

Perancangan Sistem Sensor dan Aktuator Nirkabel untuk Sistem SCADA Berbasis PLC

A. Agung Femin Himawan¹, Zulfajri Basri Hasanuddin², Faizal Arya Samman³

Abstract—In current PLC-based SCADA systems, sensor and actuator are generally connected to a PLC by wire. The wire however has many limitations, especially in term of flexibility. In the PLC-based SCADA system by wire, the number of the installed PLC will increase for each location that will be monitored and controlled. This research aims to design and implement a low cost, low power and reliable wireless sensor and actuator system, which can be used in the PLC-based SCADA system to overcome the limitations of wire media. The wireless sensor and actuator system can also be used as an alternative to reduce the amount of the used PLC within the SCADA system. In this research, we have designed a wireless sensor and actuator system based on WPAN technology (IEEE 802.15.4), which is low cost, low power, and reliable. The results reveal that the wireless sensor and actuator system is able to operate well when they are implemented on the PLC-based SCADA system used to monitor and control the water filtration process in the tub filtration.

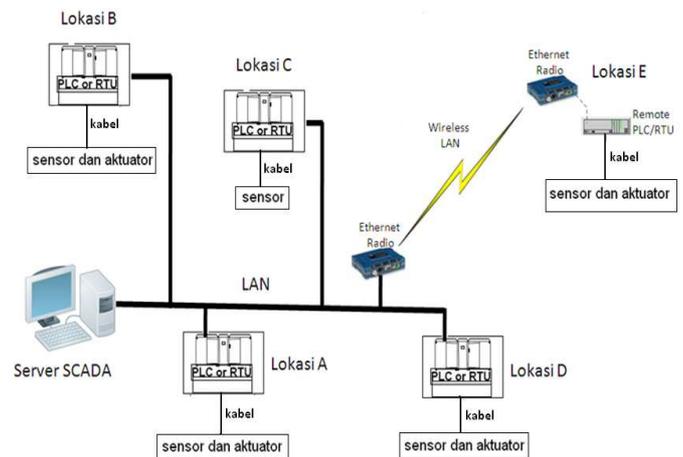
Intisari—Dalam Sistem SCADA berbasis PLC saat ini, umumnya sensor dan aktuatornya dihubungkan ke PLC dengan kabel. Namun demikian, kabel memiliki banyak keterbatasan terutama dari segi fleksibilitas. Sistem SCADA berbasis PLC dengan media kabel juga menyebabkan peningkatan jumlah PLC yang dipasang pada setiap lokasi yang ingin dimonitoring dan dikendalikan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem sensor dan aktuator nirkabel yang murah, hemat daya dan handal, yang dapat digunakan pada sistem SCADA berbasis PLC untuk mengatasi keterbatasan yang biasa terjadi pada media kabel. Sistem ini juga dapat digunakan sebagai alternatif untuk menghemat jumlah PLC yang digunakan dalam sistem SCADA. Pada penelitian ini, kami telah merancang sebuah sistem sensor dan aktuator nirkabel yang berbasis pada teknologi WPAN (IEEE 802.15.4) yang murah, hemat daya, dan handal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem sensor dan aktuator nirkabel mampu beroperasi dengan baik saat diterapkan pada sistem SCADA berbasis PLC untuk memantau dan mengendalikan proses penyaringan air pada bak filtrasi.

Kata Kunci— SCADA, PLC, sensor nirkabel, aktuator nirkabel, WSN, WPAN.

I. PENDAHULUAN

SCADA merupakan singkatan untuk *Supervisory Control And Data Acquisition*. SCADA mengacu pada kombinasi antara telemetri dan akuisisi data yang terdiri dari tiga elemen

atau peralatan di industri seperti industri kilang minyak dan gas, industri pengolahan air bersih dan lain lain. Sistem SCADA yang berkembang saat ini banyak menggunakan PLC sebagai RTU [2] dan banyak menggunakan media kabel sebagai penghubung antara PLC/RTU dengan sensor dan aktuator dilapangan.



Gbr. 1. Sistem SCADA yang berkembang saat ini

Namun demikian, media kabel memiliki banyak keterbatasan antara lain kabel yang panjang dapat menyebabkan *attenuasi* dan rawan gangguan *noise* pada sinyal yang dikirim. Sehingga umumnya pada media kabel letak PLC/RTU selalu dekat dengan sensor dan aktuator di lapangan yang menyebabkan jumlah PLC/RTU yang dipasang akan semakin bertambah pada setiap lokasi yang ingin dimonitoring dan/atau dikendalikan. Ini menjadi tidak efisien apabila pada lokasi tersebut hanya terdapat sedikit sensor atau aktuator yang terpasang pada sebuah PLC/RTU, karena akan berdampak pada biaya yang semakin besar disebabkan harga PLC/RTU yang cukup mahal dan akan lebih mahal lagi apabila menggunakan PLC/RTU yang berbasis WIFI sebagai media komunikasi dengan MTU. Selain itu sistem kabel juga membutuhkan waktu yang cukup lama dan biaya yang besar jika kabel harus dipasang dibawah tanah [3]. Sistem kabel juga kurang fleksibel karena tidak mudah dipindah pindahkan bila ada perombakan sistem dan tidak dapat dipasang pada peralatan yang berputar serta berbagai masalah dalam pemeliharaan seperti kabel terbakar, korosi, kerusakan akibat hewan dan lain lain [4].

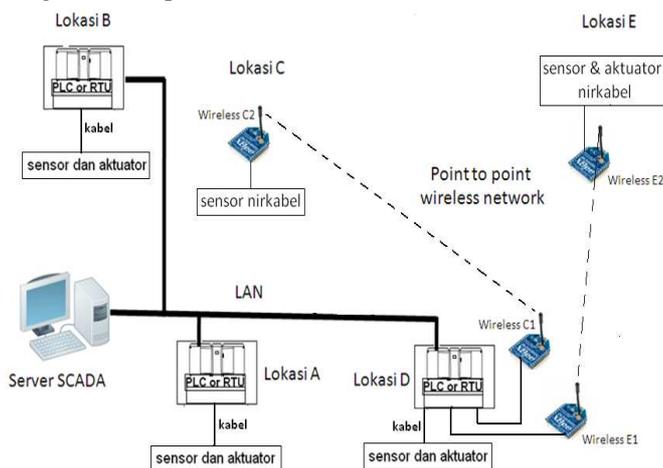
Namun saat ini dengan adanya teknologi *wireless* yang semakin berkembang dan bervariasi, selain teknologi WIFI (IEEE 802.11b) dan Bluetooth (IEEE 802.15.1) terdapat juga WPAN (IEEE 802.15.4). Standar WPAN ini ditetapkan pada Mei 2003 dan mulai banyak dipakai pada *Wireless Sensor Network* karena memiliki kelebihan murah, hemat daya, bebas lisensi & bebas biaya operasi [5]. Teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) ini juga memiliki potensi mamfaat yang besar

¹Instruktur Kejuruan Listrik Balai Latihan Kerja Industri Makassar, Jln. Taman Makam Pahlawan No.4 Makassar, INDONESIA(email: agungsepuluh@yahoo.com)

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknik Informatika Universitas Hasanuddin, Jln. Perintis Kemerdekaan Km.10 Makassar,INDONESIA²(email:Zulfajri_basri_hasanuddin@yahoo.co.id, ³email: faizalas@unhas.ac.id)

untuk dikembangkan pada sistem SCADA antara lain dapat mengurangi biaya pemasangan dan pemeliharaan serta membuat sistem SCADA lebih fleksibel jika dibandingkan dengan menggunakan media kabel. Namun sampai saat ini WSN masih menghadapi beberapa isu tantangan dalam pengembangannya seperti persentase keakuratan data sensor sampai ditempat tujuan, *delay* waktu pengiriman data dan lain lain [6].

Dalam penelitian ini, akan dibangun sistem SCADA berbasis PLC yang terintegrasi dengan sistem sensor dan aktuator nirkabel yang digunakan untuk memonitoring dan mengendalikan proses filtrasi air baku.



Gbr. 2. Sistem yang diusulkan: Sistem SCADA berbasis PLC terintegrasi dengan sistem sensor dan aktuator nirkabel.

II. METODOLOGI

A. Sistem Nirkabel

Teknologi nirkabel telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir ini. Telah ada beberapa standar yang dibuat seperti *Bluetooth* (IEEE 802.15.1), *WLAN* atau *Wireless Local Area Network* (IEEE 802.11b), *GSM* (*Global System for Mobile*), *CDMA* (*Code Division Multiple Access*), *WPAN* atau *Wireless Personal Area Network* (IEEE 802.15.4), *Zigbee* dan lain lain[7].

1) *Standar IEEE 802.15.4*: Untuk aplikasi WSN yang sedang berkembang saat ini umumnya menggunakan standar protokol WPAN (IEEE 802.15.4) ataupun *Zigbee* yang merupakan hasil pengembangan lanjut dari WPAN. Untuk topologi jaringan yang didukung adalah *point to point*, *point to multipoint* dan *peer to peer*. Untuk membedakan sebuah jaringan dengan jaringan yang lain digunakan kanal frekuensi dan PAN ID. Kanal Frekuensi bisa diibaratkan sebagai sebuah negara. Pada frekuensi ISM 2,4GHz ada 12 kanal yang tersedia. Sedangkan PAN ID bisa diibaratkan sebagai sebuah kota. PAN ID ditulis dengan angka, dalam format 16-bit. Ada 65.536 PAN ID yang tersedia, masing-masing memiliki kemampuan untuk menghasilkan 65.536 alamat radio di bawahnya. Secara teori skema pengalamatan ini memiliki kapasitas lebih dari 4 miliar jumlah radio [8].

2) *Modul RF XBee-PRO OEM (Seri 1)*: Modul ini adalah modul radio transceiver yang menggunakan standar protokol jaringan IEEE 802.15.4 dengan kelebihan murah, hemat daya,

bebas lisensi dan bebas biaya operasi. Modul ini bekerja pada tegangan 3,3Volt dengan daya pancar 60mW yang mampu menjangkau hingga 90m untuk kondisi indoor dan hingga 1600m untuk kondisi outdoor berdasarkan spesifikasi yang ada pada data sheetnya[9].

Ada dua metode pengiriman data sensor dan aktuator melalui XBee-PRO OEM (Seri 1) yaitu:

- Metode tidak langsung
- Metode langsung

Pada penelitian ini, kami memilih metode langsung sebagai metode untuk mengirim data dari sensor dan aktuator. Pada metode langsung, proses pengiriman data dari sensor dan aktuator dilakukan langsung oleh modul radio Xbee-PRO tanpa menggunakan mikrokontroler eksternal. Walaupun metode ini memiliki keterbatasan pada jumlah I/O dan keterbatasan pada akses ke berbagai macam operasi logika namun kelebihan metode ini adalah lebih hemat daya dan lebih murah terutama pada jaringan dengan ratusan *node*[8]. Selain itu pada penelitian ini kami juga memilih topologi jaringan *point to point*. Kelebihan topologi ini adalah sederhana dan mampu menghasilkan *delay* waktu pengiriman data paling minimal karena sebuah modul radio hanya akan berkomunikasi dengan sebuah modul radio lainnya. *Delay* waktu pengiriman data kurang dari 1 detik sangat diperlukan jika data sensor digunakan dalam sistem kendali daur tertutup[6].

3) *XCTU*: Merupakan sebuah aplikasi yang disediakan oleh *Digi International Inc*. Program ini menyediakan GUI sederhana dan dirancang untuk berinteraksi dengan file firmware yang ditemukan pada modul RF buatan *Digi International Inc*. *XCTU* dapat didownload dari Web site *Digi International Inc*.

B. Software SCADA Vijeo Citect

Vijeo Citect adalah paket *software* Scada dari *Schneider* yang sangat *flexible*, *simple*, dan terorganisir untuk menangani supervisi pada proses *industrial plant* [10]. *Software* terintegrasi *tools* yang berbeda untuk mempermudah intuisi dan kreatifitas dalam membuat desain HMI. *Vijeo Citect* juga mendukung fasilitas *multilanguages* serta memiliki *library driver protocol* komunikasi untuk berbagai jenis *device* (PLC, *controller*, *motor drives*, data *acquisition module*, dan lainnya). Mempunyai kemudahan dalam merekam data proses berupa *trending* dan data dapat di-export kedalam *Microsoft Excel*, *Acces*, dan lainnya sebagai *report*.

C. PLC

Pada penelitian ini, kami menggunakan PLC produksi *Schneider* seri M340 yang memiliki sarana komunikasi berupa USB, Ethernet dan Modbus. PLC ini mempunyai 8 slot yang dapat diisi dengan modul CPU dan modul I/O. Slot 0 untuk modul CPU sedangkan modul I/O dapat dipasang pada slot 1 hingga 7. Untuk memprogram PLC M340 digunakan *Software Unity PRO*. *Software* ini memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki fitur simulasi program dan mendukung 5 jenis bahasa pemrograman PLC [11].

Dalam pemrograman PLC M340, untuk pengalamatan data dibagi kedalam 2 lokasi memori yaitu:

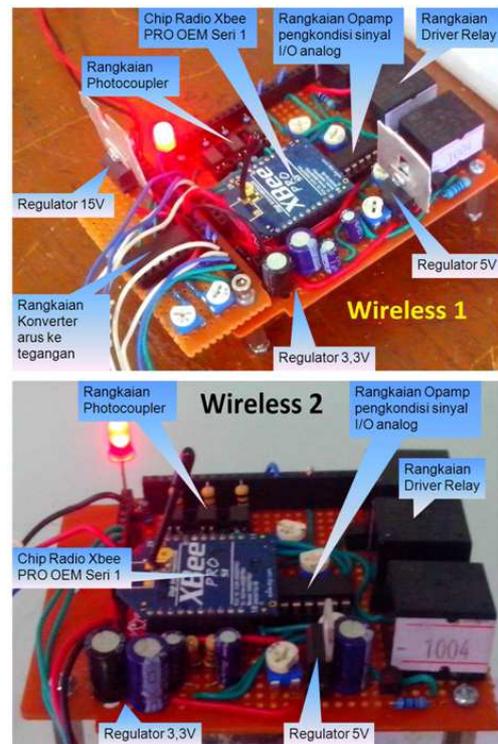
- Untuk data internal dan data sistem: %M, %S, %MW, %KW dan %SW
- Untuk data yang terhubung dengan modul I/O: %I, %Q, %IW dan %QW

D. Perancangan perangkat keras

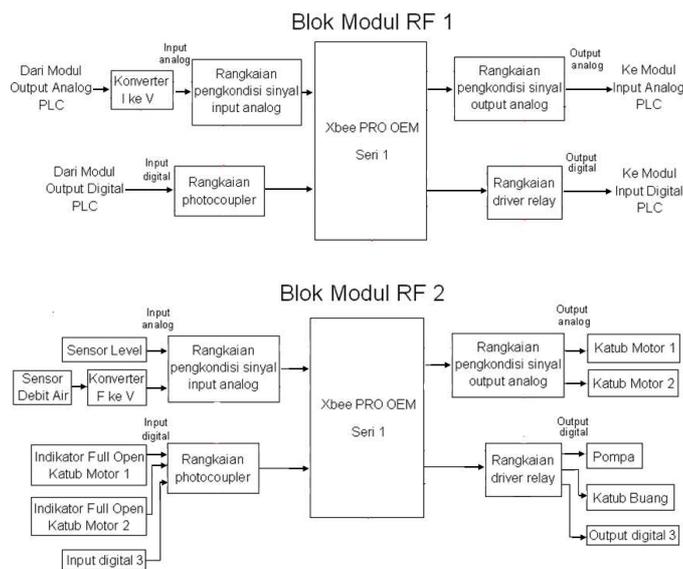
Perangkat keras yang digunakan adalah komputer/laptop sebagai MTU, PLC sebagai RTU, sistem sensor dan aktuator nirkabel dan model miniature bak filtrasi. Pada perancangan perangkat keras ada 2 bagian yang perlu mendapat perhatian khusus yaitu bagian sistem sensor dan aktuator nirkabel dan model miniature bak filtrasi.

1) *Sistem sensor dan aktuator nirkabel*: Blok diagram dan *Prototype* sistem sensor dan aktuator nirkabel yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3 dan 4.

2) Sistem ini terdiri atas sepasang Modul RF yang dikonfigurasi point to point. Jumlah pin I/O-nya adalah 2 pin untuk I/O analog dan 3 pin untuk I/O digital. Modul RF 1 terhubung ke PLC dan modul RF 2 dipasang pada *plant*. Modul Xbee Pro ini I/O-nya bekerja pada tegangan 3,3V sedangkan peralatan luar bekerja dengan tegangan 5V dan 24V, untuk itu agar modul Xbee Pro dapat berinteraksi dengan peralatan luar maka dibuat juga rangkaian pengkondisi sinyal I/O analog, rangkaian *photocoupler* dan rangkaian *driver relay* sebagai rangkaian antarmukanya.

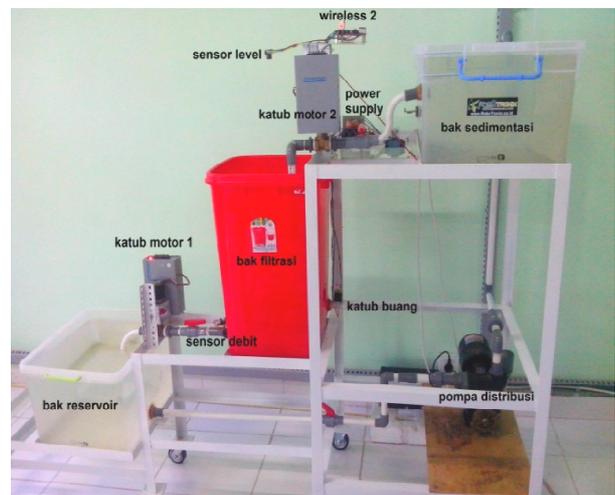


Gbr. 4. *Prototype* sistem sensor dan aktuator nirkabel



Gbr. 3. Blok sistem sensor dan aktuator nirkabel

3) *Model miniature bak filtrasi*: Bak penyarangan ini dibuat menyerupai bak filtrasi yang ada di PDAM Kota Makassar pada IPA 1 Ratulangi. Model miniature ini juga dilengkapi miniatur bak sedimentasi dan miniature bak reservoir. Miniatur bak sedimentasi berfungsi sebagai bak penampung air baku sebelum proses penyarangan sedangkan bak reservoir berfungsi sebagai bak penampung air setelah proses penyarangan. Pada bak filtrasi juga dipasang sensor level untuk mengukur ketinggian air dan sensor debit air untuk mengukur debit air yang keluar dari bak filtrasi serta 3 buah aktuator yaitu katub motor pada bagian input bak filtrasi (V2), katub motor pada bagian output bak filtrasi (V1) dan katub solenoid sebagai katub buang. Katub motor yang digunakan dikendalikan dengan input tegangan analog 0-5V untuk posisi bukaan katub 0-100% dan dapat berputar hingga 360°.



Gbr. 5. *Prototype* bak filtrasi

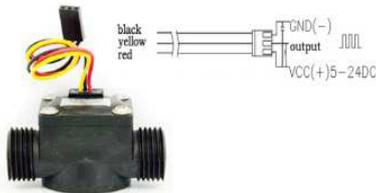
4) *Sensor debit air*: Sensor debit air yang ditempatkan pada pipa output filtrasi outputnya berupa pulsa yang memiliki frekuensi yang sebanding dengan debit air yang diukur. Untuk menentukan frekuensi yang dihasilkan digunakan persamaan berikut [12].

$$f_{out} = 7,5 \cdot Q \quad (1)$$

keterangan:

f_{out} = frekuensi output sensor (Hz)

Q = debit air yang diukur (liter/menit)



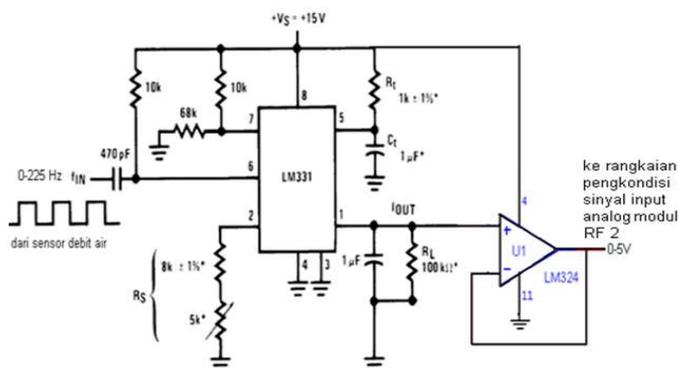
Gbr. 6. Sensor debit air

Sensor debit air yang digunakan memiliki batas ukur hingga 30 L/min, maka frekuensi maksimal yang dihasilkan sebesar:

$$f_{out\ max} = 7,5 \cdot 30 = 225\ Hz$$

Selanjutnya frekuensi 225Hz ini dikonversi menjadi tegangan 5V untuk mendapatkan output berupa tegangan analog. Proses konversi ini dilakukan oleh rangkaian konverter frekuensi ke tegangan. Rangkaian konverter ini menggunakan IC LM331. Output tegangan yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus berikut [13].

$$V_o = f_{in} \cdot 2,09V \cdot \frac{R_L}{R_S} \cdot (R_t \cdot C_t) \quad (2)$$



Gbr. 7. Rangkaian konverter frekuensi ke tegangan

5) *Sensor level air*: Sensor level air yang digunakan bekerja dengan menggunakan gelombang suara untuk menentukan ketinggian zat cair. Output sensor ini berupa tegangan analog 0-5V dengan resolusi sebesar 5mm dan jangkauan jarak maksimum hingga 5m [14].

E. Perancangan perangkat lunak

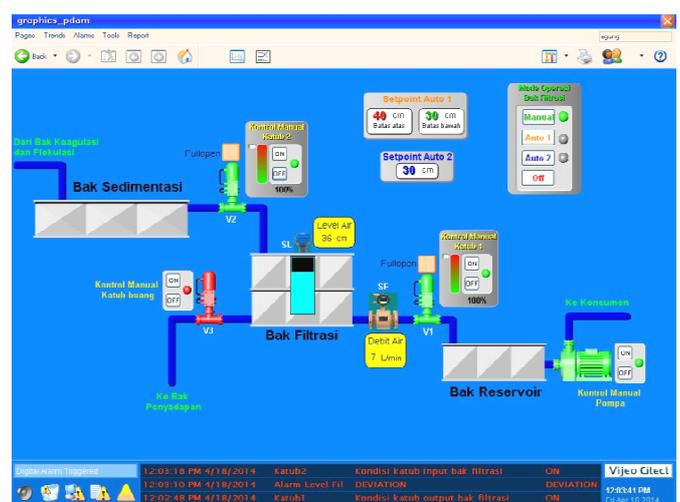
Pada perancangan perangkat lunak ini dilakukan pemrograman pada modul Xbee PRO, pemrograman PLC dan pemrograman SCADA.

1) *Pemrograman Xbee Pro*: Pemrograman Xbee PRO dilakukan menggunakan software XCTU dari Digi International. Pemrograman dilakukan menggunakan GUI melalui tab Modem Configuration. Item yang perlu dikonfigurasi antara lain *channel*, *PAN ID*, *Destination*

Address High, *Destination Address Low*, *MY Address*, *I/O setting* dan lain lain.

2) *Pemrograman PLC M340*: Dalam sistem SCADA sebuah PLC mempunyai 2 fungsi ganda yaitu sebagai pengendali lokal dan juga sebagai RTU. Agar dapat menjalankan fungsinya tersebut sebuah PLC harus diprogram terlebih dahulu. Program yang dibuat tidak hanya untuk menjalankan fungsi PLC sebagai pengendali lokal tetapi juga harus dapat menjalankan fungsi PLC sebagai RTU. PLC M340 Schneider diprogram menggunakan software Unity Pro. Sebagai pengendali lokal PLC M340 menggunakan alamat memori %I dan %Q atau %IW dan %QW untuk mengendalikan peralatan I/Onya. Alamat memori untuk I/O ini tidak bisa diakses oleh software SCADA yang ada di MTU. Software SCADA hanya dapat mengakses alamat memori internal PLC yaitu %M dan %MW. Untuk itu agar PLC juga dapat menjalankan fungsinya sebagai RTU maka didalam program, titik I/O atau data yang ingin diakses oleh MTU SCADA juga harus memiliki alamat memori internal selain alamat memori I/O. Program PLC yang dibuat untuk memonitoring dan mengendalikan proses yang ada di bak filtrasi diprogram dalam 3 mode kendali yaitu manual, auto1 dan auto2. Mode manual digunakan untuk mengendalikan proses secara manual. Mode auto1 dan auto2 akan mengendalikan bukaan katub input secara otomatis untuk menjaga level air bak filtrasi sesuai setpoint yang diinput melalui HMI SCADA. Mode auto1 menggunakan 2 setpoint yaitu batas atas (40cm) dan batas bawah (30cm) sedangkan mode auto2 menggunakan sebuah setpoint (30cm) dan menerapkan PID *incremental* sebagai algoritmanya.

3) *Pemrograman SCADA*: Sistem SCADA yang dibangun dalam penelitian ini adalah sistem *Stand Alone*. Didalam sistem *Stand Alone* semua komponen SCADA yaitu *I/O Server*, *Report Server*, *Alarm Server*, *Trend Server* dan *Display Client* berada dalam satu komputer yang sama. Gambar dibawah ini memperlihatkan tampilan HMI SCADA yang dibangun untuk digunakan menguji performa sistem sensor dan aktuator nirkabel.



Gbr. 8. Tampilan grafis HMI SCADA

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

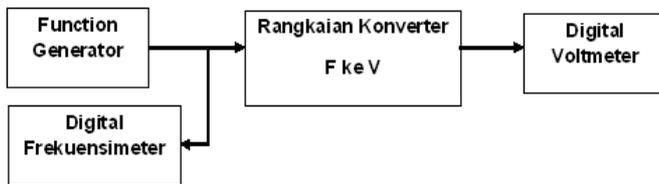
A. Pengujian perangkat lunak SCADA

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa program SCADA yang dibuat telah dapat bekerja dengan baik. Program SCADA dijalankan dengan meng-klik ikon Vijeo Citect Runtime atau melalui menu File – Run pada Vijeo Citect Explorer. Berikut beberapa pengujian yang dilakukan pada perangkat lunak SCADA.

- Pengujian akses security
- Pengujian grafis HMI
- Pengujian alarm
- Pengujian trend, process analyst dan data logging
- Pengujian report

B. Pengujian sensor debit air

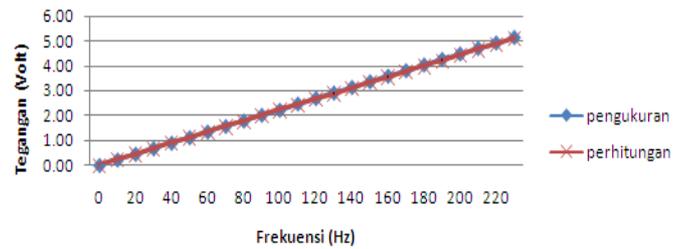
Pengujian sensor debit air dilakukan dalam dua tahap. Pengujian pertama dilakukan terhadap rangkaian konverter frekuensi ke tegangan yang bertujuan untuk mengetahui korelasi antara tegangan keluaran dengan frekuensi masukan. Blok diagram skema dan hasil pengujian rangkaian konverter frekuensi ke tegangan ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gbr. 9. Blok diagram pengujian FVC

TABEL I
HASIL PENGUJIAN FVC

No	Frekuensi(Hz)	Vout (volt)		Error (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
1	0	0	0.00	0.00
2	10	0.22	0.22	0.00
3	20	0.45	0.44	2.27
4	30	0.67	0.67	0.00
5	40	0.89	0.89	0.00
6	50	1.11	1.11	0.00
7	60	1.34	1.33	0.75
8	70	1.56	1.56	0.00
9	80	1.78	1.78	0.00
10	90	2.01	2.00	0.5
11	100	2.21	2.22	0.45
12	110	2.46	2.44	0.81
13	120	2.68	2.67	0.37
14	130	2.9	2.89	0.34
15	140	3.12	3.11	0.32
16	150	3.35	3.33	0.6
17	160	3.57	3.56	0.28
18	170	3.79	3.78	0.26
19	180	4.02	4.00	0.5
20	190	4.24	4.22	0.47
21	200	4.46	4.44	0.45
22	210	4.68	4.67	0.21
23	220	4.9	4.89	0.2
24	230	5.12	5.11	0.19
Nilai error mutlak rata-rata				0.374



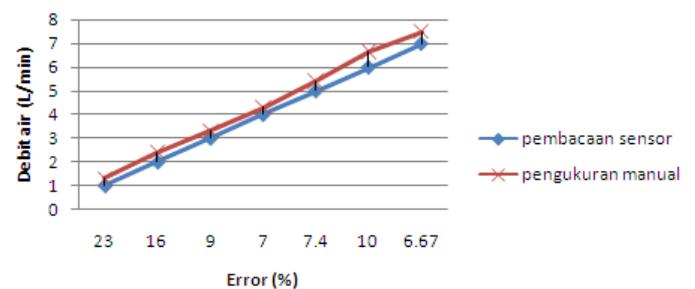
Gbr. 10. linieritas rangkaian FVC

Dari TABEL I diketahui bahwa error mutlak rata-rata sangat kecil yaitu 0,374% sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian FVC ini hasilnya sangat baik. Selanjutnya pada gambar 10 diperlihatkan grafik antara tegangan terhitung dan terukur terhadap frekuensi masukan. Dari gambar 10 dapat diketahui bahwa linieritas tegangan keluaran terhadap frekuensi masukan sangat baik, artinya besarnya tegangan keluaran proporsional terhadap frekuensi masukan.

Pengujian yang kedua bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja sensor debit air secara lengkap dimana hasil pengukuran sensor debit air dibandingkan dengan hasil pengukuran secara manual dengan mengambil sampel air dari output bak filtrasi. Hasil pengujian sensor debit air ditunjukkan pada TABEL II dan gambar 11 berikut ini.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN SENSOR DEBIT

No	Sensor Debit (liter/menit)	Pengukuran manual			Error (%)
		Volume (liter)	Waktu (detik)	Debit (liter/menit)	
1	1	1	45	1.3	23
2	2	1	25	2.4	16
3	3	1	18	3.3	9
4	4	1	14	4.3	7
5	5	1	11	5.4	7.4
6	6	1	9	6.67	10
7	7	1	8	7.5	6.67
Nilai error mutlak rata-rata					11.29



Gbr. 11. Akurasi sensor debit air

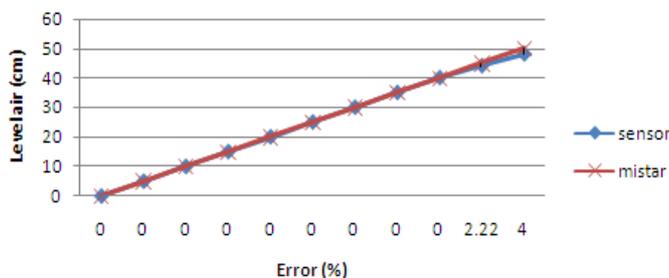
Dari TABEL II dapat diketahui rata-rata error sensor debit adalah 11,29% sedikit berbeda dari nilai presisi sensor berdasarkan datasheet yaitu sebesar ±3%. Hal ini disebabkan beberapa faktor, diantaranya adalah pembacaan sensor yang hanya menampilkan angka bulat menyebabkan nilai presisi pembacaan sensor berkurang dan juga disebabkan oleh kualitas sensor yang kurang baik. Gbr. 11 memperlihatkan grafik hasil pengujian akurasi dari sensor debit.

C. Pengujian sensor level air

Pengujian akurasi sensor level dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor level yang dimonitor melalui HMI SCADA dengan alat ukur manual. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel III dan Gbr. 12.

TABEL III
HASIL PENGUJIAN SENSOR LEVEL

No	Sensor (cm)	Alat ukur (cm)	Error (%)
1	0	0	0
2	5	5	0
3	10	10	0
4	15	15	0
5	20	20	0
6	25	25	0
7	30	30	0
8	35	35	0
9	40	40	0
10	44	45	2,22
11	48	50	4
Nilai error mutlak rata-rata			0,56

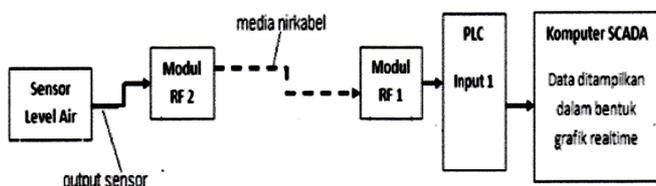


Gbr. 12 Akurasi sensor level air.

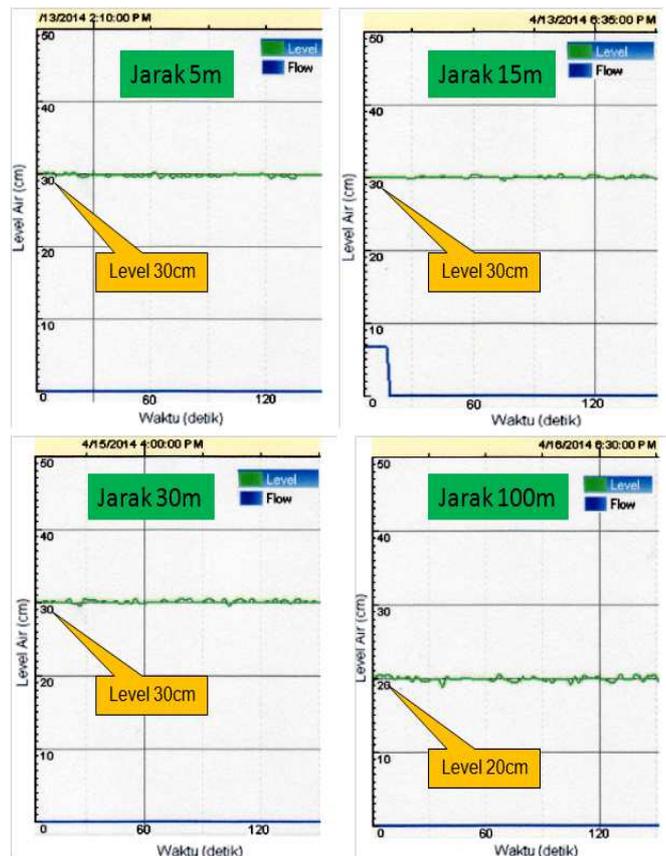
Dari TABEL III diketahui bahwa error mutlak rata-rata sensor level adalah 0,56 % sehingga dapat disimpulkan bahwa akurasi sensor level ini hasilnya baik. Gbr. 12 memperlihatkan grafik hasil pengujian akurasi dari sensor level air. Dari grafik terlihat bahwa saat mendekati zona mati (0-30cm) akurasi sensor berkurang.

D. Pengujian akurasi pengiriman data sistem sensor nirkabel

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik unjuk kerja sistem sensor nirkabel dalam hal pengiriman data dari sensor ke PLC. Pengujian dilakukan pada kondisi diluar ruangan (outdoor) tanpa penghalang pada jarak 5m, 15m, 30m dan 100m. Blok diagram skema pengujian sistem sensor nirkabel diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gbr. 13 Blok diagram skema pengujian akurasi sistem sensor nirkabel.



Gbr. 14. Grafik pengujian akurasi sensor nirkabel

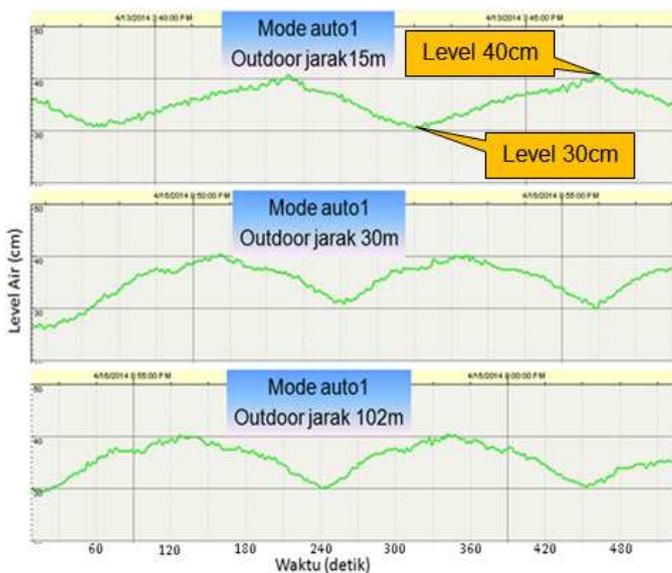
Dari Gbr. 14 diatas, yang merupakan grafik hasil pengujian pada jarak 5m, 15m, 30m dan 100m terlihat bahwa data sensor level air yang dikirim menggunakan media nirkabel hasilnya baik, cukup akurat dan sesuai dengan level air yang sedang diukur pada bak filtrasi (20cm dan 30cm) .

E. Pengujian jangkauan sistem sensor dan aktuator nirkabel

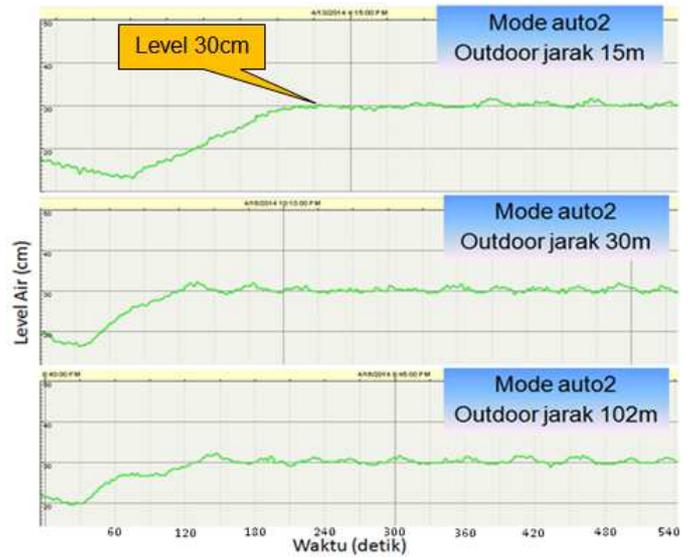
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan jangkauan sistem sensor dan aktuator nirkabel dalam melakukan pengiriman dan penerimaan data terhadap proses kontrol dan monitoring daur tertutup yang diberikan oleh sistem SCADA dengan mode auto1 dan auto2. Mode auto1 dan auto2 akan mengendalikan bukaan katub input secara otomatis untuk menjaga level air bak filtrasi sesuai setpoint yang dimasukan melalui HMI SCADA. Mode auto1 menggunakan 2 setpoint yaitu batas atas (40cm) dan batas bawah (30cm) sedangkan mode auto2 menggunakan sebuah setpoint (30cm) dan menerapkan PID incremental sebagai algoritma kendalinya. Pengujian dilakukan pada kondisi diluar ruangan (outdoor) tanpa penghalang dan juga pada kondisi didalam ruangan (indoor) yang terhalang tembok. Pengujian diluar ruangan dilakukan dengan jarak 15m, 30m dan 102m, sedangkan pengujian didalam ruangan dilakukan dengan jarak 15m, 30m dan 35m. Berikut gambar skema dan hasil pengujian yang telah dilakukan.



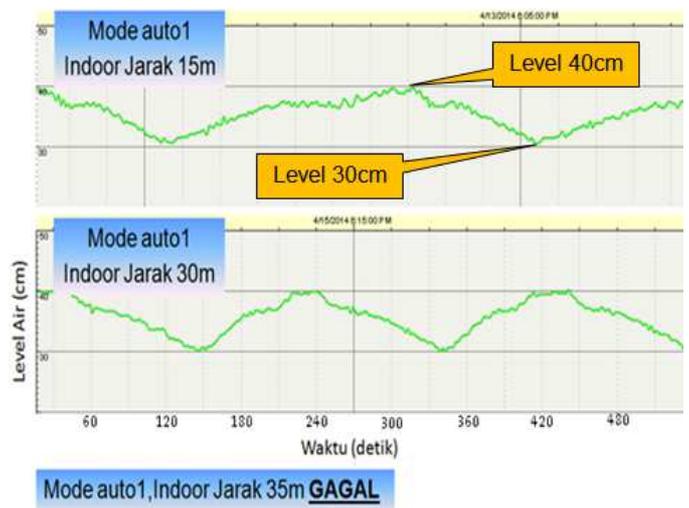
Gbr. 15. Blok diagram skema pengujian jangkauan sistem sensor dan aktuator nirkabel



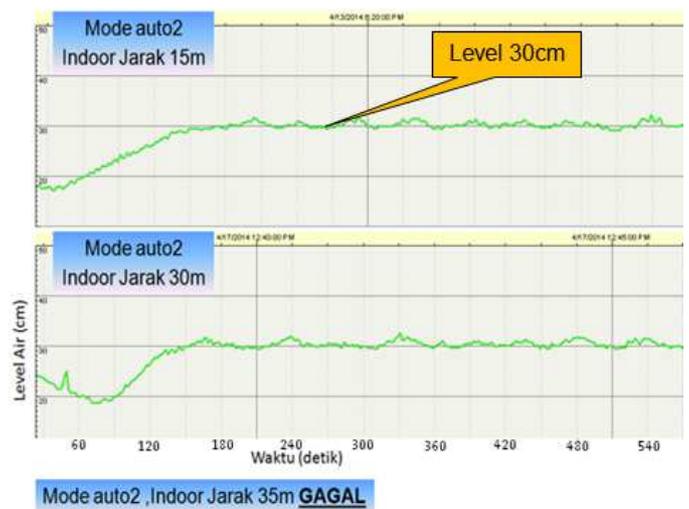
Gbr. 16. Hasil pengujian outdoor dengan mode auto1



Gbr. 17. Hasil pengujian outdoor dengan mode auto2



Gbr. 18. Hasil pengujian indoor dengan mode auto1



Gbr. 19. Hasil pengujian indoor dengan mode auto2

Berdasarkan hasil pengujian diatas terlihat bahwa proses monitoring dan kontrol daur tertutup berhasil dilakukan

dengan baik, pada mode auto1 level air dapat dipertahankan pada batas bawah dan batas atasnya sedangkan pada mode auto2 level air dapat dipertahankan pada setpoint yang telah ditentukan. Selain itu dapat diketahui juga bahwa sistem sensor dan aktuator nirkabel dapat bekerja dengan baik tanpa ada loss ketika berada di area terbuka dengan jarak pengujian 102m, dikarenakan pada area terbuka sinyal dapat diterima secara langsung oleh penerima. Pada pengujian didalam ruangan yang terdapat penghalang tembok untuk jarak hingga 30m sistem sensor dan aktuator nirkabel dapat bekerja dengan baik namun untuk jarak lebih dari 30m sudah mengalami kegagalan karena terputusnya komunikasi antara modul RF 1 dan modul RF2.

F. Pengujian konsumsi daya

Tabel berikut memperlihatkan konsumsi daya listrik pada modul RF2 (*End Device*) yang terhubung ke sensor dan aktuator dilapangan, diukur selama kondisi aktif melakukan proses kontrol dan monitoring yang diberikan oleh sistem SCADA.

TABEL IV
KONSUMSI DAYA

No	Konsumsi daya	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (watt)
1	Minimal	7	100	0,7
2	Maksimal	7	200	1,4
Nilai konsumsi daya rata-rata				1,05

Konsumsi daya yang diukur disini adalah konsumsi daya total yaitu konsumsi daya modul Xbee Pro beserta rangkaian pendukung seperti IC opamp, relay dan lain lain yang tergabung dalam satu modul RF2. Dari TABEL IV diketahui bahwa konsumsi daya rata-rata modul RF2 sebesar 1,05 watt.

IV. KESIMPULAN

Sistem sensor dan aktuator nirkabel murah, hemat daya dan handal telah berhasil diimplementasikan menggunakan standar IEEE 802.15.4 dan mampu beroperasi dengan baik dan fleksibel saat diterapkan pada sistem SCADA berbasis PLC dengan kendali daur terbuka dan daur tertutup untuk mengendalikan level air pada bak filtrasi. Dari hasil pengujian

yang dilakukan pada dua lokasi yang dipantau yaitu bak hasil dan bak filtrasi. Sistem sensor dan aktuator nirkabel terbukti mampu menghemat jumlah PLC yang digunakan yang pada awalnya membutuhkan 2 PLC dapat dikurangi menjadi 1 PLC. Pada kondisi tanpa penghalang, modul RF Xbee PRO seri 1 yang digunakan dalam sistem sensor dan aktuator nirkabel ini terbukti mampu mengirimkan data dengan akurasi yang baik pada jarak pengujian sejauh 102m sedangkan pada kondisi ada penghalang, modul RF Xbee PRO seri 1 yang digunakan dalam sistem sensor dan aktuator nirkabel ini hanya mampu mengirimkan data dengan baik hingga jarak maksimal 30m. Hasil penelitian ini tidak membahas kualitas air bersih hasil proses pada bak filtrasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pimpinan dan Staff PDAM Makassar wilayah IV yang telah memberikan izin sebagai tempat pengambilan data penelitian.

REFERENSI

- [1] D. Bailey and E. Wright, *Practical SCADA for Industry*, IDC technologies, 2003.
- [2] Anonym, "Trends in SCADA for Automated Water Systems," Synchrony, Virginia, Nov. 2001.
- [3] H. Fouda, "Improving SCADA Operations Using Wireless Instrumentation," White paper, Schneider Electric, April. 2010.
- [4] G. Zhao, "Wireless Sensor Network for Industrial Process Monitoring and Control: A Survey," *ISSN 1943-3581*, Vol.3, No.1, Macrothink Institute, USA, 2011.
- [5] B. Firman, "Implementasi Komunikasi Data Berbasis Zigbee Pada SCADA PLTMH," *Jurnal Teknologi*, Volume 5, Nomor 2, Des. 2012.
- [6] A. Nechibvute and C. Mudzingwa, "Wireless Sensor Network for SCADA and Industrial Control Systems," *International Journal of Engineering and Technology*, Vol.3, No.12, Dec. 2013.
- [7] K. A. Bisyrri, "Rancang Bangun Komunikasi Data Wireless Mikrokontroler Menggunakan Modul Xbee Zigbee," skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2012.
- [8] R. Faludi, *Building Wireless Sensor Networks*, O'Reilly Media, 2011.
- [9] *Product Manual For XBee™/XBee-PRO™ OEM RF Modules*, Digi International, 2009.
- [10] *Vijeo Citect Configuration Training Manual Version 7.0*, Citect, 2007.
- [11] *Unity Pro Program Languages and Structure Reference Manual*, Schneider Electric, 2009.
- [12] Speed Studio, "G1/2 water flow sensor data sheet," Shenzhen, China.
- [13] National Semiconductor, "IC LM331 data sheet," USA.
- [14] MaxBotix, "HRLV-MaxSonar-Ez data sheet", USA.