

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SENSOR TDS PADA PROSES PENGENDAPAN CaCO_3 DALAM AIR DENGAN METODE PELUCUTAN ELEKTRON DAN MEDAN MAGNET

Maylita Martani dan Endarko*

Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*Korespondensi penulis, E-mail : endarko@physics.its.ac.id

Abstract

Total Dissolved Solids (TDS) meter has successfully been fabricated based on the principle of conductivity. Control system for monitoring the TDS level in the mini plant have been performed by microcontroller ATmega16 and Personal Computer. The study was to control a precipitation process of CaCO_3 in the water. Values of TDS from water sample in the mini plant have been monitored and controlled in real-time. All data have been recorded by microcontroller and then, the data will be sent to personal computer via USB interface. Monitoring data will be displayed in a computer screen. The result showed that the system could be used to control level of TDS at 356 - 300 ppm.

Keywords : gravity of CaCO_3 , Conductivity, Control

Abstrak

Telah dilakukan perancangan dan pembuatan alat pengukur Total Dissolved Solids (TDS) larutan dengan menggunakan prinsip konduktivitas. Sistem pengendalian dan monitoring secara otomatis dikerjakan oleh mikrokontroler Atmega16 dan PC. Pada penelitian ini dirancang sebuah mini plant untuk kontrol otomatisasi proses pengendapan air CaCO_3 dalam air. Sistem pemantauan dan pengendalian dirancang secara waktu nyata berupa kadar kesadahan air pada tangki hasil pengolahan. Data kesadahan akan diproses oleh mikrokontroler ATmega16 yang selanjutnya dikirim melalui komunikasi serial dengan USB yang disambungkan ke komputer sehingga dapat ditampilkan di layar monitor. Berdasarkan hasil penelitian, sistem ini dapat bekerja dengan baik ketika melakukan monitoring TDS control pada kadar 356–300 ppm.

Kata kunci : gravity CaCO_3 , Konduktivitas, Kontrol

Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting dalam kelangsungan hidup manusia. Air ini sering kali digunakan masyarakat untuk berbagai kegiatan sehari-hari, termasuk kegiatan pertanian, perikanan, peternakan, industri, pertambangan, rekreasi, olahraga dan sebagainya. Dewasa ini, masalah utama dari sumber daya air meliputi kuantitas air yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan manusia yang terus meningkat dan terlebih lagi untuk konsumsi air minum ini terus menurun. Sebagai sumber air minum masyarakat,

air harus memenuhi beberapa aspek yang meliputi kuantitas, kualitas dan kontinuitas [4].

Air yang mengandung ion Ca^{2+} ataupun Mg^{2+} ini dikatakan air sadah. Tingkat besarnya ion yang terlarut dalam air dikatakan sebagai tingkat kesadahan. Semakin besar tingkat kesadahan suatu air, maka kualitas dari air ini buruk. Ion ini akan mengendap yang nantinya akan menyumbat dalam saluran pembuangan manusia maupun alat-alat penunjang kebutuhan sehari-hari. Pengendapan kapur dalam tubuh dapat terjadi jika terlalu banyak mengkonsumsi air dengan kadar kapur

tinggi. Pengendapan tersebut bisa berakibat gangguan kesehatan berupa batu ginjal ataupun berbagai penyakit lainnya [1].

Alat penjernihan air dengan metode pengendapan ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode pelucutan elektron dan medan magnet. Metode pelucutan elektron sendiri dapat dilakukan dengan adanya pemberian tegangan tinggi pada alat, sedangkan metode medan magnet ini dapat dilakukan dengan pemberian kumparan yang berfungsi sebagai penghantar medan listrik yang dihasilkan oleh medan magnet. Dengan kedua metode ini ion CaCO_3 yang terlarut dalam air dapat diendapkan dengan cara pemisahan ion terlarut. Maka dari itu dapat dibuatlah sebuah rancangan alat yang dapat digunakan sebagai penjernihan kapur (CaCO_3) yang terlarut dalam air dengan sistem pengendapan. Dengan menggunakan metode Pelucutan elektron dan medan magnet akan lebih dapat menghasilkan tingkat kesadahan menurun. Hal ini dikarenakan ion Ca^{2+} yang terikat didalam air akan mengalami pengkutupan sehingga akan membentuk endapan kapur. Dari endapan kapur ini akan menghasilkan air tawar layak konsumsi yang terbebas dari bau, warna serta tingkat kesadahannya rendah [4].

Mengukur adalah suatu aktivitas atau tindakan membandingkan suatu besaran yang belum diketahui nilainya atau harganya terhadap besaran lain yang sudah diketahui nilainya, misalnya dengan besaran yang standar. Pekerjaan membandingkan tersebut tidak lain adalah pekerjaan pengukuran atau mengukur. Sedangkan pembandingnya yang tersebut sebagai alat ukur. Pengukuran banyak sekali dilakukan dalam bidang teknik atau industri. Sedangkan alat ukurnya sendiri banyak sekali jenisnya, tergantung dari banyak faktor, misalnya objek yang diukur serta hasil yang diinginkan.

Sensor adalah alat yang dapat menerima rangsangan dan merespon dengan suatu sinyal elektrik. Rangsangan adalah kuantitas, sifat, atau kondisi yang dirasakan dan dikonversi ke dalam sinyal elektrik. Tujuan dari suatu sensor adalah untuk merespon suatu masukan sifat fisis (rangsangan) dan mengkonversikannya ke dalam suatu sinyal elektrik melalui kontak elektronik. Sensor dapat dikatakan sebagai suatu translator dari nilai non elektrik menjadi nilai elektrik. Elektrik artinya sinyal yang dapat disalurkan, dikuatkan dan dimodifikasi oleh alat elektronik. Sinyal keluaran sensor dapat berupa tegangan atau arus. Sinyal keluaran juga dapat digambarkan sebagai masukan amplitudo, frekuensi, *face* atau kode digital [1]

Atas dasar pertimbangan dan alasan tersebut, peneliti membuat suatu peralatan instrumentasi berupa alat untuk mengukur kadar konsentrasi larutan dalam proses pengolahan air CaCO_3 dengan menggunakan medan magnet dan pelucutan elektron untuk pemenuhan kebutuhan akan air bersih dan sehat. Sensor yang digunakan untuk mengukur kadar konsentrasi larutan dengan menggunakan prinsip konduktivitas.

Conductivity atau juga sering disebut dengan konduktivitas merupakan kemampuan dalam menghantarkan listrik oleh suatu benda. Dalam suatu larutan konduktivitas ini sering dihubungkan dengan kemampuan suatu larutan dalam menghantarkan listrik yang tentunya sangat bergantung pada banyaknya ion di dalam larutan tersebut. Alat ukur yang biasanya digunakan untuk mengukur nilai konduktivitas dalam suatu larutan disebut dengan *conductivity* meter. Saat ini dimana teknologi sudah serba canggih, *conductivity* meter biasanya sudah menjadi satu dengan alat ukur parameter lain seperti pH, TDS, dll. Pengukuran dari konduktivitas sangat dipengaruhi

oleh nilai temperatur. Bahkan suatu larutan standar konduktivitas pun akan memberikan perbedaan yang besar apabila terjadi perbedaan temperature [3].

Metode Penelitian

Dalam perancangan pembuatan alat ini diawali dengan perancangan umum sistem dari keseluruhan. Adapun perancangan pembuatan rancang bangun sistem ini terbagi atas beberapa perangkat yang saling berhubungan yaitu perangkat elektronik (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang berisi instruksi untuk menjalankan program.

Perancangan Umum Sistem

Secara umum terdiri dalam 2 sistem yaitu sistem *hardware* dan sistem *software*. Pada rancangan bangun ini juga dilengkapi dengan catu daya, mikrokontroler ATmega16 sebagai pengolah data hasil dari pengukuran dan LCD untuk tampilan keluarannya.

Rancangan bangun ini nantinya akan digunakan untuk mengukur kesadahan pada air hasil *treatment* medan magnet dan pelucutan plasma yang telah dilakukan sebelumnya. Sensor yang dibuat ini adalah sensor TDS yang nantinya dapat digunakan untuk mengukur kesadahan pada air hasil *treatment*.

Pada pengukuran TDS ini menggunakan prinsip konduktivitas. Dengan menggunakan dua elektroda yang diletakkan dalam suatu larutan diberi beda potensial listrik (normalnya berbentuk sinusioda), maka pada plat tersebut akan mengalir arus listrik. Konduktansi suatu larutan akan sebanding dengan konsentrasi ion-ion dalam larutan tersebut.. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui besar kandungan zat terlarut dalam air yang menentukan kualitas air.

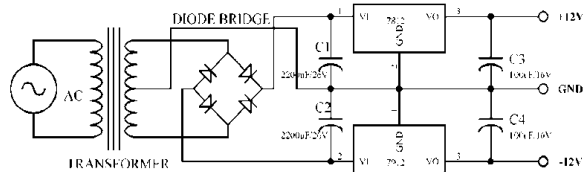
Perancangan Perangkat Keras

Dalam perancangan alat pada perangkat keras (*hardware*) dilakukan perancangan pada sistem mekanik dan juga sistem perancangan pada elektronika. pada perancangan sistem elektronika dilakukan beberapa perancangan terhadap rangkaian elektronika yang digunakan untuk mendriver dan mengontrol daripada sistem mekanik.

Perancangan Catu Daya

Catu daya merupakan sumber tenaga yang dibutuhkan suatu rangkaian elektronika untuk bekerja. besarnya suplai daya tergantung spesifikasi alat masing – masing. Pada sistem pengendalian ini, catu daya digunakan untuk mengaktifkan sensor – sensor pada rangkaian.

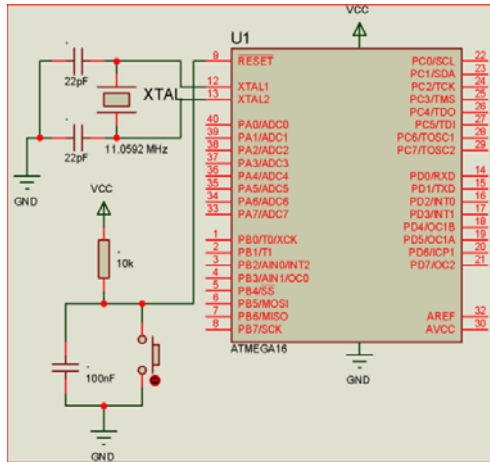
Gambar 2 merupakan rangkaian catu daya yang dapat memenuhi rangkaian tersebut. Inputan rangkaian ini adalah tegangan 220 V, dengan menggunakan LM 7912 dan 7812. Rangkaian ini menghasilkan keluaran sebesar -12V dan +12 V.



Gambar 1. Rangkaian catu daya

Minimum Sistem ATmega16

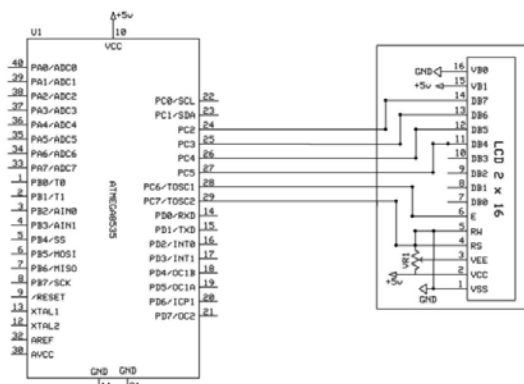
Mikrokontroler ATmega 16 sebagai pengontrol dan pengolah data. Mikrokontroler ATmega16 ini akan menerima data dari sensor TDS dan ultrasonik, dimana data dari sensor TDS dan ultrasonik nantinya akan ditampilkan ke LCD. Berikut merupakan gambar rangkaian minimum system dari ATmega 16 :



Gambar 2. Rangkaian skematik mikrokontroler.

Rangkaian LCD

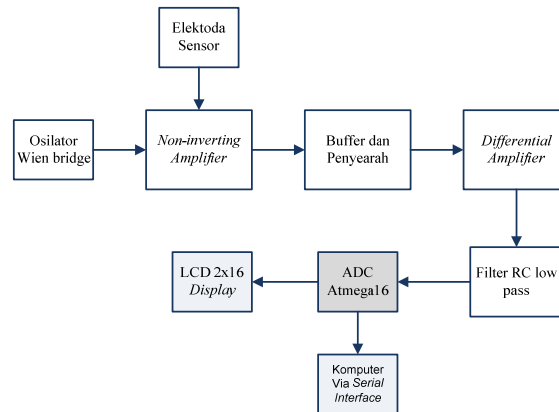
Rangkaian skematik konektor yang dihubungkan dari LCD ke mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 5. Pada rangkaian LCD seperti diatas yang terdiri atas Gnd, Vcc, Contract, Reset, RW (Read/write), Enable, DB4-DB7 dan dihubungkan langsung dengan konektor yang kompatibel dengan mikrokontroler. Fungsi pada potensiometer (VR1) pada rangkaian adalah untuk mengatur gelap/terangnya karakter yang ditampilkan pada LCD. Untuk konektor no 1 dan 2 dihubungkan ke power supply 5 volt dan ground.



Gambar 3. Rangkaian skematik dari LCD ke mikrokontroler

Rangkaian Sensor TDS

Pada perancangan sensor TDS ini dengan menggunakan prinsip konduktivitas yang terdiri dari dua probe yang diletakkan dalam suatu larutan diberi beda potensial listrik (normalnya berbentuk sinusioda), maka pada plat tersebut akan mengalir arus listrik. Konduktansi suatu larutan akan sebanding dengan konsentrasi ion-ion dalam larutan tersebut. Dan dapat dikatan bahwa terdapat hubungan antara konduktivitas dan juga resistansi. Berikut adalah gambar skema dari sensor TDS yang akan dibuat :



Gambar 4. Diagram blok sensor TDS meter

Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan software digunakan untuk mengolah perubahan sinyal output dari sensor TDS yang telah dikondisikan dalam bentuk tegangan. Untuk melakukan pengolahan data ini sinyal Perancangan software ini digunakan compiler Code Vision AVR yang digunakan untuk mengcompile dan membuat kode hexa yang akan didownload ke mikrokontroler. Bahasa pemrograman yang digunakan oleh Code Vision AVR adalah bahasa pemrograman C.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Sensor TDS

Keluaran tegangan analog dari rangkaian pengondisi sinyal pada sensor TDS yang telah dibuat sebanding dengan nilai konduktivitas (μS) atau berbanding terbalik terhadap nilai resistansinya (Ω). Karena nilai konduktivitas berbanding lurus dengan total padatan terlarut (TDS) yang dinyatakan dalam *ppm* maka keluaran sensor dalam tegangan tersebut juga sebanding dengan nilai TDS.

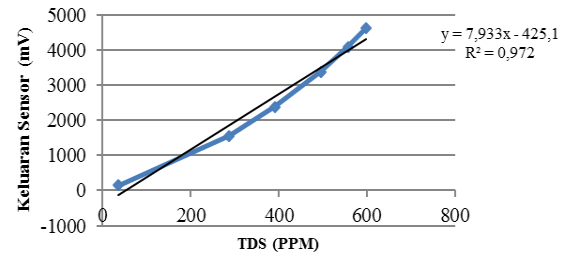
Setelah dilakukan pengondisian sinyal, selanjutnya akan dilakukan proses kalibrasi sensor TDS. Cara pengambilan data kalibrasi dilakukan dengan mencelupkan *probe* yang berdimensi $2 \times 0,5 \text{ cm}^2$ sebagai elektroda sensor yang kontak langsung dengan medium larutan terukur dengan jarak antar elektrodanya sebesar 1 cm. Memasukkan sensor TDS yang dirancang ke dalam gelas ukur yang telah terukur besarnya nilai TDS dengan menggunakan alat ukur standar yaitu TDS meter. Dari pengambilan data yang telah dilakukan, diperoleh data kalibrasi sensor seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kalibrasi sensor TDS

Sample	Keluaran Sensor (mV)	Kalibrator	
		Cond ($\mu S/cm$)	TDS (ppm)
1	151,37	73,3	36,5
2	1557,62	576	288
3	2387,7	782	391
4	3388,67	989	495
5	4091,68	1116	557
6	4638,67	1194	598

Dari nilai rata-rata pada Tabel 1 terlihat bahwa hasil pembacaan sensor dalam bentuk tegangan yang tertera pada LCD ini memiliki kenaikan setiap kenaikan tingkat *ppm*. Data *ppm* yang didapatkan ini nantinya dapat digunakan untuk menentukan karakteristik sensor TDS yang telah dibuat. Berikut grafik

hubungan *ppm* dan tegangan terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan keluaran sensor dan TDS

Dari hubungan grafik pada Gambar 4.1 maka dapat diketahui karakteristik dari sensor TDS yang dibuat. Dapat dianalisa bahwa antara keluaran sensor dengan TDS hubungan sebanding. Jadi ketika besar kadar TDS naik maka tegangan yang dihasilkan juga ikut naik, begitu pula sebaliknya, ketika TDS turun maka tegangan yang dihasilkan juga akan turun. Besar sensitivitas alat yang dibuat adalah 7,933 mv/ppm. Hal ini menunjukkan bahwa sensor TDS yang telah dibuat ini memiliki sensitivitas yang baik karena perubahan tegangan dalam *ppm* menunjukkan perubahan yang setara dengan *ppm*. Hal ini ditunjukkan ketika *ppm* besar maka tegangan yang dihasilkan oleh keluaran sensor juga besar. Setelah didapatkan data kalibrasi dan juga sensitivitas, maka alat dapat digunakan untuk mengukur kadar *ppm* pada jenis air dengan kadar yang berbeda.

Kemudian dilakukan variasi *probe* yang digunakan, dengan menggunakan *probe jack* RCA kuningan dan *probe jack* RCA stainless steel. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa *probe jack* RCA kuningan lebih baik dibandingkan dengan *probe* yang dibuat dari *jack* RCA stainless steel. Hal ini dikarenakan tegangan yang terbaca oleh *probe jack* RCA kuningan lebih stabil ketika

dilakukan pengulangan selama lima hari pengambilan data, jika dibandingkan dengan *probe jack RCA stainless steel* hasilnya lebih stabil dan mendekati nilai sebenarnya ketika dibaca dengan TDS meter kalibrator. Hasil pengukuran dengan menggunakan kedua *probe* secara lengkap disajikan pada Tabel 2.

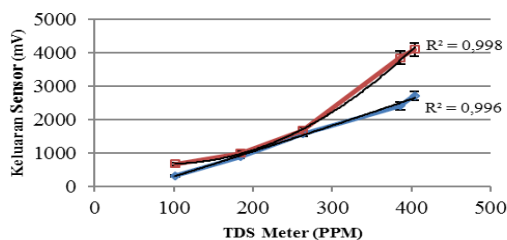
Tabel 2. Nilai tegangan yang dihasilkan oleh *jack RCA stainless steel* dan *probe jack RCA kuningan*

No.	TDS (ppm)	Tegangan V* (volt)	Tegangan V* (volt)
1	102	320,26±200,08	678,42±0,21
2	184	895,52±235,95	998,67±0,11
3	263	1576,62±190,43	1683,33±5,60
4	386	2414,86±262,29	3853,90±0,11
5	404	2712,02±212,84	4091,24±1,10

Keterangan : *Stainless steel +Kuningan

Pada Tabel 2 ini dapat dilihat bahwa ada perbedaan ketika menggunakan *probe* kuningan dan juga *probe stainless steel*. Hal ini dikarenakan pada *probe* kuningan mempunyai daya hantar yang kuat dari pada *probe stainless steel*. Maka ketika dialiri tegangan listrik, daya hantar arus yang lebih besar terjadi pada *probe* kuningan, dan menjadikan keluaran sensor dalam bentuk tegangan dapat terbaca lebih besar pula.

Dari Tabel 2 dapat dibuat grafik untuk membandingkan nilai rata-rata tegangan keluaran antara *probe stainless steel* dan *probe* kuningan. Grafik perbandingannya seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perbandingan *probe stainless steel* (◇) dan *probe* kuningan (□)

Karakterisasi Sensor TDS

Probe yang digunakan sebagai sensor TDS adalah *probe* kuningan, dan untuk melihat kepresisian alat yang dirancang ini maka dilakukan pengambilan data selama 5 hari. Maka diperoleh data seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Data pengujian sensor TDS selama 5 hari

TDS (ppm)	Pengujian hari ke-					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
100	95,72	99,9	101,57	99,57	95,72	98,496
200	197,39	196,2	199,45	198,45	197,38	197,774
300	293,64	313,21	297,15	293,54	293,54	298,216
400	397,93	419,53	401,47	377,93	383,82	396,136
500	498,82	499,8	501,24	497,69	500,95	499,7
600	601,36	601,36	583,18	583,18	583,18	590,452

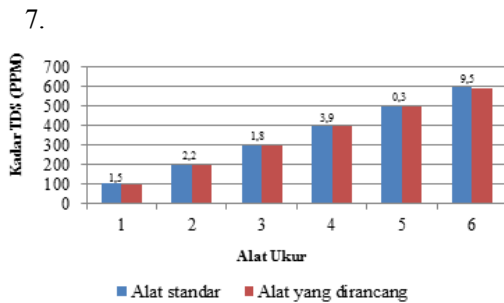
Dari data yang diperoleh, didapatkan nilai *error* rata-rata sebesar 0,97 %. Dan mempunyai *standart* deviasi sebesar 6,68. Sehingga dapat dikatakan bahwa sensor TDS yang dibuat ini cukup akurat serta mempunyai nilai kepresisian yang tinggi.

Kemudian didapatkan hasil perbandingan antara uji sensor TDS dengan TDS meter *standart*. Tabel 4 adalah data yang diperoleh beserta *standart* deviasinya.

Tabel 4. Data uji alat terhadap alat acuan

No.	TDS (ppm)	
	Alat <i>standart</i>	Alat yang dirancang
1	100	98,50±1,50
2	200	197,77±1,11
3	300	298,22±0,59
4	400	396,14±0,97
5	500	499,70±0,06
6	600	590,45±1,59

Untuk melihatkan lebih detail dari hasil pembacaan alat yang dirancang dengan alat standar maka dapat dibuat grafik selisih pembacaan seperti Gambar

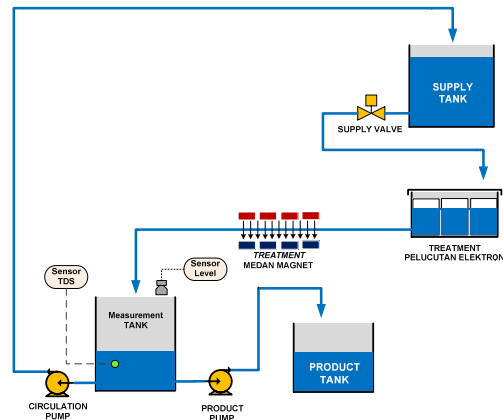


Gambar 7. Grafik pembacaan alat standar dengan alat yang dirancang

Selisih pembacaan alat *standart* dan alat ukur yang dirancang menghasilkan nilai terkecil sebesar 0,3 ppm pada konsentrasi 500 ppm dan terbesar sebesar 9,5 ppm pada konsentrasi 600 ppm. Dari hasil Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa alat yang dibuat mampu dan bekerja dengan baik untuk rentang pengukuran dari 100 – 500 ppm dengan rata-rata beda pembacaan dengan alat standar adalah sebesar 1,94 ppm dengan nilai tertinggi terjadi pada pengukuran 400 ppm yaitu sebesar 3,9 ppm. Gambar 7 juga menunjukkan bahwa untuk tiap pengukuran alat yang dibuat mempunyai kesalahan tertinggi 1,59% pada 600 ppm untuk rentang 100 – 600 ppm, hal ini memberi bukti yang kuat bahwa alat yang dibuat mampu bekerja dengan baik dan mempunyai kesalahan pembacaan tertinggi 1,59% jika dibandingkan dengan alat standar.

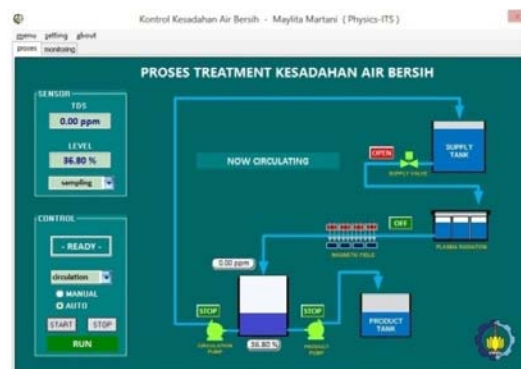
Pengujian Sensor TDS Pada Kontrol Kesadahan

Telah dibangun sebuah *mini plant* proses dengan *treatment* kesadahan air menggunakan medan magnet dengan skema *mini plant* seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema mini plant

Alur proses *treatment* yang dirancang adalah dengan mensirkulasi air yang mula-mula berkesadahan tinggi dari *supply tank* menuju *measurement tank* dan kembali lagi ke *supply tank* melewati medan magnet sehingga didapatkan penurunan kesadahan air. Jika nilai kesadahan air telah berada di bawah *set point* kesadahan yang diharapkan maka kemudian dilakukan proses penyimpanan air.



Gambar 9. Tampilan halaman utama pengambilan data

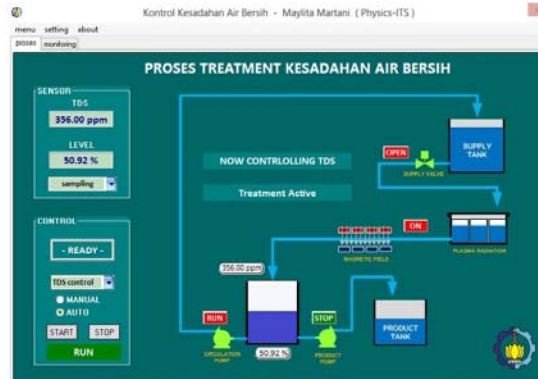
Pada proses TDS kontrol ini merupakan gabungan dari proses sirkulasi dan proses *storage* yang didalamnya terdapat *treatment* pelucutan

elektron dan medan magnet (Gambar 9). Menurut penelitian sebelumnya dengan proses medan magnet dapat mengurangi kandungan kadar CaCO_3 dalam air dengan prosentase yang cukup besar [2]. Dalam penelitian ini hanya dilakukan *treatment* dengan menggunakan medan magnet untuk pengambilan data TDS *control*. Sampel yang dilakukan untuk pengambilan data TDS *control* adalah 356 ppm diturunkan menjadi 300 ppm. Dalam pengambilan data ini dibutuhkan waktu ± 2 jam. Pengambilan data dimulai dengan inisialisasi awal *set point* level pada ketinggian 50% dan *set point* TDS pada kadar 300 ppm (Gambar 10).

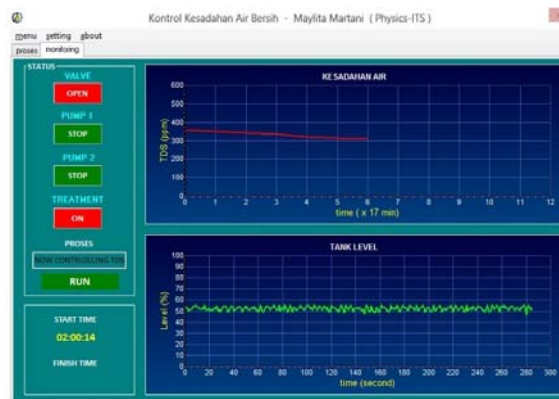


Gambar 10. Tampilan *set point* TDS *control*

Ketika proses berlangsung akan terlihat *monitoring* pada saat proses kontrol level TDS seperti pada Gambar 11 dan 12.



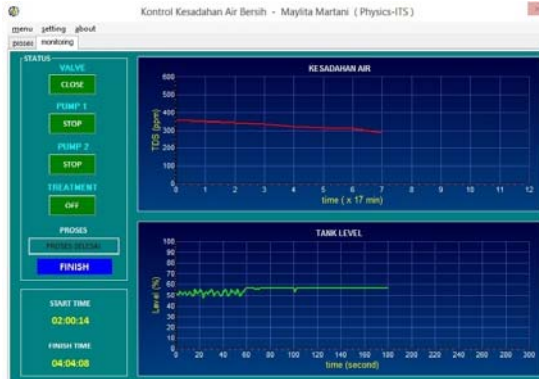
Gambar 11. Tampilan TDS *control* ketika *treatment* aktif



Gambar 12. Tampilan *monitoring* level dan TDS ketika proses TDS *control*

Dari Gambar 12 didapatkan bahwa selama proses level dan konsentrasi kesadahan akan ter-*monitoring* dalam software yang dibuat. Dapat dilihat pada *monitoring* kesadahan didapatkan bahwa terjadi penurunan kadar setiap 15 menit pengukuran. Sedangkan keadaan level air dalam kondisi yang stabil, dimana ada kenaikan ini disebabkan karena pompa dan *valve* yang selalu *on-off* ketika level berubah 50%. Setelah proses selama ± 2 jam kesadahan air sudah menurun dan didapatkan hasil sesuai dengan *set point* awal, maka

proses akan berhenti secara otomatis seperti Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan *monitoring* ketika proses TDS *control* selesai

Dari data *monitoring* tersebut terlihat ketika proses sudah selesai proses dan tidak ada aktuator yang aktif maka level terjaga stabil di posisi 50–60 %. Proses selanjutnya adalah adalah penyimpanan untuk memindahkan air dari *supply tank* dan *measurement tank* ke *product tank* sebagai produk akhir dari mesin proses yang dibuat.

Kesimpulan

Penelitian ini telah dibuat alat pengukur Total Dissolve Solid (TDS) larutan dengan prinsip konduktivitas menggunakan *probe* kuningan dan *stainless steel*. Hasil menunjukkan bahwa sensor TDS yang terbuat dari *probe* kuningan menghasilkan pembacaan yang lebih sensitif dan

akurat dengan *error* maksimal sebesar 1,59%. Sensor TDS yang dibuat dapat untuk mengukur kesadahan hasil pengolahan air yang mengandung CaCO_3 . Sistem kontrol otomatisasi yang dibuat dapat bekerja untuk kontrol TDS dalam *me-monitoring miniplant* dengan adanya set point TDS 300 *ppm* dan level air sebesar 50%.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Endarko selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan, saran serta diskusi. Sehingga paper penelitian ini dapat terselesaikan.

Daftar Pustaka

- [1] Freden, Jacob. 2003. Handbook Of Modern Sensor, Physics, Designs, and Application. Springer. San Diego USA.
- [2] Triswantoro Putro, dan Endarko. 2013. Pengaruh Variasi Penempatan Kutub Medan Magnet terhadap Pengurangan Kadar CaCO_3 dalam Air. Jurusan Fisika FMIPA ITS. Surabaya.
- [3] Tooley, Mike. 2002. Rangkaian Elektronik, Prinsip dan Aplikasinya. Erlangga. Jakarta
- [4] WHO. 2004. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Third Edition. Volume 1 : Recommendation. Geneva.

