

Analisis Efek Tunda Waktu Terhadap Performa Sistem Kendali Jaringan Berbasis ZigBee IEEE 802.15.4

Sisdarmanto Adinandra¹, Rahmat Wahyu Pratama², Alvin Sahroni³

Laboratorium Kendali dan Automasi Industri
Jurusan Teknik Elektro¹, Fakultas Teknologi Industri², Universitas Islam Indonesia³
s.adinandra@uii.ac.id¹

Abstrak

Teknologi jaringan data telah berkembang dalam beberapa dekade terakhir dengan berbagai keunggulannya. Perkembangan ini memungkinkan industri mengadopsi konsep kendali berbasis jaringan (*networked control system/NCS*). NCS memanfaatkan jaringan nirkabel untuk mentransmisikan sinyal kendali dan pembacaan sensor. Penerapan NCS secara *real-time* tidak terlepas dari pengaruh tunda waktu (*delay*). Artikel ini membahas tentang pengaruh *delay* pada sebuah sistem NCS dengan piranti komunikasi ZigBee. Jalur nirkabel digunakan untuk mengirimkan sinyal kendali dari PLC menuju sebuah motor DC. Sistem diuji pada kondisi dengan dan tanpa penghalang. Pada setiap skenario nilai *delay* perangkat dirubah-rubah. Dari hasil pengujian diketahui bahwa *delay* dan jarak antara pengendali dan *plant* yang meningkat menyebabkan naiknya nilai *settling time*. Hal yang sama juga meningkatkan nilai *maximum overshoot* dan dapat mengakibatkan ketidakstabilan sistem.

Kata Kunci: Sistem Kendali Jaringan, *delay*, ZigBee, *setting time*, *maximum overshoot*

1. Pendahuluan

Networked Control System (NCS) atau sistem kendali berbasis jaringan adalah sebuah sistem kendali kalang tertutup yang melibatkan jaringan nirkabel pada proses transmisi data. Hal tersebut yang membedakan sistem kendali berbasis jaringan dengan sistem kendali konvensional. Sinyal kendali dari pengendali dikirim dan diterima oleh aktuator melalui sepasang perangkat jaringan komunikasi. Pembacaan sensor kemudian dikirimkan kembali ke pengendali dengan perangkat komunikasi *wireless* untuk diolah. Protokol yang digunakan pada sistem kendali berbasis jaringan biasanya mengacu pada standar IEEE 802.15.4 seperti MiWi, WirelessHART, dan The ZigBee (Bauer 2012).

Terlepas dari jenis protokol jaringan yang digunakan, secara keseluruhan sistem kendali berbasis jaringan selalu dipengaruhi oleh *delay*, sehingga sering terjadi keterlambatan dalam penyampaian data. *Delay* mungkin tidak terlalu berpengaruh pada sistem kalang terbuka seperti sistem *on-off* secara estafet di pabrik-pabrik. *Delay* jaringan dapat menurunkan performa dari sistem, seperti naiknya nilai *maximum overshoot* atau *settling time*. Oleh karena itu, untuk menangani *delay* pada sistem kendali berbasis jaringan dibutuhkan suatu analisis yang mendalam mengenai proses pengiriman dan penyampaian data pada jaringan sehingga dapat ditemukan cara yang tepat untuk menangani *delay* tersebut baik secara praktis maupun teoritis.

Penelitian untuk menjawab tantangan tersebut telah banyak dilakukan. Salah satunya oleh Bhuiya et.al (2013) menunjukkan bahwa PLC sebagai pengendali mampu mengendalikan suatu *plant*

sederhana berupa *batch process* secara *wireless* melalui sepasang perangkat komunikasi XBee. Sistem yang dibangun merupakan sistem *on-off* yang mengendalikan proses pengisian cairan pada suatu bejana. Pengiriman data secara *wireless* dilakukan dengan memanfaatkan modul digital input output pada XBee. Pada penelitian tersebut sistem mampu berjalan dengan baik. Namun karena sistem yang digunakan adalah *on-off* maka penelitian tersebut belum cukup untuk menunjukkan keandalan XBee dalam sistem yang kontinyu.

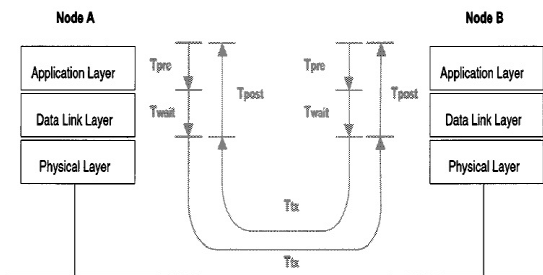
Pada penelitian lain oleh Bauer (2013), dilakukan analisis teori NCS yang deterministik. Sistem diuji menggunakan perangkat komunikasi TelosB. Pada penelitian tersebut *plant* yang digunakan adalah pendulum dengan 2 buah sensor yaitu sensor posisi cart dan sensor sudut pendulum, yang datanya ditransmisikan secara *wireless* kepada pengendali yang langsung terhubung dengan kabel ke aktuator. Setelah dilakukan percobaan dan analisis, diketahui bahwa *delay* yang diakibatkan oleh efek jaringan yaitu interval waktu transmisi yang bervariasi, waktu *delay* yang berubah-ubah, keterbatasan media komunikasi, dan paket data yang terputus sangat berpengaruh pada kestabilan sistem kendali jaringan.

Secara umum *delay* pada sistem kendali berbasis jaringan dibagi 2, yaitu *delay* dari sensor ke pengendali τ^{sc} dan *delay* dari pengendali ke aktuator τ^{ca} . Sedangkan *delay* pada saat transmisi dibagi menjadi 2 bagian, yaitu *delay* perangkat dan *delay* jaringan. *Delay* perangkat terdiri atas *delay* yang terjadi pada *node* sumber dan *node* tujuan. *Delay* pada *node* sumber terdiri dari waktu *preprocessing* τ_{pre} dan waktu tunggu τ_{wait} . Sedangkan *delay* pada

node tujuan adalah *postprocessing* τ_{post} . *Delay* jaringan terdiri dari jumlah antara waktu transmisi data dan tundaan propagasi pada jaringan τ_{prop} , seperti ditunjukkan oleh persamaan 1, sehingga *delay* keseluruhan dapat dinyatakan dengan persamaan 2. (Lian et.al 2002).

$$\tau_{tx} = N \times \tau_{bit} + \tau_{prop} \quad (1)$$

$$\tau_{delay} = \tau_{pre} + \tau_{wait} + \tau_{tx} + \tau_{post} \quad (2)$$



Gambar 1. Diagram pewaktuan pengiriman data antara dua node (Lian et.al 20002).

- Waktu *preprocessing*
Waktu *preprocessing* adalah waktu yang dibutuhkan oleh *node* sumber untuk mendapatkan data dari lingkungan eksternal (aktuator/*plant*) kemudian memproses dan mengubahnya ke bentuk yang sesuai dengan format data jaringan.
- Waktu tunggu
Waktu tunggu terjadi saat *node* sumber menunggu antrian ketersediaan jaringan sebelum mengirim paket data.
- Waktu transmisi pada jaringan
Waktu transmisi adalah hal yang paling menentukan dalam sistem jaringan, karena bergantung pada *data rate*, ukuran pesan, dan jarak antara 2 *node*. Waktu transmisi dapat dinyatakan dengan persamaan 2. Dimana N adalah panjang pesan dalam bit, τ_{bit} adalah kecepatan data per bit per satuan waktu, dan τ_{prop} adalah waktu propagasi. Selama kecepatan transmisi pada media komunikasi adalah $2 \cdot 10^8$ m/s, τ_{prop} dapat diabaikan pada kendali jaringan skala kecil.
- Waktu *postprocessing*
Adalah waktu yang dibutuhkan oleh *node* tujuan untuk menerjemahkan data jaringan kemudian memprosesnya dan memberikan output kepada aktuator.
Salah satu protokol komunikasi nirkabel yang saat ini populer adalah ZigBee yang sudah dikenal sejak tahun 2007. ZigBee bukanlah suatu protokol jaringan komunikasi yang digunakan untuk pengiriman data yang besar dengan *transfer rate* yang tinggi. Protokol ini cocok untuk sistem dengan *transfer rate* rendah dan jarak yang jauh, sehingga cukup tepat untuk diaplikasikan pada sistem pengendalian di dunia industri. ZigBee memiliki *transfer rate* sekitar 250Kbps, yang lebih rendah dibandingkan dengan WPAN lain seperti bluetooth yang mempunyai *transfer rate* hingga 1Mbps.

Sedangkan jarak atau *range* kerja dari ZigBee sendiri adalah sekitar 76 m, lebih jauh dibandingkan dengan Bluetooth (Suryani dan Rizal, 2010). Teknologi ini mendukung berbagai macam topologi, seperti bintang, *mesh*, dan lainnya. Keunggulan teknologi ZigBee diantaranya adalah harganya yang murah, konsumsi daya yang rendah (sehingga dapat menggunakan baterai dengan ukuran kecil), serta reliabilitas yang tinggi (Kinney, 2003).

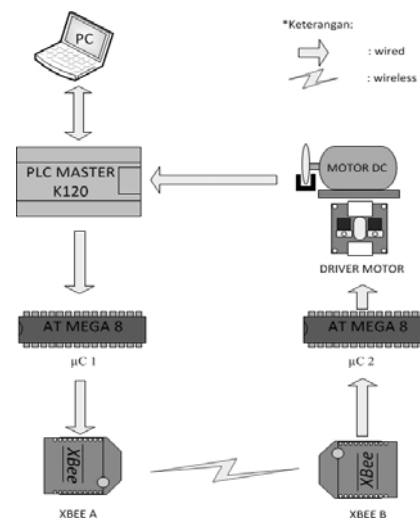
Tulisan ini membahas tentang analisis pengaruh *delay* terhadap performa sistem kendali jaringan yang menggunakan ZigBee sebagai piranti komunikasi. Sistem terdiri dari sebuah motor DC dan PLC. Parameter yang diamati adalah nilai *settling time*, *maximum overshoot*, dan keadaan *steady state*.

2. Perancangan Sistem dan Metode Penelitian

2.1 Perancangan Sistem

Pada penelitian ini perancangan meliputi perancangan *hardware* motor DC, PLC, ZigBee dan antarmuka diantaranya dan *software* untuk menjalankan semuanya. Sistem yang dirancang bertujuan untuk membuat kecepatan motor DC tetap stabil berdasarkan *set point* yang telah ditentukan. Gambaran umum system yang diteliti dapat dilihat pada Gambar 2.

Nilai *set point* dan konstanta PID dimasukkan ke dalam PLC LG Master K120S melalui *software* CIMON D yang berfungsi sebagai *interface* antara *user* dan pengendali. Output dari PLC berupa *duty cycle* OFF dari fungsi PWM. Data PWM tersebut kemudian diolah dan diubah ke dalam bentuk data serial oleh mikrokontroler (μC) 1. Selanjutnya, μC 1 akan mengirim data serial tersebut secara *wireless* melalui XBee A. Data serial kemudian diterima oleh XBee B dan diubah menjadi sinyal PWM oleh μC 2. Output PWM dari μC 2 yang masih berbentuk digital dengan tegangan 5 VDC diubah ke bentuk analog 24 VDC oleh driver motor.



Gambar 2. Blok diagram sistem.

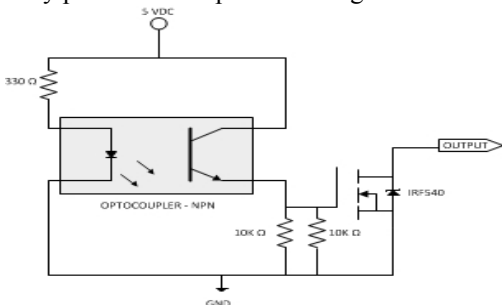
Untuk mendapatkan nilai *error* sebagai input PID digunakan sebuah roda cacah tipis yang dikopel dengan poros motor serta sebuah sensor *optocoupler* untuk menghasilkan pulsa berdasarkan jumlah lubang yang terbaca sehingga nilai kecepatan aktual dan nilai *error* diketahui oleh pengendali. Pulsa yang terbaca dikirim melalui kabel kepada modul input PLC. PLC melalui fungsi *high speed counter* kemudian menghitung kecepatan motor dalam satuan *rotation per minute* (rpm).

A. Sistem Minimum μC

Sistem minimum μC pada sistem ini digunakan untuk mengirim data dalam bentuk serial. Hal ini dikarenakan XBee tidak dapat mengenali data *duty cycle* PWM yang dikeluarkan oleh PLC. Pada penelitian ini μC yang digunakan adalah ATMEGA 8.

B. Sensor *Optocoupler*

Pulsa yang terkirim ke PLC tergantung dari hasil pembacaan sensor *optocoupler*. Sensor *optocoupler* terdiri dari 2 bagian yaitu led dan *photo transistor*. Bila cahaya yang terpancar dari led tidak sampai kepada sensor *photo transistor* karena terhalang oleh bagian dari roda cacah maka output dari *optocoupler* akan berlogika rendah (0). Sedangkan ketika kondisi sebaliknya output dari *optocoupler* adalah logika tinggi (1). Digunakan rangkaian *switching* pada bagian ground dengan IRF 540 yang terhubung dengan PLC agar tegangan output sensor yaitu 5VDC dapat melakukan *trigger* ke relay pada modul input PLC dengan baik.



Gambar 4. Rangkaian sensor *optocoupler*.

C. Kendali PID pada PLC dan Perancangan SCADA

Kendali PID adalah sebuah aksi kendali untuk membuat nilai output sesuai dengan nilai *set point/set value* (SV). Kendali PID membandingkan nilai SV dengan nilai pembacaan sensor atau dikenal dengan *present value* (PV). Ketika terdapat perbedaan antara nilai SV dan PV yang diistilahkan dengan nilai *error* (E), pengendali akan memberikan output berupa nilai *manipulation value* (MV) untuk menghilangkan nilai E tersebut. Pada sistem ini, nilai MV diubah dalam bentuk *duty cycle* PWM untuk menggerakkan motor DC.

Fungsi-fungsi yang digunakan pada aksi kendali PID untuk PLC LG Master K120S diantaranya adalah *high speed counter* yang bertugas

menghitung kecepatan motor dan menghasilkan PV, PID dan PID cal sebagai penghitung dan penghasil output kendali PID berupa MV, dan PWM sebagai output dari PLC.

Sedangkan sistem SCADA menggunakan software CIMON D. SCADA digunakan untuk memudahkan *user* dalam memasukkan konstanta PID dan *set point* serta memantau respon dari *plant*.

Tampilan animasi terdiri dari dua bagian, yaitu bagian input dan output. Bagian input terdiri dari *button* untuk mengaktifkan keseluruhan sistem dan *dynamic tag* untuk memasukkan nilai *proportional*, *integral*, *derivative*, dan *set point*. Sementara pada bagian output terdiri dari *indicator lamp*; *dynamic tag* untuk menampilkan nilai *manipulation value*, kecepatan, dan *PWM value*; serta *trend* untuk menampilkan grafik respon sistem.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Pengujian dalam penelitian ini dibagi ke dalam 2 skenario yaitu dengan gangguan, yang berupa penghalang di sekitar daerah pengujian, dan tanpa gangguan. Pengujian dilakukan pada jarak 0 sampai 10 meter untuk tiap skenario. Untuk tiap skenario, diberlakukan penetapan nilai delay perangkat yang terbagi dalam 4 konfigurasi, yaitu (1) 0 ms, (2) 10 ms, (3) 100 ms, dan (4) 200 dan 100 ms.



Gambar 5. Tampilan user interface.

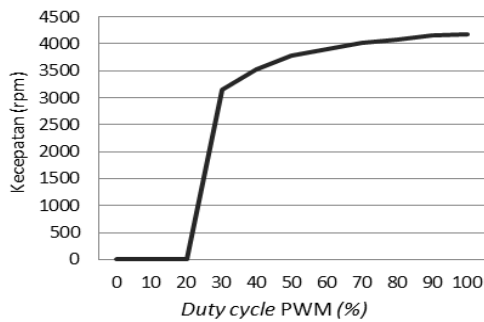
2.2 Metode Analisis Data

Setelah semua data hasil percobaan didapatkan, langkah berikutnya adalah menyajikan data tersebut dalam bentuk grafik. Grafik berisi perubahan nilai parameter *settling time*, *maximum overshoot*, serta tingkat osilasi pada kondisi *steady state* terhadap jarak uji. Dari grafik tersebut dapat dianalisis pengaruh *delay* yang disebabkan oleh perangkat maupun jaringan terhadap performa sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian *Open Loop*

Pengujian secara *open loop* bertujuan untuk mengetahui karakteristik motor terhadap perubahan nilai PWM.



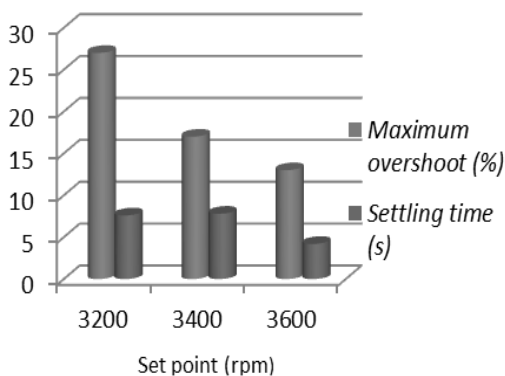
Gambar 6. Grafik kecepatan motor terhadap PWM.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa motor baru berputar pada nilai PWM 30% dan terus mengalami kenaikan hingga nilai 100%.

3.2 Pengambilan Data *Baseline* dan Pengujian Secara *Wireless*

Sebelum dilakukan pengambilan data *baseline* terlebih dulu dilakukan *tuning* PID. Dari beberapa kali *tuning* didapatkan konstanta PID yang terbaik yaitu $k_p=1,1$, $k_i=1,6$, dan $k_d=0,8$. Nilai konstanta ini teruji pada 3 *set point* yaitu 3200, 3400, dan 3600 rpm.

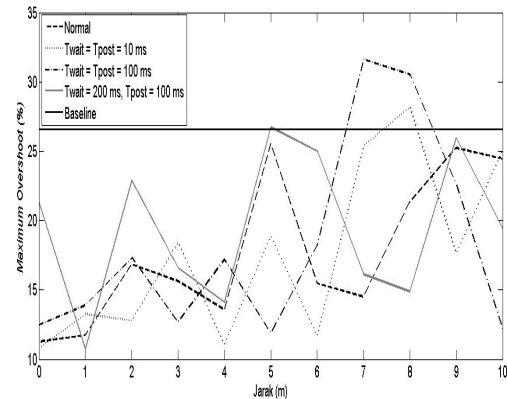
Data *baseline* digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kondisi ideal dari sistem. Pada pengambilan data *baseline*, seluruh *hardware* terhubung dengan kabel sehingga tidak terdapat adanya tundaan dan kondisi ideal dari sistem dapat tercapai. Pengambilan data *baseline* untuk masing-masing *set point* dilakukan sebanyak 5 kali. Dari grafik yang diperoleh dapat ditentukan nilai *maximum overshoot* (M_p) dan *settling time* (t_s) dari masing-masing pengujian.

Gambar 7. Perbandingan nilai rata-rata M_p dan t_s .

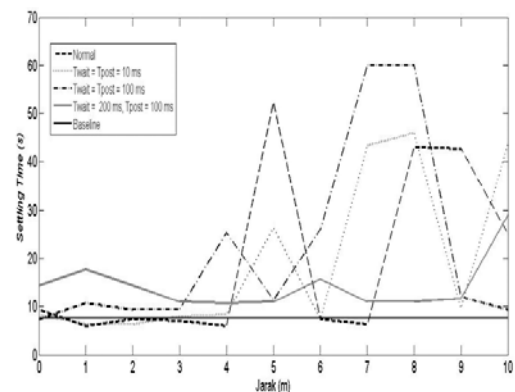
Dari Gambar 7 terlihat bahwa semakin tinggi *set point* nilai parameter *maximum overshoot* akan semakin mengecil. Sedangkan untuk parameter *settling time* cenderung tidak berbeda jauh untuk tiap *set point*.

3.3 Hasil Pengujian dan Analisis Skenario I

A. Respon transien

Gambar 8. Nilai M_p pada set point 3200 rpm.

Hasil dari seluruh pengujian pada skenario I memiliki tren yang serupa seperti Gambar 8. M_p untuk keseluruhan pengujian nilainya sangat bervariasi. Didapatkan fakta bahwa sinyal kendali yang ditransmisikan secara *wireless* ternyata dapat memperbaiki nilai M_p . Hal ini dapat terjadi karena perbedaan karakteristik dari output PWM dari PLC dan μC , dimana output dari μC ternyata lebih baik dari PLC.

Gambar 9. Nilai t_s pada set point 3200 rpm.

Perubahan nilai *set point* dari 3200, 3400, dan 3600 rpm memiliki pengaruh untuk performa sistem. Semakin tinggi nilai *set point* yang diberikan, maka nilai M_p akan semakin kecil.

Sedangkan untuk nilai t_s secara umum nilainya selalu berada di atas *baseline*. Hal ini cukup wajar, karena dengan pengiriman sinyal kendali secara *wireless* maka sistem menjadi lebih sulit untuk mencapai kondisi *steady state*. Data yang acak setelah jarak 3 meter disebabkan oleh adanya pantulan sinyal yang disebabkan oleh meja yang ada di sekitar daerah pengujian.

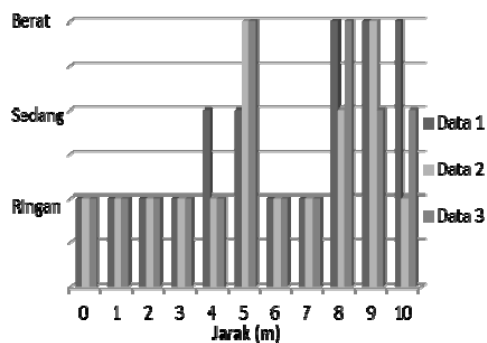
Pantulan sinyal dapat menyebabkan hilangnya paket data sehingga memperpanjang nilai t_s . Kecenderungan dari sistem ini adalah menuju nilai kecepatan tertinggi apabila dalam jangka waktu tertentu tidak mendapatkan sinyal kendali yang dibutuhkan. Kasus yang terjadi pada pengujian ini adalah pada fase sesaat setelah *rise time*, paket data

sering hilang sehingga sistem menuju ke kecepatan tertinggi dan tidak kembali ke *steady state*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 16. Hal ini menyebabkan nilai rata-rata t_s menjadi sangat tinggi karena apabila mencapai kondisi ini maka nilai *settling time* adalah 60 detik. Kondisi seperti ini biasanya terjadi saat jarak yang makin dijauhkan, karena menambah jarak akan sama dengan menambah efek pantulan dan menambah frekuensi hilangny paket data.

Besarnya nilai t_s juga dipengaruhi oleh tundaan pada saat transmisi sinyal kendali, yang dikenal dengan tundaan transmisi atau τ_{tx} . Hal ini diketahui dari beberapa pengujian untuk jarak yang jauh, dimana terkadang sistem tidak langsung merespon saat tombol start ditekan.

Dari hasil pengamatan pada pengujian skenario ini dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 1 (normal) pada transmisi sinyal kendali secara *wireless* merupakan konfigurasi terbaik dalam hal parameter M_p . Namun konfigurasi apapun tidak mampu untuk membuat nilai t_s tetap bertahan di daerah sekitar nilai *baseline*, karena kuatnya pengaruh dari lingkungan. Pantulan dari benda di sekitar tempat pengujian membuat nilai t_s cukup tinggi, dapat dilihat dari cukup banyaknya pengujian yang mencapai nilai tertinggi (60 detik) yang berarti sistem tidak pernah mencapai kestabilan dan juga menyebabkan tingginya nilai *rise time*.

B. Osilasi pada kondisi *steady state*



Gambar 10. Kondisi *steady state* keadaan normal pada set point 3200 rpm.

Secara umum sistem berosilasi ringan dan tetap stabil pada jarak 0 – 3 meter, hanya pada beberapa pengujian karena sebab yang tidak diketahui sistem tidak mencapai kestabilan pada jarak kurang dari 3 meter. Konfigurasi τ_{wait} dan τ_{post} tidak berpengaruh pada tingkat osilasi pada kondisi *steady state*. Dari keseluruhan konfigurasi terdapat kecenderungan bahwa untuk jarak yang jauh frekuensi osilasi sedang dan berat akan lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa efek lingkungan yang menyebabkan pantulan ditambah dengan efek dari jarak yang jauh akan mengakibatkan osilasi meningkat pada keadaan *steady state*.

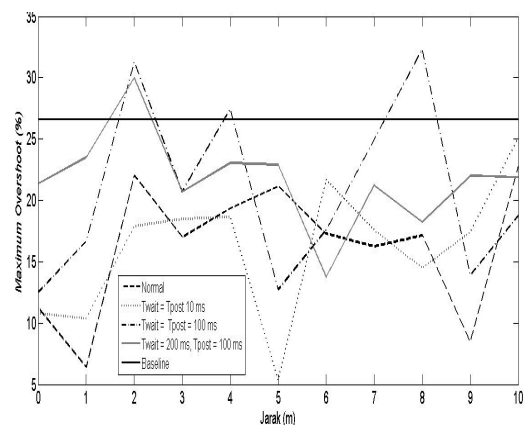
3.4 Hasil pengujian dan analisis skenario II

A. Respon transien

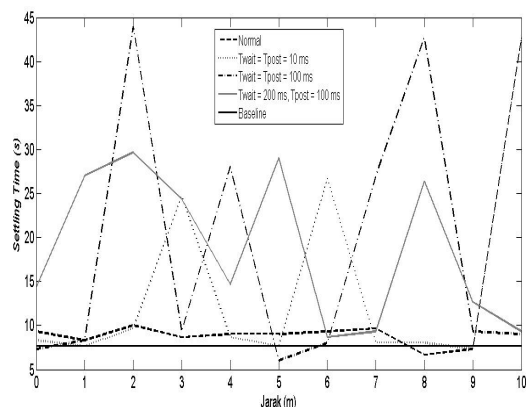
Dari pengujian skenario II dapat disimpulkan bahwa konfigurasi normal tetap memiliki hasil yang paling baik dalam parameter M_p . Untuk setiap konfigurasi memiliki kecenderungan yang sama, yaitu nilai naik pada jarak 10 meter. Sedangkan konfigurasi apapun tetap tidak berpengaruh untuk nilai t_s . Nilai t_s untuk skenario II lebih baik daripada skenario I, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh dari jarak pengujian tidak lebih besar daripada pengaruh gangguan yang disebabkan oleh lingkungan.

B. Osilasi pada kondisi *steady state*

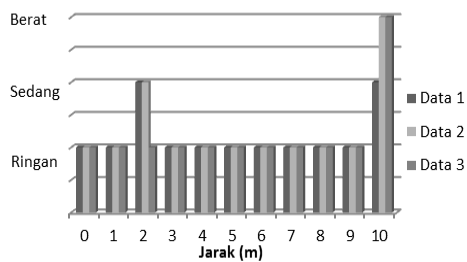
Tingkat osilasi pada skenario II cenderung bervariasi. Tidak adanya penghalang justru mempunyai pengaruh pada keadaan *steady state*, karena peningkatan osilasi tidak memiliki kecenderungan ke suatu jarak tertentu. Hal ini sekaligus menunjukkan bahwa ternyata tundaan yang menyebabkan menurunnya performa sistem dapat terjadi kapan saja dan di jarak berapa saja, dan sulit untuk diketahui penyebabnya.



Gambar 11. Nilai M_p pada set point 3200 rpm.



Gambar 12. Nilai t_s pada set point 3200 rpm.



Gambar 13. Kondisi steady state keadaan normal pada set point 3200 rpm.

4. Kesimpulan

Dari pengujian yang sudah dilakukan, ternyata konfigurasi normal pada tundaan perangkat menghasilkan nilai *overshoot* yang lebih kecil diantara konfigurasi lainnya.

Gangguan yang disebabkan oleh pantulan-pantulan benda di sekitar perangkat transmisi memiliki pengaruh yang cukup besar pada tingginya nilai t_s , karena gangguan menyebabkan hilangnya paket data. Selain itu t_s tinggi juga disebabkan oleh tundaan transmisi yang menyebabkan nilai *rise time* menjadi lama.

Jarak tidak terlalu berpengaruh pada performa sistem kendali berbasis jaringan, karena jarak pengujian yang hanya 0-10 meter tidak sebanding dengan kecepatan transmisi data di udara yaitu 2.10^8 m/s. Hal ini dibuktikan dari nilai t_s pengujian tanpa gangguan yang lebih kecil daripada saat pengujian dengan gangguan.

Data osilasi sedang dan berat yang tersebar pada keadaan tanpa gangguan menunjukkan bahwa tundaan dapat terjadi kapan saja dan dimana saja, sehingga sangat sulit untuk mengukur dan mengetahui penyebabnya.

Untuk penelitian yang berkaitan dengan NCS akan lebih baik apabila pengendali langsung menggunakan μC atau dengan *software* MATLAB Simulink, karena akan mempermudah dalam konfigurasi baik *hardware* maupun *software*. Selain itu perlu dipertimbangkan penggunaan XBee jenis lain. Hal ini dikarenakan modul XBee S1 yang digunakan sangat sensitif terhadap hilangnya paket data sehingga waktu tunda yang terjadi menjadi lebih sulit untuk diukur.

Daftar Pustaka

- Ahamed, D. S. S. R. , (2009) "The Role of ZigBee Technology in Future Data Communication System," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*.
- Arrosyid, M. H., Tjahjono, M. H., dan Sunarno, E., (2009), "Implementasi Wireless Sensor Network untuk Monitoring Parameter Energi Listrik Sebagai Peningkatan Layanan Bagi Penyedia Energi Listrik," Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Bauer, N., (2013), "Networked Control Systems From Theory to Experiments," PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Netherlands.

- Bhuiya, K., Anish, K., Parekh, D., dan Laxmi, K., "Low cost wireless control monitoring using PLC and SCADA," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, no. 9, pp. 1-4, Sep. 2013.
- Ginting, J., (2009), "Analisis Kestabilan Sistem Kendali Terhadap Tundaan," Universitas Diponegoro Bachelor Thesis.
- Kinney, P., (2003), "ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works," in *Communications Design Conference*.
- Lian, F.-L., Moyne, J., dan Tilbury, D. "Network Design Consideration for Distributed Control Systems," *IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY*, vol. 10, no. 2, pp. 297-307, Mar. 2002.
- Lunze, J., Ed., (2014) *Control Theory of Digitally Networked*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Pale, A., (2010), "Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Scada Menggunakan Pengendalian PID," Universitas Islam Indonesia Bachelor Thesis.
- Suryani, V., dan Rizal, A., "Analisis Kelayakan Penggunaan Protokol Wireless Untuk Transmisi Data Pada Wireless Body Area Network (WBAN)," Institut Teknologi Telkom.
- Tipuwan, Y. dan Chow, M.-Y., (2003), "Control Methodologies in Networked Control Systems.