

Perbandingan Topologi WSN (*Wireless Sensor Network*) Untuk Sistem Pemantauan Jembatan

Evy Nur Amalina

Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
evy@elect-eng.its.ac.id

Eko Setijadi

Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
ekosetijadi@ee.its.ac.id

Suwadi

Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember
Surabaya, Indonesia
suwadi@ee.its.ac.id

Abstrak—Peristiwa runtuhnya Jembatan Kutai Kertanegara sepanjang 720 meter memberikan pelajaran tentang pentingnya sistem pemantauan jembatan sehingga dapat diketahui penyebab-penyebab kerusakan jembatan. Jika diketahui penyebabnya maka akan dapat mengurangi kerusakan jembatan dan mencegah keruntuhan. Sistem Pemantauan Jembatan telah diteliti oleh para peneliti di luar negeri dan telah diimplementasikan pada beberapa jembatan baik berbasis kabel juga nirkabel. Namun, Sistem Pemantauan Jembatan yang mudah dan murah adalah dengan teknologi berbasis nirkabel. Pada Sistem Pemantauan Jembatan berbasis nirkabel biasanya menggunakan WSN (*Wireless Sensor Network*) dimana WSN adalah jaringan yang terdiri dari *sensor node* yang dilengkapi dengan peralatan seperti memori, prosesor, ADC, dan baterai. Bentuk WSN yang kecil mempunyai kelemahan yaitu terbatasnya energi dan *bandwidth* sehingga dibutuhkan topologi yang tepat. Topologi yang sering digunakan pada WSN adalah star, mesh dan tree. Pada simulasi yang telah dilakukan, didapatkan karakteristik dari ketiga topologi yang diamati berdasarkan parameter kinerjanya. Pada topologi star memiliki karakteristik *packet loss* yang dihasilkan adalah 140 paket atau 90,32% paket yang hilang, memiliki nilai *throughput* rata-rata sebesar 0,69 kbps, nilai *delay* rata-rata sebesar 0,843 ms dan konsumsi energi rata-rata adalah 0,0037 Joule. Topologi mesh memiliki karakteristik *packet loss* yang dihasilkan adalah 1 paket atau 0,641% paket yang hilang, memiliki nilai *throughput* rata-rata sebesar 7,21 kbps, nilai *delay* rata-rata sebesar 28,65 ms dan konsumsi energi rata-rata adalah 0,527 Joule. Sedangkan pada topologi tree memiliki karakteristik tidak terdapat *packet loss*, memiliki nilai *throughput* sebesar 6,43 kbps, nilai *delay* rata-rata yang terjadi adalah 26,36 ms dan konsumsi energi rata-rata sebesar 0,235 Joule. Berdasarkan karakteristik tersebut, topologi yang terbaik adalah topologi tree.

Kata Kunci—SHM; WSN ;topologi

I. PENDAHULUAN

Peristiwa runtuhnya Jembatan Kutai Kertanegara pada tanggal 26 November 2011 yang panjangnya mencapai 720 meter mengakibatkan 24 orang tewas, 39 orang terluka dan 12 orang lainnya hilang [1]. Runtuhnya jembatan tersebut belum diketahui penyebabnya. Beberapa berpendapat bahwa terjadi kesalahan dalam proses pembangunan jembatan. Sehingga, dalam peristiwa ini memberikan pelajaran bahwa perlu adanya

sistem pemantauan untuk mengetahui penyebab-penyebab kerusakan dan keruntuhan pada jembatan.

Sistem pemantauan jembatan telah banyak diteliti di negara-negara lain seperti Amerika Serikat, Jepang, Cina, Korea Selatan, Italia, dan lain sebagainya. Sistem pemantauan ini biasa disebut *Structural Health Monitoring* (SHM). Sistem SHM Jembatan dibedakan menjadi dua menurut jenis komunikasinya yaitu teknologi SHM berbasis kabel dan nirkabel. Dalam teknologi SHM berbasis kabel biasanya menggunakan serat optik untuk menghubungkan sensor dengan pusat kontrolnya. Sedangkan pada teknologi SHM berbasis nirkabel dapat menggunakan WiFi (802.11) atau ZigBee (802.15.4) sebagai komunikasi sensornya. SHM berbasis kabel telah diimplementasikan pada Jembatan Yongjong Bridge [2], Akashi Kaikyo Bridge [3], Tsing Ma Suspension Bridge [4] dan jembatan jalan beton Naples [5]. Sedangkan teknologi SHM berbasis nirkabel telah diimplementasikan pada 2nd Jindo Bridge [6], Alamosa Canyon Bridge [7], dan Golden Gate Bridge [8].

SHM berbasis kabel memiliki keunggulan yaitu data yang dikirimkan oleh sensor sangat akurat dan tidak membutuhkan energi tambahan seperti baterai karena sensor bekerja dengan suplai energi dari pusat kontrol. Namun, teknologi berbasis kabel juga memiliki kekurangan yaitu dibutuhkan biaya yang besar dalam instalasi, pemeliharaan dan perbaikannya. Selain itu, dalam penerapannya tergolong rumit [2].

Solusi dari kekurangan SHM berbasis kabel adalah menggunakan teknologi WSN (*Wireless Sensor Network*). WSN merupakan salah satu contoh dari SHM berbasis nirkabel. WSN adalah suatu jaringan nirkabel yang terdiri dari beberapa sensor (*sensor node*) dan diletakkan pada tempat-tempat berbeda untuk memantau kondisi suatu lingkungan. *Sensor node* dilengkapi dengan peralatan sensor untuk mendapatkan data dari lingkungan yang hendak diamati. *Sensor node* juga dilengkapi dengan peralatan pemrosesan data, penyimpanan data sementara (memori), peralatan komunikasi dan baterai. Selain instalasinya mudah dan biayanya murah, WSN memiliki kelebihan lain yaitu tidak memerlukan komponen tambahan seperti saluran kabel, sensor mudah diganti jika mengalami kerusakan, mudah

dikonfigurasi ulang, dan dengan sistem *ad-hoc* dan *multihop* komunikasi data menjadi lebih mudah [2].

Namun, terdapat kekurangan dalam WSN yaitu WSN memiliki energi dan *bandwidth* yang terbatas. Salah satu cara agar energi dan komunikasi WSN dapat lebih efisien adalah dengan mengatur topologi jaringannya dengan menyesuaikan dengan kondisi lingkungannya [9]. Dalam WSN, topologi yang dapat digunakan adalah topologi star, mesh, dan tree. Dalam makalah ini kami menyajikan karakteristik topologi WSN tersebut sehingga dapat diambil kesimpulan topologi manakah yang sesuai dan dapat diaplikasikan pada Sistem Pemantauan Jembatan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Wireless Sensor Network (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) adalah jaringan nirkabel yang terdiri dari beberapa sensor dan memiliki kemampuan untuk mendeteksi keadaan lingkungan. Secara umum WSN terdiri dari dua komponen, yaitu *sensor node* dan *sink*. *Sensor node* merupakan kesatuan beberapa perangkat yang terdiri dari prosesor untuk pemrosesan data, memori untuk menyimpan data, sensor untuk pendeteksi kejadian, ADC (*Analog to Digital Conversion*) untuk mengkonversi pembacaan dari analog ke digital, *tranceiver* sebagai pengirim dan penerima sinyal radio dari dan kepada node yang lain, dan baterai sebagai sumber energi [10]. *Sink* merupakan kesatuan perangkat yang mengumpulkan informasi dari *sensor node* sehingga informasi tersebut dapat diolah lebih lanjut dan didapatkan kondisi lingkungan yang dipantau.

B. ZigBee (Standar IEEE 802.15.4)

ZigBee merupakan salah satu protokol dalam jaringan wireless yang didesain oleh ZigBee Alliance. Lapisannya berdasarkan standar IEEE 802.15.4 yang terdiri atas lapisan fisik, lapisan jaringan, lapisan aplikasi dan lapisan keamanan. ZigBee berbentuk minimalis dan pengoperasiannya yang mudah. Biasanya ZigBee digunakan dalam komunikasi jarak pendek yaitu sekitar 50 meter hingga 100 meter dengan kecepatan 250 kbps.

C. Topologi Jaringan

Ada beberapa topologi jaringan untuk mengkoordinasikan WSN, diantaranya adalah sebagai berikut:

1) Topologi Star

Topologi ini merupakan topologi paling dasar, dimana setiap node mempertahankan satu jalur komunikasi langsung dengan *sink* / *gateway*.

2) Topologi Mesh

Topologi ini merupakan jalur komunikasi dimana masing-masing node dapat berkomunikasi dengan yang lainnya. Dalam sebuah jaringan mesh, node mempertahankan jalur komunikasi untuk kembali ke *gateway*, sehingga jika salah satu node router *down*, secara otomatis router data akan dilewatkan melalui jalur yang berbeda.

3) Topologi Tree

Arsitektur topologi tree lebih kompleks dibandingkan dengan topologi star. Setiap node masih mempertahankan satu jalur komunikasi untuk *gateway*, perbedaannya menggunakan node-node lain dalam mengirimkan data, namun masih dalam satu jalur tersebut.

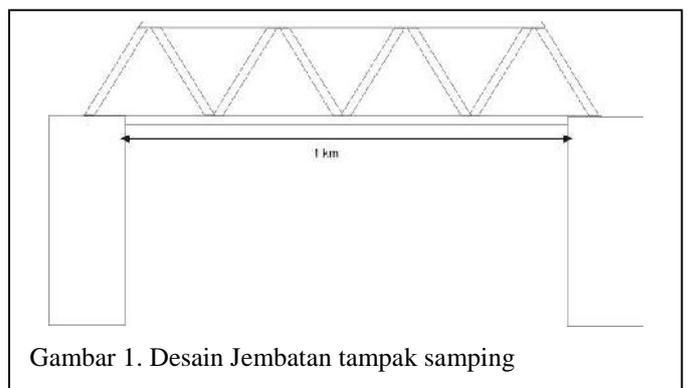
III. DESAIN SISTEM

Pada makalah ini, sistem didesain dengan mendekati kenyataan. Desain sistem diasumsikan bahwa panjang sebuah jembatan yang akan diamati 1 km atau 1000 meter seperti pada dan disebar node seperti pada gambar 1. Penyebaran node dibuat tetap selain untuk mempermudah perhitungan juga node sensor diasumsikan hanya untuk mengambil data getaran dari kendaraan yang melewati jembatan dengan menggunakan sensor getaran (*accelerometer*). Simulasi topologi komunikasi menggunakan *software Network Simulator-2* (NS-2) karena software ini dilengkapi dengan tool validasi yang digunakan untuk menguji validitas permodelan yang ada pada NS dan bersifat open source di bawah GPL (*Gnu Public License*) [11].

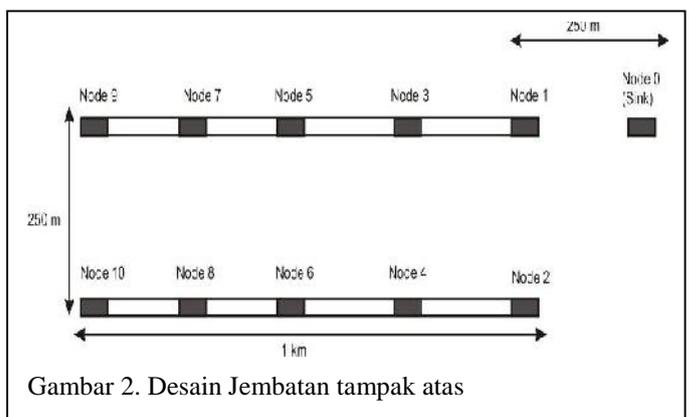
Pada simulasi, node akan disebar 11 node yang dipisahkan dengan jarak 250 meter antar node seperti pada gambar 2. Node 0 adalah sebagai *sink* atau pengumpul sedangkan node 1 hingga 10 merupakan *sensor node*. *Sensor node* akan mengirimkan data dengan jadwal yang telah diatur sebelumnya.

A. Parameter Simulasi

Parameter yang digunakan dalam adalah parameter dengan



Gambar 1. Desain Jembatan tampak samping



Gambar 2. Desain Jembatan tampak atas

menggunakan data sheet dari XBee Pro series 1 [12] dan dise-

TABEL I. PARAMETER SIMULASI

Parameter	Nilai
Jenis Kanal	Wireless Channel
Model Propagasi	TwoRayGround
Jenis Layer Fisik dan MAC	802.15.4
Model Antena	OmniAntenna
Maksimal Paket Dalam Antrian	150
Waktu Simulasi	24 detik
Jenis Baterai yang digunakan	Energizer 9 V 1,5 mA

suakan dengan *software* NS-2. Parameter simulasi tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

B. Parameter Kinerja Simulasi

Berikut ini adalah parameter kinerja simulasi dimana dengan parameter ini akan diambil kesimpulan topologi mana yang terbaik dan dapat digunakan dalam aplikasi Sistem Pemantauan Jembatan.

1) Packet loss

Packet loss adalah banyaknya paket yang hilang selama komunikasi berlangsung. *Packet loss* terjadi ketika satu atau lebih paket data yang melewati suatu jaringan dan gagal mencapai node tujuan.

$$PL = P_s - P_r \quad (1)$$

Keterangan :

PL = *Packet loss* (paket)

P_s = Banyak paket yang dikirim (paket)

P_r = Banyak paket yang diterima (paket)

2) Throughput

Throughput adalah laju rata-rata dari paket data yang berhasil dikirim melalui kanal komunikasi. *Throughput* juga dapat didefinisikan sebagai jumlah paket data yang diterima setiap detik. *Throughput* menunjukkan kapasitas kanal dari konektivitas suatu jaringan.

$$\text{Throughput} = \frac{P_r}{t} \quad (2)$$

Keterangan :

P_r = Banyak paket yang diterima (paket)

t = Waktu pengambilan sample (ms)

3) Delay

Delay / waktu tunda (delay time) yaitu selang waktu yang dibutuhkan oleh suatu paket data saat data mulai dikirim dan

keluar dari proses antrian sampai mencapai titik tujuan. *Delay* ini sudah termasuk *delay* transmisi, *delay* propagasi dan *delay* proses.

$$\text{Delay} = t_r - t_s \quad (3)$$

Keterangan :

t_r = Waktu penerimaan paket (ms)

t_s = Waktu pengiriman paket (ms)

4) Konsumsi Energi

Konsumsi energi adalah banyaknya energi yang dikeluarkan untuk pengiriman, penerimaan, dan paket yang *drop*.

$$\text{Energi} = E_0 - E_t \quad (4)$$

Keterangan :

E_0 = Energi awal sebelum pengiriman paket (Joule)

E_t = Energi akhir setelah penerimaan paket (Joule)

IV. HASIL DAN ANALISA DATA

Simulasi yang dilakukan adalah membandingkan topologi star, mesh dan tree berdasarkan karakteristik WSN yang menggunakan ZigBee sebagai komunikasi antar node dan direncanakan akan diimplementasikan pada Sistem Pemantauan Jembatan. Skenario yang dilakukan adalah node yang telah disebar pada jembatan yang panjangnya 1 km akan mengirimkan data dengan sistem penjadwalan yang telah dibuat tetap dan node tidak akan mengirimkan data secara bersamaan.

Pada topologi star, disimulasikan dengan node 0 sebagai *sink* atau sebagai pengumpul data yang nantinya data tersebut dapat diolah untuk diketahui bagaimana karakteristik dari jembatan. Skenario yang terjadi adalah awalnya node 9 yang mengirimkan data selama 1,5 detik pada node 0, dilanjutkan node 10, 7, 8, 5, 6, 3, 4, 1, dan 2 dengan interval waktu yang sama yaitu 1,5 detik. Hasil dari simulasi ditunjukkan pada tabel II.

Pada tabel II tampak bahwa *packet loss* yang terjadi adalah 140 paket dari 156 paket yang dikirimkan atau sebesar 90,32% paket yang dikirimkan tidak dapat diterima oleh node 0 sebagai *sink*. Hal ini disebabkan topologi star memiliki karakteristik yaitu *sensor node* akan mengirimkan data secara langsung pada *sink*. Sehingga, *sensor node* yang memiliki jarak yang jauh, dalam hal ini adalah lebih dari 250 meter, data yang telah dikirimkan tidak bias diterima dengan baik oleh *sink*. Hal ini juga berakibat pada nilai *throughput* pada jaringan sebesar 0,69kbps. Parameter kinerja yang lain yaitu *delay* rata-rata yang terjadi cukup kecil yaitu sebesar 0,843 ms. Hal ini dipengaruhi oleh ketidakmampuan node 0 dalam menerima data dari *sensor node* sehingga data di-*drop*. Aktifitas *sensor node* tersebut mempengaruhi nilai konsumsi energi rata-rata yang bernilai 0,0037 Joule dan merupakan konsumsi energi yang sedikit.

Pada topologi mesh, skenario yang terjadi adalah mirip dengan topologi star. Skenario yang terjadi adalah awalnya node 9 yang mengirimkan data pada node 0 selama 1,5 detik.

TABEL II. HASIL SIMULASI TOPOLOGI STAR

Parameter	Nilai
Packet loss	140 paket (90.32%)
Throughput	0,69 kbps
Delay	0,843 ms
Konsumsi Energi rata-rata	0,0037 J

Kemudian dilanjutkan node 10, 7, 8, 5, 6, 3, 4, 1, dan 2 dengan interval waktu yang sama yaitu 1,5 detik. Hasil dari simulasi ditunjukkan pada tabel III.

Pada topologi mesh, tampak bahwa pada tabel III terjadi paket loss sebanyak 1 paket atau 0,641% dari 156 paket yang dikirimkan. Pada pengiriman dengan perutean AODV, akan dicari rute dengan *multihop* paling kecil. Setelah terbentuk rute, pengiriman data akan disesuaikan berdasarkan rute. *Throughput* yang dihasilkan pada topologi mesh adalah 7,12kbps sedangkan nilai *delay* 28,65 ms dan konsumsi energi rata-ratanya adalah 0,527 Joule. Dibandingkan dengan topologi star, topologi mesh jauh lebih baik.

Sedangkan pada topologi tree, skenario yang digunakan adalah skenario dimana terdapat dua jalur menuju node 0 dalam pengiriman data. Jalur tersebut dibuat secara manual. Jalur pertama adalah node 9, 7, 5, 3, 1, dan 0. Sedangkan jalur kedua adalah node 10, 8, 6, 4, 2, 1, dan 0. Jika sebuah komunikasi terjadi pada node 10, maka jalur yang digunakan adalah node 8, 6, 4, 2, 1 dan diterima oleh node 0. Sedangkan jika node 9 yang mengirimkan data maka jalur yang digunakan adalah node 7, 5, 3, 1, dan diterima oleh node 0. Sehingga parameter hasil simulasi topologi tree ditunjukkan pada tabel IV.

Pada hasil simulasi topologi tree tampak bahwa tidak terjadi paket loss sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang telah dikirimkan telah diterima dengan baik oleh node 0. Nilai *throughput* rata-rata topologi ini adalah 6,43 kbps.

TABEL III. HASIL SIMULASI TOPOLOGI MESH

Parameter	Nilai
Packet loss	1 paket (0,641%)
Throughput	7,12 kbps
Delay	28,65 ms
Konsumsi Energi rata-rata	0.5805555 J

TABEL IV. HASIL SIMULASI TOPOLOGI TREE

Parameter	Nilai
Packet loss	0 paket (0 %)
Throughput	6,43 kbps
Delay	26,36 ms
Konsumsi Energi rata-rata	0,235 J

Nilai *delay* rata-rata pada topologi tree sebesar 26,36 ms dan memiliki konsumsi energi rata-rata 0,235 Joule. Dibandingkan dengan kedua topologi sebelumnya, topologi tree dinilai paling baik. Hal ini terlihat bahwa nilai *delay* rata-rata yang kecil, konsumsi energi rata-rata yang sedikit, dan tidak terjadi *packet loss*. Walaupun nilai *throughput* topologi tree lebih kecil dibandingkan topologi mesh, namun dengan melihat ketiga parameter dari karakteristik topologi tree maka dapat disimpulkan topologi tree yang paling bagus.

Pada ketiga topologi yang digunakan yaitu star, mesh dan tree, tampak bahwa penggunaan rute AODV hanya terdapat pada topologi mesh. Hal ini berkaitan dengan skenario yang telah dibuat tetap dan berdasarkan dengan gambar 2. Topologi star tidak terlihat pemanfaatan penggunaan rute AODV karena setiap node akan langsung mengirim data ke node 0 yang bertindak sebagai pengumpul. Sedangkan pada topologi tree, pemilihan rute telah ditentukan terlebih dahulu dan telah dibuat tetap atau dibuat secara manual.

V. KESIMPULAN DAN PEKERJAAN SELANJUTNYA

Simulasi yang dilakukan yaitu dengan menyebarkan node pada jembatan yang memiliki panjang 1 km dan lebar 250 meter. Node ditempatkan pada lokasi yang tetap. Parameter simulasi berdasarkan pada *data sheet* XBee Pro.

Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan karakteristik topologi ZigBee (standar IEEE 802.15.4) yaitu membandingkan topologi star, mesh dan tree sehingga dapat diterapkan dan diimplementasikan pada Sistem Pemantauan Jembatan.

Pada simulasi yang telah dilakukan didapatkan bahwa topologi star memiliki karakteristik *packet loss* yang dihasilkan adalah 140 paket atau 90.32% paket yang hilang, memiliki nilai *throughput* rata-rata sebesar 0,69 kbps, nilai *delay* rata-rata sebesar 0,843 ms dan konsumsi energi rata-rata adalah 0,0037 Joule. Topologi mesh memiliki karakteristik *packet loss* yang dihasilkan adalah 1 paket atau 0,641% paket yang hilang, memiliki nilai *throughput* rata-rata 7,12 kbps, nilai *delay* rata-rata ms dan konsumsi energi rata-ratanya adalah 28,65 Joule. Sedangkan pada topologi tree memiliki karakteristik tidak terjadi *packet loss*, nilai *throughput* rata-rata adalah 6,43 kbps, *delay* rata-rata yang terjadi adalah 26,36 ms dan konsumsi energi rata-ratanya adalah 0,235 Joule. Berdasarkan karakteristik tersebut, topologi yang terbaik adalah topologi tree.

Pada simulasi yang telah dilakukan merupakan gambaran sederhana mengenai karakteristik topologi ZigBee dalam pengiriman data. Pekerjaan yang akan dilakukan selanjutnya adalah bagaimana topologi tree ini dapat diimplementasikan

pada Sistem Pemantauan Jembatan secara real karena dalam implementasinya akan tampak lebih kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada kepada DIKTI atas pemberian beasiswa *fresh graduate* ITS kepada peneliti dan pada JICA-PREDICT ITS atas hibah dana penelitian untuk proyek penelitian *Structural Health Monitoring* Jembatan ini.

References

- [1] <http://www.enn.com/topstories/article/28124/print>, diunduh pada tanggal 11 Desember 2012.
- [2] M.J. Chae, H.S. Yoo, J.Y. Kim, M.Y. Cho, Development of a Wireless Sensor Network System for Suspension Bridge Health Monitoring, Elsevier Automation in Construction, vol.21, pp. 237-252, 2012.
- [3] M. Chae, H. Yoo, J. Kim, M. Cho, Bridge Condition Monitoring System Using Wireless Network (CDMA and ZigBee), ISARC 2006, pp.332-334, IAARC, 35 October 2006, Tokyo, Japan.
- [4] J. Lynch and K. Loh, A Summary Review of Wireless Sensors and Sensor Networks for Structural Health Monitoring, The Shock and Vibration Digest, vol. 38, pp. 91-128, 2006.
- [5] A.Minardo, R.Bernini, L.Amato, and L.Zeni, Bridge Monitoring Using Brillouin Fiber-Optic Sensors, IEEE Sensors Journal, vol. 12, no. 1, pp. 145-150, 2012.
- [6] S. Cho, H. Jo, S. Jang, J. Park, H. Jung, C. Yun, B. Spencer, J. Seo, Structural Health Monitoring of a Cable-Stayed Bridge Using Wireless Smart Sensor Technology: Data Analyses, Smart Structures and Systems, vol. 6, no. 5, pp. 461-480, 2010.
- [7] D.D.L.Mascarenas, E.B.Flynn, M.D.Todd, T.G.Overly, K.M.Farinholt, G.Park, and C.R.Farrar, Development of Capacitance-Based and Impedance-Based Wireless Sensors and Sensor Nodes for Structural Health Monitoring Applications, Elsevier Journal of Sound and Vibration, vol. 329, pp. 2410-2420, 2010.
- [8] S. Kim, S. Pakzad, D. Culler, J. Demmel, G. Fenves, S. Glaser, and M. Turon, Health Monitoring of Civil Infrastructures Using Wireless Sensor Networks, Proceedings Sixth International Conference on Information Processing in Sensor Networks, pp.254-263, ACM. 2007.
- [9] Y.K. Huang, A.C. Pang, P.C. Hsiu, W. Zhuang, and P. Liu, Distributed Throughput Optimization for ZigBee Cluster-Tree Networks, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 23, no. 3, 523-520, 2012.
- [10] W. Dargie and C. Poellabauer, Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice, John Wiley and Sons Ltd, 2010.
- [11] Wirawan, A.B., Indarto, E., Mudah Membangun Sendiri dengan Network Simulator-2 (NS-2)", Penerbit Andi, 2004.
- [12] Datasheet XBee Pro

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan