



UJM 4 (2) (2015)

UNNES Journal of Mathematics

<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm>



SIMULASI PENSTABILAN KADAR TAWAS PADA PENGOLAHAN AIR PDAM KOTA SEMARANG DENGAN METODE EULER

Muhamad Nur Chakim , Rochmad, Riza Arifudin

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 lantai 1 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Desember 2014

Disetujui Januari 2015

Dipublikasikan November 2015

Keywords:

Euler method; Visual Basic;
Controls Chart

Abstrak

Tujuan penelitian adalah menentukan solusi untuk mengoptimalkan pengolahan air dengan chart kontrol sebagai alat pengawasan dan metode Euler untuk pelarutan zat pada kasus tersebut sehingga diperoleh keuntungan maksimum. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus. Data yang diambil adalah pH dan kekeruhan air. Selanjutnya dilakukan analisis data dengan menggunakan chart kontrol statistika kendali mutu dan metode Euler pada kasus tersebut sehingga diperoleh pengolahan air yang maksimum. Dari analisis penghitungan yang dilakukan dengan chart kontrol menggunakan program Visual Basic, pada data pH diperoleh $\bar{X} = 228,49$, $\bar{R} = 10,6$, LKA = 7,94 dan $\bar{x} = 7,62$ serta LKB = 7,29. Pada grafik pH tidak terdapat titik diluar batas LKA dan LKB, maka dikatakan proses terkontrol artinya kualitas pH tidak dipengaruhi oleh suatu sebab. Sedangkan pada data kekeruhan diperoleh $\bar{X} = 6820,56$, $\bar{R} = 23048$, LKA = 513, 572 dan $\bar{x} = 227,35$ serta LKB = 0. Pada grafik kekeruhan terdapat titik-titik diluar batas LKA dan LKB seperti titik 1, 9, 15, dan 17, maka dikatakan proses tidak terkontrol artinya kualitas kekeruhan dipengaruhi oleh suatu sebab. Mengambil simpulan dari penggunaan chart kontrol ini dengan tindakan mengeluarkan penyebab kualitas yang dibawa oleh titik diluar kontrol artinya mengambil keputusan akan dihentikan pada saat kondisi tersebut.

Abstract

To the purpose research is determine solution to optimize water processing with controls chart as tool of observation and Euler method to substance dissolution on that case so acquired maximum gain. Observational method that is utilized is case study. Data that is taken is pH and muddiness of water. Hereafter been done analisis data by use of chart controls statistika to conduct quality and euler method on that case so acquired maximum water processing. From analisis extrapolation that did by controls chart to utilize program Visual Basic on pH's data is gotten $\bar{X} = 228,49$, $\bar{R} = 10,6$, LKA = 7,94, $\bar{x} = 7,62$ and LKB = 7,29. on pH's graph has no dot out of the sphere LKA and LKB, therefore said by means controlled process its pH's quality uninfluenced by a cause. Meanwhile on muddiness data is gotten $\bar{X} = 6820,56$, $\bar{R} = 23048$, LKA = 513, 572 and $\bar{x} = 227,35$ and LKB = 0. On muddiness graph exists dots out of the sphere LKA and LKB as dot 1, 9, 15, and 17, therefore said by process is not controlled by its mean muddiness quality regarded by a cause. Taking conclusion from chart's purpose controls this with action issues quality cause that took in by outboard dot controls its mean take a decision production will be discontinued at the moment that condition.

© 2015 Universitas Negeri Semarang

Alamat korespondensi:

E-mail: muhamadnurchakim@gmail.com

ISSN 2252-6943

Pendahuluan

PDAM Tirta Moedal merupakan suatu perusahaan yang bergerak di bidang pelayanan air bersih, dimana untuk menghasilkan air yang memenuhi standar haruslah terlebih dahulu diolah. Salah satu langkah penting pengolahan untuk mendapatkan air bersih yang memenuhi standar adalah menghilangkan kekeruhan dari air baku. Kekeruhan dapat dihilangkan dengan penginjeksian suatu bahan kimia yang disebut koagulan. Dimana koagulan ini berfungsi untuk mengubah partikel atau kotoran yang terkandung dalam air menjadi gumpalan yang berukuran lebih besar sehingga lebih cepat mengendap. Dosis koagulan yang berlebih ataupun kurang akan menimbulkan efek tertentu. Oleh karena itu perlu diatur kebutuhan koagulan yaitu tawas yang diperlukan untuk menghilangkan kekeruhan air (PDAM, 2012).

Menurut Sutrisno (2002) air minum tidak boleh mengandung bakteri-bakteri penyakit (patogen) sama sekali dan tidak boleh mengandung bakteri-bakteri golongan Coli melebihi batas-batas yang telah ditentukannya yaitu 1 Coli/100 ml air. Bakteri golongan Coli ini berasal dari usus besar dan tanah.

Kemudian dibuatlah pemodelan matematika dari permasalahan tersebut. Pemodelan yang dibuat berupa persamaan diferensial orde satu. Pemodelan itu kemudian diselesaikan dengan metode Euler. Pekerjaan ini menyajikan metode numerik untuk pemecahan masalah nilai inisial di persamaan diferensial biasa. Metode Euler disajikan dari segi pandangan algoritma Taylor yang mana sangat menyederhanakan analisa dengan teliti (Bosede, 2012).

Tahap selanjutnya dilakukan pengendalian kadar zat dengan chart kontrol kendali mutu. Chart kontrol merupakan alat untuk mengawasi kualitas sehingga mudah untuk menentukan keputusan apa yang harus diambil jika terjadi produk yang menyimpang. Langkah-langkah penting sebelum mengadakan penghitungan dan pengambilan sampel antara lain: (1) Keputusan mula untuk chart kontrol; (2) Pengisian chart kontrol; (3) Tentukan limit kontrol; (4) Mengambil kesimpulan dari chart; (5) Lanjutan penggunaan chart (Praptono, 1986).

Tahap terakhir adalah membuat program untuk mempermudah dalam pengendalian kadar zat tersebut. Program yang dibuat menggunakan Visual Basic.

Visual Basic merupakan bahasa pemrograman yang sangat mudah dipelajari, dengan teknik pemrograman visual yang memungkinkan penggunanya untuk berkreasi lebih baik dalam menghasilkan suatu program aplikasi. Ini terlihat dari dasar pembuatan dalam visual basic adalah form, dimana pengguna dapat mengatur tampilan form kemudian dijalankan dalam script yang sangat mudah (Basuki, 2006).

Dengan banyaknya tahapan diatas, diharapkan dapat menstabilkan kadar tawas pada pengolahan air di PDAM Tirta Moedal Kota Semarang. Sehingga dalam penggunaannya dapat mengontrol pH dan kekeruhan air.

Metode

Sebelum dilakukan penelitian, diperlukan adanya persiapan penelitian. Tahapan ini terdiri dari pustaka penelitian, objek penelitian, observasi dan perijinan penelitian. Objek dalam penelitian ini adalah penstabilan tawas dalam air PDAM kota Semarang dengan metode Euler. Kadar zat tersebut akan diawasi dengan chart kontrol statistika kendali mutu yang dapat mengurangi penyebab data tidak terkontrol sehingga proses pengolahan air dapat optimum.

Tahap berikutnya yaitu pelaksanaan penelitian. Tahap ini terdiri dari teknik pengumpulan data, tempat dan waktu penelitian dan pengumpulan data. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi dan wawancara. Observasi adalah pengamatan dan peninjauan secara langsung kepada suatu obyek yang akan diteliti. Dalam metode ini peneliti mengadakan pengamatan baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap pH dan kekeruhan. Penelitian dilakukan di PDAM Tirta Moedal kota Semarang. Penelitian dilakukan pada hari dan jam kerja. Dalam penelitian ini data yang diambil adalah data primer, yaitu data yang diperoleh dengan pengamatan secara langsung dari tempat penelitian, yaitu data pH dan kekeruhan di PDAM Tirta Moedal kota Semarang.

Tahapan terakhir adalah penyelesaian. Pada tahap ini terdiri dari pengolahan data, analisis data, pemecahan masalah, pelaporan hasil dan kesimpulan. Dari berbagai sumber pustaka yang sudah menjadi bahan kajian, diperoleh suatu pemecahan masalah diatas.

Hasil dan Pembahasan

Menurut Rachmawati dan Surtiari (2011) kesulitan pemenuhan kebutuhan air bersih untuk penduduk miskin juga terjadi di kota Semarang. Kondisi saat ini memperlihatkan bahwa sumber air minum penduduk Kota Semarang yang berasal dari pemenuhan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) masih sangat terbatas. Berdasarkan Hartono yang dikutip Rachmawati (2011), PDAM baru dapat memenuhi kebutuhan 47 persen (641.455 jiwa) dari penduduk kota Semarang. Beberapa hal yang menjadi kendala diantaranya adalah besarnya tingkat kebocoran air PDAM sampai sebesar 48,7 persen, keterbatasan infrastruktur dan makin terbatasnya sumber air baku yang dapat dimanfaatkan. PDAM Tirta Moedal selama ini lebih banyak menjangkau daerah-daerah di dataran rendah kota Semarang. Keterbatasan infrastruktur dan masalah teknis membuat banyak rumah tangga yang berada di bagian Selatan Kota Semarang tidak mendapatkan akses dari PDAM. PDAM Tirta Moedal sendiri telah memanfaatkan hampir 70 persen sumber air permukaan untuk pasokan air bersih.

Pemodelan matematika merupakan bidang matematika yang berusaha untuk merepresentasi dan menjelaskan sistem-sistem fisik atau problem pada dunia real dalam pernyataan matematik, sehingga diperoleh pemahaman dari problem dunia real ini menjadi lebih tepat. Dalam pemodelan matematika perlu dibuat formula yang baik (Widowati & Sutimin, 2007).

Diberikan PDB Orde satu sebagai berikut. $y' = dy/dx = f(x,y)$ dan nilai awal $y(x_0) = y_0$. Misalkan $y_r = y(x_r)$ adalah hampiran nilai y di x_r yang dihitung dengan metode Euler. Dalam hal ini $x_r = x_0, r=0,1,2,\dots,n$. Metoda Euler diturunkan dengan cara menguraikan $y(x_{(r+1)})$ di sekitar x_r ke dalam deret Taylor: $y(x_{(r+1)}) = y(x_r) + ((x_{(r+1)} - x_r)/1!)y'(x_r) + (((x_{(r+1)} - x_r))^2/2!)y''(x_r) + \dots$. Bila persamaan tersebut dipotong sampai suku orde tiga, diperoleh $y(x_{(r+1)}) \approx y(x_r) + ((x_{(r+1)} - x_r)/1!)y'(x_r) + (((x_{(r+1)} - x_r))^2/2!)y''(t)$. $x_r < t < x_{(r+1)}$. Berdasarkan persamaan $y'(x_r) = f(x_r, y_r)$ dan $x_{(r+1)} - x_r = h$. Maka persamaan diatas dapat ditulis menjadi $y(x_{(r+1)}) \approx y(x_r) + hf(x_r, y_r) + (h^2/2)y''(t)$. Dua suku pertama dari persamaan diatas yaitu $y(x_{(r+1)}) = y(x_r) + hf(x_r, y_r); r=0,1,2,\dots,n$ menyatakan metode Euler (Munir, 2003).

Metode Euler itu sangat sederhana

dibandingkan dengan metode lainnya. Walaupun metode Heun memiliki solusi lebih baik daripada solusi dari metode Euler, namun jumlah komputasinya menjadi lebih banyak dibandingkan dengan metode Euler. Sedangkan penghitungan dengan metode deret Taylor memiliki ketelitian yang lebih tinggi. Kelemahan metode deret Tailor adalah penghitungannya yang terlalu banyak sampai suku yang lebih tinggi, lagipula tidak semua fungsi mudah dihitung turunannya, terutama bagi fungsi yang berbentuk rumit. Kelemahan metode Runge-Kutta juga perhitungannya yang lebih banyak dibandingkan dengan metode Euler. Jadi dalam penelitian ini dipakai metode Euler dengan alasan penghitungannya yang sederhana tapi mempunyai ketelitian yang tinggi.

Banyak masalah yang sangat penting dalam ilmu mesin, ilmu fisika, ilmu sosial dan yang lainnya, ketika memformulakan dalam bentuk matematika mensyaratkan fungsi yang memenuhi persamaan yang memuat satu atau lebih turunan-turunan dari fungsi yang tidak diketahui. Persamaan-persamaan diatas disebut persamaan diferensial (Waluya, 2006).

Misalkan $dx/dt = -3x/100 + 0t$ dengan $x(0)= 300$ dan $x(t_i) = 200$, carilah nilai t_i !

$$\Leftrightarrow dt/dx = -100/3x + 0t \text{ dengan } t(300) = 0 \text{ dan } t(200) = t_i, \text{ carilah nilai } t_i !$$

Kemudian persamaan tersebut diselesaikan dengan metode Euler. Solusi dengan metode Euler dari persamaan tersebut sebagai berikut.

Dalam hal ini, $f(x,t) = -100/3x$, dan penerapan metode Euler pada PDB tersebut menjadi $t_{(r+1)} = t_r + h(-100/3x)$.

Langkah-langkah:

$$\begin{aligned} x_0 &= 300 \rightarrow t_0 = 0. \\ x_1 &= 250 \rightarrow t_1 = t_0 + h \cdot (-100/(3x_0)) \\ &\rightarrow t_1 = 0 + (-50) \cdot (-100/3 \cdot 300) \\ &\rightarrow t_1 = 5,56. \\ x_2 &= 200 \rightarrow t_2 = t_1 + h \cdot (-100/(3x_1)) \\ &\rightarrow t_2 = 5,56 + (-50) \cdot (-100/3 \cdot 250) \\ &\rightarrow t_2 = 5,56 + (100/15) \\ &\rightarrow t_2 = 12,23. \end{aligned}$$

Jadi $x(200) \approx 12,23$.

Ditemukan waktu 12,23 menit untuk mengubah larutan pemutih berkadar 300 menjadi kadar 200. Namun jika dihitung menggunakan penyelesaian diferensial manual

ditemukan nilai solusi sejatinya waktu 13,5 menit. Sehingga galat dari penyelesaian ini adalah 1,27 menit.

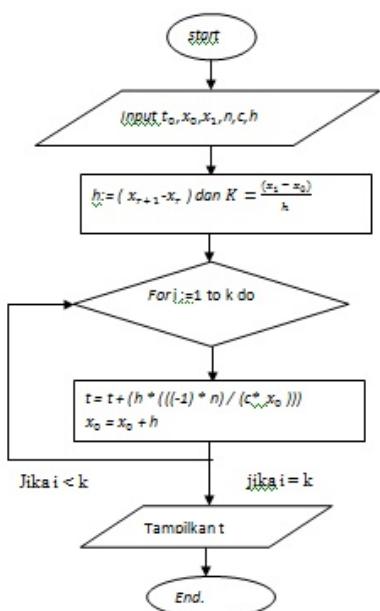
Untuk membuat sebuah algoritma untuk program tersebut dimisalkan: (1) Waktu awal (detik) (t_0) = 0; (2) Kadar awal (x_0) = 300; (3) Kadar yang diharapkan (x_1) = 200; (4) Kapasitas bak (n) = 100, dan (5) Aliran Air per detik (c)=3.

Algoritma Program

Algoritma program berdasarkan pemodelan matematika di atas adalah (1) Inputkan nilai t_0, x_0, x_1, n, c, h ; (2) Menghitung nilai $h=((x_1-x_0))/n$; (3) Menghitung nilai $t=t+h.f(t,x)$ sebanyak n kali, dengan $f(t,x) = -100/3x+0t$ dan $x=x+h$; (4) Tampilkan hasil dari t .

Flowchart Konsentrasi

Flowchart konsentrasi untuk program Visual Basic dari pemodelan matematika pada kasus ini dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.

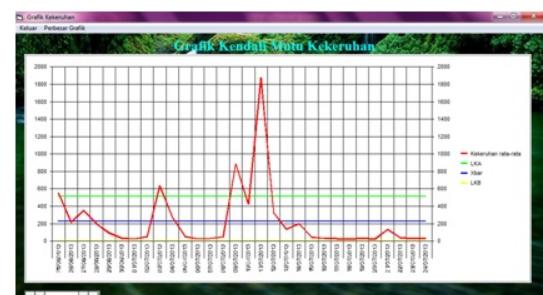


Gambar 1. Flowchart Konsentrasi untuk Program Visual Basic.

Setelah seluruh data dikumpulkan, kemudian data diinputkan ke program. Proses selanjutnya dilakukan pengolahan data sebagai berikut. (1) Pengolahan Kekeruhan. Pada pengolahan kekeruhan, seluruh data yang telah dikumpulkan diinputkan satu-persatu kedalam program. Setelah proses penginputan selesai, bisa dilakukan penghitungan untuk mendapatkan LKA, Xbar dan LKB. Diketahui $N = 30$, $n = 8$, $d_2=2,847$. Diperoleh jumlah

seluruh rata-rata nilai = 6820,56, jumlah seluruh nilai range = 23048, LKA = 513, 572 dan $\bar{x} = 227,35$ serta LKB = 0; (2) Pengolahan pH. Pada pengolahan pH, seluruh data yang telah dikumpulkan diinputkan satu-persatu kedalam program. Setelah proses penginputan selesai, bisa dilakukan penghitungan untuk mendapatkan LKA, Xbar dan LKB. Diketahui $N = 30$, $n = 3$, $d_2=1,893$. Diperoleh jumlah seluruh rata-rata nilai = 228,49, jumlah seluruh nilai range = 10,6, LKA = 7,94 dan $\bar{x} = 7,62$ serta LKB = 7,29.

Kini telah ditemukan LKA, \bar{x} dan LKB baik untuk kontrol kekeruhan maupun pH. Langkah selanjutnya adalah membuat grafik untuk keduanya yang dapat dilihat pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Hasil Grafik Kekeruhan.



Gambar 3. Hasil Grafik pH.

Jelas pada grafik pH tidak terdapat titik diluar batas LKA dan LKB, maka dikatakan proses terkontrol artinya kualitas pH tidak dipengaruhi oleh suatu sebab. Sedangkan pada grafik kekeruhan terdapat titik-titik diluar batas LKA dan LKB seperti titik 1, 9, 15, dan 17, maka dikatakan proses tidak terkontrol artinya kualitas kekeruhan dipengaruhi oleh suatu sebab. Mengambil kesimpulan dari penggunaan chart kontrol ini dengan tindakan mengeluarkan penyebab kualitas yang dibawa oleh titik diluar kontrol artinya mengambil keputusan produksi akan dihentikan pada saat kondisi tersebut.

Berdasarkan jurnal Statistical Process Control on Production: A Case Study of Some Basic Chemicals Used in Pure Water Production oleh Usman, A. & N. M. Kontagora (2010)

dapat disusun langkah-langkah penyelesaian masalah pengolahan air menggunakan chart kontrol. Dalam jurnal tersebut permasalahan pengolahan air yang diselesaikan adalah masalah kadar zat kimia dalam air untuk distabilkan. Kasus yang dibahas adalah bagaimana menentukan proses pengolahan air yang baik agar layak dengan chart kontrol. Dimana pH, Conductivity, besi, timbal, alumunium dan klorida diatur kadarnya dengan chart kontrol. Kasus ini serupa dengan studi kasus yang dilakukan peneliti di PDAM Tirta Moedal Kota Semarang, yaitu melakukan proses pengolahan air dengan chart kontrol untuk menstabilkan kadar pH dan kekeruhan yang lebih ditekankan tingkat ketelitian datanya dengan metode Euler.

Teknologi chart kontrol juga dapat memonitor variasi data dan sinyal cepat perubahan di parameter populasi dari data. Oleh sebab itu, menerapkan chart kontrol pada monitoring dari RPI sangat menolong untuk meningkatkan pencemaran alam sungai. Diusulkan pembahasan ini chart perorangan dengan pembatas variable kontrol (Chart perorangan VCL) dan diverifikasi chart ini dapat mengisyaratkan dengan cepat perubahan rata-rata dari normal keduanya, dapat memiringkan populasi dengan pendekatan data statistik. Keuntungan dari chart perorangan VCL pantas untuk memonitor perubahan dari RPI. Oleh sebab itu, satu chart perorangan VCL biasanya memonitor RPI dari Sungai Tamsui di Taiwan, dan RPI diverifikasi mengikuti satu distribusi gama. Chart perorangan VCL tidak mengisyaratkan apapun perubahan dari RPI, sehingga mutu air dari Sungai Tamsui tidak menjadi menjengkelkan. Pekerjaan fitur dapat mempergunakan chart jenis lain untuk mengontrol daftar isi buku pencemaran alam dan untuk mengevaluasi kinerja dengan chart jenis lain (Lee et al,2011).

Kelebihan Program Pengolahan Air

Kelebihan program pengolahan air ini sebagai berikut. (1) Tampilan program yang disertai petunjuk peggunaan yang lebih memudahkan pengguna untuk memakai program pengolahan air; (2) Tampilannya lebih menarik jika dibandingkan dengan perhitungan manual; (3) Dibutuhkan waktu penghitungan yang lebih cepat dibandingkan perhitungan secara manual; (4) Tingkat akurasi data yang diperoleh lebih baik daripada perhitungan manual; (5) Program dapat digunakan untuk data yang banyak.

Kekurangan Program Pengolahan Air

Kekurangan program pengolahan air ini sebagai berikut. (1) Masih adanya kekurangan akurasi dari hasil, dikarenakan masih mengasumsikan pH dan kekeruhan dihitung secara terpisah sehingga mengabaikan tekanan, suhu, dan reaksi secara kimia; (2) Program pengolahan air belum bekerja secara otomatis terhadap alat alat pengolahan air, sehingga masih dibutuhkan seorang pengguna; (3) Program harus digunakan oleh user yang mempunyai SDM baik, khususnya yang bisa menguasai Visual Basic.

Simpulan

Dari pembahasan di atas dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut. pertama, bentuk pemodelan dari penurunan jumlah kadar zat dalam air sebagai berikut. $dt/dx = -n/cx + 0t$ dengan $t(x_0) = t_0$ dan $t(x_i) = t_i$ sebagai bentuk pemodelan matematika konsentrasi kadar zat dalam air di PDAM Tirta Moedal Kota Semarang. Tanda negatif menunjukkan bahwa x berkurang; kedua, penyelesaian manualnya: Persamaan tersebut diselesaikan dengan metode Euler. Solusi dengan metode Euler dari persamaan tersebut sebagai berikut. Dalam hal ini, $f(x,t) = -n/cx$, dan penerapan metode Euler pada PDB tersebut menjadi $t_{(r+1)} = t_r + h(-n/cx)$; ketiga, cara pengendalian kadar zat dengan chart kontrol kendali mutu sebagai berikut. (1) Pengolahan Kekeruhan. Diketahui $N = 30$, $n = 8$, $d_2 = 2,847$. Diperoleh jumlah seluruh rata-rata nilai = 6820,56, jumlah seluruh nilai range = 23048, LKA = 513, 572 dan $\bar{x} = 227,35$ serta LKB = 0. Pada grafik kekeruhan terdapat titik-titik diluar batas LKA dan LKB seperti titik 1, 9, 15, dan 17, maka dikatakan proses tidak terkontrol artinya kualitas kekeruhan dipengaruhi oleh suatu sebab. Mengambil kesimpulan dari penggunaan chart kontrol ini dengan tindakan mengeluarkan penyebab kualitas yang dibawa oleh titik diluar artinya mengambil keputusan produksi akan dihentikan pada saat kondisi tersebut; (2) Pengolahan pH. Diketahui $N = 30$, $n = 3$, $d_2 = 1,893$. Diperoleh jumlah seluruh rata-rata nilai = 228,49, jumlah seluruh nilai range = 10,6, LKA = 7,94 dan $\bar{x} = 7,62$ serta LKB = 7,29. Jelas pada grafik pH tidak terdapat titik diluar batas LKA dan LKB, maka dikatakan proses terkontrol artinya kualitas pH tidak dipengaruhi oleh suatu sebab. Untuk itu proses produksi pengolahan air dapat dilanjutkan.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Oni Nugroho, MM, Kepala Bagian Produksi I PDAM Tirta Moedal Kota Semarang, selaku pembimbing lapangan. Atas bimbingan dan bantuan beliau, peneliti dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan artikel ilmiah ini.

Daftar Pustaka

- Basuki, Achmad. 2006. Algoritma Pemrograman menggunakan Visual Basic 6.0. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Bosede, O.R., Emmanuel F.S., Temitayo O.J.. 2012. On Some Numerical Methods for Solving Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations. IOSR Journal of Mathematics, 1(3): 25-31.
- Lee, P. H., Huang, Y. H., and Kuo, T. I. 2011. The effect of the individual chart with variable control limits on the river pollution monitoring. Springer Science, 47:1803–1812
- Munir, R .2003. Metode Numerik. Bandung: Informatika Bandung.
- PDAM. 2012. Company Profile Juli 2012. Semarang: PDAM Tirta Moedal.
- Praptono. 1986. Statistika Pengawasan Kualitas. Jakarta: Karunika. Hlm: 2.1-2.35.
- Rachmawati, L & Surtiari, G. A. K. 2011. Pengelolaan Air Berbasis Masyarakat: Pembelajaran dari Kota Semarang. Semarang: LIPI. Hlm: 1.
- Sutrisno, T. 2002. Teknologi Penyediaan Air Bersih. Jakarta: Rhineka Cipta. Hlm: 1-23.
- Usman, A. & Kontagora. N. M. 2010. Statistical Process Control on Production: A Case Study of Some Basic Chemicals Used in Pure Water Production. Pakistan Journal of Nutrition, 9 (4): 387-391.
- Waluya, S.B. 2006. Persamaan Diferensial.Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Widowati & Sutimin. 2007. Pemodelan Matematika. Semarang: Undip. Hlm: 1.