

DESAIN DAN ANALISA MANAJEMEN KONSUMSI DAYA PADA WSN UNTUK SISTEM MONITORING KESEHATAN STRUKTUR (SMKS) JEMBATAN

Faridatun Nadziroh¹, Eko Setijadi² dan Wirawan³

¹Program Teknik Informatika, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo, Sidoarjo

Email: faridatun.nadziroh@yahoo.com

^{2,3} Departemen Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya,

Email: ekosetijadi@ee.its.ac.id, wirawan@ee.its.ac.id

ABSTRAK

Peristiwa robohnya jembatan Jembatan Kutai Kertanegara pada tanggal 26 November 2011 yang memiliki panjang 720 meter mengakibatkan banyak korban. Untuk mengatasi hal serupa terjadi, diperlukan adanya suatu sistem pemantauan terhadap jembatan yang berguna untuk mengetahui lebih dini tentang kerusakan pada jembatan sehingga dapat meminimalisir kerusakan yang lebih besar. Pemantauan kesehatan struktur jembatan dapat dilakukan dengan mengimplementasikan Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan. SMKS memanfaatkan sensor-sensor dalam pemantauan dengan model komunikasi menggunakan sistem *wireless* atau bisa di sebut *Wireless Sensor Network* (WSN).

Dalam bekerja WSN memerlukan daya yang dicatu oleh baterai. Akan tetapi WSN memiliki kendala yakni kapasitas dan daya baterai kecil karena WSN dicatu oleh baterai yang mempunyai *lifetime* sangat terbatas. Mengatasi hal itu, diperlukan adanya suatu cara untuk manajemen konsumsi daya pada sensor. Teknik manajemen konsumsi daya di munculkan dengan mengatur kondisi *sleep/awake* pada sensor serta mendesain topologi serta routing protokol yang digunakan. Pemilihan topologi dan routing yang tepat yakni dengan mempertimbangkan parameter energi, jarak, *packet loss*, *throughput* serta *delay* dari sumber ke tujuan dapat menjadikan proses transmisi lebih maksimal. Selanjutnya membandingkan hasil kinerja dari topologi dan routing yang digunakan. Penelitian ini berbasis simulasi dengan menggunakan *Network Simulator-2* (NS-2). Sehingga hasil simulasi dan manajemen daya kedepannya dapat diimplementasikan pada Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan secara *real time*.

Kata Kunci : SMKS, WSN, *Sleep/Awake*, Routing, Topologi.

PENDAHULUAN

Setiap bangunan memiliki kerentanan terhadap kerusakan, salah satunya yakni jembatan. Sebagai contoh peristiwa runtuhnya Jembatan Kutai Kertanegara yang memiliki panjang 720 meter yang mengakibatkan banyak korban. Kerusakan pada jembatan disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor ini di kerucutkan menjadi 2 tipe yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal meliputi kerusakan yang disebabkan oleh komponen penyusun dari jembatan tersebut. Sedangkan faktor eksternal meliputi kerusakan yang disebabkan oleh alam sekitar.

Dalam meminimalisir terjadinya kerusakan jembatan maka perlu diterapkan suatu sistem dan teknologi pemantauan. Teknologi pemantauan ini biasa disebut Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan. Teknologi SMKS ini memiliki potensi yang sangat baik untuk meningkatkan operasi rutin dan pemeliharaan struktur pada jembatan. Teknologi ini dapat memperpanjang usia dari jembatan karena dapat mendeteksi lebih awal. Teknologi ini menggunakan sensor-sensor.

Proses komunikasi yang digunakan pada SMKS di bagi menjadi 2 jenis yakni komunikasi berbasis kabel dan nirkabel. Komunikasi berbasis kabel memiliki kelebihan yaitu data yang dikirimkan dari sensor sangat akurat dan juga tidak memerlukan daya yang cukup banyak karena dayanya diambil langsung dari pusat. Akan tetapi komunikasi berbasis kabel ini terkendala pada instalasi kabel sehingga semakin jauh jarak jangkauannya maka memerlukan kabel yang cukup banyak yang juga berpengaruh pada biaya instalasinya. Sedangkan komunikasi nirkabel atau lebih dikenal dengan *wireless sensor network* (WSN) mempunyai kelebihan yaitu tidak memerlukan komponen tambahan seperti saluran kabel, sensor mudah diganti jika mengalami kerusakan, mudah dikonfigurasi ulang, dan dengan sistem Ad-Hoc dan Multi-Hop komunikasi data menjadi lebih praktis.

Pada WSN memanfaatkan sistem Ad-Hoc dan Multi-Hop. Pada sistem Ad-hoc terdapat jenis routing protokol diantaranya AODV dan DSDV. Sedangkan topologi yang dapat digunakan adalah topologi star, tree dan mesh. Dalam makalah ini disajikan karakteristik topologi dan routing WSN tersebut sehingga dapat diambil kesimpulan dari perbandingan karakteristiknya, manakah yang sesuai dan dapat diaplikasikan untuk manajemen energi pada SMKS Jembatan ini.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS)

Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan merupakan bidang pemantauan pada jembatan, dimana teknologi ini dapat memperpanjang umur pengoperasian jembatan karena dapat mendeteksi lebih awal tentang adanya kerusakan sehingga meminimalisir terjadinya kerusakan yang lebih parah. Beberapa tujuan dari SMKS ini adalah sebagai berikut [3-13]:

1. Menjamin keamanan struktur
2. Memperoleh perencanaan pemeliharaan struktur yang rasional dan ekonomis
3. Mencapai pekerjaan pemeliharaan yang aman dan ekonomis
4. Mengidentifikasi penyebab respon yang tidak dapat di terima

SMKS digunakan untuk pemantauan kondisi fisik jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam praktiknya SMKS ini menggunakan beberapa sensor yang diletakkan pada badan jembatan yang kemudian digunakan untuk memperoleh respon dari struktur jembatan tersebut. Selanjutnya respon dari sensor akan di analisis untuk memperoleh informasi tentang tingkat kerusakannya.

B. Wireless Sensor Network (WSN)

Jaringan Sensor Nirkabel atau *Wireless Sensor Network* (WSN) merupakan suatu jaringan yang terdiri dari beberapa sensor yang masing-masing sensor tersebut memiliki kemampuan untuk merasakan (*sensing*), memproses serta berkomunikasi. Pada WSN, *node* sensor disebar dengan tujuan untuk menangkap adanya gejala atau fenomena yang hendak diteliti. Jumlah *node* yang disebar dapat ditentukan sesuai kebutuhan dan tergantung beberapa faktor misalnya luas area, kemampuan *sensing node*, dan sebagainya. Tiap *node* memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dan meroutingkannya kembali ke *Base Station*. *Node* sensor dapat mengumpulkan data dalam jumlah yang besar dari gejala yang timbul dari lingkungan sekitar.

C. Topologi Jaringan

Topologi jaringan adalah suatu cara untuk menghubungkan titik satu dengan titik lainnya. Berikut beberapa topologi jaringan pada WSN :

1. Topologi Star

Topologi yang paling dasar. Topologi star terdiri dari koordinator dan beberapa perangkat akhir (*node*). Dalam topologi ini, perangkat akhir berkomunikasi hanya dengan koordinator. Setiap pertukaran paket antara perangkat akhir harus melalui koordinator.

2. Topologi Mesh

Topologi Mesh juga disebut sebagai jaringan peer-to-peer, terdiri dari satu koordinator, beberapa router, dan perangkat akhir. Topologi ini merupakan jalur komunikasi dimana masing-masing *node* dapat berkomunikasi dengan yang lainnya. Kelebihan dari topologi ini adalah dapat meningkatkan kehandalan sistem. 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

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.

D. Routing Protokol

Berikut routing protokol yang digunakan:

1. DSDV

DSDV merupakan kependekan dari *Destination Sequenced Distance-Vector* adalah algoritma *routing protocol* adhoc proaktif yang didasari pada Bellman – Ford yang pertama kali dikenalkan. Algoritma ini berkontribusi untuk mengatasi *Routing Loop*. Pada DSDV, digunakan *sequence number* untuk mengirimkan pesan pada jaringan. *Sequence number* dihasilkan juga saat ada perubahan dalam jaringan, hal ini terjadi karena sifat *table routing* *node* pada jaringan yang menggunakan protokol proaktif yang update secara periodik, serta *Trigered update* ulang digunakan oleh *node* untuk mengupdate *node* yang masuk dan keluar dari jaringan.

2. AODV

Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV). AODV adalah distance vector routing protocol yang termasuk dalam klasifikasi reaktif routing protocol, yang hanya me-request sebuah rute saat dibutuhkan. Karena AODV merupakan *on-demand*, sebuah rute dibangun hanya jika dibutuhkan oleh node sumber untuk mentransmisikan paket data dan AODV menjaganya selama rute ini dibutuhkan. AODV menggunakan *sequence number* yang dibuat node tujuan untuk menentukan jalur terbaru ke node tujuan.

E. ZigBee (Standar IEEE 802.15.4)

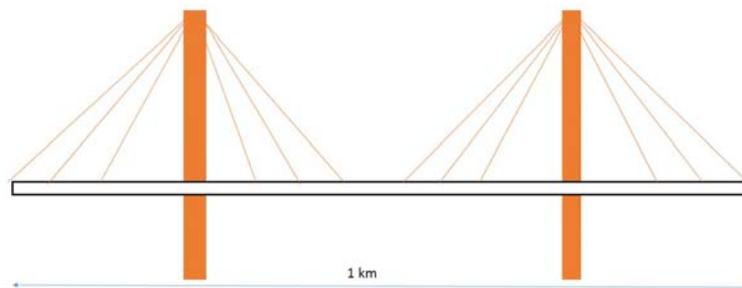
ZigBee merupakan salah satu protokol dalam jaringan wireless yang didesain oleh ZigBee Alliance. Lapisannya berdasarkan standar IEEE 802.15.4 yang terdiri atas lapisan fisik, lapisan jaringan, lapisan aplikasi dan lapisan keamanan. ZigBee berbentuk minimalis dan pengoprasiaannya yang mudah. Biasanya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

DESAIN SISTEM

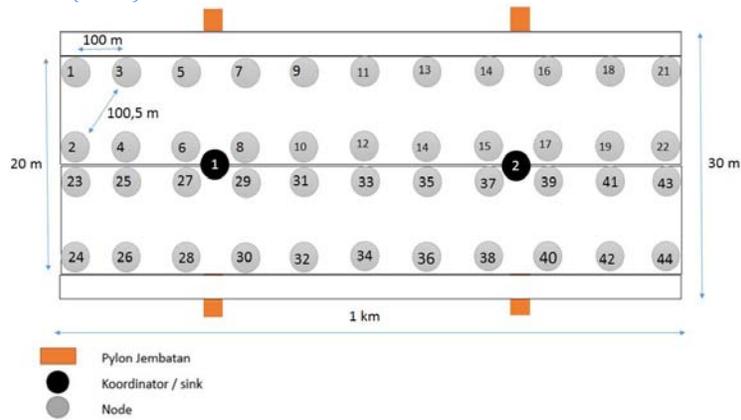
A. Gambaran Umum Sistem

Perancangan yang digunakan pada makalah ini yaitu sistem di desain dengan mendekati kondisi kenyataan dimana diasumsikan bahwa panjang jembatan yang diamati 1 km atau 1000 meter dan lebar 30 meter. Untuk node sensor disebar dengan jarak tetap, hal ini di maksudkan untuk mempermudah perhitungan. Karena sensor yang digunakan adalah sensor getaran (accelerometer), maka node sensor diasumsikan hanya untuk mengambil data getaran dari kendaraan-kendaraan yang melewati jembatan tersebut. Simulasi menggunakan *software Network Simulator-2 (NS-2)* dimana *software* ini dilengkapi dengan tool valididasi untuk menguji validitas pemodelan yang digunakan.

Pada makalah ini penelitian di fokuskan pada bagian jembatan utama atau *main bridge*, karena pada bagian jembatan utama lebih rentan terhadap keretakan atau kerusakan. Pada bagian ini terdapat juga 2 pilon besar sebagai penyangga jembatan. Berikut gambar jembatan dari tampak samping dan tampak atas.



Gambar 1. Jembatan tampak samping

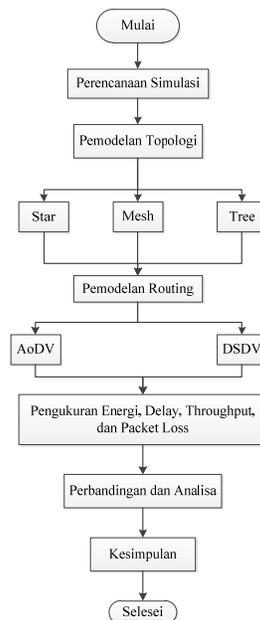


Gambar 2. Jembatan tampak atas beserta desain letak sensornya

Pada simulasi ini, node disebar sebanyak 46 node yang terdiri dari 44 sensor node dan 2 *sink* atau pengumpul data. Karena jarak maksimum antar node dalam NS2 sebesar 250 meter. Maka untuk letak node di asumsikan berjarak 100 meter untuk posisi horizontal dan secara vertikal berjarak 10 meter. Sehingga ketika node berkomunikasi secara diagonal jarak antar node sebesar 100,5 meter dan tidak lebih dari jarak maksimumnya. Terdapat dua sensor sebagai koordinator atau *sink* sebagai pengumpul data dari sensor node yang bertransmisi. Posisi *sink* dikondisikan berada di setiap pylon. Komunikasi antar node menggunakan ZigBee (Standar IEEE 802.15.4).

B. Pengambilan Data

Berikut tahapan-tahapan pengambilan data pada makalah ini :



Gambar 3. Diagram alir pengambilan data penelitian

Pada simulasi ini, alur pengambilan data yakni dengan memodelan sistem yang akan digunakan diantaranya jenis antrian, banyaknya paket data dan banyaknya node, selanjutnya pemodelan topologi memanfaatkan topologi star, tree dan mesh dengan menggunakan karakteristik radio module berupa Zigbee (802.15.4). Setelah pemodelan topologi, di lakukan pemodelan routing protokol. Routing protokol yang akan di gunakan yakni AODV dan DSDV. Pada setiap routing protokol dilakukan pengukuran beberapa parameter yakni energi, *delay*, *throughput* dan *packet loss*. Setelah di dapat hasil dari parameter yang diukur, selanjutnya menganalisa hasil pengukuran dan kinerja dari routing protokol yang kemudian kedua hasil tersebut di bandingkan untuk di dapatkan kesimpulan.

C. Parameter Kinerja Simulasi

Beberapa parameter yang akan diukur sebagai analisa kinerja sistem yakni :

1. Energi

Energi merupakan kemampuan node saat proses komunikasi data. Energi yang dihasilkan adalah keseluruhan energi yang digunakan baik saat mengirim data ataupun saat membroadcast data dari node tetangganya.

$$\text{Energi} = E_0 - E_t \quad (1)$$

Keterangan :

Energi	= Energi (Joule)
E_0	= Energi awal sebelum pengiriman paket (Joule)
E_t	= Energi akhir setelah pengiriman paket (Joule)

2. Packet Loss

Packet Loss adalah parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang. Kegagalan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, diantaranya yaitu:

- Terjadinya *overload* trafik didalam jaringan,
- Tabrakan dalam jaringan,
- Error* yang terjadi pada media fisik,
- Kegagalan yang terjadi pada sisi penerima antara lain dapat disebabkan karena *overflow* yang terjadi pada *buffer*.

Packet loss dapat dirumuskan seperti pada persamaan :

$$PL = Pl_s - Pl_r \quad (3)$$

Keterangan :

Pl	= Banyak paket loss (paket)
Pl_s	= Banyak paket yang dikirim (paket)
Pl_r	= Banyak paket yang diterima (paket)

3. Throughput

Throughput merupakan jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada tujuan selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut. Throughput juga dapat di definisikan sebagai kecepatan transfer data yang diukur dalam satuan bit per sekon (bps). Throughput dapat dirumuskan seperti pada persamaan:

$$\text{Throughput} = \frac{P_l}{t} \quad (4)$$

Keterangan :

Throughput = Throughput (bps)
 P_l = Banyak paket yang diterima (paket)
 t = Waktu pengambilan sampel (detik)

4. Delay

Delay atau waktu tunda adalah interval waktu yang dibutuhkan paket data untuk menempuh jarak dari data mulai di kirim sampai dengan data sampai ditujuan. *Delay* dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, atau juga waktu proses yang lama. *Delay* dinyatakan dalam satuan detik atau *second*. Perhitungan *delay* di dapat dari mengurangkan waktu saat pengiriman paket data dengan waktu saat paket data di terima. *Delay* dapat dirumuskan seperti pada persamaan:

$$\text{Delay} = t_s - t_r \quad (5)$$

Keterangan :

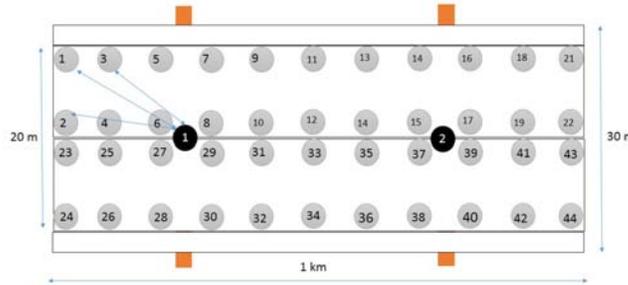
Delay = Delay (s)
 t_s = Waktu pengiriman paket data (s)
 t_r = Waktu penerimaan paket data (s)

HASIL DAN ANALISA DATA

Simulasi yang dilakukan yakni dengan memodelkan topologi star, tree dan mesh terlebih dahulu kemudian menghitung parameter-parameter seperti *throughput*, *delay*, *packet loss* dan energi rata-rata yang dikonsumsi. Skenario yang di lakukan yakni node yang telah di sebar pada jembatan dengan jarak 1 km akan mengirimkan data sesuai dengan topologi dan routing yang digunakan dengan menggunakan ZigBee sebagai komunikasi antar nodenya. Sedangkan *sink* yang digunakan adalah *sink* 1.

A. Topologi Star

Pada topologi star, setiap node berkomunikasi secara langsung dengan sink. Berikut gambar skenario untuk topologi star :



Gambar 4. Skenario komunikasi topologi Star

Berikut hasil pengukuran untuk topologi star dengan membandingkan routing protokol yang digunakan sehingga di dapatkan beberapa parameter-parameter yang di cari.

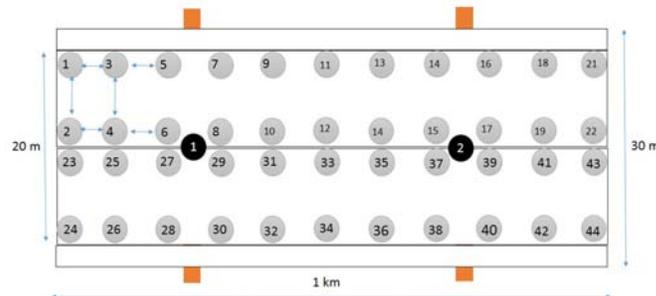
Tabel 1. Hasil simulasi topologi star

Parameter	DSDV	AODV
<i>Throughput</i>	0.65 kbps	0.65 kbps
<i>Delay</i>	0.840 ms	0.532 ms
<i>Packet Loss</i>	139 paket	142 paket
Energi rata-rata	0.0037 Joule	0.0159 Joule

Tampak bahwa untuk topologi star dimana ketika node berkomunikasi dengan menggunakan routing DSDV memiliki karakteristik nilai *throughput* sebesar 0.65 kbps, *delay* sebesar 0.840 ms dan konsumsi energi 0.0037 Joule dan *packet loss* sebesar 139 paket. Sedangkan dengan AODV memiliki karakteristik nilai *throughput* sebesar 0.65 kbps, *delay* sebesar 0.532 ms dan konsumsi energi 0.0159 Joule dan *packet loss* sebesar 142 paket. Namun ada banyak node yang tidak berkomunikasi karena jarak dari node ke *sink* terlalu jauh yakni lebih dari 250 meter sehingga paket tidak dapat tersampaikan.

B. Topologi Tree

Pada topologi tree, setiap node dapat berkomunikasi dengan dua node di sebelahnya. Sehingga node hanya dapat berkomunikasi secara vertikal dan horizontal. Berikut gambar skenario untuk topologi tree :



Gambar 5. Skenario komunikasi topologi tree

Berikut hasil pengukuran untuk topologi tree dengan membandingkan routing protokol yang digunakan sehingga di dapatkan beberapa parameter-parameter yang di cari.

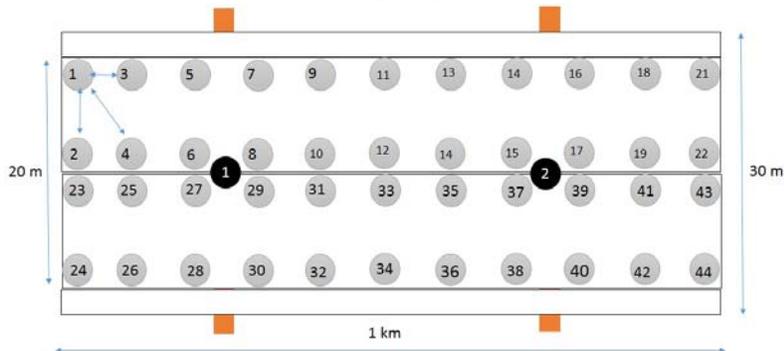
Tabel 2. Hasil simulasi topologi tree

Parameter	DSDV	AODV
<i>Throughput</i>	6.35 kbps	7.56 kbps
<i>Delay</i>	26,34 ms	19.50 ms
<i>Packet Loss</i>	0 paket	9 paket
Energi rata-rata	0.353 Joule	0.543 Joule

Tampak bahwa untuk topologi tree dimana ketika node berkomunikasi dengan menggunakan routing DSDV memiliki karakteristik nilai *throughput* sebesar 7,11 kbps, *delay* sebesar 28.25 ms dan konsumsi energi 0.562 Joule dan *packet loss* sebesar 1 paket. Sedangkan dengan AODV memiliki karakteristik nilai *throughput* sebesar 7.56 kbps, *delay* sebesar 19.50 ms dan konsumsi energi 0.543 Joule dan *packet loss* sebesar 9 paket.

C. Topologi Mesh

Pada topologi mesh, setiap node dapat berkomunikasi dengan tiga node di sebelahnya. Sehingga pada topologi ini node dapat berkomunikasi secara vertikal, horizontal maupun diagonal. Berikut gambar skenario untuk topologi mesh :



Gambar 5. Skenario komunikasi topologi mesh

Berikut hasil pengukuran untuk topologi mesh dengan membandingkan routing protokol yang digunakan sehingga di dapatkan beberapa parameter-parameter yang di cari.

Tabel 3. Hasil simulasi topologi mesh

Parameter	DSDV	AODV
<i>Throughput</i>	7.11 kbps	21.28 kbps
<i>Delay</i>	27,25 ms	10.68 ms
<i>Packet Loss</i>	2 paket	0 paket
Energi rata-rata	0.562 Joule	0.253 Joule

Tampak bahwa untuk topologi mesh dimana ketika node berkomunikasi dengan menggunakan routing DSDV memiliki karakteristik nilai *throughput* sebesar 7,11 kbps, *delay* sebesar 27.25 ms dan konsumsi energi 0.562 Joule dan *packet loss* sebesar 2 paket. Sedangkan dengan AODV memiliki karakteristik nilai *throughput* sebesar 21.28 kbps, *delay* sebesar 10.68 ms dan konsumsi energi 0.253 Joule dan *packet loss* sebesar 0 paket. Dari ketiga data yang di dapatkan, topologi dan routing yang terbaik yakni menggunakan routing AODV dengan topologi mesh.

KESIMPULAN

Pada pengukuran simulasi ketiga topologi dan dua routing dengan memanfaatkan ZigBee sebagai komunikasi antar node nya di dapatkan hasil bahwa topologi dan routing yang terbaik untuk sistem pemantauan pada jembatan yakni menggunakan routing AODV dengan topologi mesh. Karena topologi mesh dengan routing AODV mampu berkomunikasi secara dinamic yakni mencari sendiri node yang di butuhkan sehingga dapat meminimalisir penggunaan energi dalam proses pentransmisian datanya.

Dalam pentransmisian data pemilihan topologi dan routing yang tepat sangat penting, karena hal ini dapat menjadikan data dapat tersampaikan dengan baik. Dari simulasi yang dilakukan dengan menyebarkan node pada jembatan yang memiliki pajang 1 km dan lebar 20 m dengan 2 *sink* yang di letakkan pada pylon. Kemudian membandingkan topologi dan routing yang digunakan di harapkan dapat diimplementasikan langsung pada Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) Jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

- S. Doebling, C. Farrar, and M. Prime. (1998). "A *summary Review of Vibration Based Damage Identification Methods*," Shock and Vibration Digest, vol. 30, pp. 91–105.
- W. Dargie and C. Poellabauer. (2010). "*Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*", John Wiley & Sons Ltd.
- A. S. Kiremidjian, E. G. Straser, T. H. Meng, K. Law, and H. Soon. (1997). "*Structural damage monitoring for civil structures*," in *Proc. Int. Workshop Struct. Health Monit., Stanford, CA*. PP. 371–382.
- Cardei Mihaela, My T. Thai, and Weili Wu. (2005). "*Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks*". IEEE INFOCOM.
- S. K. Gupta, R. K. Saket. (2011). "*Performance Metric Comparison of AODV and DSDV Routing Protocols in Manets Using NS-2*".