

**PERHITUNGAN DEBIT ALIRAN PADA SISTEM ALIRAN TERBUKA  
MELALUI PENGUKURAN TINGGI MUKA AIR MENGGUNAKAN  
TRANSDUSER ULTRASONIK**

**(FLOW CALCULATION OF OPEN CHANNEL SYSTEM THROUGH  
MEASUREMENT OF WATER LEVEL USING ULTRASONIC  
TRANSDUCER)**

**Gurum A P, Kalpataru I dan Warsito**

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Lampung  
Jl. Sumantri Brojonegoro No 1, Bandar Lampung 35145  
Email: gurum4in@yahoo.com, warsito@fmipa.unila.ac.id

**ABSTRACT**

*Flow measurement capability is needed to determine the potential of water resources in a watershed area, to evaluate the availability of water, and simulation on flood early warning system. Calculation of the water flowing in an open channel system is more complex than a closed channel. This is due to various factors such as channel-forming material, the degree of irregularity, the variation in cross-section, the influence of inhibitors, and the degree of the curve to be reckoned, and called as the manning coefficient. The amount of flow in an open channel system will have a direct impact on the water level changes. The Chezy equation will make it to be easier in the real time flow rate measurement by knowing the water level value. In this study, it has been developed a method to measure the water level using an ultrasonic transducer and to calculate the flow rate of the river flow by simulating the coefficient of manning. The realized system has an error in water level measurement of 1.16% and flow calculation error of 2.42%.*

*Keywords: Open channel, manning coefficient, river flow, ultrasonic transducer.*

**ABSTRAK**

*Kemampuan pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu wilayah aliran sungai, mengevaluasi ketersediaan air, dan simulasi pada sistem peringatan dini banjir. Perhitungan besarnya debit air yang mengalir pada saluran sistem open channel lebih kompleks dibandingkan saluran tertutup (close channel). Hal ini disebabkan berbagai factor seperti bahan pembentuk saluran, derajat ketidakteraturan, variasi penampang, besarnya pengaruh penghambat, dan derajat kelokan yang harus diperhitungkan, dan disebut sebagai koefisien manning. Besarnya debit aliran pada sistem open channel akan berdampak langsung pada perubahan level permukaan aliran. Persamaan Chezy akan memudahkan untuk pengukuran debit aliran secara real time melalui pengukuran tinggi permukaan aliran. Pada penelitian ini telah dikembangkan alat yang mampu mengukur level muka aliran sekaligus besarnya debit aliran sungai menggunakan sinyal ultrasonik dengan memperhitungkankoeffisien manning. Alat yang dibuat memiliki kesalahan pengukuran tinggi muka air sebesar 1,16 % dan kesalahan perhitungan debit sebesar 2,42%.*

*Kata kunci : Open channel, keofisien manning, debit aliran*

## 1. PENDAHULUAN

Pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu daerah aliran sungai. Hal ini dapat terkait dengan pengaruh fungsi guna lahan terhadap pemenuhan kebutuhan air [1], mengevaluasi ketersediaan air pada suatu daerah serta pengawasan terhadap munculnya limpasan air yang berlebihan atau banjir [2]. Guna kebutuhan informasi tersebut, maka data debit harus tetap disandingkan dengan data besarnya curah hujan, infiltrasi air ke dalam tanah menjadi simpanan air tanah (*groundwater storage*) yang selanjutnya menjadi aliran dasar (*base flow*) [3].

Metode perhitungan besarnya debit air yang mengalir pada saluran sistem *open channel* menjadi lebih kompleks dibandingkan saluran tertutup (*close channel*). Hal ini disebabkan berbagai faktor seperti bahan pembentuk saluran, derajat ketidakteraturan, variasi penampang, besarnya pengaruh penghambat, dan derajat kelokan yang harus diperhitungkan, disebut sebagai koefisien *manning (manning coeficient)* [4]. Besarnya debit aliran pada sistem *open channel* akan berdampak langsung pada perubahan level permukaan aliran. Adanya persamaan *Chezy* memudahkan pengukuran debit aliran secara *real time* melalui pengukuran tinggi permukaan aliran tersebut.

### Debit Aliran Air pada Daerah Open Channel

Sungai merupakan salah satu contoh saluran terbuka (*open channel*) yang berarti permukaannya bebas dipengaruhi oleh tekanan udara bebas ( $P_{atmosfer}$ ). Karena sungai memiliki saluran penampang melintang dan kemiringan memanjang berubah-ubah maka sungai diklasifikasikan sebagai *Nonprismatic Channel*. Perhitungan saluran terbuka biasanya lebih rumit daripada saluran tertutup (*closed channel*) seperti saluran pipa. Hal ini disebabkan karena sungai memiliki bentuk penampang yang tidak teratur, sulit menentukan kekasaran saluran (pada sungai biasanya berbatu sedangkan pada dasar pipa cenderung licin) dan kesulitan pengumpulan data di lapangan. Kecepatan aliran pada saluran terbuka tersebut kemudian dirumuskan pada Persamaan 1 [4]:

$$Q = C\sqrt{RS} \quad (1)$$

dengan: Q = kecepatan aliran (kaki per sekon atau fps)  
R = jari-jari hidrolis (kaki)  
S = kemiringan dasar saluran

$C$  = koefisien Chezy (faktor tahanan aliran tanpa satuan)

Menurut Robert Manning nilai  $C$  masih dipengaruhi oleh  $R$ , yaitu sebesar:

$$C = \frac{1.49}{n} R^{1/6} \quad (2)$$

dengan:  $n$  = koefisien Manning

Jika persamaan tersebut disesuaikan berdasarkan Satuan Internasional (SI), maka persamaan Manning menjadi [5]:

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3)$$

Jika diketahui keliling basah  $P$  (*wetted perimeter*) dan  $R = A/P$ , persamaan 3 dapat ditulis menjadi:

$$Q = \frac{1}{n} A^{5/3} \cdot P^{-2/3} \cdot S^{1/2} \quad (4)$$

dengan:  $P$  = keliling basah (m)

#### *Koefisien Manning*

Koefisien Manning ( $n$ ) merupakan fungsi kekasaran dari bahan dinding saluran yang sangat memengaruhi besarnya kecepatan rata-rata pada saluran. Nilai kekasaran saluran merupakan kombinasi dari beberapa faktor seperti kekasaran permukaan saluran, jenis tumbuh-tumbuhan, ketidakberaturan penampang melintang saluran, trace saluran, pengendapan dan penggerusan, hambatan ukuran dan bentuk saluran, serta taraf air dan debit. Suatu cara untuk memperkirakan nilai  $n$  berdasarkan beberapa faktor di atas menggunakan persamaan 5 [6].

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (5)$$

dengan:

$n_0$  = nilai dasar  $n$  untuk saluran yang halus, seragam dan halus menurut bahan – bahan alamiah yang dikandungnya.

$n_1$  = nilai yang ditambahkan ke  $n_0$  untuk mengoreksi efek ketidakrataan permukaan.

$n_2$  = nilai untuk variasi bentuk dan ukuran penampang saluran.

$n_3$  = nilai untuk hambatan.

$n_4$  = nilai untuk kondisi tetumbuhan dan aliran.

$m_5$  = faktor koreksi bagi belokan-belokan saluran.

Nilai-nilai koefisien manning dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Tetapan Koefisien n-Manning untuk Persamaan 4 [4].

Keadaan Saluran		Nilai-Nilai
Bahan pembentuk	Tanah	0,020
	Batu pecah	0,025
	Kerikil halus	0,024
	Kerikil kasar	0,028
Derajat ketidak- teraturan	Sangat Kecil	0,000
	Sedikit	0,005
	Sedang	0,010
	Besar	0,020
Variasi penampang melintang saluran	Bertahap	0,000
	Kadang-kadang berganti	0,005
	Sering berganti	0,010-0,015
Efek relatif dari hambatan	Dapat diabaikan	0,000
	Kecil	0,010-0,015
	Cukup	0,020-0,030
	Besar	0,040-0,060
Tetumbuhan	Rendah	0,005-0,010
	Sedang	0,010-0,025
	Tinggi	0,025-0,050
	Sangat tinggi	0,050-0,100
Derajat kelokan	Kecil	1,000
	Cukup	1,150
	Besar	1,300

Dewasa ini telah banyak dikembangkan alat pendeteksi kenaikan level tinggi muka air sungai baik secara konvensional atau dengan sinyal ultrasonik. Informasi kecepatan rambat yang diperoleh dari osiloskop berupa waktu tempuh ( $\Delta t$ ) dan jarak tempuh ( $l$ ) gelombang ultrasonik dapat dihitung dengan persamaan 6 [7].

$$v = \frac{2l}{\Delta t} \quad (6)$$

Dimana pancaran gelombang ultrasonik dari transmitter yang menempuh jarak dalam waktu tertentu hingga diterima kembali oleh receiver setelah dipantulkan oleh muka air. Jarak yang ditempuh gelombang ultrasonik tersebut yang kemudian diolah sebagai data level ketinggian muka air. Alat tersebut baru mampu memperkirakan apakah akan banjir atau tidak berdasarkan level ketinggian muka air dan belum mampu memperkirakan debit air sungai yang mengalir saat banjir [8].

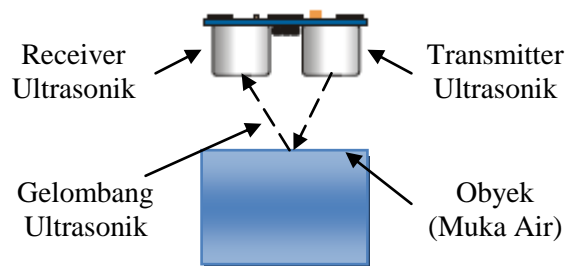
Berdasarkan pemikiran tersebut, maka telah direalisasikan suatu alat yang tidak hanya dapat digunakan untuk mengukur ketinggian air tetapi juga dapat menghitung debit air pada sistem *open channel*, sehingga dapat

membantu memperkirakan seberapa besar banjir yang akan datang. Pada penelitian ini digunakan *Ultrasonic Distance Sensor* dengan modul PING))) untuk mengukur level tinggi muka air. Selanjutnya dengan persamaan *Manning*, data pengukuran tinggi air tersebut digunakan untuk menghitung debit air sungai yang mengalir. Pengukuran level tinggi muka air dilakukan pada sistem aliran *open channel*, yaitu di sungai yang telah ditalud.

## 2. METODE PENELITIAN

### *Pengukuran Tinggi Muka Air dengan Ultrasonik*

Metode yang digunakan untuk mengukur tinggi muka air dengan ultrasonik berfrekuensi 40 kHz menggunakan prinsip *echosounder* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

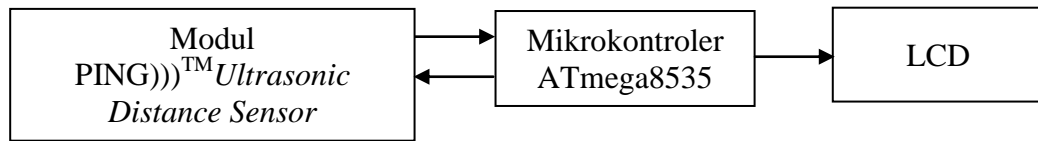


**Gambar 1.** Metode *echosounder* untuk mengukur level tinggi muka air

Gelombang ultrasonik ini merambat melalui udara dengan kecepatan kurang lebih 344 m/s. Jarak minimal antara *transmitter-receiver* dengan permukaan air adalah 2 cm dengan jarak maksimal 300 cm [9].

### *Perancangan perangkat keras*

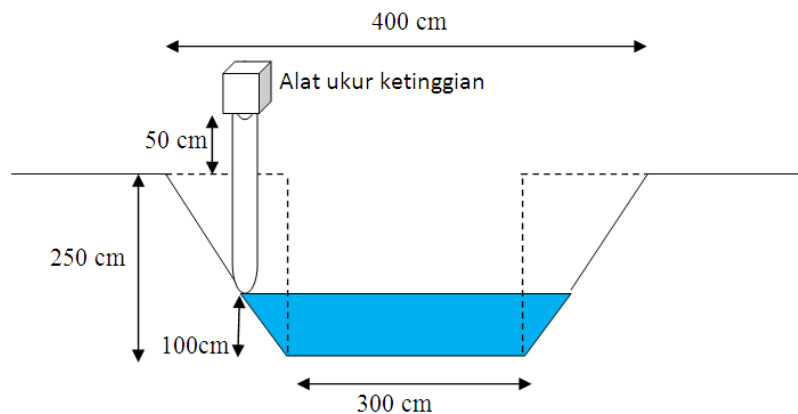
Perangkat keras yang digunakan terdiri dari modul PING)))<sup>TM</sup> *Ultrasonic Distance Sensor*, mikrokontroler ATmega8535 dan LCD. Adapun perancangan tahapan kerja perangkat keras tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Desain Perancangan Sistem Pengukur Level Tinggi Muka Air dan Debit Air

*Pengukuran dan pengambilan data*

Pengukuran diambil pada bagian sungai yang telah ditalud yang terletak di Desa Sukajaya Kelurahan Rajabasa Raya Kecamatan Raja Basa Bandar Lampung. Talud memiliki penampang melintang berbentuk trapesium yang dapat dilihat pada Gambar 3.

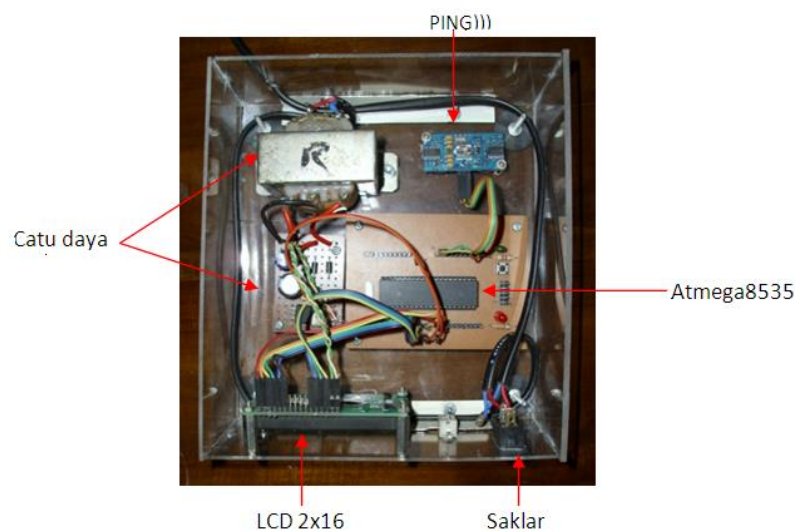


**Gambar 3.** Penampang Melintang Suatu Sungai Buatan

Talud dimana bjek penelitian pengukuran dilakukan memiliki ketinggian air rata-rata setiap tahunnya sekitar 100 cm. Keadaan dinding penampang saluran juga ditetapkan sebagai berikut: bahan pembentuk saluran adalah batu pecah ( $n_0 = 0,025$ ), derajat ketidakteraturan saluran sangat kecil ( $n_1 = 0,000$ ), bentuk dan ukuran penampang melintang saluran berubah secara bertahap ( $n_2 = 0,000$ ), hambatan aliran saluran biasanya berasal dari tumpukan sampah yang cukup banyak ( $n_3 = 0,020$ ), tetumbuhan yang biasa dijumpai di sungai adalah rerumputan dan kadang-kadang akar pohon ( $n_4 = 0,010$ ) serta derajat kelokan sungai yang telah ditalud cukup kecil ( $n_5 = 1,100$ ). Dengan demikian besarnya nilai koefisien Manning  $n$  untuk saluran dalam penelitian ini menurut persamaan (5) adalah 0,0605. Saluran tersebut memiliki kemiringan dasar saluran  $S$  yang telah ditetapkan sebesar 0,001.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

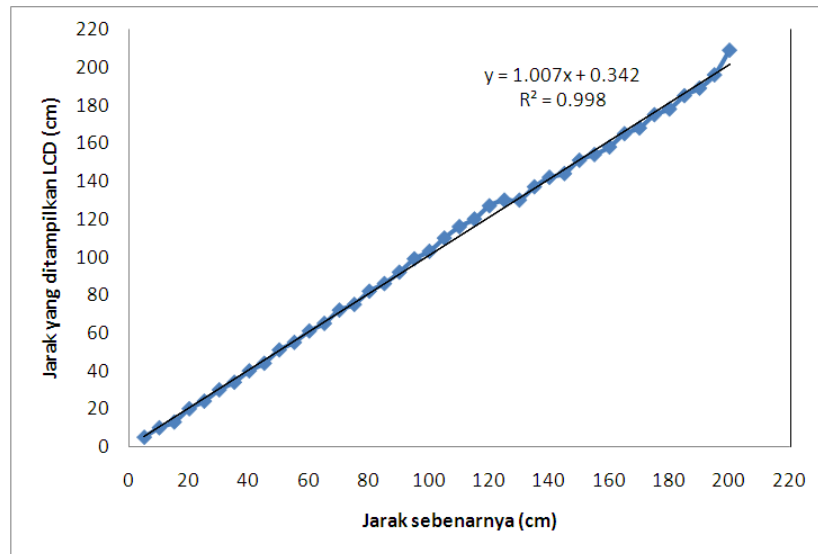
Alat yang dibuat dalam penelitian ini adalah alat yang dapat digunakan untuk mengukur tinggi muka air sungai dengan memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh PING))), sebagaimana tampak pada Gambar 4. Hasilnya diproses oleh mikrokontroler Atmega8535 dan ditampilkan pada LCD. Dengan bantuan persamaan Manning, alat ini juga dapat digunakan untuk menghitung debit air sungai.



**Gambar 4.** Foto Rangkaian Alat Ukur Tinggi Muka Air dan Debit Air Sungai Tampak Atas

#### Kalibrasi Alat Ukur Jarak

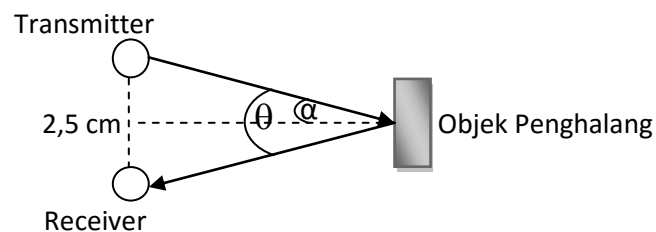
Gambar 5 adalah hasil perbandingan pengukuran jarak yang dihasilkan oleh alat dengan jarak sebenarnya. Kalibrasi ini dilakukan dengan mengukur jarak obyek pemantul yang digerakkan mendekati alat yang telah dibuat menggunakan mistar ukur.



**Gambar 5.** Grafik Linieritas Pengukuran Jarak

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan adanya beberapa buah titik yang sedikit menyimpang ke atas dari garis kelinearan alat yaitu saat benda berada pada jarak 105 cm terbaca 110 cm, jarak 110 cm terbaca 116 cm, jarak 115 cm terbaca 120 cm, jarak 120 cm terbaca 127 cm, dan jarak 125 cm terbaca 130 cm, serta pada jarak 200 cm terbaca 209 cm. Kesalahan ini disebabkan nilai pembulatan (*quantisation*) pada ADC yang terdapat pada ATmega8535. Nilai kesalahan rata-rata pengukuran seluruhnya sebesar 2,079%.

Hal yang perlu diperhatikan pada saat mengukur jarak benda adalah memastikan bahwa benda tersebut berada pada rentang jarak 2 cm sampai 300 cm. Dalam kenyataannya, pengukuran mulai mampu memberikan respon mulai pada 5 cm. Hal ini disebabkan batasan jarak terdekat dipengaruhi oleh besarnya sudut yang dibentuk oleh gelombang datang dan gelombang pantul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Sudut yang dibentuk Pantulan Ultrasonik saat Benda Dekat



Gambar 6 menunjukkan pengaruh posisi benda terhadap sudut yang dibentuk. Pada saat objek penghalang berada cukup jauh dari PING))) maka besarnya sudut  $\theta$  menjadi sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Pada keadaan seperti ini, lintasan gelombang datang dan lintasan gelombang pantul dapat dianggap berada pada satu garis lurus sehingga persamaan umum  $s = \frac{v \cdot t}{2}$  dapat digunakan untuk mengukur jarak. Namun jika objek penghalang terlalu dekat dengan PING))) maka sudut  $\theta$  menjadi semakin besar dan tidak mungkin diabaikan begitu saja. Besarnya sudut  $\theta$  adalah 2x besar sudut datang  $\alpha$ . Dengan mencari besar sudut datang  $\alpha$  terlebih dahulu maka dapat ditentukan besar sudut  $\theta$ . Besarnya sudut datang  $\alpha$  adalah:

$$\alpha = \text{arc}(\tan^{-1} \frac{1,25 \text{ cm}}{5 \text{ cm}}) \approx 14^\circ$$

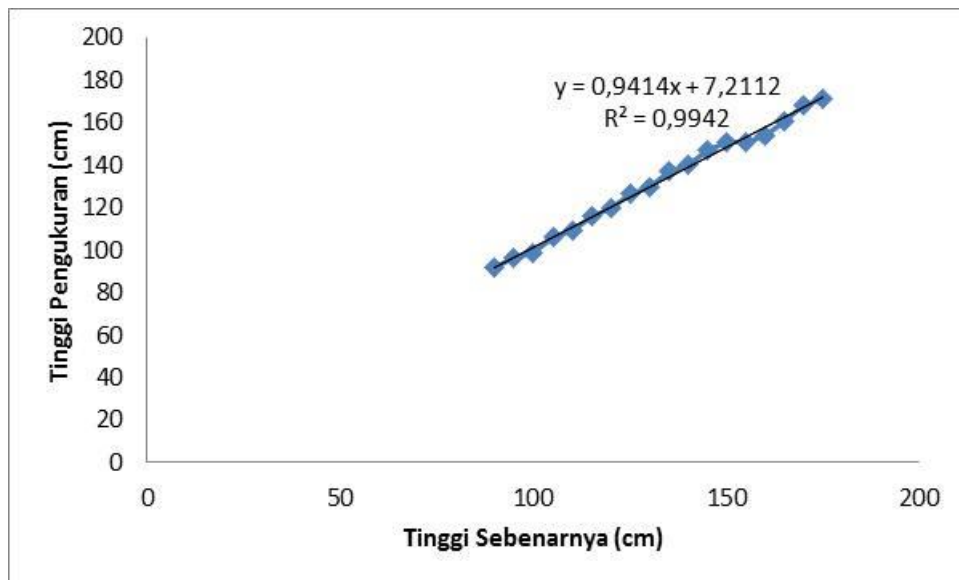
Nilai sudut  $\theta$  saat benda berada pada jarak 5 cm dari PING))) adalah  $28^\circ$ . Jika jarak kurang dari 5 cm, maka besarnya sudut akan melebihi  $28^\circ$ . Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Warsito dkk [10].

Dari Tabel 2 terlihat bahwa sistem alat dapat bekerja dengan baik untuk mengukur ketinggian muka air sungai dengan nilai kesalahan yang kecil. Namun terjadi penyimpangan yang jauh ketika alat menghasilkan nilai debit air.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Alat

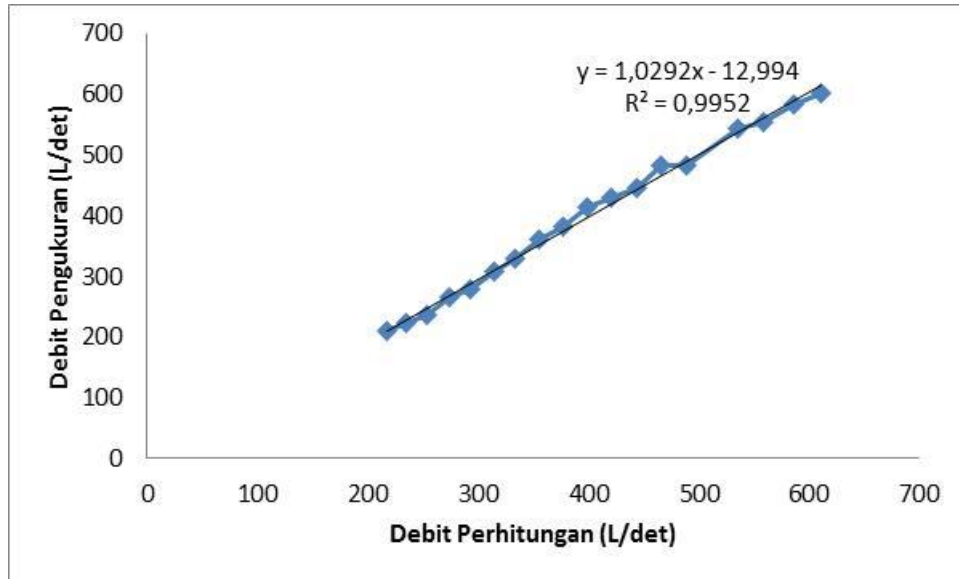
No	Tinggi Muka Air Sungai (cm)		Debit Air Sungai (Liter/detik)	
	Sebenarnya	Pengukuran	Perhitungan	Pengukuran
1	90	92	217	210
2	95	96	235	223
3	100	99	254	238
4	105	106	274	265
5	110	109	293	280
6	115	116	314	309
7	120	120	334	330
8	125	127	355	361
9	130	130	377	381
10	135	137	399	413
11	140	140	421	429
12	145	144	443	447
13	150	151	466	483
14	155	154	489	499
15	160	161	535	544
16	165	164	558	555
17	170	168	586	583
18	175	171	611	602

Penyimpangan tersebut dikarenakan ketidaksesuaian tipe data yang dideklarasikan dengan data perhitungan sebenarnya. Tipe data yang dideklarasikan adalah tipe data *integer* (bilangan bulat) sehingga hasil pembagian pecahan akan selalu dibulatkan. Sedangkan tipe data yang digunakan dalam perhitungan adalah bilangan desimal yang akan tetap memperhatikan angka-angka di belakang koma desimal. Tabel 2 menyajikan hasil pembulatan pengukuran dengan program dan juga hasil perhitungan yang telah dibulatkan menurut aturan pembulatan ilmiah. Besarnya kesalahan pengukuran debit oleh alat adalah 2,4%. Sedangkan besarnya kesalahan pengukuran tinggi muka air adalah 1,169%. Grafik pengukuran tinggi muka air disajikan dalam Gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik Linearitas Pengukuran Tinggi Muka Air Sungai.

Hasil pengukuran debit air sungai juga dapat ditampilkan seperti pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Grafik Linearitas Pengukuran Debit Air Sungai.

Pada Gambar 8, terdapat rentangan yang cukup jauh di antara titik 500 dan 600 debit perhitungan. Hal ini dikarenakan alat mengukur debit air pada ketinggian 150 cm sebesar 483 L/det yang berarti sama dengan debit air pada ketinggian 155 cm yaitu sebesar 483 L/det.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat yang telah dibuat dapat digunakan untuk mengukur ketinggian muka air sungai. Besarnya kesalahan pengukuran debit aliran adalah 2,4%. Sedangkan besarnya kesalahan pengukuran tinggi muka air adalah 1,169%. Beberapa pengembangan yang perlu dilakukan yaitu penambahan perangkat alarm sehingga alat dapat langsung memberi peringatan jika ketinggian muka air telah mendekati batas tertinggi guna kewaspadaan masyarakat terhadap bencana. Alat dapat dilengkapi juga dengan catu daya yang bersumber dari baterai sehingga alat dapat dipasang pada daerah yang tidak terjangkau sumber listrik PLN.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP2M Dikti atas support dana penelitian ini dalam skema Hibah Strategis Nasional.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mahzum M M, Mardyanto M A, 2014. Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air dan Upaya Konservasi SUB DAS Brantas Hulu Wilayah Kota Batu. *Seminar Nasional Pascasarjana XIV – ITS, Surabaya, 7 Agustus 2014.*
- [2]. Maryono, Agus.2005. *Menangani Banjir, Kekeringan dan Lingkungan.* Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [3]. Mock, F.J, Dr 1973, *Land Capability Appraisal Indonesia , Water Availability Appraisal,* UNDP/FAO, Bogor.
- [4]. Chow, Ven Te.1997. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics).* Jakarta: Erlangga.
- [5]. Raju, K. G. Ranga. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka* Jakarta: Erlangga.
- [6]. Issacson, E. J., Stocker, J. J., and Troesch, B. A. 1954. *Numerical Solution of Flood Prediction and River Regulation Problems Report No 1 MM-205.* New York University: Institute of Mathematical Sciences.
- [7]. Gurum AP. 2011. Analisa dan Pengukuran Massa Jenis Cairan Menggunakan Sinyal Ultrasonik Transduser Tunggal. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi-IV.* Hotel Marcopolo, Bandar Lampung, 29 – 30 November 2011.
- [8]. Ratna S., Warsito dan Darmawan, A., Rancang bangun model pemantauan tinggi muka air sungai menggunakan telemetri radio, *Jurnal Electrician,* Vol. 2 No. 1, 2008.
- [9]. Kurniawan, Yuda. 2010. *Implementasi Ultrasonic Level Detector pada Sistem Monitoring Tanki Pendam pada SPBU.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [10]. Warsito, Kalpataru I, Sri Wahyu S and Gurum AP. 2012. Study of inclination angle of reflector object in simple water level instrument using 40kHz ultrasonic transducer. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* Vol: 42/1/2012