

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI KETINGGIAN AIR TANGKI BOILER BERBASIS NETWORKED CONTROL SYSTEM

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF NETWORKED CONTROL SYSTEM BASED BOILER TANK WATER LEVEL CONTROL SYSTEM

Muhammad Nur Rasyid¹, Erwin Susanto², M. Ary Murti³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹Muhammadnurrasyid.93@gmail.com, ²erwinelektro@telkomuniversity.ac.id, ³arymurti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Networked Control System (NCS) merupakan sebuah sistem kendali dimana sensor, aktuator dan pengendali dihubungkan melalui sebuah jaringan. Dengan NCS, sistem dapat dikendalikan dari jarak jauh. Kendali jarak jauh menjadi salah satu hal terpenting ketika jangkauan plant yang dituju dengan sisi user (sebagai pengendali) terpisah jauh seperti dalam kasus pengendalian ketinggian air tangki boiler oleh sisi user. Pada penelitian ini, Desain Networked Control System yang diterapkan yaitu Remote Control System dengan topology WLAN. Kendali digunakan berupa fuzzy logic, sebagai kendali ketinggian air tangki boiler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendali fuzzy logic yang diimplementasikan pada kendali ketinggian air tangki boiler mempunyai performa settling time: 57,58 detik dan steady-state error: 0,7 %. Bandwidth yang dibutuhkan untuk pertukaran data pada proses NCS yaitu 85,7 KB/s. Dalam sistem ini, jangkauan akses network terjauh komputer user dapat menjangkau target sistem untuk mendapatkan performa kendali terbaik yaitu pada jangkauan kurang dari 6 Meter.

Kata kunci : networked control system, remote control system, fuzzy logic.

Abstract

Networked Control System (NCS) is a control system, which sensors, actuators and controllers are connected in one network. By applying NCS, the system can be controlled remotely. The remote control becomes one of the most important things when a plant and user side (as controller) are separated at distance, as in the case the control of boiler tank water level control by user. In this study, applied design of Networked Control System is Remote Control System with WLAN topology. The controller that used on the Networked Control System is fuzzy logic algorithms, it is used to control the water level in boiler tank. The results showed implementation of fuzzy logic control to control the water level in the boiler tank has performance settling time: 57.58 seconds and steady-state error: 0.7%. Bandwidth needed for data exchange in the process of Networked Control System is 85.7 KB/s. In this system, the farthest reach for best performance is less than 6 meters.

Keywords: networked control system, remote control system, fuzzy logic.

1. Pendahuluan

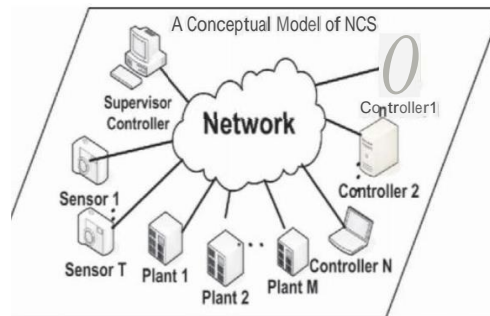
Di era komunikasi saat ini, sistem kendali yang bersifat langsung (kontroler dengan plant pada satu tempat) sudah mulai dikembangkan menjadi sistem kendali yang bersifat tak langsung (remote kontroler terhadap plant). Dalam Sistem kendali tak langsung ini, jaringan komunikasi sangat berguna sebagai penghubung antara user dengan sistem yang akan dikendalikan (sistem kendali ini dikenal dengan Networked Control System). Networked Control System merupakan sebuah sistem kendali dimana sensor, aktuator dan kontroler dihubungkan melalui sebuah jaringan. Dengan adanya sistem kendali melalui jaringan memungkinkan Networked Control System mampu mengendalikan sistem dengan jarak jauh.

Kendali jarak jauh menjadi salah satu hal terpenting ketika jangkauan plant terpisah dengan sisi user (sebagai pengendali plant). Terpisahnya plant dan sisi user menjadi masalah dalam mengawasi dan mengendalikan plant apabila jalur transmisi yang digunakan masih menggunakan kabel. Ketika sisi user yang bertindak sebagai pengendali menangani banyak plant yang terpisah darinya, maka kabel yang digunakan untuk proses transmisi akan menjadi tidak efisien dari segi cost yang dikeluarkan. Dengan menggunakan sistem kendali terpusat melalui jaringan (Networked Control System) dapat mempermudah pengumpulan data untuk pengawasan maupun pengendalian sistem tersebut dengan cost yang relatif lebih murah.

2. Dasar Teori dan Perancangan Sistem

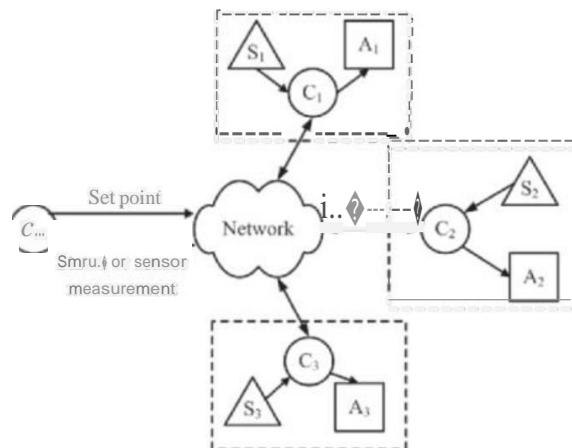
2.1 Networked Control System^[2]

Networked Control System adalah sistem kendali umpan balik dimana elemen dari sistem tersambung satu sama lain melalui jaringan. Informasi untuk mengontrol plant, baik itu dari input referensi, sensor, maupun komponen yang mempengaruhi keluaran sistem akan dikirim kepada pengontrol plant melalui jaringan.



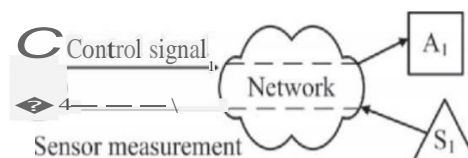
Gambar 2.1 (a) Topologi Networked Control System^[2]

Sistem kendali jarak jauh dalam sebuah jaringan (*Networked Control System*) Terdapat dua desain, yaitu *shared-Networked Control* dan *Remote Control Systems*. *Shared-Networked Control* merupakan penggabungan beberapa subsistem yang membentuk struktur hirarki dimana setiap subsistem terdiri atas sebuah sensor, aktuator, dan kontroler. Pada desain *Shared-Networked Control*, kontroler subsistem menerima set point dari kontroler CM pusat. Subsistem kemudian mencoba untuk memenuhi set point CM pusat dengan sendirinya. Data sensor ditransmisikan kembali melalui jaringan ke kontroler pusat. Berikut pengiriman data pada struktur hirarki:



Gambar 2.1 (b) Transfer Data pada Struktur Hirarki^[2]

Remote Control System merupakan struktur langsung sensor dan aktuator dari loop kontrol yang terhubung secara langsung ke jaringan. Pada struktur ini, aktuator dan sensor menyatu dengan plant sementara kontroler dipisahkan dari plant oleh jaringan. Berikut pengiriman data pada struktur langsung :



Gambar 2.1 (c) Transfer Data pada Struktur Langsung^[2]

2.2 Fuzzy Logic^[6]

Titik awal dari konsep modern mengenai ketidakpastian adalah paper yang dibuat oleh Lofti A Zadeh (1965)

yang memperkenalkan teori yang memiliki obyek-obyek dari himpunan fuzzy yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan fuzzy, dan bukan dalam bentuk logika benar (true) atau salah (false), tapi dinyatakan dalam derajat (degree). Konsep seperti ini disebut dengan fuzziness dan teorinya dinamakan fuzzy set theory. Fuzziness dapat didefinisikan sebagai logika kabur berkenaan dengan semantik dari suatu kejadian, fenomena atau pernyataan itu sendiri. Seringkali ditemui dalam pernyataan yang dibuat oleh seseorang, evaluasi dan suatu pengambilan keputusan.

Di dalam fuzzy systems, membership function memainkan peranan yang sangat penting untuk merepresentasikan masalah dan menghasilkan keputusan yang akurat. Terdapat banyak sekali membership function yang sering digunakan, seperti fungsi sigmoid (naik/turun), fungsi phi, fungsi segitiga, dan fungsi trapesium. Suatu sistem berbasis aturan fuzzy yang lengkap terdiri dari tiga komponen utama: fuzzification, inference, dan defuzzification. Fuzzification mengubah masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (crisp input) ke dalam bentuk fuzzy input, berupa nilai linguistik yang semantiknya ditentukan berdasarkan membership function tertentu. Inference melakukan penalaran menggunakan fuzzy input dan fuzzy rules yang telah ditentukan sehingga menghasilkan fuzzy output. Terdapat 2 aturan dalam sebuah fuzzy rule yaitu aturan mamdani dan aturan sugeno. Sedangkan defuzzification mengubah fuzzy output menjadi crisp value berdasarkan membership function yang telah ditentukan. Contoh metode menentukan output defuzzification: Centroid method, Height method, First (or Last) of Maxima, Mean-Max method, Weighted Average.

2.3 Wireless Local Area Network (WLAN)

WLAN merupakan pengembangan dari sebuah LAN (Local Area Network) yang menggunakan media udara untuk proses transmisi jaringan. Pengiriman sinyal ini memiliki standar IEEE 802.11a/b/g/n. WLAN memiliki cakupan pada area yang terbatas seperti pada kantor maupun kampus. WLAN memiliki kecepatan data kisaran 0 Mb – 100 Mb. Transmisi wireless mempunyai karakter yang dapat diserap, dibiaskan, dan dipantulkan oleh air, dinding, dan permukaan logam sehingga dapat mengurangi kekuatan sinyal transmisi. Akses koneksi wireless memiliki dua mode yaitu adhoc dan infrastruktur.

Mode ad-hoc merupakan jaringan transmisi data wireless secara point to point antar komputer satu dengan yang lainnya. Mode ini tidak membutuhkan perangkat tambahan seperti access point maupun base station untuk pengiriman datanya. Pada dasarnya mode jaringan ini diperuntukkan transmisi data yang bersifat sementara.



Gambar 2.3 (a) Mode adhoc

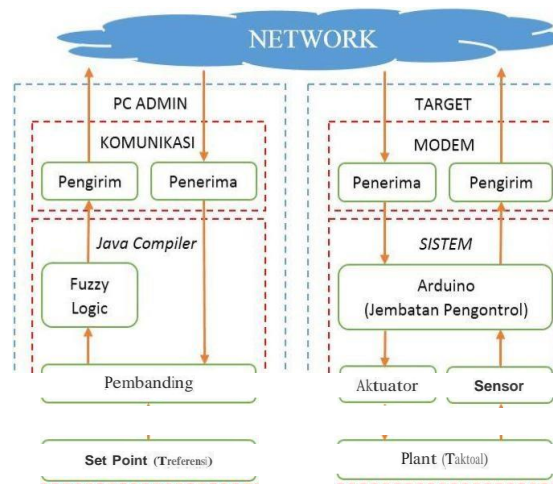
Mode infrastruktur merupakan jaringan transmisi data wireless yang membutuhkan perangkat tambahan seperti access point maupun base station sehingga komputer satu dengan yang lainnya dapat saling bertukar informasi. Penambahan dan pengaturan letak access point maupun base station dapat memperluas jaringan wireless.



Gambar 2.3 (b) Mode infrastruktur

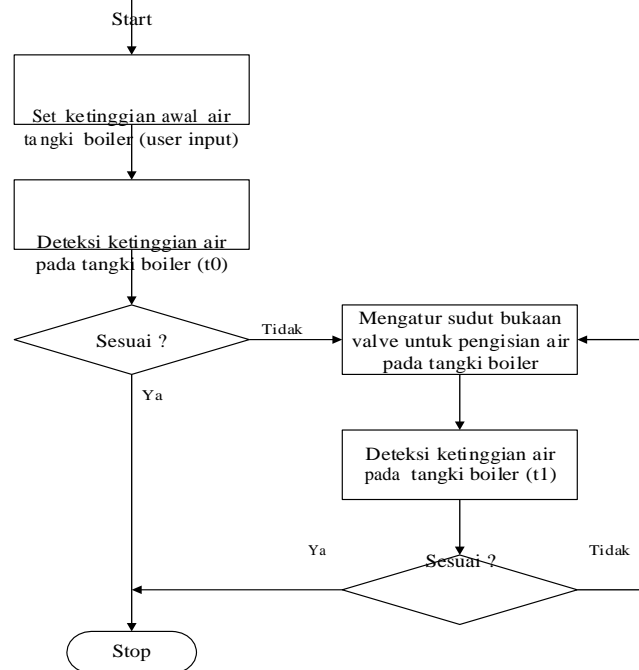
2.4 Gambaran Umum Sistem

Pada dasarnya sistem yang direalisasikan terdiri dari dua bagian, yaitu: (1) sisi komputer user (pengolah sistem) dan (2) sisi target sistem. Komputer user yang terhubung dengan target sistem pada sebuah jaringan yang didesain dengan pendekatan struktur langsung (Remote Control Systems). Dimana struktur tersebut aktuator dan sensor menyatu dengan plant sementara kontroler dipisahkan dari plant oleh jaringan (seperti gambar 3.1). Sistem kendali yang ditanam pada komputer user berupa algoritma fuzzy logic untuk mengelola kestabilan pada target sistem yang akan dikendalikan.



Gambar 2.4 (a) Gambaran Umum Sistem

Set point dari sistem yang direalisasikan berupa ketinggian air tangki boiler yang diinginkan oleh komputer user. Set point tersebut menjadi acuan sistem kendali ketinggian air pada tangki boiler. Komputer user sebagai pengolah sistem akan melakukan pengambilan data ketinggian air terhadap output sistem untuk mengetahui error pada target sistem. Ketika error yang diperoleh dari target sistem nol maka terjadi sebuah penutupan valve sehingga tidak ada penambahan air pada tangki boiler. Dan sebaliknya ketika target sistem mempunyai nilai input dan nilai output yang tidak sesuai, maka komputer user yang ditanam algoritma fuzzy logic akan mengolah data perbandingan antara input (set point) komputer user dengan output sistem dan memberi tindakan atau eksekusi terhadap bukaan posisi sudut valve berupa sinyal PWM untuk penambahan air tangki boiler.



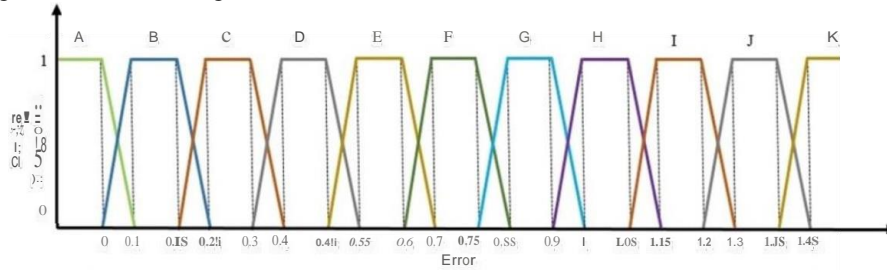
Gambar 2.4 (b) Flowchart Kerja Sistem Secara Keseluruhan

2.5 Perancangan Kendali Fuzzy Logic

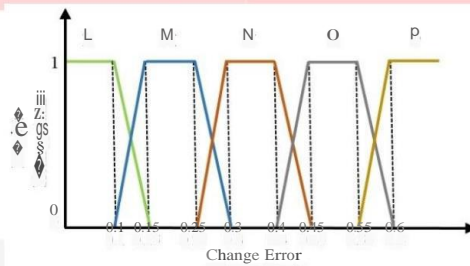
Fuzzy logic yang ditanam pada komputer user digunakan sebagai sistem kendali ketinggian air pada target sistem yang akan dikendalikan. Fuzzy logic controller ini digunakan sebagai penentu posisi sudut buka atau tutup valve untuk penambah ketinggian air tangki boiler berdasarkan parameter error dan change error. Fuzzy logic dirancang menggunakan 2 buah input (error dan change error). Nilai error yang dihasilkan dari perbandingan nilai input komputer user sebagai acuan target sistem dengan sebuah output yang real pada sistem dan change error

merupakan selisih antara nilai error sekarang dan sebelumnya. Serta sebuah output berupa sinyal pwm valve untuk melakukan penambahan air pada tangki boiler.

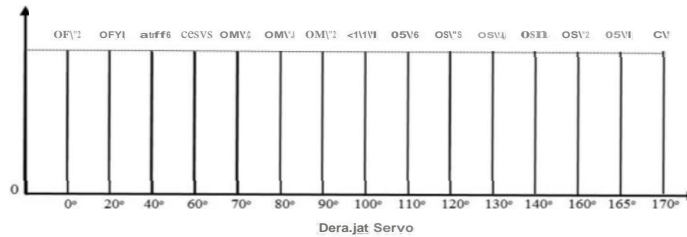
Fuzzifikasi merupakan suatu proses untuk mengubah nilai tegas atau nilai real yang digunakan pada sistem ke dalam fungsi keanggotaan. Dalam sistem yang dirancang, data atau nilai real dari error diubah ke dalam variable A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, dan K. Sedangkan untuk data atau nilai real dari change error diubah ke dalam variabel L, M, N, O, dan P. Untuk data atau nilai real dari output diubah ke dalam beberapa derajat, yaitu : CV, OSV1, OSV2, OSV3, OSV4, OSV5, OSV6, OMV1, OMV2, OMV3, OMV4, OMV5, OMV6, OFV1, dan OFV2. Seperti pada gambar 2.5 (a), gambar 2.5 (b), dan gambar 2.5 (c):



Gambar 2.5 (a) Fungsi keanggotaan error



Gambar 2.5 (b) Fungsi keanggotaan change error



Gambar 2.5 (c) Fungsi keanggotaan output

Fuzzy inference merupakan pemetaan fungsi keanggotaan input ke fungsi keanggotaan output. Pemetaan ini membutuhkan sebuah rules atau aturan menunjukkan letak fungsi keanggotaan output apabila nilai input satu dan dua terletak pada nilai tertentu. Tabel 2.5 merupakan rules yang digunakan dalam sistem fuzzy logic.

Tabel 2.5 Fuzzy rule

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
L	CV	OSV1	OSV2	OSV3	OSV4	OSV5	OSV6	OMV1	OMV2	OMV3	OMV4
M	OSV1	OSV2	OSV3	OSV4	OSV5	OSV6	OMV1	OMV2	OMV3	OMV4	OMV5
N	OSV2	OSV3	OSV4	OSV5	OSV6	OMV1	OMV2	OMV3	OMV4	OMV5	OMV6
O	OSV3	OSV4	OSV5	OSV6	OMV1	OMV2	OMV3	OMV4	OMV5	OMV6	OFV1
P	OSV4	OSV5	OSV6	OMV1	OMV2	OMV3	OMV4	OMV5	OMV6	OFV1	OFV2

Defuzzifikasi merupakan proses pembentukan nilai keluaran crisp (nilai tegas/tunggal). Fuzzy logic yang dirancang menggunakan metode defuzzifikasi sugeno weight average. Persamaan 2.5 merupakan perhitungan nilai output menggunakan metode defuzzifikasi sugeno weight average

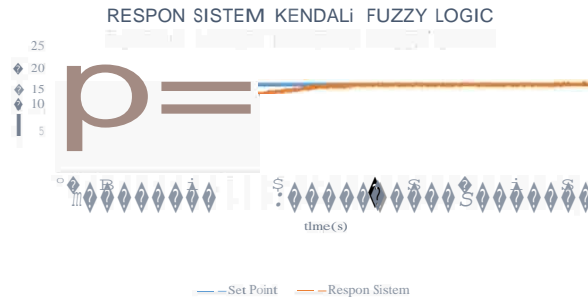
$$output = \frac{w_1 u_1 + w_2 u_2}{u_1 + u_2} \dots \dots \dots (2.5)$$

3. Pembahasan

3.1 Pengujian Kendali Fuzzy Logic

Kendali fuzzy logic pada sistem ketinggian air tangki boiler berbasis Networked Control System digunakan untuk mengatur posisi sudut buka atau tutup valve sehingga ketinggian air pada tangki boiler sesuai dengan input

dari komputer user. Fuzzy logic dipengaruhi beberapa parameter seperti membership function input, membership function output dan proses inference. Pengujian kendali fuzzy logic bersifat trial and error. Hasil pengujian kendali fuzzy logic terhadap sistem yang direalisasikan ditunjukkan oleh gambar 3.1:

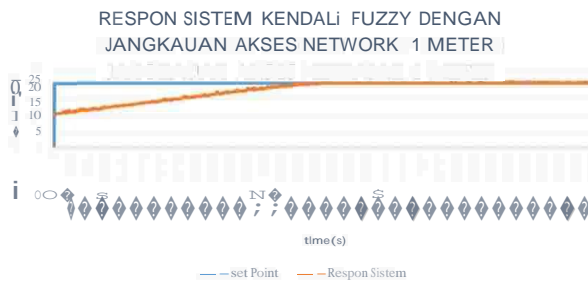


Gambar 3.1 Respon sistem dengan kendali fuzzy logic

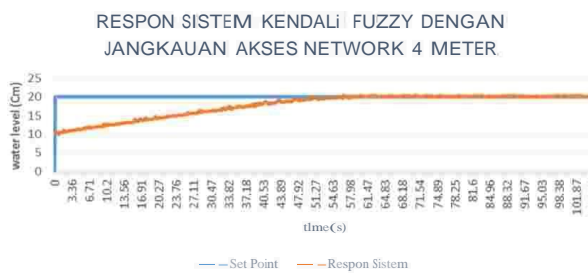
respon sistem kendali fuzzy logic yang didapat telah sesuai yang diharapkan komputer user sebagai pengendali sistem. Parameter yang didapat dari gambar 3.1 yaitu: settling time: 57,58 detik, dan steady-state error: 0,7 %. pada kondisi membership function yang rapat ini, membuat sistem yang direalisasikan dapat menyesuaikan nilai set point. Selain itu sistem akan merespon dengan cepat apabila ada perubahan dari nilai input sistem.

3.2 Pengujian Jangkauan Akses Network

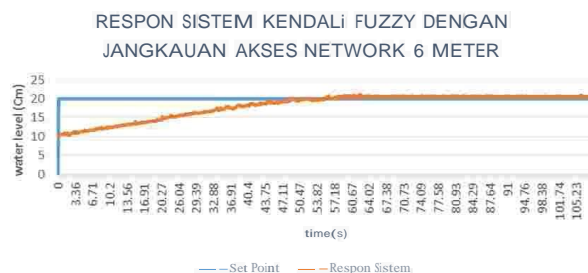
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jangkauan akses network terjauh target sistem yang dapat ditangani oleh komputer user sehingga komputer user dapat mengendalikan ketinggian air tangki boiler (target sistem) dengan optimal. Dalam pengujian ini, komputer user yang ditanamkan kendali fuzzy logic akan melakukan pengujian jangkauan akses network 1 meter, 4 meter, dan 6 meter.



Gambar 3.2 (a) Pengujian jangkauan akses network 1 meter



Gambar 3.2 (b) Pengujian jangkauan akses network 4 meter

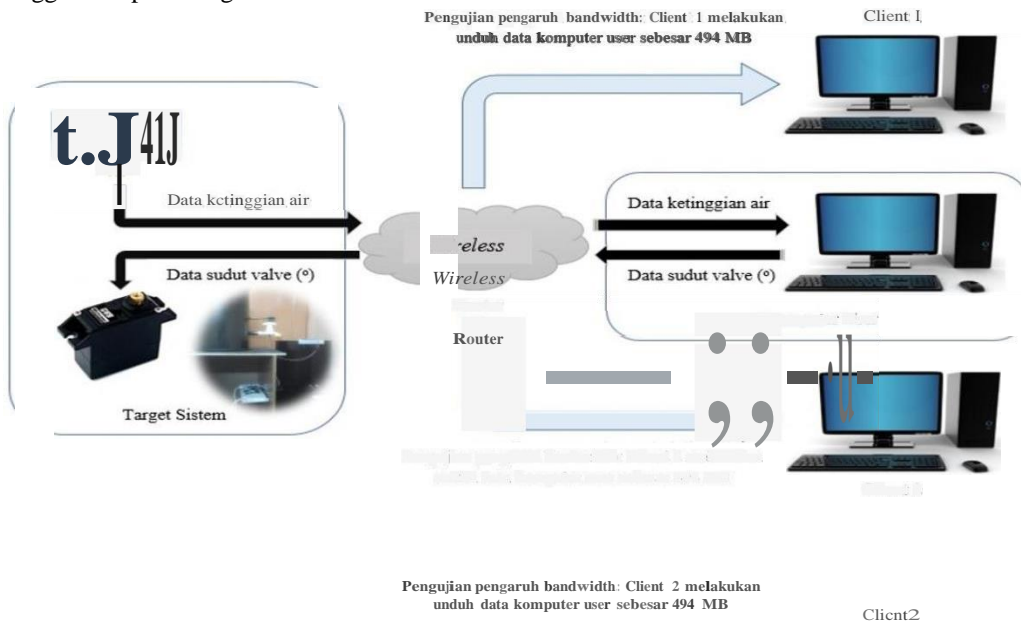


Gambar 3.2 (c) Pengujian jangkauan akses network 6 meter

Steady-state error sistem dari jangkauan akses network 1 meter sebesar 1,2 %, Steady-state error sistem dari jangkauan akses network 4 meter sebesar 1,6 %, dan Steady-state error sistem dari jangkauan akses network 6 meter sebesar 6,4 %. Sistem yang telah dibuat ini, memiliki performa terbaik pada jangkauan akses network kurang dari 6 meter, dikarenakan apabila lebih dari jangkauan tersebut sinyal yang didapat pada komputer user sebagai pengendali akan melemah dan jauhnya jangkauan akses network sebanding dengan banyaknya obstacle yang ada disekitar area transmisi data, sehingga informasi yang ditransmisikan menjadi terhambat.

3.3 Pengujian Pengaruh Bandwidth terhadap Sistem Kendali

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bandwidth yang diperlukan untuk proses kendali ketinggian air oleh komputer user ke target sistem dan seberapa pengaruh terhadap respon sistem ketika beberapa client yang mengakses router melakukan transaksi data yang besar sedangkan secara bersamaan komputer user sedang melakukan kendali ketinggian air pada tangki boiler.



Gambar 3.3 (a) Skema pengujian pangaruh bandwidth pada sistem kendali

Dalam pengujian ini, didapat juga capture informasi kecepatan data proses pengujian. Pada tabel 3.3 (a) incoming merupakan data yang diunduh oleh komputer user dari target sistem yang dikendalikan dan outgoing merupakan data yang diunggah dari komputer user terhadap permintaan dua client pemakan bandwidth dan feedback target sistem. Outgoing pada komputer user terlihat besar dalam proses transfer data karena skenario yang dibuat pada pengujian kedua client pemakan bandwidth yang terhubung oleh router sedang melakukan unduh data dari komputer user berupa video yang berukuran 494 MB. Pada client 1 dapat dilihat pada tabel 3.3 (b) yang memakan bandwidth besar yaitu 1,99 MB/s. Dan pada client 2 dapat dilihat pada tabel 3.3 (c) yang memakan bandwidth besar pula yaitu 1,80 MB/s . Namun bandwidth yang yang diperlukan dalam proses pengendalian ketinggian air tangki boiler oleh komputer user terhadap target sistem pada tabel 3.3 (a) hanya memakan bandwidth yang kecil yaitu 85,7 KB/s.

Tabel 3.3 (a) Hasil capture informasi transfer data komputer user

Komputer User		
Incoming	Outgoing	Total
Current transfer rate : 82.4 KB/s	Current transfer rate: 3.24 MB/s	Received: 19.3 MB
Average Transfer Rate: 85.7 KB/s	Average Transfer Rate: 3.75 MB/s	Sent: 867 MB
Maximum Transfer Rate: 97.2 KB/s	Maximuun Transfer Rate: 4.12 MB/s	Total Data Transferred : 886 MB

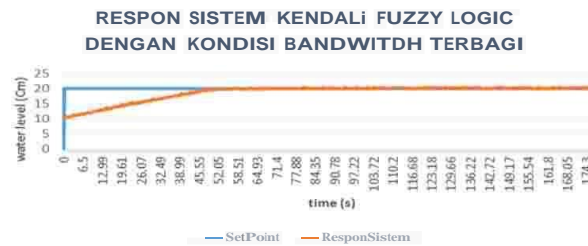
Tabel 3.3 (b) Hasil capture informasi transfer data client 1

Client 1		
Incoming	Outgoing	Total
Current transfer rate : 1.99 MB/s	Current transfer rate : 1.99 MB/s	Received: 1.99 MB
Average Transfer Rate: 1.99 MB/s	Average Transfer Rate: 1.99 MB/s	Sent: 1.99 MB
Maximum Transfer Rate: 1.99 MB/s	Maximum Transfer Rate: 1.99 MB/s	Total Data Transferred : 1.99 MB

Tabel 3.3 (c) Hasil capture informasi transfer data client 2

Client2		
Incoming	Outgoing	Total Current
transfer rate : 1.91 MB/s	Current transfer rate : 48.2 KB/s	Received : 407 MB Average
Transfer Rate: 1.80 MB/s	Average Transfer Rate: 45.5 KB/s	Sent: 10.0 MB
Maximum Transfer Rate: 2.36MB/s	Maximum Transfer Rate : 58.7 KB/s	Total Data Transferred : 417 MB

Hasil performa respon sistem yang didapat dari pengujian pengaruh bandwidth pada sistem kendali fuzzy logic ditunjukkan oleh gambar 3.3 (b).



Gambar 3.3 (b) Pengujian pengaruh bandwidth pada sistem kendali

Respon sistem kendali ketinggian air tangki boiler dengan kondisi bandwidth pada router terbagi oleh dua client yang membutuhkan bandwidth besar untuk mentransfer data. Pada gambar 3.3 (b), respon sistem memperlihatkan performa yang baik terhadap target sistem dengan steady-state error: 1,2 %. Sehingga pengaruh bandwidth terhadap client yang terhubung dengan router tidak berpengaruh terhadap sistem yang dikendalikan, karena bandwidth yang diperlukan untuk proses pertukaran data sistem kendali ketinggian air antara komputer user dengan target sistem (arduino) yang tergolong kecil.

4. Kesimpulan

- Respon fuzzy logic yang didapat pada sistem kendali ketinggian air tangki boiler menggunakan networked control system yaitu: settling time: 57,58 detik, dan steady-state error: 0,7 %.
- Bandwidth yang digunakan untuk proses sistem kendali ketinggian tangki boiler menggunakan jaringan WLAN yaitu 85,7 KB/s.
- Jangkauan akses network maksimum agar komputer user dapat mengendalikan target sistem dengan optimal yaitu pada jangkauan network kurang dari 6 meter.

Daftar Pustaka :

- [1] Ogata, Katsuhiko., 2010. "Modern Control Engineering fifth edition". Prentice-Hall, inc. New York.
- [2] Wang, Fei-Yue., Liu, Derong R.A., 1988. "Overview of Networked control systems". Networked control system, Theory and Applications. London, UK. : Springer London.
- [3] Zhang, W., 2001. Stability Analysis of Networked Control System, s.l.: Departement of Electrical Engineering and Computer Science Case Western Reserve University.
- [4] Rachana, A. G. & Mo-Yuen, C., 2009. Networked Control System: Overview and Research Trends. s.l., IEEE.
- [5] Lammle, Todd. 2007. Cisco Certified Network Associate (Study Guide Sixth Edition). Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- [6] Jang, J-S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. Prentice-Hall International Inc, USA.
- [7] Sutejo, T., Mulyanto, Edy., Suhartono, Vincent., 2010. Kecerdasan Buatan. Yogyakarta : ANDI.
- [8] Suyanto. 2011. Artificial Intelligence. Bandung: Informatika.
- [9] Kurniawan, A., 2011. Pemograman Jaringan dengan Java. Yogyakarta: ANDI.
- [10] Gunawan, G. 2014. Analisis Penggunaan Algoritma Fuzzy Logic pada Networked Control System. Bandung: Universitas Telkom.