembuatan alat *hotplate stirrer* ini yaitu membuat box alat. Desain dari box alat dapat dilihat pada Gambar 6. Box alat didesain menggunakan bahan keramik. Bahan keramik yang digunakan memiliki dimensi 20 x 20 cm. Bahan keramik ini dipilih karena mampu bertahan pada temperatur tinggi. Namun, kelemahan dari keramik ini adalah sulitnya untuk membuat lubang pada keramik, karena bahan keramik yang rentan pecah, sehingga harus hati-hati dalam proses melubangnya.

Selain itu, untuk pelat yang akan dipanaskan digunakan 2 buah pelat berbahan stainless. Pelat ini dipilih karena tahan terhadap korosi pada temperatur tinggi dan tidak menghalangi efek medan magnet pada proses pengadukan. Heater dan pelat dipisah menggunakan bahan keramik agar tidak kontak langsung dengan box alat dan komponen sehingga aman untuk digunakan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

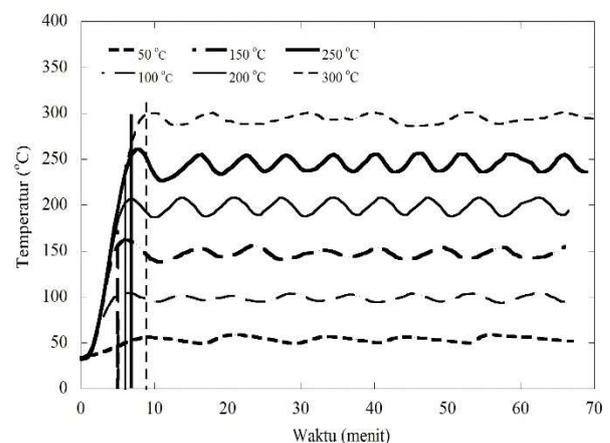
Realisasi alat *hotplate stirrer* seperti pada Gambar 7. Pelat yang digunakan sebagai



Gambar 7 Realisasi alat *hot plate stirrer*

media pemanas yaitu stainless 304 dengan dimensi 20x11 cm. Box *hotplate stirrer* dibuat menggunakan bahan keramik dengan dimensi 20x20 cm. Pemilihan bahan keramik ini bertujuan agar dapat menahan panas dari pelat stainless yang mencapai 300 °C. Keramik cenderung memiliki muai termal yang tinggi tetapi konduktivitas termal yang rendah. Kondisi ini membuat bahan keramik sering terkena kejutan termal (*thermal shock*), yaitu perubahan suhu lokal secara mendadak yang membuatnya retak atau remuk (Oxtoby, Gillis & Nachtrieb 2003) dan sulit untuk dilubangi, sehingga untuk bagian seven segment, keypad, dan saklar menggunakan bahan akrilik.

Pengambilan data temperatur dilakukan dengan melakukan kalibrasi pengukuran temperatur dan memantau stabilitas temperatur. Kalibrasi pengukuran temperatur dilakukan dengan membandingkan hasil

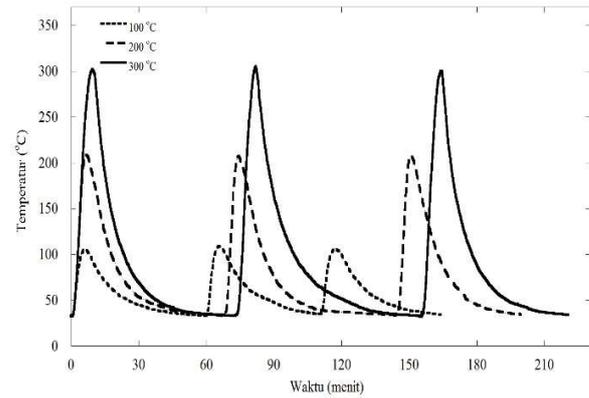


Gambar 8 Grafik stabilitas temperatur *hotplate stirrer*

pengukuran pada alat kalibrasi dengan hotplate stirrer. Alat kalibrasi temperatur yang digunakan yaitu termokopel tipe-K TM-902C. Pengambilan data stabilitas temperatur dilakukan pada 6 titik temperatur dari 50 °C sampai 300 °C dengan rentang 50 °C. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap alat *hotplate stirrer* dengan memasukkan nilai timer selama 1 jam sebanyak 3 kali pengulangan. Hasil terbaik dari 6 titik temperatur seperti pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa temperatur relatif stabil dengan toleransi masukan pada temperatur 50 °C yaitu sebesar  $\pm 15$  °C, pada temperatur 100 °C sebesar  $\pm 10$  °C, pada temperatur 150 °C sebesar  $\pm 15$  °C, pada temperatur 200 °C sebesar  $\pm 15$  °C, pada temperatur 250 °C sebesar  $\pm 25$  °C serta pada temperatur 300 °C sebesar  $\pm 25$  °C. Berdasarkan toleransi masukan temperatur yang berbeda-beda, maka rata-rata toleransi masukan yang diperoleh yaitu sebesar  $\pm 20$  °C. Pada saat melakukan proses pemanasan, alat ini membutuhkan waktu pada temperatur 50 °C, 100 °C, dan 150 °C membutuhkan waktu selama 5 menit. Pada temperatur 200 °C membutuhkan waktu selama 6 menit. Pada temperatur 250 °C membutuhkan waktu selama 7 menit. Pada temperatur 300 °C membutuhkan waktu selama 9 menit. Berdasarkan data kalibrasi yang diperoleh, toleransi pengukuran temperatur pada alat ini yaitu sebesar  $\pm 5$  °C (Sami et al., 2016).

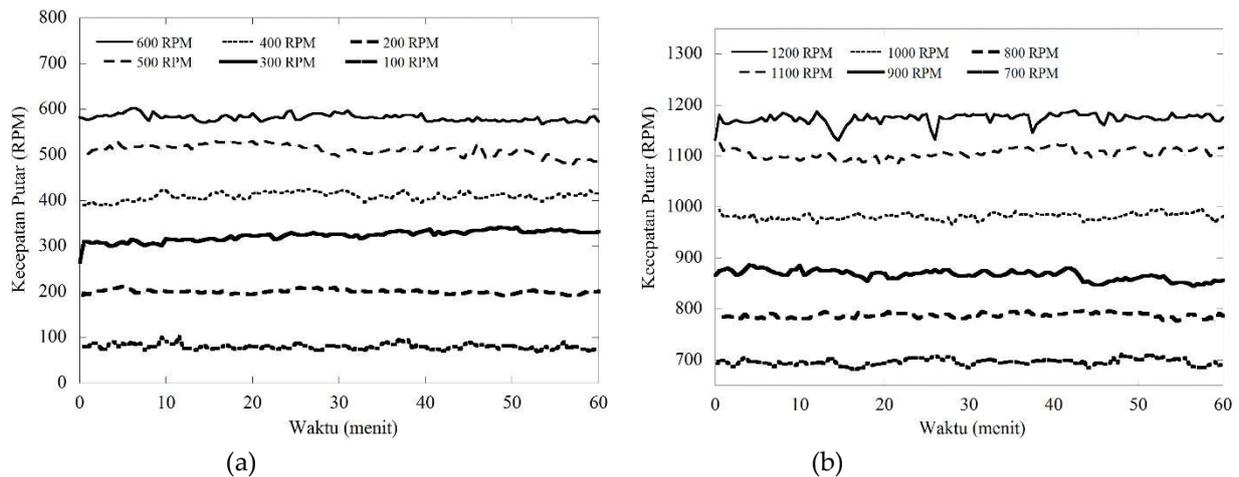
Selain data kalibrasi dan stabilitas, pengambilan data reapeabilitas temperatur juga dilakukan. Pengambilan data ini dilakukan dengan menghidupkan *hotplate stirrer* dan melakukan pemanasan hingga mencapai titik-titik tertentu yaitu 100 °C, 200 °C dan 300 °C. Setelah mencapai titik temperatur tersebut, selanjutnya *hotplate stirrer* dimatikan hingga temperatur kembali ke temperatur semula yaitu temperatur ruang. Apabila temperatur telah mencapai temperatur ruang, langkah selanjutnya yaitu menghidupkan kembali *hotplate stirrer* dan melakukan hal yang sama sebanyak 3 kali percobaan. Hasil pengambilan data tersebut selanjutnya diplot dalam grafik seperti pada Gambar 9.



**Gambar 9** Grafik repeatabilitas temperatur *hotplate stirrer*

Berdasarkan Gambar 9, dapat dilihat bahwa lama waktu pemanasan di setiap titik temperatur berbeda-beda. Pada proses pemanasan hingga temperatur 100 °C dibutuhkan waktu selama 5 menit. Setelah mencapai temperatur 100 °C, temperatur masih mengalami kenaikan hingga 105 °C. Pada proses pendinginan hingga mencapai temperatur ruang, dibutuhkan waktu selama 60 menit. Pada titik temperatur 200 °C, proses pemanasan membutuhkan waktu selama 7 menit. Temperatur masih mengalami kenaikan hingga mencapai 208 °C. Proses pendinginan pada titik temperatur ini membutuhkan waktu selama 68 menit. Pada titik temperatur 300 °C, proses pemanasan membutuhkan waktu selama 10 menit. Temperatur masih mengalami kenaikan hingga mencapai 305 °C. Proses pendinginan pada titik temperatur ini membutuhkan waktu selama 73 menit.

Pengambilan data kecepatan putar dilakukan dengan melakukan kalibrasi dan memantau stabilitas kecepatan putar pada alat *hotplate stirrer*. Kalibrasi pengukuran kecepatan putar dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran pada alat kalibrasi dengan alat *hotplate stirrer*. Alat kalibrasi kecepatan putar yang digunakan yaitu *infrared tachometer* DT-2234BL. Pengambilan data kecepatan putar dilakukan pada 12 titik kecepatan putar dari 100 rpm sampai 1200 rpm. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap alat *hotplate stirrer* dengan menginput timer selama 1 jam sebanyak 3 kali pengulangan. Hasil terbaik dari 12 titik kecepatan putar seperti

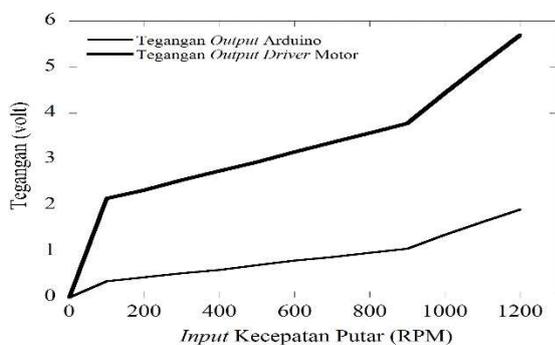


Gambar 10 Grafik stabilitas kecepatan putar *hotplate stirrer* (a) 100-600 rpm dan (b) 700-1200 rpm

pada Gambar 10(a) dan Gambar 10(b).

Gambar 10 menunjukkan bahwa kecepatan putar relatif stabil dengan toleransi masukan sebesar  $\pm 100$  rpm. Pada titik kecepatan putar 1200 rpm, grafik mengalami penyimpangan pada menit ke-13, menit ke-26 dan menit ke-38. Penyimpangan ini terjadi karena sensor pengukuran kecepatan putar yaitu optocoupler memiliki batas maksimum pengukuran 1200 rpm. Namun, pada data hasil kalibrasi kecepatan putar, perputaran motor DC masih relatif stabil dengan toleransi pengukuran yaitu sebesar  $\pm 5$  rpm. Grafik hubungan antara tegangan *output* arduino dan *driver* motor terhadap *input* PWM (Muchlas & Supri, 2006; Junaidi, Aba & Triyana 2015).

Pengambilan data PWM pada arduino dilakukan dengan memasukkan nilai PWM yang telah dikonversi menjadi satuan rpm. Untuk memutar motor DC dengan kecepatan 900-1200 rpm, membutuhkan tegangan yang



Gambar 11 Grafik hubungan antara tegangan *output* arduino dan *driver* motor terhadap *input* PWM

lebih besar hingga mencapai 5,70 volt yang ditunjukkan pada Gambar 11.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu *hotplate stirrer* ini memiliki batas maksimum pengukuran kecepatan putar yaitu 1200 rpm dan memiliki ketelitian 2 rpm. Toleransi pengukuran kecepatan putar yaitu sebesar  $\pm 5$  rpm dan toleransi masukan kecepatan putar yaitu sebesar  $\pm 100$  rpm. Alat ini memiliki kemampuan pengukuran temperatur mencapai 300 °C dan ketelitian pengukuran temperatur yaitu sebesar 0,25 °C. Toleransi pengukuran temperatur ini yaitu sebesar +5 °C dan toleransi masukan temperatur yaitu sebesar  $\pm 20$  °C.

## UCAPAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung atas dukungan dana penelitian melalui hibah prototype dengan nomor kontrak 2305/UN26.21/PN/2019.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariffudin, S. D. & Wuladari, D. (2014). Perancangan Sistem Pemanas Pada Rancang Bangun Mesin Pengaduk Bahan Baku Sabun Mandi Cair. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 1(2), 52–57.
- Barsoum, N. & Moidi, I. F. B. (2014). DC Motor Speed Control Using SMS Application.

- Intelligent Control and Automation*, 5, 205-212.
- Faisal, H., Wildian & Yusfi, M. (2013). Rancang Bangun Magnetik Stirrer berbasis Mikrokontroler AT89S52 dengan Pengaturan Waktu Melalui Keypad. *Jurnal Fisika Unand*, 2(3), 148-154.
- Irsyad, L. P., Yudianingsih & Lestari, S. (2016). Perancangan Alat Magnetic Stirrer dengan Pengaturan Kecepatan Pengaduk dan Pengaturan Waktu Pengadukan. *Jurnal Infact*, 1(2), 22-29.
- Junaidi. (2013). Komputerisasi Alat Ukur V-R Meter untuk Karakterisasi Sensor Gas Terkalibrasi NI DAQ BNC-2110. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1(1), 59-64.
- Junaidi, Aba, L. & Triyana, K. (2015). An automatic data acquisition system for optical characterization of PEDOT:PSS-based gas sensor. *AIP Conference Proceedings*, 1656, 040001.
- Louis, L. (2016). Working Principle of Arduino and Using It as a Tool for Study and Research. *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems*, 1(2), 21-29.
- Lu, L.H., Ryu K.S., & Liu, C. (2002). A Magnetic Microstirrer and Array for Microfluidic Mixing. *Journal of Microelectromechanical Systems*. 11(5), 462-469.
- Muchlas & Supri. (2006). Pengendali Motor Induksi 1 Fasa dengan Metode PWM Sinusoida berbasis Mikrokontroler 68HC11. *Telkonnika*, 4(3), 167-174.
- Saleh, M. & Haryanti, M. (2017). Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah menggunakan Relay. *Jurnal Teknologi Elektro*, 8(3), 181-186.
- Sami, K., Lavanya, M., Arivalagan, M. & Harsya, Y.S. (2016). Temperature Controlled based cooler Pad using Arduino. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 5, 216-220.
- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P. & Nachtrieb, N. H. (2003). *Prinsip-prinsip Kimia Modern edisi 4*. Erlangga. Jakarta.
- Ziangqiang, L. & Shijun, Z. (2013). Development of a thermocouple sensor using tool coating and its substrate to measure metal turning temperatures. *International Journal of Materials and Product Technology*, 46(1), 71-80.