

PEMOGRAMAN ARDUINO DENGAN MENGGUNAAN PRESSURE TRANSDUCER DAN SENSOR FLOW METER UNTUK PENGUJIAN POMPA HIDRAM

Monalisa A. Malelak¹, Alexius L. Johanis^{2*}

^{1,2} Politeknik Negeri Kupang

Jl. Adisucipto P.O.BOX 139 Kupang, NTT

* E-mail: alexjohanis160805@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi menuntut perubahan dan penyesuaian pada berbagai sektor, salah satunya perubahan digitalisasi. Pompa hidram merupakan teknologi tepat guna hemat energi, sederhana dalam pembuatan maupun instalasi, cocok diterapkan untuk pembangunan daerah dengan sumber energi listrik atau BBM terbatas, Pompa hidram masih terus diteliti serta dikembangkan untuk mendapatkan model maupun instalasi yang optimal. Dibutuhkan pengujian pompa hidram yang lebih cepat dan akurat untuk menunjang penelitian dan pengembangan teknologi pompa hidram. Arduino merupakan platform mikrokontroler yang bersifat open source dengan sistem modular yang mudah dirangkai dan dioperasikan bersama dengan penyemat sensor-sensor tertentu. Dalam penelitian ini dilakukan pemograman Arduino untuk membaca dan menampilkan hasil pembacaan dua buah sensor pressure transducer dan dua buah sensor flow meter untuk pengujian pada model instalasi pompa hidram berdiameter 1 inci, hasil pembacaan sensor jauh lebih cepat dibandingkan metode pengujian menggunakan pressure gauge dan gelas ukur. Presentasi kesalahan pembacaan pada sensor debit adalah 5%

Kata kunci: Arduino, mikrokontroler, sensor, pompa hidram.

PENDAHULUAN

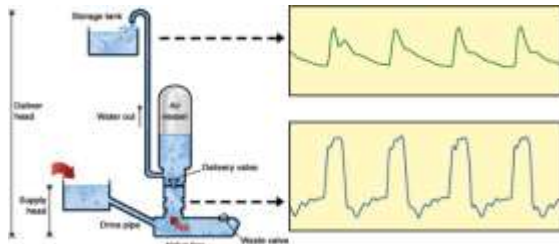
Saat ini dunia teknologi masuk dalam era digitalisasi pada hampir semua sektor dimana sebagian besar peralatan maupun instrumen sudah tidak lagi bekerja secara analog melainkan dengan peralatan dan sistem berbasis digital. Hal ini tidak terlepas dari berkembang pesatnya perangkat pendukung yakni perangkat keras yang semakin kompak, hemat daya namun kinerjanya semakin baik didukung oleh mesin maupun proses produksi semakin maju juga presisi menjadikan harga produk perangkat keras lebih terjangkau. Dilain sisi pengembangan perangkat lunak menjadi lebih *user friendly* sehingga membuka kesempatan untuk dapat mempelajari pemograman dengan lebih sederhana, salah satu contohnya adalah penggunaan dan pengembangan papan Arduino yang berbasis mikrokontroler.

Heri Andrianto dan Aan Darmawan [1] mendefinisikan Arduino sebagai suatu perangkat prototipe elektronik berbasis mikrokontroler yang bersifat *opensource* dan fleksibel serta perangkat keras dan perangkat lunaknya mudah digunakan, sedangkan menurut Bishop dalam tulisan Michael [2], mikrokontroler sendiri merupakan gabungan dari blok rangkaian yang kita jumpai sebagai unit-unit terpisah dalam sebuah komputer

menjadi sebuah rangkaian terpadu tunggal. Penggunaan mikrokontroler dengan menyematkan sensor-sensor dapat menggantikan suatu sistem manual menjadi digital sehingga mampu bekerja dengan lebih baik dan presisi, Penggunaan sensor aliran berbasis mikrokontroler untuk mengukur kuantitas aliran air yang dilakukan oleh Mardiani [3] memberikan hasil ketepatan pengukuran untuk debit 0.11 liter per detik mencapai 94.5% dengan ketelitian rata-rata yang didapat 0,99.

Pompa Hidraulik ram atau disingkat menjadi pompa hidram adalah salah satu teknologi tepat guna berupa pompa air hemat energi, dimana energi penggerak pompa berasal dari energi potensial air itu sendiri. Efisiensi pompa hidram dihitung dengan membandingkan jumlah total energi input dengan total energi output dalam bentuk parameter head dan debit. Penelitian yang dilakukan dalam pengukuran parameter efisiensi pompa hidram pada umumnya dilakukan dengan metode pengukuran manual, menggunakan alat ukur panjang untuk mengukur beda tinggi muka air terhadap posisi pompa dan menghitung volume terhadap waktu untuk menentukan debit.[4] ,[5] contohnya pengukuran debit output pada pipa ½ inci dengan menggunakan gelas ukur dalam waktu 5 detik [6]. Pengukuran parameter efisiensi

pompa hidram yang dilakukan secara manual memiliki kelemahan karena faktor ketelitian sehingga dapat terjadi *human error* dalam melakukan pengukuran maupun perhitungan, selain itu pengukuran *real time* sulit dilakukan pada metode pengukuran manual.



Gambar 1. Prinsip dasar kerja pompa hidram beserta grafik fluktuasi tekanan pada badan pompa (kanan bawah) dan pada jalur pipa penghantar (kanan atas) [7]

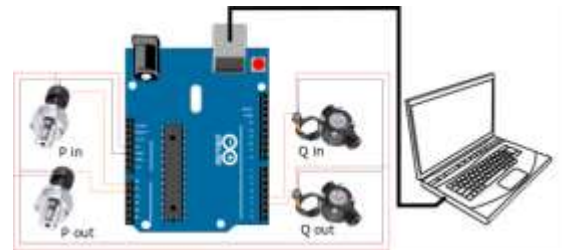
Dari hasil penelitian yang dilakukan W SOBIESKI [8] diketahui bahwa dimungkinkan untuk merekam bentuk gelombang perubahan tekanan dalam siklus pompa hidram menggunakan sensor tekanan dan osiloskop digital. Kualitas hasil yang diperoleh cukup untuk melakukan interpretasi dari fenomena yang terjadi selama pengoperasian pompa hidram.

Penelitian ini didasarkan pada kemungkinan pemanfaatan sensor-sensor yang diintegrasikan dengan mikrokontrol sehingga mampu melakukan perhitungan debit dan tekanan sebagai parameter dari efisiensi kinerja pompa hidram selain itu dengan pemrograman yang tepat maka dapat dilakukan perekaman data-data pengukuran secara realtime.

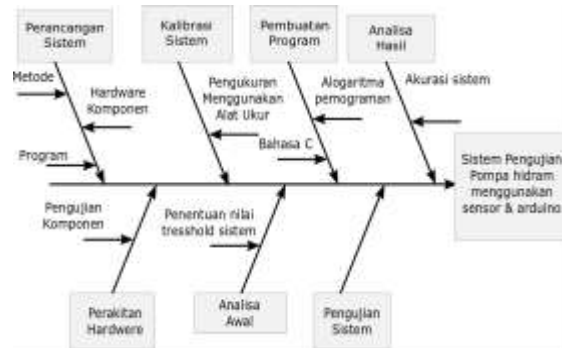
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Research and Development method, dengan menggunakan dua jenis sensor yakni flow meter sensor dan pressure transducer yang masing masing ditempatkan pada jalur input dan output pompa hidram, dengan skema seperti pada gambar 2.

Tahapan pembuatan sistem pengujian pompa hidram meliputi beberapa tahapan seperti pada gambar 3.



Gambar 2. Skema Sistem



Gambar 3. Fishbone diagram perancangan sistem

Sesuai gambar 3 di atas, tahapan pengujian pompa hidram dimulai dengan perakitan hardware yang terdiri atas rangka-rangka dan perpipaan instalasi pompa hidram, pada tahap ini juga dilakukan persiapan penempatan tiap sensor.

Setelah instalasi hardware tahap selanjutnya adalah kalibrasi sensor-sensor dengan membandingkan pembacaan sensor tekanan terhadap pembacaan pressure gauge sedangkan sensor flow meter dibandingkan terhadap hasil pengukuran debit rata-rata menggunakan gelas ukur.

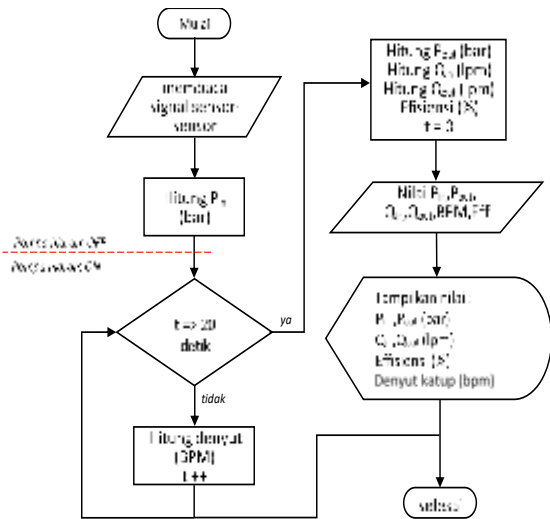
Penentuan treshold sistem dengan cara melakukan pengoperasian instalasi pompa hidram dan mengukur tekanan serta debit yang dihasilkan.

Kinerja Instalasi pompa hidram diukur berdasarkan nilai efisiensi yang dapat dihitung menggunakan persamaan ;

Dengan η = Efisiensi (%); H_1 = Head input (m); Q_1 = Debit input (lpm); H_2 = Head output (m); Q_2 = Debit output (lpm). Pada pengukuran manual head input diukur berdasarkan ketinggian vertikal dengan elevasi pompa sebagai datum, seperti terlihat pada gambar 5, Head Input sebesar 1,21m dan head output sebesar 2,03m. Pada penelitian ini penggunaan Pressure transducer dimaksudkan untuk mengukur tekanan hidrostatik dalam

satuan bar sebagai nilai Head Input dan Output pengganti ukuran ketinggian.

Pembuatan program arduino dengan tujuan agar dapat menampilkan nilai debit dan tekanan serta jumlah denyutan per menit dalam interval waktu pembacaan tertentu, secara rinci dapat dilihat pada gambar berikut ;



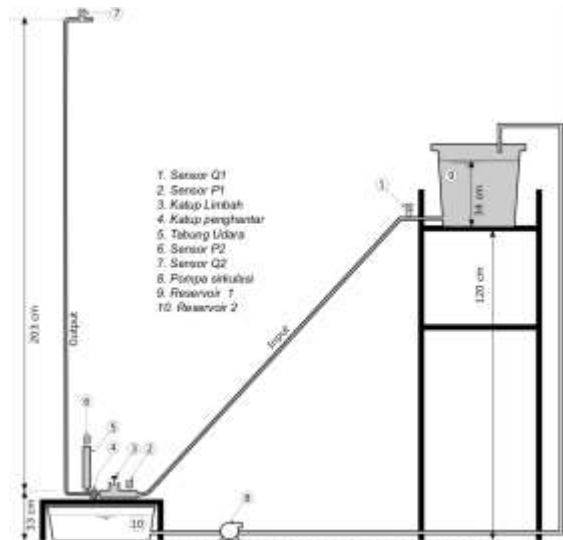
Gambar 4. Flowchart Program

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini antara lain rancangan komponen hardware sistem yang terdiri dari instalasi pompa hidram untuk skala kecil, data hasil ujicoba dan pemograman menggunakan Arduino IDE.

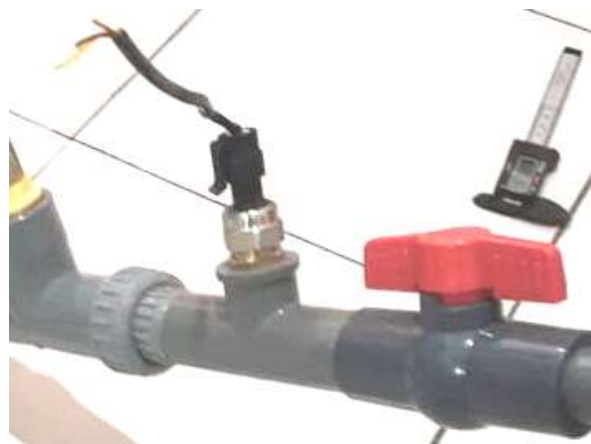
Hasil perakitan komponen hardware

Dihasilkan model instalasi pompa hidram untuk pengujian dengan ukuran pompa hidram diameter 1 inchi, pipa input pvc dengan diameter ¾ inchi dan pipa output diamter ½ inchi. Tinggi head potensial sebagai sumber energi pompa adalah 121 cm, skema perakitan komponen hardware seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Skema komponen hardware

Pada gambar 5 dapat dilihat posisi penempatan sensor tekanan P₁ (2) dan sensor debit Q₁(1) pada jalur input pompa sedangkan sensor tekanan P₂(6) dan Q₂ (7) dipasang pada jalur output pompa.



Gambar 6. Pemasangan Pressure Transducer



Gambar 7. Pemasangan Sensor Q₁



Gambar 8. Pemasangan Sensor Q₂



Gambar 9. Koneksi sensor, Arduino dan komputer

Hasil kalibrasi dari pressure transducer sensor seperti terlihat pada tabel berikut ;

Tabel 1. Kalibrasi sensor Pressure transducer

Pressure Gauge (psi)	Nilai signal analog
0	95
10	142
20	186
34	250
42	287

Dari data kalibrasi pada tabel 1, dapat diperoleh persamaan konversi untuk sensor Pressure transducer ; $y = 4,5549x + 95,436$, dimana y = tekanan dalam psi dan x = nilai pembacaan signal analog pressure transducer yang terbaca oleh arduino.

Untuk setiap model dan ukuran dari sensor flow meter memiliki *Flow pulse characteristics (F)* yang berbeda satu sama lain, pada penelitian ini menggunakan dua jenis flow meter yakni tipe YF-201 dengan $F=7Q$ (lpm) dan tipe YF- 401 dengan $F=98Q$ (lpm). Dilakukan kalibrasi hasil pengukuran dengan membandingkan hasil pengukuran debit menggunakan gelas ukur terhadap pembacaan sensor.

Sebelum melakukan pengujian pompa

hidram dengan aplikasi sensor dan mikrokontrol, dilakukan terlebih dahulu pengujian secara manual dengan menggunakan pressure gauge dan gelas ukur, seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 10 Pengujian menggunakan Pressure Gauge dan Gelas ukur

Hasil pengujian secara manual dapat seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian pompa secara manul

Pengujian manual dilakukan dengan Head input 0.91 m dan head output 2,03 m, pembacaan tekanan pressure gauge pada pipa input berfluktuasi seiring dengan denyutan katup limbah pada pompa, sedangkan penunjukan jarum pressure gauge pada jalur output menunjukkan nilai tekanan di kisaran 0.2 bar seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Penunjukan Pressure Gauge pada jalur output pompa hidram.

Dari tabel 2 diperoleh rata-rata debit terbuang $Q_w = 4,245$ lpm, dan rata-rata debit output $Q_2 = 0,191$ lpm, dan debit input $Q_1 = Q_w + Q_2 = 4,437$ lpm sehingga diperoleh nilai efisiensinya adalah $\pm 10,909$ %.

Pemograman Mikrokontroler

Mikrokontroler dalam hal ini Arduino diprogram untuk melakukan pembacaan

sensor-sensor secara kontinyu baik signal analog maupun signal digital. Seperti terlihat pada Flowchart program, sensor tekanan input (P₁) diprogram melakukan pembacaan awal sebelum pompa hidram dioperasikan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai tekanan Hidrostatik pada pipa input sebagai Head input seperti pada gambar 12.

```

// file_gabung_Flow_Pressur_Bat | Arduino IDE
File IO: Sketch Tools Help

// file_gabung_Flow_Pressur_Bat
}

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("HOLD...KATUP LIMBAH DINONASTIF!!!");
  delay (10000); // delay untuk menstabilkan tekanan hidr

// fungsi pembacaan tekanan P1 sebagai nilai Head input
int rawValue1 = analogRead(A0);
Serial.println(rawValue1);
float pai_1 = (rawValue1 - 95.436) / 4.55549;
bar_1 = (pai_1 * 0.0689476);
}
    
```

Gambar 12. Listing untuk pembacaan nilai Head input.

```

// file_gabung_Flow_Pressur_Bat | Arduino IDE
File IO: Sketch Tools Help

// file_gabung_Flow_Pressur_Bat
}

void loop() {
  while ( millis () - lastTime < interval)
  {
    long int RPsensorValue = analogRead (A0);
    float RPpressure = ((RPsensorValue - 95.436) / 4.55549) * 0.0689476;
    if (RPpressure >= 0.4 aa LOCK == false)
    {
      count++;
      lock = true;
    }
    if (RPpressure < 0.4)
    {
      lock = false;
    }
  }
}
    
```

Gambar 13. Manipulasi Fluktuasi nilai tekanan untuk menghitung denyut per menit.

Pompa hidram dioperasikan setelah waktu delay untuk pembacaan head input, kemudian mikrokontrol masuk dalam mode looping dimana dalam interval selama 20 detik dan berulang mikrokontrol melakukan pembacaan nilai sensor flow meter Q₁ dan Q₂, juga sensor tekanan P₁ dan P₂ kemudian menampilkan hasil konversi nilai pada serial monitor dan pada saat yang sama juga menghitung dan menampilkan nilai efisiensi pompa.

Pembacaan nilai P₁ pada mode looping dimanipulasi untuk mendapatkan jumlah denyutan katup limbah dengan memanfaatkan fluktuasi tekanan yang terjadi pada pipa input saat katup limbah bekerja.

Hasil pengujian sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan megoperasikan instalasi pompa hidram yang sudah terpasang sensor-sensor dan terhubung dengan mikrokontroler (arduino). Pengujian dilakukan pada dua kondisi instalasi pompa hidram, kondisi pertama yang sama dengan saat pengujian manual, yakni tinggi head input 0,91m dan head output 2,03m. Sedangkan kondisi kedua dengan menaikkan head input menjadi 1,21 m.

Nilai tekanan (bar), debit (lpm), Efisiensi (%) dan jumlah denyut (beat per minute) direkam secara realtime pada lembar kerja ms. Excel dengan bantuan plug in PLX-DAQ, sehingga diperoleh data seperti pada tabel 3 dan 4 ;

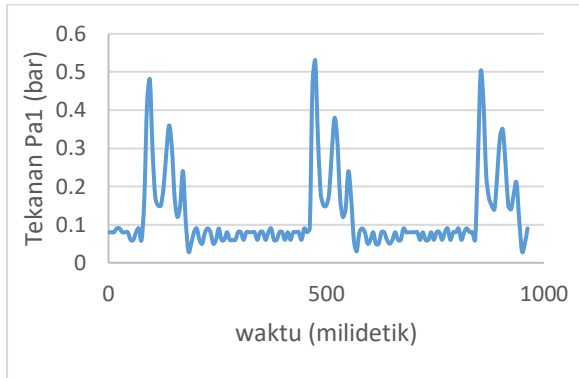
Tabel 3. Data hasil rekaman pengujian sistem pada kondisi pertama, head input 0,91m.

Q1	P1	q2	p2	Eff	BPM
5,68	0,09	0,19	0,21	7,81	402
5,64	0,09	0,19	0,21	7,86	324
5,56	0,09	0,18	0,21	7,55	363
5,83	0,09	0,19	0,21	7,60	288
5,97	0,09	0,18	0,21	7,04	342
5,59	0,09	0,18	0,21	7,51	306
5,55	0,09	0,19	0,21	7,99	312
5,56	0,09	0,18	0,21	7,55	294
5,57	0,09	0,19	0,21	7,96	330
5,82	0,09	0,19	0,21	7,62	345
5,55	0,09	0,17	0,21	7,15	402
5,52	0,09	0,17	0,21	7,19	336

Tabel 4. Data hasil rekaman pengujian sistem pada kondisi kedua, head input 1,21m.

Q1	P1	q2	p2	Eff	BPM
6,3	0,12	0,49	0,23	114,56	300
6,0	0,12	0,48	0,23	14,79	252
6,3	0,12	0,5	0,24	15,83	228
6,4	0,12	0,51	0,23	14,92	300
6,2	0,12	0,51	0,24	16,16	288
6,2	0,12	0,51	0,23	15,25	216
6,2	0,12	0,5	0,23	15,11	252
6,2	0,12	0,5	0,23	15,04	264
6,2	0,12	0,5	0,23	14,96	228
6,2	0,12	0,5	0,24	16,04	216
6,3	0,12	0,5	0,23	14,7	228

Sensor tekanan P₁ juga dapat diprogram untuk merekam fluktuasi tekanan yang terjadi saat katup limbah bekerja, sehingga dapat dibuat grafik tekanan terhadap waktu seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Grafik tekanan terhadap waktu pada pipa input dari instalasi pompa hidram.

Akurasi Sistem

Metode yang digunakan dalam menentukan akurasi adalah dengan menghitung persentase kesalahan pada nilai hasil pengukuran dengan rumus ;

$$\left(\frac{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}}{\text{nilai maksimum}} \right) \%$$

Dari data pengujian pada tabel 2 diperoleh presentasi kesalahan untuk pengujian pompa hidram secara manual sebagai berikut debit terbuang (Q_w) = 14%, dan presentasi kesalahan debit output (Q_2) = 21%.

Presentasi kesalahan untuk pengujian pompa hidram menggunakan sensor mikrokontroler pada Head input 0,91m sesuai data tabel 3 adalah debit input (Q_1) = 8%, debit output (Q_2) = 11%, efisiensi 12% dan jumlah denyut per menit = 28%, sedangkan untuk pengujian pada kondisi head input 1,21 m (tabel 4) diperoleh presentasi kesalahan sebagai berikut debit input (Q_1) = 5%, debit output (Q_2) = 6%, efisiensi 10% dan jumlah denyut per menit = 28%.

PEMBAHASAN

Hasil pengujian pada instalasi pompa hidram menunjukkan nilai efisiensi yang relatif rendah yaitu dibawah 30% baik pada pengujian secara manual maupun dengan menggunakan sensor-sensor, hal ini dikarenakan oleh dimensi pompa hidram yang kecil, panjang serta material pipa input yang digunakan mempengaruhi kemampuan instalasi pompa hidram dalam membangkitkan efek palu air yang merupakan sumber dari kerja pompa hidram, penelitian yang dilakukan oleh Yeni Herawati dkk, [9] menyimpulkan bahwa

besarnya efisiensi pompa hidram sangat dipengaruhi panjang pipa inletnya, dimana semakin panjang ukuran pipa inlet maka semakin besar nilai ebit yang dihasilkan yang demikian pula dengan nilai efisiensinya, sedangkan penelitian yang dilakukan John Twyman [10] menunjukkan pengaruh material pipa terhadap efek palu air yang dapat terjadi dalam instalasi.

Penggunaan pressure Transducer sensor cukup efektif dalam merekam nilai tekanan dalam pipa dan mampu menghasilkan pembacaan data dalam waktu yang jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan pembacaan nilai tekanan menggunakan pressure gauge. Tabel 1. Kalibrasi sensor menunjukkan angka konversi yang linier terhadap perubahan tekanan sehingga memudahkan dalam membuat pemograman dengan akurasi yang baik. Kemampuan sensor dalam membaca dan memberikan nilai dalam waktu yang sangat singkat hingga micro second sangat membantu untuk dapat menampilkan perubahan tekanan dalam instalasi pompa hidram seperti pada Gambar 14 hal ini membuka peluang untuk dapat melakukan penelitian lebih jauh mengenai mengenai fenomena hidrolis yang terjadi selama pompa hidram bekerja.

Dari kedua tipe sensor flow meter yang digunakan menunjukkan akurasi serta konsistensi pembacaan nilai debit yang sangat baik, hal ini terlihat dalam data yang ditampilkan pada tabel 3 dan tabel 4 yang menunjukkan tingkat sensitifitas sensor-sensor terhadap perubahan input baik tekanan maupun kecepatan aliran dalam pipa, dimana pada pengujian kedua hanya dengan menaikkan head input beberapa cm namun kedua sensor mampu membaca dan menampilkan perubahan nilai tekanan dan debit yang sesuai. Hasil perhitungan presentasi juga menunjukkan bahwa untuk peningkatan head input memperkecil presentasi kesalahan pembacaan sensor.

Arduino dapat diprogram dan dioperasikan dengan relatif mudah dengan listing program yang mudah dipahami dan diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan sistem, bahkan dimungkinkan untuk memanipulasi pembacaan sensor tekanan untuk menampilkan nilai jumlah denyut katup limbah, persentase kesalahan nilai denyut katup yang cukup besar lebih dikarenakan fluktuasi gelombang tekanan dalam pipa yang tidak teratur yang berkaitan erat dengan karakteristik fenomena palu air pada pipa inlet yang relatif pendek.

PENUTUP

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sangat dimungkinkan untuk penggunaan sensor Pressure Transducer dan Sensor flowmeter untuk pengujian parameter-parameter pompa hidram. Akurasi pembacaan sensor juga sangat baik dimana presentasi kesalahan pembacaan terkecil mencapai 5%, dan kemungkinan akan semakin kecil untuk instalasi pompa yang lebih besar. Penggunaan Sensor-sensor dan Arduino mampu memberikan data pengujian secara real time sehingga mempermudah peneliti untuk memahami fenomena dan karakteristik pompa hidram.

Disarankan untuk peneliti yang akan melakukan penelitian sejenis untuk dapat mempertimbangkan faktor dimensi dari instalasi perpipaan pompa hidram terutama pada material dan panjang pipa inlet. Jika dimungkinkan untuk melakukan kalibrasi sensor dengan beberapa metode lain sehingga dapat diperoleh akurasi pembacaan yang lebih baik lagi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami sangat berterima kasih kepada Kemenristekdikti atas bantuan dana penelitian melalui program penelitian hibah internal 2018 yang dibiayai melalui DIPA Politeknik Negeri Cilacap. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan penulisan artikel ini dapat terselesaikan. Yang ke tiga penulis mengapresiasi dan sangat berterimakaish kepada Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Cilacap atas kesempatan dan kepercayaan untuk kami dapat menggunakan fasilitas kampus selama penelitian maupun penulisan artikel ilmiah ini. Tidak lupa kami berterima kasih kepada team editor Jurnal ilmiah Flash atas kesempatan bagi kami untuk mempublikasikan hasil penelitian kami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Andrianto and A. Darmawan, *Belajar cepat dan pemrograman Arduino*. 2015.
- [2] D. Michael, D. Gustina, and U. P. I. Y. A. I, "Rancang Bangun Prototype Monitoring

Kapasitas Air Pada Kolam Ikan Secara Otomatis Dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino," *IKRA-ITH Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 59–66, 2019.

- [3] Mardani, Yohandri, and Z. (Universitas N. padang) Kamus, "Pembuatab Alat Ukur Debit Air Menggunakan Sensor Aliran Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328P," *PILLARS OF PHYSIS*, vol. 8, pp. 105–112, 2016.
- [4] J. B. Sinaga and et al (UNILA), "Perancangan Alat Uji Model Pompa Tanpa Motor (Hydraulic Ram Pump," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 2016, no. November, pp. 1–7.
- [5] A. E. (Universitas N. S. Setyawan and I. H. (Universitas N. S. Siregar, "Pengaruh Berat Katup Limbah dan Ketinggian Discharge Terhadap Kinerja Pompa Hidram," *JTM*, vol. 03, no. 03, pp. 25–31, 2015.
- [6] S. W. . Bayu Adi Pramono , Kun Suharno, "Analisis Efisiensi Pompa Hidram Paralel Empat dengan Diameter Katup Buang 1 Inchi dan 1 1/4 Inchi Berdasarkan Variasi Pipa Inlet," *J. MER-C*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [7] P. P. Sengupta and J. Narula, "RV Form and Function A Piston Pump, Vortex Impeller, or Hydraulic Ram? Partho," *JACC Cardiovasc. Imaging*, vol. 6, no. 5, pp. 636–639, May 2013.
- [8] W. Sobieski, D. Grygo, and S. Lipiński, "Measurement and analysis of the water hammer in ram pump," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 41, no. 11, pp. 1333–1347, 2016.
- [9] Y. Herawati, F. Teknik, and U. Muhammadiyah, "Panjang Pipa Inlet terhadap Efisiensi Pompa Hidram," *Din. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 128–134, 2009.
- [10] J. Twyman, "Wave speed calculation for water hammer analysis," *Obras y Proy.*, no. 20, pp. 86–92, Dec. 2016.