

Sistem Monitoring Digital Penggunaan dan Kualitas Kekeruhan Air PDAM Berbasis Mikrokontroler ATmega328 Menggunakan Sensor Aliran Air dan Sensor Fotodiode

Muhammad Kautsar ¹⁾, R. Rizal Isnanto, ²⁾, Eko Didik Widiyanto ²⁾
Program Studi Sistem Komputer Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia
em.kautsar@ce.undip.ac.id

Abstract ~ Water became one of the staples in the community who are taking a very important role in life. Dependence of human life should not need to denied of water presence. Many activities of human dependent of water such as drinking, washing, bathing etc. In the city, PDAM as a service business into regional water supply solution to deliver water in the houses. Currently, the use of an analog water meter is ineffective for the customer to be able to monitor the use of water consumption and bill to be paid. Not only that, sometimes the quality of water delivered by the service is not good, it can be seen during the rainy season, which causes the water to become turbid. Today's technology much shift something analog to digital which is better appearance and easier operation. Thus in this study designed a digital monitoring system using based on microcontroller ATmega 328 by measuring the water discharge from the tube's connection. For measuring the water usage using the water flow sensor that uses the principle of the hall effect. At the same tool can detect water turbidity problems using photodiode sensor which have working principle by intensity of light received from sample reservoir. The output of this system contains information on water discharge, volume of water in cubic meter also is added to the unit of price. Result of testing the accuracy sensor water flow reached 98,8 % while sensor photodiode had scale measurement water turbidity reached 0 - 173 NTU.

Key words : Monitoring System, Microcontroller ATmega328, Water flow sensor, Water turbidity, Photodiode.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan bagian kebutuhan pokok manusia yang banyak digunakan untuk memenuhi aktivitas sehari-hari seperti minum, mandi, mencuci dan lain sebagainya. Di perkotaan, pelayanan jasa air bersih umumnya diselenggarakan oleh pemerintah melalui PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum). Air yang disalurkan oleh PDAM ke rumah-rumah penduduk biasanya berasal dari pengunungan yang mengalir ke sungai kemudian di tampung terlebih dahulu di bak-bak penampungan (*reservoir*) kemudian di saring dan di distribusikan ke rumah-rumah pelanggan ^[1].

Dewasa ini, masalah utama sumber daya air meliputi kuantitas air yang mampu memenuhi kebutuhan manusia yang terus meningkat dan kualitas air untuk menjamin hal tersebut kini sudah amat parah. Banyak industri-industri yang mencemari daerah tangkapan air baik itu sungai dan air bawah tanah. Meningkatnya penebangan pohon-pohon di hutan menjadi faktor sebab terjadinya penurunan kualitas sumber daya air.

Peningkatan kuantitas air merupakan syarat kedua setelah kualitas, karena semakin maju tingkat hidup seseorang, maka akan semakin tinggi pula tingkat kebutuhan air dari masyarakat tersebut ^[2]. Untuk keperluan minum

sendiri dibutuhkan air rata-rata 5 liter/hari, sedangkan secara keseluruhan kebutuhan akan air suatu rumah tangga untuk masyarakat Indonesia diperkirakan 60 liter/hari. Jadi, bagi negara yang sudah maju kebutuhan air pasti lebih besar dari kebutuhan negara-negara yang sedang berkembang ^[3].

Akibat penurunan kualitas air tanah, menyebabkan banyak masyarakat yang beralih menggunakan air PAM untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Meskipun demikian PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) belum mampu melayani kebutuhan air bersih untuk seluruh masyarakat, masih banyak dijumpai fakta di lapangan bahwa kadar air yang di salurkan PAM (Perusahaan Air Minum) mengalami pencemaran baik bersifat kimiawi, bakteriologis maupun fisiologis. Secara fisiologis parameter yang dapat dijumpai dengan terjadinya perubahan warna, bau, rasa, suhu dan kekeruhan.

Kekeruhan merupakan sifat optik dari suatu larutan yang menyebabkan cahaya yang melaluinya terabsorpsi dan terbias. Air akan dikatakan keruh apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi, sehingga memberikan warna atau rupa yang berlumpur dan kotor ^[4]. Air keruh yang tidak tembus pandang menyatakan bahwa air tersebut memiliki tingkat kekeruhan yang sangat tinggi sedangkan air yang tembus pandang memiliki kekeruhan yang rendah. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, pasir halus dan bahan-bahan organik.

Di era yang serba maju ini banyak teknologi yang dijumpai berbasis digital, dimana dalam ini dimungkinkan untuk dapat menjamin efisiensi waktu dan tenaga serta manajemen dengan baik. Oleh karena itu banyak orang lebih cenderung memilih teknologi digital karena mempunyai banyak keuntungan baik dari segi ergonomi dan penggunaanya yang mudah.

Oleh karena itu perlu dibuat sebuah alat secara elektronik yang dapat memantau penggunaan volume air sekaligus mengkonversinya ke dalam satuan harga yang di tempatkan di rumah pelanggan sehingga pelanggan dapat dengan mudah memantau penggunaan air yang mereka gunakan secara akurat. Sistem ini juga dapat dikembangkan dengan pendeteksian kekeruhan air yang ditempatkan pada saluran pipa air. Sistem pengendalian yang digunakan pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega 328 dengan papan sirkuit Arduino Nano versi 3.0.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gambaran Umum Air

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting dalam kehidupan manusia dan digunakan banyak masyarakat untuk berbagai kegiatan sehari-hari, termasuk dalam bidang

pertanian, perikanan, industri pertambangan, rekreasi, dan sebagainya. Tanpa air tidak akan ada kehidupan di muka bumi ini, karena setiap makhluk hidup berasal dari air dan membutuhkan air untuk bertahan hidup.

B. Kualitas Air

Air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak [5]. Standar kualitas tersebut ditunjukkan oleh parameter kualitas air, yaitu fisika, kimia, mikrobiologi atau bakteriologi dan radiologi. Tabel 1 menunjukkan parameter fisika kualitas air. Namun, fokus pada makalah ini hanya menjelaskan masalah kekeruhan air.

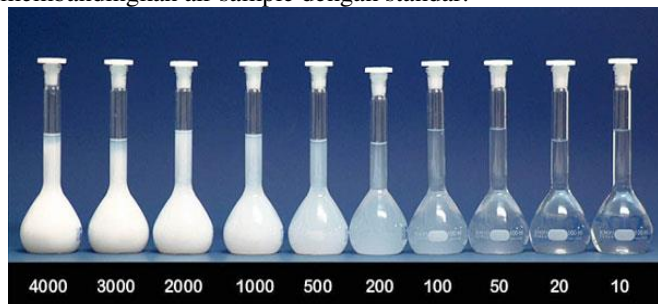
Tabel 1. Persyaratan parameter fisika kualitas air bersih

Parameter Fisika	Satuan	Kadar Max	Keterangan
Suhu	C	Suhu udara ± 3	-
Rasa	-	-	Tidak berasa
Kekeruhan	Skala NTU	5	-
Jumlah zat padat terlarut	Mg/l	500	-
Bau	-	-	Tidak berbau
Warna	SkalaTCU	15	-

(Sumber : Ditje Cipta Karya Dep PU)

Kekeruhan adalah suatu bentuk pengukuran cahaya yang tersebar dari interaksi yang tersuspensi dan material terlarut pada sampel air, hal ini menjadikan sebagai indikator kualitas air. Kekeruhan juga dapat didefinisikan sebagai pengurangan transparansi cahaya pada sebuah cairan yang disebabkan oleh partikel-partikel yang terlarut.

Kekeruhan dinyatakan dalam satuan tubinitas yang setara dengan 1 mg/l SiO₂. Peralatan pertama kali yang digunakan untuk mengukur turbinitas atau kekeruhan adalah *Jacson Candle Turbidimeter*, yang dikalibrasi dengan silika. *Jacson Candle Turbidimeter* dijadikan sebagai alat baku atau standar bagi pengukuran kekeruhan. Satu unit turbinitas dinyatakan dengan 1 JTU. Pengukuran kekeruhan dengan menggunakan *Jacson Candle Turbidimeter* berifat visual, yaitu membandingkan air sample dengan standar.



Gambar 1. Standar formazin suspensi kekeruhan air NTU

Selain dengan menggunakan *Jacson Candle Turbidimeter*, kekeruhan sering diukur dengan metode *Nephelometric*. Pada metode ini, sumber cahaya dilewatkan pada sampel dan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh bahan-bahan penyebab kekeruhan diukur dengan menggunakan suspensi polimer formazin sebagai larutan standar, semakin tinggi intensitas cahaya dihamburkan maka semakin tinggi pula kekeruhannya. Satuan kekeruhan yang diukur dengan menggunakan *Nephelometric* adalah NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Satuan JTU dan NTU sebenarnya sama saja tidak dapat saling mengkonversi [6].

Standar kekeruhan pada air yang tergenang, misalnya danau lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi yang

berupa koloid dan partikel-partikel halus. Sedangkan kekeruhan pada sungai yang sedang banjir banyak disebabkan oleh bahan-bahan tersuspensi yang berukuran lebih besar, yang berupa lapisan permukaan tanah yang terbawa oleh aliran air pada saat hujan. Kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi misalnya, pernafasan dan daya lihat organisme akuatik, serta dapat menghambat daya penetrasi cahaya kedalam air.

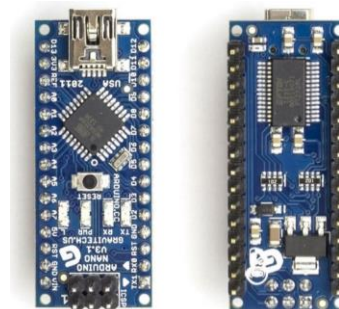
C. Debit

Debit air (*discharge*) atau besarnya aliran sungai (*stream flow*) adalah volume aliran yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai persatuan waktu [7]. Debit air sendiri biasanya dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m³/detik) atau liter per detik (l/detik). Aliran adalah pergerakan air di dalam aliran sungai.

Kekurang telitian atau kesalahan (*errors*) pengukuran debit dapat diartikan sebagai besarnya nilai perbedaan antara debit yang dihitung berdasarkan pengukuran dengan debit yang sebenarnya. Kesalahan pengukuran debit umumnya bersumber dari dua macam sebab yaitu kesalahan petugas dan kesalahan peralatan. Berbicara tentang kesalahan maka kesalahan juga dapat dibedakan antara ketepatan dan ketelitian [8].

D. Arduino Nano Versi 3.0

Arduino adalah salah satu produk papan elektronik yang mengandung sebuah mikrokontroler AVR yang menjadi sebuah kesatuan atau biasa dikenal dengan sistem minimum. Arduino merupakan sebuah modul papan pengembang yang sifatnya terbuka (*open-source*), fleksibel, dan mudah digunakan dalam hal perangkat keras dan perangkat lunak [9]. Gambar 2 menunjukan bentuk fisik dari Arduino Nano V3.0, sedangkan Tabel 2 mendeskripsikan spesifikasi dari Arduino.



Gambar 2. Arduino Nano Vesi 3.0

Tabel 2. Spesifikasi Arduino Nano 3.0

Komponen	Keterangan
Mikrokontroler	Atmel ATmega328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input	7-12 V
Batas Tegangan Input	6-20 V
Digital I/O	14 Pin (tersedia 6 keluaran PWM)
Analog Input	8 Pin
DC Current per I/O pin	40 mA
Flash Memori	32 KB (ATmega328), 2 KB bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan Clock	16 MHz
Dimensi	0.73" x 1.70"

E. ATmega 328-AU

ATmega 328-AU adalah sebuah mikrokontroler keluaran dari Atmel jenis TQFP-32 dengan bentuk minimalis.

Mikrokontroler ini juga merupakan bagian seri ATmega328P, yang mempunyai arsitektur CPU berbasis RISC (*Reduce Instruction Set Computer*), dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*)^[10]. Selain itu pada mikrokontroler ini tersedia komponen ADC yang dapat mengkonversi sinyal analog ke digital dengan resolusi pengukuran 0 – 1023 bit/second.

F. Sensor Aliran Air

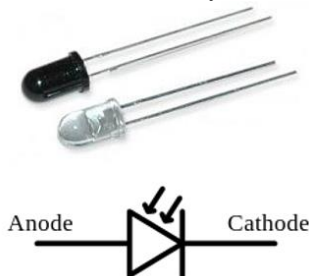
Sensor aliran air terdiri dari tubuh katup plastik, rotor air, dan sensor hall efek. Ketika air mengalir melalui rotornya, rotor akan berputar. Kecepatan putarannya bersesuaian dengan rata-rata kecepatan aliran air yang melaluinya. Sensor efek hall akan menghasilkan pulsa-pulsa digital yang bersesuaian dengan kecepatan rotor.



Gambar 3. Sensor Aliran Air

G. Sensor Fotodiode

Fotodiode adalah komponen elektronik yang terbuat dari bahan semikonduktor berbeda dengan diode biasa, komponen elektronika ini akan mengubah cahaya menjadi arus listrik. Cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodiode ini mulai dari cahaya inframerah, cahaya tampak, ultra ungu sampai sinar-X. Prinsip kerja fotodiode jika terkena cahaya, maka akan bersifat sebagai sumber tegangan dan nilai resistansinya akan menjadi kecil. Sebaliknya jika fotodiode tidak terkena cahaya, maka nilai resistansinya akan semakin besar atau dapat diasumsikan tak hingga. Besarnya tegangan atau arus listrik yang dihasilkan fotodiode tergantung besar kecilnya radiasi yang di pancarkan oleh sumber cahaya.



Gambar 4. Sensor Fotodiode

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Spesifikasi kebutuhan fungsional

Spesifikasi kebutuhan fungsional dilakukan untuk memberi gambaran tentang alat yang akan dibuat dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Kebutuhan fungsional dalam pembuatan tugas akhir ini sebagai berikut.

- 1) Alat menggunakan mikrokontroler ATmega 328 sebagai pusat kontrol untuk membaca nilai akuisisi sensor.
- 2) Alat mampu menampilkan informasi pembacaan sensor aliran air dan mengkonversi ke volume dan biaya yang dikenakan pada LCD.

- 3) Alat mampu menampilkan informasi pembacaan sensor fotodiode dan mengubah ke variabel linguistik pada LCD.
- 4) Alat mampu menampilkan derajat kekeruhan air melalui indikator LED.

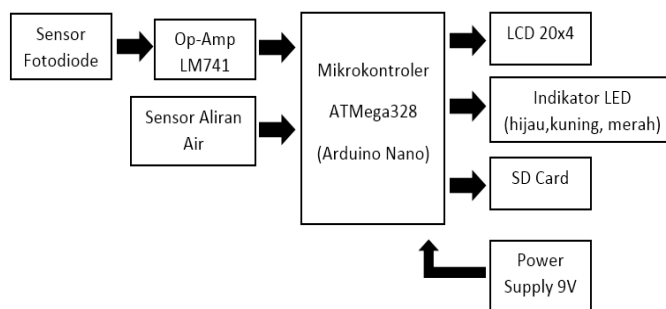
B. Spesifikasi kebutuhan Non Fungsional

Kebutuhan non-fungsional mendeskripsikan tingkatan dari kualitas. Kebutuhan non-fungsional dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

- 1) Purwarupa alat dibuat sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam proses pemasangan dan penggunaannya.
- 2) Konstruksi purwarupa alat terintegrasi pada pipa paralon ½ inci.
- 3) Catu daya yang dibutuhkan oleh alat adalah berkisar 6 - 12 Volt.

C. Perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat keras berhubungan dengan pembuatan sistem secara nyata, yang dimulai dengan mendefinisikan kebutuhan sistem sampai perakitan komponen-komponen elektronik dan mekanik. Untuk diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok sistem

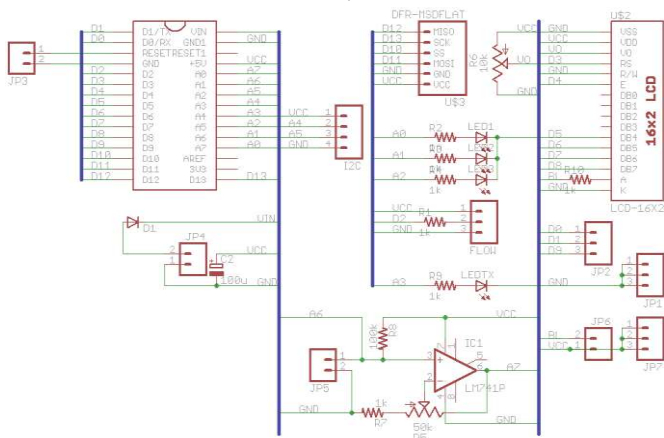
D. Perancangan Sistem Minimum Arduino Nano

Sistem minimum yang dirancang menggunakan papan pengembang Arduino Nano versi 3.0 dengan mikrokontroler berbasis ATmega328 yang telah melekat didalamnya. Alasan penggunaan papan ini karena ukurannya yang minimalis dan mudah untuk dipasang pada breadboard serta dilengkapi dengan port mini-B USB. Pada Arduino Nano, sistem minimum sudah ditunjang oleh beberapa komponen yang umum seperti regulator DC 5 volt, tombol reset, oscillator, LED indikator dan rangkaian ICSP (*In Circuit System Programming*). Berikut merupakan bentuk skematik rancangan sistem minimum yang terdapat pada Arduino Nano versi 3.0.

Untuk perancangan perangkat keras secara keseluruhan sistem, dilengkapi dengan interkoneksi masukan sensor aliran air, sensor fotodiode, LED dan button sedangkan untuk keluarannya berupa antarmuka LCD. Adapun skematiknya dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan penggunaan pin Arduino dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penggunaan pin pada Arduino

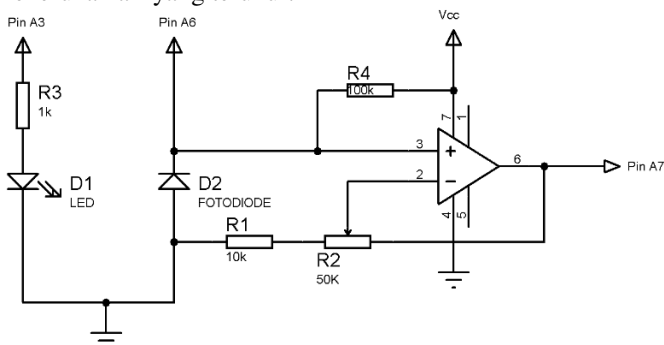
Pin Arduino Nano	Komponen
D2	Sensor Aliran Air
D3 – D8	LCD
D10 – D13	Modul SD Card
A0 – A2	Indikator LED
A3	LEDx
A6	Fotodiode
A7	Op-Amp
Vcc, Gnd, ARef	Catu daya 5 Volt



Gambar 6. Skematik perancangan sistem secara keseluruhan

E. Perancangan sensor kekeruhan

Perancangan pendeteksian kekeruhan air menggunakan sensor fotodiode dengan rangkaian sistem analog. Cara kerja rangkaian fotodiode yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan (*turbidity*) air, yaitu dengan melewatkan air diantara LED dan fotodiode. Karena keluaran tegangan yang dihasilkan fotodiode sangat kecil maka digunakan penguatan operasional menggunakan IC LM741 yang mempunyai satu saluran keluaran tegangan dengan prinsip penguatan *non-inverting* dimana pada rangkaian Gambar 7. Nilai R2 mempengaruhi nilai penguatan pada keluaran tegangan. Intensitas cahaya yang diterima fotodiode diubah menjadi sinyal tegangan yang masuk pada pin A7 Arduino. Sinyal tegangan ini akan menunjukan nilai yang sebanding dengan nilai kekeruhan air yang terukur.



Gambar 7. Rangkaian Op-amp sensor fotodiode

H. Perancangan program sensor aliran air

Perancangan program pada sensor aliran air digunakan untuk menghitung kecepatan aliran air atau debit yang diproses oleh mikrokontroler ATM3ga328. Kecepatan air tersebut dapat diperoleh melalui rumusan.

$$Q = \frac{\text{Jumlah pulsa permenit}}{7,5} \quad (1)$$

Dimana konstanta nilai 7,5 merupakan konstanta frekuensi pada *datasheet* sensor, sedangkan untuk mendapatkan volume air dalam meter kubik digunakan rumusan sebagai berikut.

$$\text{Volume} = \frac{Q / 60}{1000} \quad (2)$$

Keterangan:

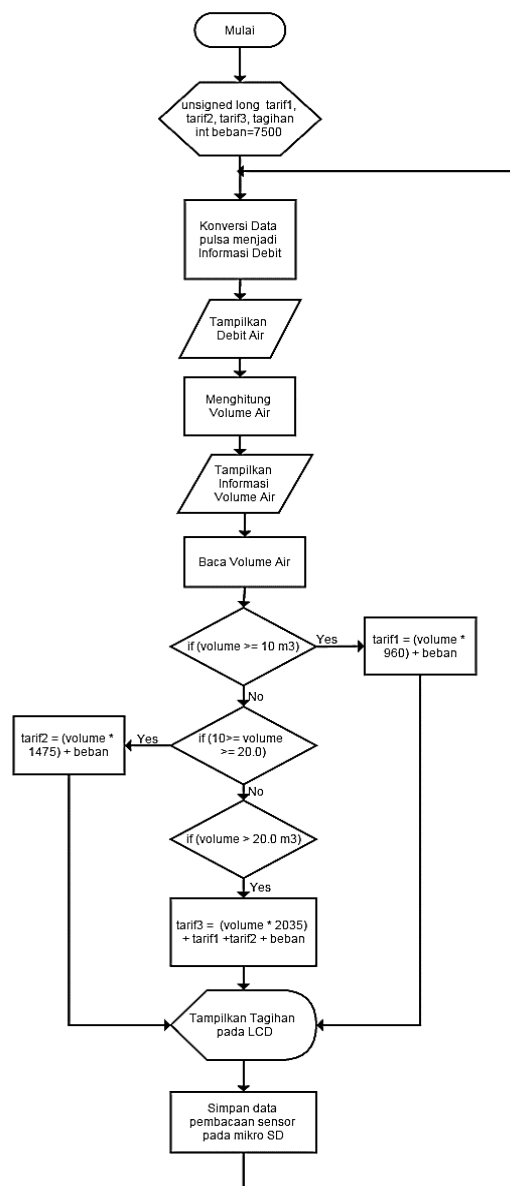
Volume = Jumlah volume air yang terukur m³

Q = kecepatan aliran air

60 = detik

1000 = pembagian nilai liter ke meter kubik

Untuk melihat proses jalannya program dapat dilihat pada Gambar 8 yang menunjukkan diagram alir sistem.



Gambar 8. Diagram alir fungsi sensor aliran air

Diagram alir di atas mempunyai tahap-tahap sebagai berikut.

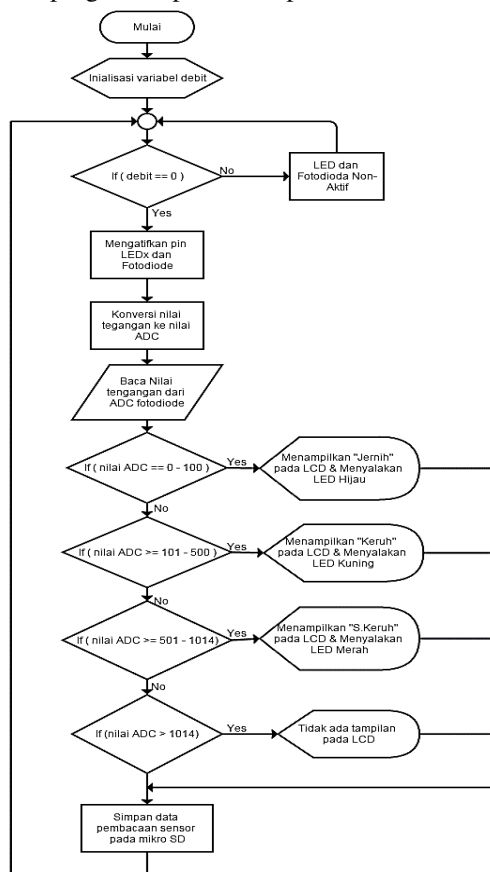
- 1) Mula-mula dengan menginisialisasi seluruh pin perangkat keras yang digunakan untuk menjalankan program seperti pin untuk membaca sensor aliran air dan pin LCD untuk menampilkan informasi pembacaan.
- 2) Kemudian, dilakukan perhitungan kecepatan aliran air berdasarkan rumus yang terdapat pada (3.1), hasil dari perhitungan tersebut akan ditampilkan pada layar.
- 3) Setelah itu, dari hasil perolehan kecepatan aliran air kemudian dimasukan pada rumusan untuk mencari volume air sesuai dengan persamaan (3.2).
- 4) Hasil dari perhitungan volume air tersebut selanjutnya, dilakukan proses perhitungan tarif pembayaran air berdasarkan kategori penggunaan dengan penambahan abondemen atau beban ditiap kategori biaya.
- 5) Terakhir, setiap hasil pembacaan sensor akan disimpan pada kartu memori mikro SD dalam kurung waktu tertentu. Karena program bekerja pada fungsi void loop terus berulang-ulang.

Tabel 4. Kategori tarif penggunaan air golongan rumah tangga

Golongan Pelanggan		Tarif Pemakaian Air (Rp)		
		1	2	3
Kelompok 1		(0-10) M ³	(11-20) M ³	(>20) M ³
1	SOSIAL KHUSUS - Tempat ibadah, Panti Asuhan, Panti Jompo - Asrama Badan Sosial, Pondok Pesantren - TPA, Kelompok bermain, TK, dan SD - Puskesmas dan Klinik Pemerintah	960	1.020	2.035
2	RUMAH TANGGA 1	960	1.475	2.035
3	SOSIAL UMUM Kram Umum, Hydrant Umum -Kamar mandi umum dan wc Umum	2.035	2.035	2.305
Beban		7.500		

Sumber: Peraturan walikota semarang No.6A 2009

Dalam perancangan pendeteksi air menggunakan sensor fotodiode, sensor akan aktif jika kecepatan aliran air atau debit berada pada kondisi nol yang berarti air dalam keadaan diam sehingga tidak mengganggu proses pembacaan sensor akibat terjadinya gelembung-gelembung air yang mengalir, kemudian LED akan menyala dan mengaktifkan pembacaan pada sensor fotodiode yang dibaca melalui ADC (*Analog Digital Converter*) yang mengubah sinyal tegangan ke bentuk bit-bit mikrokontroler, kemudian nilai tersebut dikelompokkan menjadi tiga kategori variabel linguistik yaitu jernih, keruh dan sangat keruh. Untuk diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 95. Diagram alir fungsi pendeteksi air

Pada perancangan sistem pengukuran kekeruhan air ini digunakan resolusi ADC 10-bit yang berarti ketelitian pembacaan data mencapai maksimum $2^{10} - 1 = 1023$. Prinsip kerja untuk mendapatkan nilai ADC dengan rasio perbandingan sinyal masukan dan tegangan referensi dikalikan dengan resolusi bit.

$$\text{Nilai ADC} = \frac{V_{in} \times \text{Bit}}{V_{ref}} \quad (3)$$

Sedangkan untuk mencari nilai tegangan keluaran ADC dengan menggunakan rumus.

$$V_{out} = \frac{\text{Nilai ADC}}{\text{Bit}} \times V_{ref} \quad (4)$$

I. Perancangan Modul kartu mikro SD

Modul kartu SD yang digunakan pada perancangan ini mendukung penggunaan kartu mikro SD yang biasa digunakan pada perangkat bergerak. Fungsi dari penggunaan kartu SD sebagai *datalogger* untuk menyimpan proses pembacaan sensor. Karena mikro SD bekerja pada tegangan 3.3 V maka dibutuhkan rangkaian pembagi tegangan dari masukan Arduino sebesar 5 V. Berikut merupakan rancangan penggunaan pin Arduino pada modul mikro SD seperti yang terlihat pada Tabel 5.

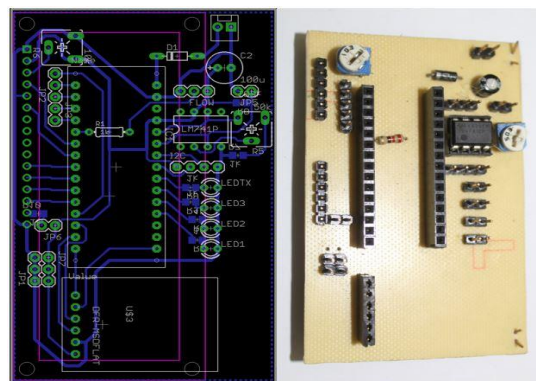
Tabel 5. Penggunaan pin modul kartu SD pada Arduino

Pin Modul Kartu SD	Pin Arduino
MISO (Master In Slave Out)	D12
SCK (Serial Clock)	D13
SS (Slave Select)	D10
MOSI (Master Out Slave In)	D11
GND (Ground)	GND (-)
VCC	VCC (+)

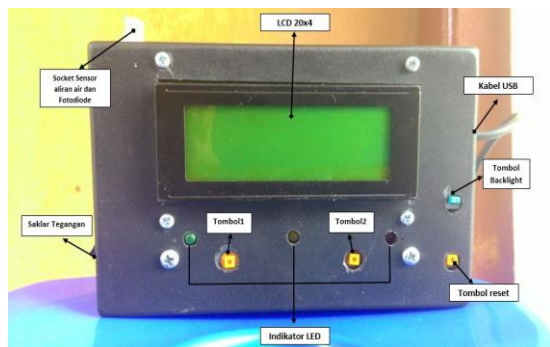
IV. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

A. Implementasi perangkat keras

Pengimplementasian perangkat keras merupakan tahap perealisasi desain kebentuk yang nyata. Hal ini dimulai dengan penentuan komponen apa saja yang akan digunakan, setelah itu membuat papan sirkuit atau yang biasa dikenal dengan istilah PCB (*Printed Circuit Board*). Fungsi PCB disini yaitu untuk menghubungkan tiap-tiap komponen perangkat keras menjadi kesatuan terpadu. Gambar 10 menunjukkan hasil pembuatan papan sirkuit berdasarkan desain yang telah dibuat.



Gambar 10. Implementasi pembuatan LCD

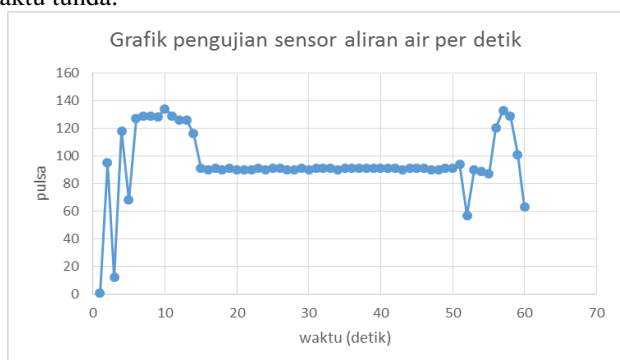


Gambar 61. Implementasi antarmuka alat

B. Pengujian Sensor Aliran Air

Pengujian pada sensor aliran air dilakukan berdasarkan pada konstruksi mekanik pemasangan sensor aliran air pada sebuah pipa. Tujuan dari pengujian ini ialah untuk mengetahui apakah aliran air yang didorong oleh pompa berjalan secara konstan.

Tahap prosedur yang dilakukan untuk mengukur kecepatan air dengan mengaktifkan pompa air yang tersambung pada sensor melalui media pipa paralon. Sehingga, air dapat mengalir secara berlanjut. Kemudian keluaran air ditampung pada gelas ukur dengan durasi pengukuran 60 detik mulai pada saat pompa dinyalakan hingga pompa dimatikan, selanjutnya akan dilihat volume air yang terukur. Berikut merupakan hasil pencatatan pengujian sensor aliran air pada *serial monitor* berdasarkan pulsa dan waktu tunda.



Gambar 12. Grafik pengujian sensor aliran air

Grafik tersebut menunjukan putaran rotor yang terdapat pada sensor mulanya mengalami kenaikan fluktuasi dikarenakan tekanan pada pompa yang belum stabil, kemudian setelah didetik ke 19 menunjukan kestabilannya seiring waktu karena tekanan pada air sudah mulai konstan dan ketika pompa mulai dinon-aktifkan rotor mengalami degradasi pulsa akibat pengaruh suplai air telah dihentikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor bekerja dengan baik berdasarkan tekanan air yang mengalir. Untuk hasil akurasi pengukuran volume air dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian akurasi sensor aliran air

Pengujian	Volume ukur sensor (liter/menit)	Volume air (liter/menit)	Error	Akurasi
1	12,7	10,5	1,17%	98,83%
2	13,1	13,2	1,21%	98,79%
3	13,3	13,1	1,23%	98,77%
4	13,2	13,0	1,22%	98,78%
5	13,1	12,8	1,21%	98,78%
Rata-Rata	13,08	12,52	1,20%	98,80%

Dari hasil pengujian yang dilakukan selama lima kali percobaan diketahui bahwa akurasi pengukuran sensor mencapai 98,80 % dari volume air sebenarnya. Hasil tersebut menunjukan bahwa ketelitian sensor hampir mendekati volume ukuran sebenarnya dengan *error* yang didapat 1,20 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kemampuan sensor cukup handal.

Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi ketidakakuratan dalam melakukan penelitian ini seperti terdapat suatu kondisi udara yang hampa mengerakan rotor pada sensor ketika pompa mulai di non aktifkan, sehingga sensor menunjukkan volume yang lebih dalam pengukuran sebenarnya serta ketepatan dalam mengukur volume pada gelas penampung.

C. Pengujian sensor fotodiode

Untuk mendeteksi kekeruhan air digunakan sebuah sensor fotodiode sebagai penerima (*receiver*) dan LED sebagai pemancar cahaya (*transmitter*) berukuran 5 mm. Kedua komponen tersebut diletakkan pada bagian pipa paralon dengan jarak kedua komponen 1,5 cm. Supaya proses pembacaan lebih presisi mendapatkan radiasi cahaya penempatan fotodiode dan LED di hadapkan secara sejajar.

Prosedur pengujian kekeruhan air didasarkan atas perbandingan sampel air yang telah diukur menggunakan dua perbandingan alat, yakni alat yang dibuat dan alat turbidimeter merek Mikro TPW dengan satuan pengukuran NTU. Dimana pada alat ukur turbidimeter ini menggunakan metode perbandingan cahaya yang tersebar pada sampel larutan suspensi, jadi semakin tinggi intensitas cahaya yang tersebar maka semakin tinggi kekeruhan air. Skala pembacaan alat ini mulai dari 0 – 1000 NTU. Cairan yang digunakan pada percobaan ini yakni air yang dicampurkan dengan tanah liat sehingga air mengalami kekeruhan. Untuk sampel air dapat dilihat pada Gambar 13. Pengujian dilakukan di Lab Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro.

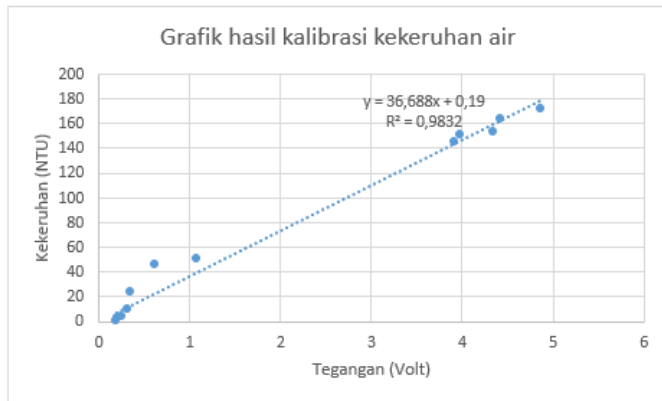


Gambar 13. Sampel pengujian kekeruhan air

Tabel 7. Hasil kalibrasi alat dengan turbidimeter merek Mikro TPW

Variabel Linguistik	Tubidimeter	Fotodiode	Pengukuran	Error
	NTU	Volt	NTU	
Jernih	0,01	0,19	7,16	99,9%
	2,44	0,21	7,89	69,1%
	4,23	0,25	9,36	54,8%
Keruh	10,01	0,32	11,93	16,1%
	23,52	0,34	12,66	85,7%
	45,52	0,62	22,94	98,5%
	51,23	1,07	39,45	29,9%
Sangat	144,8	3,91	143,64	0,8%

Keruh				
	150,6	3,97	145,84	3,3%
	153,4	4,34	159,42	3,8%
	164,1	4,42	162,35	1,1%
	172,13	4,86	178,49	3,6%



Gambar 14. Grafik hasil kalibrasi alat pengukur kekeruhan air

Nilai regresi linear didapatkan pada Gambar 14 mendapatkan persamaan $y = 36,688x + 0,19$. Dimana x adalah variabel independent yang mewakili nilai tegangan, sedangkan y merupakan variabel dependent dari nilai kekeruhan air (NTU). Nilai koefisien determinasi (r^2) mencapai 0,9832 yang berarti dari persamaan data tersebut diperoleh hasil data yang cukup baik. Sedangkan nilai *intercept* menunjukkan nilai 0,19 volt dari tegangan. Adapun hasil ketelitian pembacaan sensor dipengaruhi oleh jarak fotodiode dengan LED, sehingga ditetapkan nilai awal pembacaan sensor berada pada nilai tegangan 0,19 volt. Tabel 8 menunjukkan hasil pengukuran alat dan *error* yang di dapatkan berdasarkan perbandingan sampel air yang terukur.

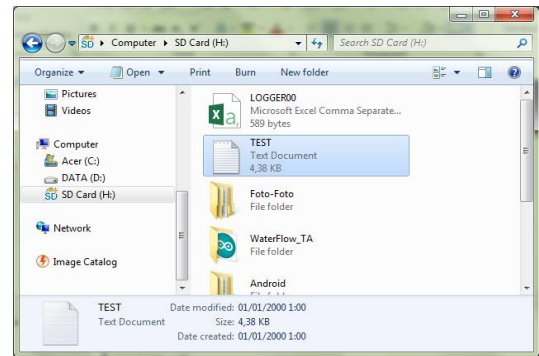
D. Pengujian modul kartu SD

Proses pengujian modul kartu SD mula-mula dengan memasukan pustaka kartu SD yang telah terdapat pada perangkat lunak Arduino IDE seperti `#include <SD.h>`. Setelah itu, dilakukan inialisasi pin SS (D10) untuk mengaktifkan proses pembacaan dan penulisan level tegangan sesuai dengan konfigurasi *Master-Slave* melalui protokol komunikasi SPI. Setelah memori dikenali maka proses untuk melakukan penulisan pada mikro SD dapat dilakukan, jika tidak maka sistem akan menampilkan pada layar LCD bahwa memori belum terpasang.

Hasil penulisan informasi pada kartu memori mikro SD berupa berkas dengan nama Test.txt yang terekam setiap 60 detik secara otomatis ketika sistem dinyalakan. Kapasitas memori yang digunakan sebesar untuk menampung data sebesar 4 GB. Untuk hasil parameter keberhasilan dapat dilihat pada Tabel 8, sedangkan hasil penulisan berkas dapat dilihat pada Gambar 15.

Tabel 8. Parameter keberhasilan kartu SD

No	Parameter keberhasilan	Keterangan
1	Sistem dapat mendeteksi kartu memori mikro SD yang terpasang.	Berhasil
3	Sistem dapat menulis pada berkas pada kartu memori mikro SD.	Berhasil
4	Sistem dapat membaca isi berkas yang telah terekam pada kartu memori mikro SD.	Berhasil



Gambar 15. Hasil pengujian pembuatan berkas pada mikro SD

E. Pengujian program perhitungan biaya volume air

Proses pengujian program perhitungan biaya berdasarkan kategori penggunaan rumah tangga terdiri dari tiga keadaan.

1) Jika volume lebih kecil sama dengan 10 m^3 digunakan perhitungan.

$$\text{Tarif1} = (\text{Volume} \times 960) + \text{beban}$$

2) Jika volume antara lebih besar dari 10 m^3 dan sama dengan 20 m^3 digunakan perhitungan.

$$\text{Tarif2} = (\text{Volume} \times 1475) + \text{beban}$$

3) Jika volume lebih besar dari 20 m^3 digunakan perhitungan.

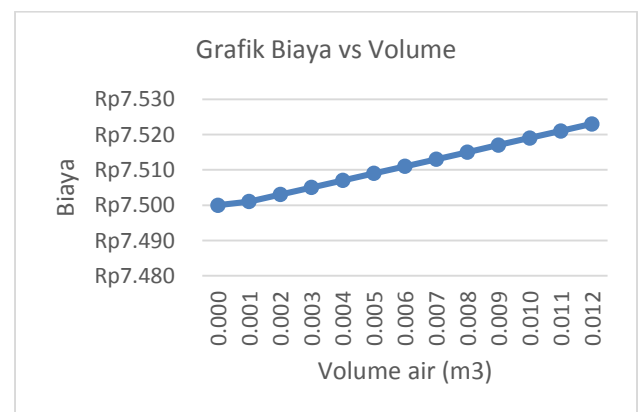
$$\text{Tarif3} = (\text{Volume} \times 2035) + \text{beban}$$

$$\text{Total tagihan} = (9600 + 29500) + \text{Tarif3}$$



Gambar 16. Pengujian kalkulasi biaya volume air

Gambar.20 menunjukkan hasil dari perhitungan tiap tarif. Gambar (a), menunjukan hasil perhitungan biaya jika volume air $\geq 10 \text{ m}^3$ dan Gambar (b) menunjukan hasil perhitungan jika volume air berada pada jarak $> 10 \text{ m}^3$ sampai dengan $\geq 20 \text{ m}^3$, sedangkan Gambar (c) hasil perhitungan menunjukan penggunaan volume di atas 20 m^3 . Dengan nilai beban = 7500. Untuk hasil uji coba alat yang dilakukan dengan mengukur volume yang ditampung selama 60 detik. Hasil yang diperoleh diketahui volume air yang tertampung sebanyak $0,013 \text{ m}^3$ atau 13 liter.



Gambar 17. Grafik hubungan volume dan biaya

Gambar 17 menunjukan grafik linieritas antara biaya dan volume dari pengkonversian volume air ke biaya yang dihasilkan. Dimana biaya didapatkan dari volume, volume

didapatkan dari debit dan debit didapatkan dari *pulse*. Sehingga, grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa sering volume bertambah, biaya yang dikenakan juga akan semakin bertambah sesuai dengan rumusan yang telah diberikan pada program. Hasil tersebut dicapai dengan waktu pengukuran selama 60 detik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan percobaan pengukuran yang dilakukan dari purwarupa instrument sistem monitoring digital penggunaan air PDAM dan kualitas kekeruhan air ini, maka dapat disimpulkan bahwa.

1. Alat ini mampu menampilkan *pulse*, debit air, volume air, biaya, dan kualitas kekeruhan air secara digital yang diharapkan bisa memudahkan pelanggan dalam memantau penggunaan dan kualitas air yang mereka gunakan. Sehingga pelanggan tidak perlu khawatir pada saat di loket harus membayar dengan biaya yang tak terpikirkan sebelumnya.
2. Telah dilakukan uji coba kalibrasi dengan pengukuran volume air secara konvensional dengan menampung volume air dalam kurung waktu tertentu pada sebuah gelas ukur dan didapatkan akurasi yang cukup baik yakni sekitar 98,8 % dan untuk kalibrasi sensor fotodiode sebagai detektor kekeruhan air diperoleh sampel data air yang sesuai dengan alat pengujian alat turbidimeter dengan batas deteksi maksimal kekeruhan air pada alat ini mencapai sekitar 173 NTU, sehingga bisa dikatakan alat ini bekerja cukup baik untuk mendeteksi standar kekeruhan air.
3. Pada alat ini tersedia media penyimpanan data yakni kartu memori mikro SD yang berfungsi melakukan penyimpanan data pembacaan variabel keluaran secara otomatis setiap 60 detik dalam bentuk format data ".txt".
4. Sumber daya yang dibutuhkan untuk mengaktifkan alat ini bisa menggunakan adaptor 6 - 12 Volt.

B. Saran

Tentunya pada alat yang dibuat ini masih mempunyai banyak kekurangan oleh karena itu disarankan untuk dapat menambahkan komponen RTC (*real time clock*) agar dapat merekam pembacaan data sensor berdasarkan waktu dan tanggal. Adapun hal lain yaitu dapat dikembangkan ke teknologi yang saat ini menjadi tren monitoring ke arah *smarthome* dan *energy meter*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asdak, Chay., *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. UGM-Press, Yogyakarta, 1995.
- [2] Banzi, Massimo., *Getting Started With Arduino*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc, 2008.
- [3] Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty., *Chemistry for Environmental Engineering* (4th ed.), McGraw-Hill, New York, 1978.
- [4] Kadir, Abdul., *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya*, Gramedia, Jakarta, 2013.
- [5] Khopkar, S.M., *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-Press, Jakarta, 2003.
- [6] Hefni, E., *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Kanisius Media, Yogyakarta, 2003.
- [7] Lawler, D.M., *Turbidimetry and Nephelometry*. In *Encyclopedia of Analytical Science*, Academic Press Ltd, UK, 1995.
- [8] Lenore S. Clescerl, Arnold E. Greenberg, and Andrew D. Eaton. *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (20th ed.), American Public Health Association. Washington, DC, 1998.
- [9] Malvino, A. P., *Prinsip-prinsip dan Penerapan Digital*, Diterjemahkan oleh Ir.Irwan Wijaya. Erlangga, Jakarta, 1992.
- [10] Mulyono. *Kamus Kimia*, Bumi Aksara, Jakarta, 2007.
- [11] Setiawan, Imam., *Buku Ajar Sensor dan Transduser*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [12] Soewarno., *Hidrologi Pengukuran dan Data Pengelolaan Aliran Sungai (Hidrometri)*, NOVA, Bandung, 1995.
- [13] Sutrisno, C.Totok., *Teknologi Penyediaan Air Bersih*, Rineka. Cipta, Jakarta, 2004.
- [14] Wilson, J. *Sensor Technology, Handbook*. Newnes Elsevier, USA, 2005.
- [15] World Health Organization., *Guideline for drinking-water quality Vol.1 Recommendations*. WHO Library, Switzerland, 2006.
- [16] Armaini, Fitria., *Rancang bangun alat ukur volume air PDAM berbasis mikrokontroler AT89S51 dengan sensor fotodiode*, Universitas Andalas, Padang, 2011.
- [17] Ika, Nike., *Perancangan dan pembuatan Alat ukur kekeruhan air berbasis Mikrokontroler 8535*. ITS, Surabaya, 2013.
- [18] Kusumawardana, D., *Valuasi Ekonomi Air Bersih Surabaya*, Disertasi-S3, Universitas Gadjah Madah, Yogyakarta, 2010.
- [19] Lambrou, T.P, C.C.Anastasiou and C.G. Panayiotou, "A Nephelometric Turbidity System for Monitoring Residential Drinking Water Quality", in the 1st International Conference on Sensor Networks Applications, Experimentation and Logistics, SensAppeal, 2009.
- [20] Latif, Maulana., "Instrumen Pengukur Kalor-Jenis Air", Skripsi-S1, Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [21] ---, *Diklat Tenaga Teknik Penyediaan Air Minum*, PERPAMSI & ITB, Bandung, 1994.
- [22] Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. *Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.*, No. 907/Menkes/SK/VII/2002.
- [23] Peraturan Walikota Semarang 6A., *Tentang Penetapan Tarif Air Minum pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)*, Kota Semarang, 2001.
- [24] Peraturan Menteri PU, *Tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Pengukuran Debit Aliran.*, No.18PRT/M/2007.
- [25] Arduino Website. <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>
- [26] *Water Flow Sensor Datasheet*, http://www.seedstudio.com/wiki/G1/2_Water_Flow_sensor, diakses pada tanggal, 4 Juni 2014.