

Pemanfaatan WSN Untuk Menganalisis Perilaku Jembatan Menggunakan Metode

Ibrahim Time Domain

Stana Edro Swargara¹, Dr. Setyorini, S.T., M.T.², Dr. Seno Adi Putra, S.Si., M.T.³

^{1,2}Fakultas Informatika, ³Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Bandung
¹stanaedroswargara@students.telkomuniversity.ac.id, ²setyorini@telkomuniversity.ac.id,

³adiputra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus yang dikarenakan adanya pemutusan jalur seperti contoh aliran sungai, Masalah yang sering terjadi didalam konstruksi jembatan yaitu kegagalan struktur pada pembangunan jembatan tersebut sehingga dibutuhkan alat untuk mendeteksi kondisi pada jembatan. Sensor Sun Small Programmable Object Technology (SunSPOT) adalah perangkat tertanam yang dapat diprogram dengan Java, yang digunakan untuk pengumpulan getaran respons struktural dinamis terhadap jembatan yang akan diuji menggunakan sensor accelerometer yang terdapat pada SunSPOT. Ibrahim Time Domain (ITD) merupakan salah satu teknik pertama yang diformulasikan untuk analisis modal keluaran berganda berdasarkan fungsi respons impuls, metode ini digunakan untuk menentukan kondisi jembatan berdasarkan domain waktu dan frekuensi yang nantinya akan dilakukan perbandingan terhadap data yang menghasilkan getaran normal dengan data yang menghasilkan getaran damage. Hasil pengujian dari penelitian ini menyatakan bahwa deteksi kondisi jembatan dengan algoritma Ibrahim Time Domain (ITD) memperoleh nilai rata-rata frekuensi dan nilai maximum frekuensi dari masing-masing sensor, dimana nilai maximum frekuensi tiap sensor dibandingkan dengan dua kondisi jembatan yaitu kondisi normal dan damage. Kemudian data hasil getaran normal dan data dari hasil getaran damage memperoleh tingkat kondisi jembatan 82% (8 sensor). Hal ini dapat disimpulkan bahwa kondisi jembatan mengalami penurunan sebesar 18%, dan untuk 4 sensor menghasilkan tingkat kondisi jembatan 63% . Hal ini dapat disimpulkan bahwa kondisi jembatan mengalami penurunan sebesar 37%.

Kata kunci : Ibrahim Time Domain, Jembatan, Damage Detection, SunSpot

Abstract

A bridge is a construction structure that functions to connect two parts of a road that are cut off due to a path break such as a river flow, a problem that often occurs in bridge construction is structural failure in the construction of the bridge, so tools are needed to detect conditions on the bridge. Sensor Sun Small Programmable Object Technology (SunSPOT) is an embedded device that can be programmed with Java, which is used for collecting dynamic structural response vibrations to the bridge to be tested using the accelerometer sensor found in SunSPOT. Ibrahim Time Domain (ITD) is one of the first techniques formulated for multiple output modal analysis based on the impulse response function, this method is used to determine the condition of the bridge based on the time and frequency domains which will later be compared to the data that produces normal vibrations with the resulting data vibration damage. The test results of this study state that the detection of bridge conditions using the Ibrahim Time Domain (ITD) algorithm obtains the average frequency value and the maximum frequency value of each sensor, where the maximum value of the frequency of each sensor is compared with the two bridge conditions, namely normal conditions and damage. . Then data from normal vibration results and data from vibration damage results obtained a bridge condition level of 82% (8 sensors). It can be concluded that the condition of the bridge has decreased by 18%, and for 4 sensors it results in a bridge condition level of 63%. It can be concluded that the condition of the bridge has decreased by 37%.

Keywords: Ibrahim Time Domain, Bridge, Damage Detection, SunSpot

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Dalam pengembangan prasarana jalan dan jembatan terutama jalan yang menghubungkan daerah terisolasi atau pun akses yang sulit untuk menuju pusat perekonomian sehingga distribusi hasil bumi dapat dengan disalurkan dengan baik, pertumbuhan penduduk dan perekonomian akan bertambah pesat seiring dengan bertambahnya sarana dan prasarana jalan.

Di dalam kehidupan sehari-hari, jembatan merupakan sarana akomodasi yang menunjang kelancaran lalu lintas di seluruh dunia tak terkecuali Indonesia. Jembatan merupakan suatu struktur yang dibangun melintasi sungai atau penghalang lalu lintas lainnya, jadi jika suatu jembatan mengalami reruntuhan maka hal ini dirasakan sangat mengganggu kenyamanan berlalulintas. Di Indonesia sendiri pada titik tertentu baik jembatan yang terletak di Indonesia atau daerah mengalami kerusakan yang tercatat pada *Traffic Management Center* (TMC), dimana kerusakan yang diakibatkan oleh jembatan ini telah mengganggu aktivitas lalu lintas dan berkendara.

Umumnya penyebab kerusakan jembatan diakibatkan oleh suatu beban yang berlebihan seperti kendaraan besar yang memuat beban berlebih, saluran air yang tidak baik sehingga menimbulkan genangan air, serta kurangnya perawatan beberapa elemen dari jembatan tersebut.[1].

Structural Health Monitoring (SHM) adalah suatu ilmu yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan mengintegrasikannya ke dalam struktur untuk memonitor kesehatan dari suatu bangunan. Teknologi ini dapat memperpanjang umur pelayanan bangunan karena penurunan kemampuan dan kerusakan dapat diidentifikasi lebih awal (peringatan dini) sebelum terjadinya kerusakan yang lebih parah dan membutuhkan biaya rehabilitasi yang lebih besar. SHM ini didefinisikan sebagai penginderaan tak rusak dan analisa karakter struktur termasuk respon struktur untuk mendeteksi perubahan yang mengindikasikan adanya kerusakan atau penurunan kemampuan struktur [2].

Damage Detection Time Domain Based merupakan metode yang mengacu pada data waktu series yang dikumpulkan dari sensor node untuk langsung diproses berdasarkan modal parameter. Teknik umum yang digunakan adalah metode dua tahap kuadrat terkecil (atau biasa dikenal sebagai metode model Auto-regressive moving average (ARIMA)), metode Ibrahim time-domain (ITD), metode Impulse Response function (IRF), dan metode Matriks Kovarians. Keuntungan umum dari metode Time Domain Based merupakan dapat memberikan hasil yang stabil, namun cara kerja sistem sedikit teredam karena membutuhkan jumlah domain waktu agar beroperasi secara efisien pada sistem yang sangat teredam [3].

Metode Ibrahim Time Domain yang disebut dengan metode ITD menggunakan data fungsi waktu untuk mengestimasi parameter modal. Masalah nilai eigen dibangun dari data fungsi waktu dan dengan memecahkan masalah nilai eigen, masalah natural frekuensi, rasio redaman dan bentuk mode diperkirakan. Fungsi waktu bebas dari struktur, peluruhan bebas semu seperti yang disebutkan di atas atau fungsi respons impuls yang diperoleh dari kebalikan dari FRF dapat digunakan dalam metode ITD[4].

Topik dan Batasannya

Masalah yang terdapat berdasarkan dari latar belakang bahwa jembatan memerlukan pengawasan untuk menentukan kondisi terhadap jembatan dikarenakan jembatan dapat mengalami masalah yang sulit dijangkau untuk mengetahui kondisi jembatan maka dari itu saat ini masih memiliki kelemahan dalam pengawasan dimana masih dilakukan secara manual dimana inspektur jembatan yang akan melihat kondisi jembatan dimana hal tersebut memakan waktu lama dan tidak efektif .

Berdasarkan permasalahan yang ada , tindakan yang harus dilakukan dalam penelitian ini sehingga dapat memecahkan masalah yang pertama mengembangkan sistem pengawasan jembatan ke dalam sistem Structure Health Monitoring untuk mempermudah pengawasan terhadap jembatan dengan menggunakan alat yaitu SunSpot.Pada penelitian iniberfokus kepada pengambilan data yang dimana nantinya data tersebut diproses yang akan menghasilkan nilai perbandingan atau nilai kondisi terhadap jembatan tersebut.

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat batasan - batasan yang harus diperhatikan sehingga pelaksanaan penelitian ini fokus dan tidak terlalu melebar. Batasan yang harus diperhatikan dimulai dari objek yang akan di gunakan dalam penelitian ini yaitu jembatan yang dimana merupakan jembatan miniature Test-bed 1 bentang yang menerapkan model Single Degree of Freedom (SDOF), kemudian pada bagian SHM yang digunakan merupakan Sensor Sun Small Programmable Object Technology (SunSPOT) yang dimana sensor tersebut hanya tersedia beberapa saja karena sensor tersebut sudah tidak diperjual belikan kembali, kemudian pada keterbatasan waktu yang ada terlalu singkat, dengan adanya pandemic tahun ini pembuatan jembatan miniatur Test-bed terhalang sehingga waktu pengambilan data terlalu singkat, kemudian identifikasi kerusakan disesuaikan dengan data yang diambil dari jembatan miniatur hanya memiliki dua kondisi yaitu data normal dan data damage.

Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dicapai, yang pertama adalah mengambil data dari jembatan prototype dengan dua skenario dimana jembatan dilakukan dua kondisi yaitu kondisi normal dan kondisi rusak, yang kedua adalah melakukan studi pada algoritma berdasarkan deret waktu untuk mendeteksi kondisi pada struktur jembatan yang

dimana didapatkan dari sinyal atau getaran yang dihasilkan oleh accelerometer dari sensor serta mendeteksi kerusakan pada struktur jembatan menggunakan data frekuensi hasil dari metode Ibrahim Time Domain yang dimana dibandingkan dengan dua kondisi yang dimana hasilnya adalah perbandingan antara data normal dan data damage dalam besaran persen.

Organisasi Tulisan

Susunan penulisan penelitian ini yaitu: pada bagian 1 merupakan uraian latar belakang serta permasalahan pada penelitian. Bagian 2 menunjukkan studi literature yang terkait dengan penelitian ini. Bagian 3 adalah menjelaskan sistem atau alur yang dibangun dalam penelitian dimulai dari sensor hingga pemrosesan data. Bagian 4 adalah menjelaskan analisis mengenai penelitian yang dilakukan. Bagian 5 adalah kesimpulan dan hasil.

2. Studi Terkait

Penelitian Terkait

Rune Brincker, Peter Olsen, Sandro Amador, Martin Juul, Abdollah Malekjafarian, Mohammad Ashory(2017) Mengusulkan metode Ibrahim Time Domain dengan menggunakan multiple input dan multiple output. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Formulasi multi-input dari teknik ITD yang didasarkan pada penambahan matriks Toeplitz pada peluruhan bebas set telah diselidiki, dan telah ditunjukkan bagaimana matriks partisipasi modal khusus dapat didefinisikan sehingga kontribusi setiap peluruhan bebas ditambahkan untuk membentuk matriks partisipasi yang dihasilkan[5]

Adam B. Noel, Abderrazak Abdaoui, Tarek Elfouly, Mohamed Hossam Ahmed, Ahmed Badawy, and Mohamed S. Shehata. Mengusulkan tentang Structural Health Monitoring(SHM) dengan menggunakan sebuah sensor berupa sebuah parameter yang diukur dan deteksi kondisi atau kerusakan terhadap suatu struktural dimana mengusulkan dengan beberapa metode salah satunya yaitu Ibrahim Time Domain. Hasil dari survey penelitian menghasilkan opini tentang penelitian jangka panjang dengan menggunakan Wireless Sensor Network yang bisa diterapkan terhadap Structural Health Monitoring(SHM)[3].

Ibrahim Time Domain

Metode Ibrahim Time Domain yang disebut dengan metode ITD menggunakan data fungsi waktu untuk mengestimasi parameter modal. Masalah nilai eigen dibangun dari data fungsi waktu dan dengan memecahkan masalah nilai eigen, masalah natural frekuensi, rasio redaman dan bentuk mode yang diperkirakan.[4]

$$y(t) = y(k\Delta t) = \psi_1 e^{\lambda_1 k\Delta t} + \psi_2 e^{\lambda_2 k\Delta t} + \dots = \psi_1 \mu_1^k + \psi_1 \mu_1^k \dots$$

Gambar 1. Respon dari struktur getaran terhadap waktu

Respon dari struktur getaran yaitu index t dapat diartikan dengan y(t) yang di dapat dari sebuah getaran yang telah diintegrasikan dua kali dari data yang terdapat dari sebuah getaran struktur tersebut.

Matriks respons getaran bebas sampel dapat dibentuk sebagai:

$$Y = \begin{bmatrix} y(1) & y(2) & y(3) & \dots \\ y(2) & y(3) & y(4) & \dots \\ y(3) & y(4) & y(5) & \dots \\ y(4) & y(5) & y(6) & \dots \end{bmatrix}$$

Gambar 2. Matriks respon getaran bebas dari respon struktur getaran yang sudah dirubah menjadi frekuensi

Y1 dan Y2 terbentuk dengan cara membagi matriks Hankel menjadi dua bagian, Y1 dan Y2 terbentuk sebagai:

$$Y_1 = \begin{bmatrix} y(1) & y(2) & \dots \\ y(2) & y(3) & \dots \end{bmatrix}; \quad Y_2 = \begin{bmatrix} y(3) & y(4) & \dots \\ y(4) & y(5) & \dots \end{bmatrix}$$

3. Matriks Y dibagi menjadi dua yaitu Matriks Y1 dan Y2 dengan menggunakan Split Matriks

Gambar

Matriks A1 dapat ditemukan sebagai:

$$A_1 = Y_2 Y_1^T (Y_1 Y_1^T)^{-1}$$

Gambar 4. Mencari nilai Matriks A1

Dengan demikian vektor eigen dan nilai eigen dapat ditemukan dengan melakukan dekomposisi nilai eigen dari matriks A1 dan matriks A2 juga dapat ditemukan dengan alternatif estimasi kuadrat terkecil:

$$A_2 = Y_2 Y_2^T (Y_1 Y_2^T)^{-1}$$

Gambar 5. Mencari nilai Matriks A2

Diketahui bahwa kedua estimasi untuk matriks A1 dan A2, dan estimasi rata-rata sering digunakan sebagai gantinya dan disebut sebagai perkiraan tak bias (atau kuadrat terkecil ganda).[7]:

$$A = (A_1 + A_2)/2$$

Gambar 6. Mencari Nilai Rata-Rata dari matriks A1 terhadap Matriks A2

Structural Health Monitoring

Structural Health Monitoring (SHM) adalah monitoring terhadap suatu struktur dengan menggunakan sebuah sensor berupa sebuah parameter yang diukur dan deteksi kondisi atau kerusakan terhadap suatu struktural dimana mengusulkan dengan beberapa metode salah satunya yaitu Ibrahim Time Domain. Hasil dari survey penelitian menghasilkan opini tentang penelitian jangka panjang dengan menggunakan Wireless Sensor Network yang bisa diterapkan terhadap Structural Health Monitoring (SHM).[3]

3. Sistem yang Dibangun

Riset Framework



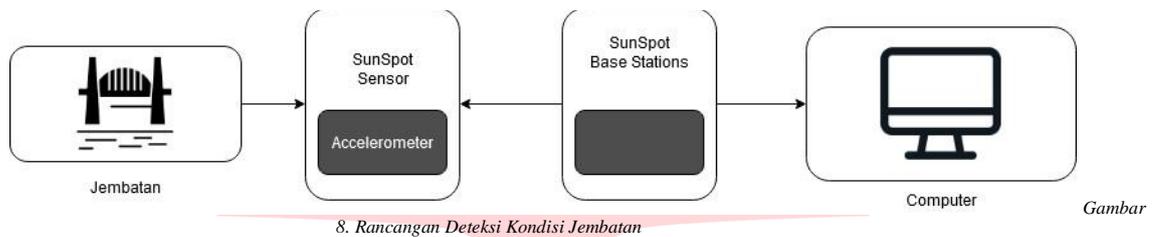
Gambar 7. Riset Framework

Pada tahap studi literatur dilakukan review terhadap penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dan merangkum fakta serta teori yang dibutuhkan dalam penelitian. Dilakukan dengan membaca jurnal dan artikel

yang berkaitan. Pada tahap ini juga dilakukan analisis masalah dan membuat alasan mengapa masalah tersebut perlu diselesaikan. Selanjutnya perancangan Sistem, pada tahap ini dilakukan perancangan berdasarkan literatur yang telah dipelajari antara lain, mekanisme pengiriman dan penerimaan data, bagaimana data diproses, dan bagaimana informasi dari data tersebut diberikan. Lalu pada tahap pengambilan data diambil data yang telah tervalidasi kebenarannya untuk dijadikan bahan uji algoritma yang diusulkan. Selanjutnya. Implementasi Algoritma dilakukan menggunakan Algoritma terbaik sehingga dapat memperoleh hasil yang maksimal. Terakhir menyusun laporan terkait penelitian yang dilakukan mengikuti metode perancangan tata tulis ilmiah. Hasil dari tahapan ini adalah buku tugas akhir.

a. Metodologi untuk mencapai objektif pertama

Tujuan dari objektif pertama yaitu membangun prototype dan membuat dua skenario pada kondisi jembatan. Berikut adalah skema prototype yang akan dibangun untuk mencapai objektif pertama:



Jembatan (*Single Degree of Freedom System/SDOF*) merupakan target pengujian data dari sinyal getaran atau *Accelerometer*, untuk mendapatkan data getaran otomatis dibutuhkan sensor pendukung berupa sensor *Node* dan sensor *Basestation* sebagai alat utamanya, Selanjutnya sensor *Node* bertugas untuk mengirim data getaran, kemudian sensor *Basestation* menerima data dari sensor *Node* untuk dikirimkan data getaran tersebut ke komputer.

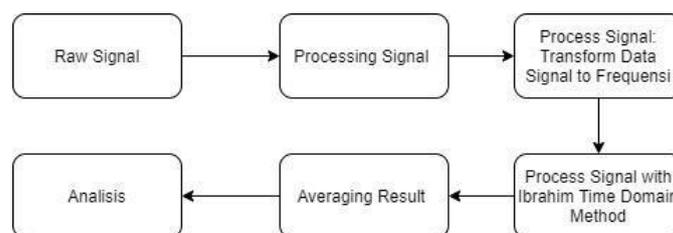
Dataset Pengujian Jembatan SDOF

Data diambil menggunakan truk Scania 1:14 RC dengan berat truk 7,5kilogram, kemudian data diambil dengan kondisi dan variasi yang berbeda, dimana kondisi di dalamnya terdapat beberapa kondisi yang terdiri dari beban muatan kosong dan beban muatan penuh (8kg), skenario pengambilan data terdapat dua macam skenario yaitu skenario jembatan normal dan skenario jembatan rusak, dimana jumlah percobaan dikumpulkan sebanyak 7 kali percobaan.

- x Desain penempatan sensor *Node* pada eksperimen ini berjumlah delapan sensor *Node* dengan peletakan di bagian kiri jembatan sebanyak empat sensor *Node* dan di bagian kanan jembatan sebanyak empat sensor *Node*.
- x Dari kedelapan sensor node kemudian diaktifkan dan dihubungkan pada base station, selanjutnya data yang sudah diterima pada Basestation disimpan di dalam sistem.
- x Skenario beban truk dilakukan dengan dua macam yaitu kondisi beban truk kosong dan beban truk penuh (8kg), setiap kondisi dilakukan sebanyak tujuh kali dari setiap skenario jembatan normal dan skenario jembatan rusak.
- x Sensor Node akan mengirim data rekaman aktivitas getaran jembatan dengan rentang waktu tiap 0.01s

b. Metodologi untuk mencapai objektif kedua

Tujuan dari objektif kedua yaitu melakukan implementasi algoritma Ibrahim Time Domain pada kondisi jembatan. Berikut adalah skema prototype yang akan dibangun untuk mencapai objektif pertama:



Gambar 9. Rancangan Algoritma Ibrahim Time Domain

Berikut adalah penjelasan pada tahapan metodologi :

- a. Raw Data didapatkan dari Sensor SunSpot, prosedural pengambilan data berasal dari sensor *Node* yang terhubung dengan sensor Basestation melalui jaringan lokal. Data dari pengambilan delapan sensor yang digunakan pada struktur jembatan, ada dua macam skenario dan kondisi pengambilan data. Setiap skenario dan kondisi data diambil sebanyak sepuluh kali percobaan. Nilai sensor berupa satuan getaran *Accelerometer*.
- b. Processing Signal adalah proses dimana raw data akan disetarakan ke domain waktu
- c. Processing Signal Transform Data Signal to Frekuensi adalah dimana proses data domain waktu diubah menjadi sinyal frekuensi
- d. Process Signal with Ibrahim Time Domain Method adalah dimana hasil data frekuensi tersebut diubah menjadi matriks yang disebut matriks Y lalu matriks tersebut dibagi menjadi dua bagian yaitu matriks Y1 dan Y2 menggunakan split matriks, yang dimana matriks Y1 dan Y2 dapat menghasilkan nilai matriks A1 dan A2
- e. Averaging Result adalah hasil dari rata-rata penggabungan data dari matriks A1 dan A2 menjadi matriks A
- f. Analisis yang digunakan adalah dengan membandingkan rata-rata hasil nilai maximum frekuensi matriks A tiap sensor yang didapatkan dari sepuluh kali percobaan, dibandingkan dengan skenario jembatan normal dan damage.

Skenario Pengujian

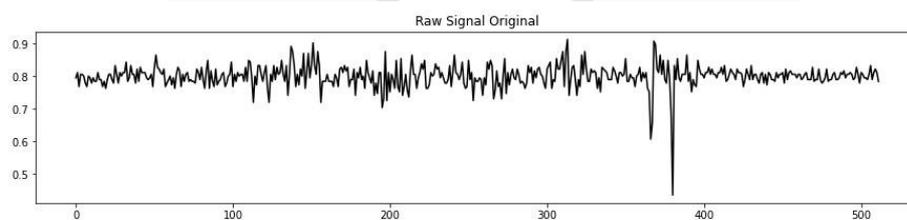
1. Skenario Ibrahim Time Domain

Pada skenario ini dilakukan perhitungan nilai dari kondisi jembatan dengan membandingkan hasil nilai frekuensi yang berbeda terhadap dua kondisi yaitu kondisi dimana jembatan normal dengan kondisi dimana jembatan tidak normal atau rusak dalam sepuluh kali percobaan.

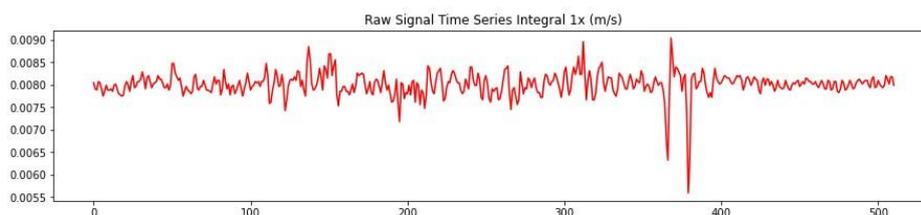
4. Evaluasi

Hasil Pengujian

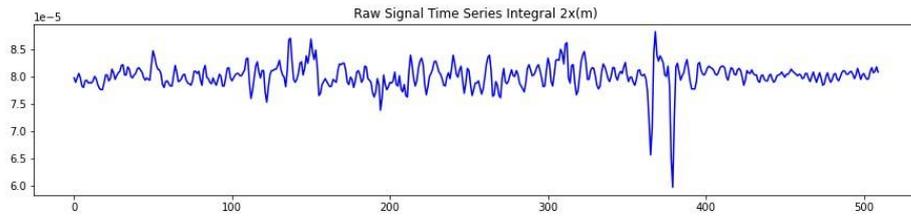
Pada Gambar 10 menunjukkan data sinyal mentah atau asli yang didapatkan dari sensor, Gambar 11 menunjukkan dimana data mentah di integralkan satu kali agar menghasilkan nilai kecepatan yaitu m/s, Gambar 12 menunjukkan dimana data mentah di integralkan dua kali agar menghasilkan nilai jarak atau m, Gambar 13 adalah hasil data yang dipakai untuk diolah oleh metode Ibrahim Time Domain dimana pada gambar tersebut mendapatkan hasil dari perhitungan frekuensi dimana data integral dua kali dibagi dengan nilai data interal satu kali dimana nanti akan menemukan nilai frekuensi yaitu $f=1/t$ atau $f=1/s$, Gambar 14 adalah hasil dari perhitungan menggunakan metode Ibrahim Time Domain dimana mengeluarkan hasil berupa nilai berbentuk matriks dan mengeluarkan nilai f_1, f_2, f_3, f_4 dan lalu di ambil nilai maximum frekuensi.



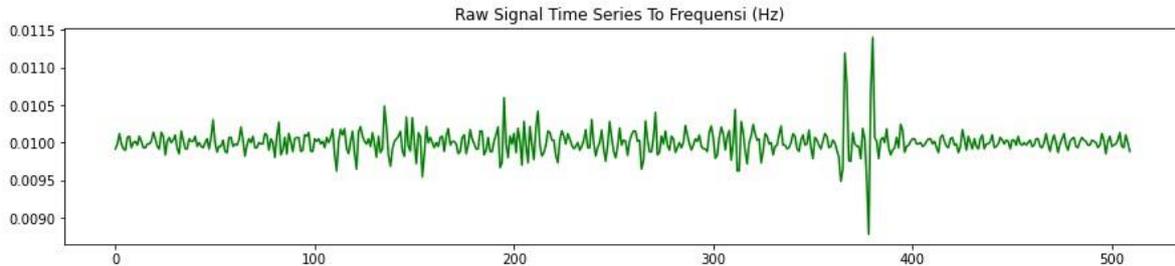
Gambar 10. Raw Signal Original



Gambar 11. Raw Signal Time Series Integral 1x



Gambar 12. Raw Signal Time Series Integral 2x



Gambar 13. Raw Signal Time Series menjadi Frekuensi

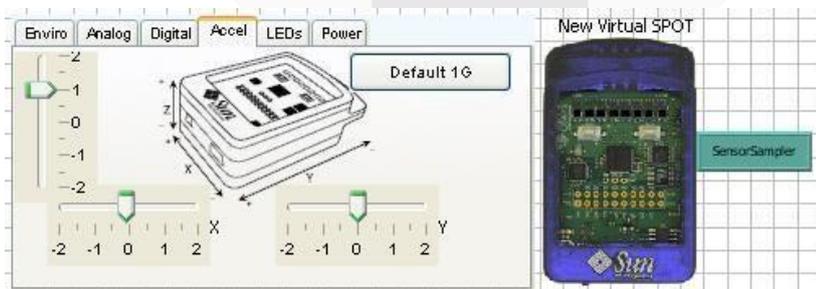
```

===== MATRIX Akhir (A) =====
[[ 1.92192582  2.09805483]
 [13.20530613  1.08680438]]
=====
f1 = 1.9219258245891222
f2 = 2.098054834924536
f3 = 13.205306125709752
f4 = 1.0868043824125433
=====
RataRata frekuensi= 4.578022791908989
Max frekuensi= 13.205306125709752
    
```

Gambar 14. Hasil Perhitungan dengan menggunakan metode ITD terhadap satu sensor dan satu kondisi

Hasil Pengujian SunSpot

Pengujian Sensor SunSpot Solarium dilakukan untuk mengetes kinerja dari sistem sensor accelerometer dan sink node. Kedua sistem ini bertugas untuk menangkap data dan juga mengirim data kebagian server. Gambar 15 adalah emulator Solarium yang menampilkan Sensor SunSPOT virtual dengan sensor panel yang dapat mengatur input sensor potensial misalnya nilai Accelerometer pada sumbu x.

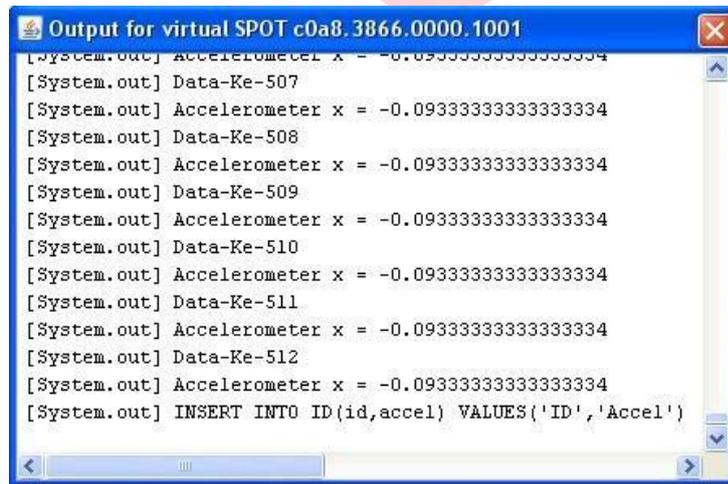


Gambar 15. Virtual Spot Sunspot dan Panel SunSpot



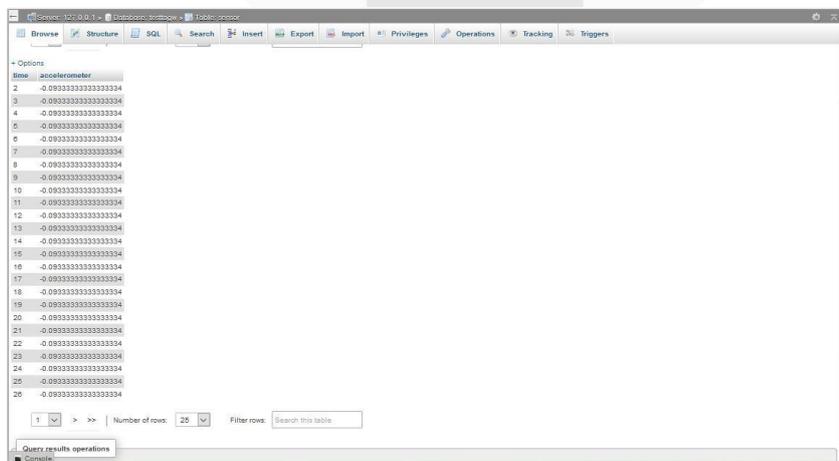
Gambar 16. Command Prompt Sink Node

Pada gambar 16. diatas menunjukkan bawa sensor SunSpot siap untuk diambil datanya 512 sample, dimana Sink Node akan menerima data yang dikirim dari sensor dan akan melakukan pengiriman data ke database server.



Gambar 17. Output Virtual Spot dari Sensor

Pada Gambar 17 adalah hasil keluaran dari nilai accelerometer pada sumbu x yang nantinya akan dikirimkan ke sinknode hingga 512 sample data accelerometer.



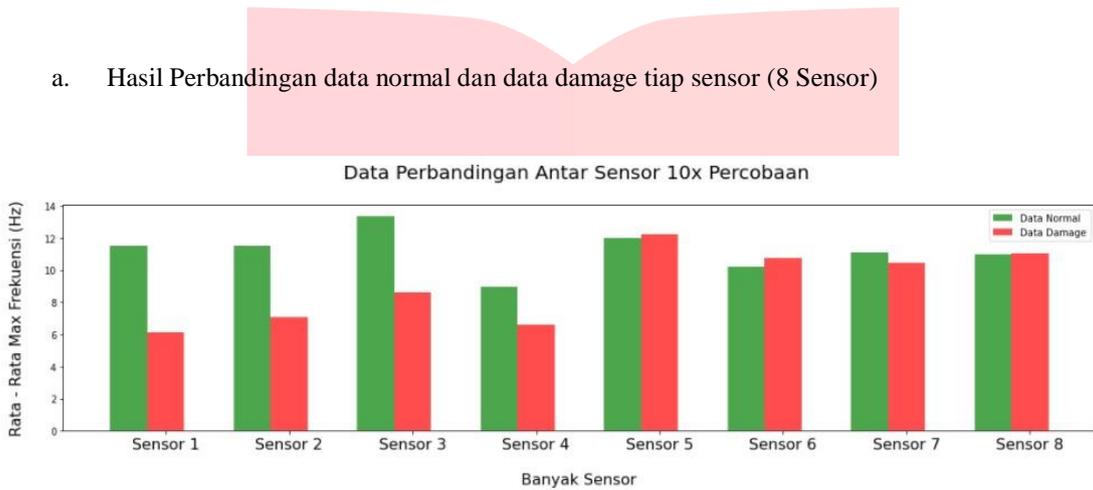
Gambar 18. Database Hasil Pengiriman Dari Sink Node , Waktu dan Nilai Accelerometer

Gambar 18 adalah hasil pengiriman data dari Sink Node yang diambil dari virtual sunspot berupa accelerometer sumbu x ke server atau database dengan 512 sampel data.

Hasil dan Pembahasan

Proses pencarian nilai perbandingan yaitu dengan menggunakan dua skenario dimana skenario pertama adalah skenario jembatan normal dan skenario kedua adalah skenario jembatan rusak dimana dengan mengurangi pegas yang terdapat pada jembatan miniatur, dimana data hasil pengujian akan dibandingkan dengan dua skenario berbeda dimana data kondisi jembatan normal dengan data kondisi jembatan tidak normal atau damage.[6]

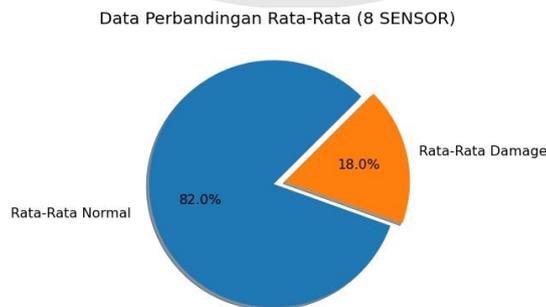
a. Hasil Perbandingan data normal dan data damage tiap sensor (8 Sensor)



Gambar 15. Grafik Hasil Perbandingan Antar Sensor 8

Berdasarkan Gambar14 data perbandingan antar sensor dilakukan dari nilai rata-rata tiap sensor terhadap sepuluh kali percobaan.

b. Perbandingan data rata rata tiap sensor yang diambil dari data pada Gambar15 (8 Sensor)

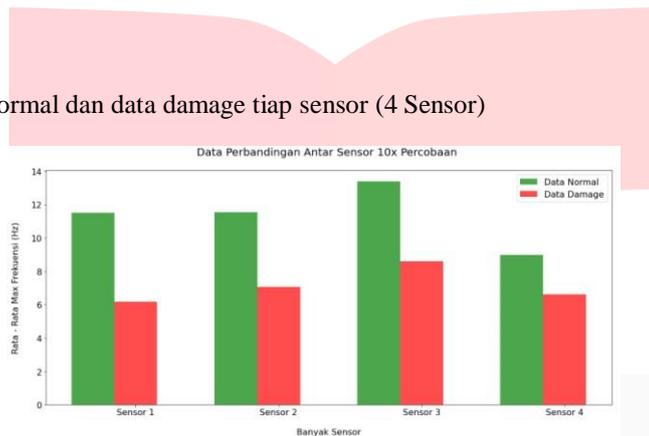


Gambar 16. Hasil Perbandingan rata-rata tiap sensor (8 Sensor)

Berdasarkan Gambar16 data perbandingan diambil dari nilai rata-rata perbandingan tiap sensor (8 sensor) dari Gambar15 dengan menunjukkan bahwa penurunan kondisi jembatan dari

perbandingan skenario damage yang dibandingkan dengan skenario normal, dari gambar tersebut kondisi jembatan skenario damage mengalami penurunan kondisi sebesar 19% terhadap jembatan normal 81% dari 100%.

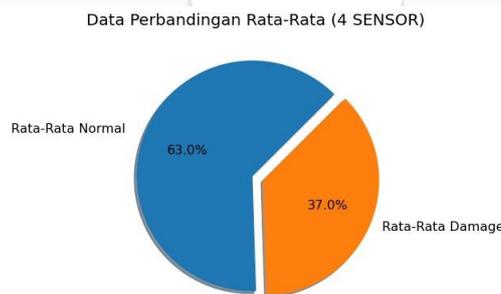
c. Hasil data normal dan data damage tiap sensor (4 Sensor)



Gambar 17. Grafik Hasil Perbandingan Antar Sensor (4 Sensor)

Berdasarkan Gambar17 data perbandingan antar sensor dilakukan dari nilai rata-rata tiap sensor terhadap sepuluh kali percobaan dimana nilai data frekuensi damage mengalami penurunan terhadap nilai frekuensi data normal dapat terlihat dari perbandingan sensor satu sampai dengan sensor 4.

d. Perbandingan data rata rata tiap sensor yang diambil dari data pada Gambar17 (4 Sensor)



18. Hasil Perbandingan rata-rata tiap sensor (4 Sensor)

Gambar

Berdasarkan Gambar18 data perbandingan diambil dari nilai rata-rata perbandingan tiap sensor (4 sensor) dari Gambar17 dengan menunjukkan bahwa penurunan kondisi jembatan dari perbandingan skenario damage yang dibandingkan dengan skenario normal,dari gambar tersebut kondisi jembatan skenario damage mengalami penurunan kondisi sebesar 38% terhadap jembatan normal 62% dari 100%.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini terdapat beberapa kesimpulan yaitu hasil dari yang dijalankan emulator dengan mengirimkan data virtual SunSpot ke Sink Node dan dari Sink Node

dikirim ke server atau database berhasil menjalankan fungsinya dengan menghasilkan nilai accelerometer sebanyak 512 sampel dan waktu sampling adalah 512 detik, dan sensing terhadap jembatan dapat dijalankan fungsinya dalam membuat skenario jembatan normal dan skenario jembatan damage. Berdasarkan hasil pengujian dari metode Ibrahim Time Domain menyatakan bahwa perolehan dari nilai kondisi jembatan yang telah dilakukan pengurangan pegas mengalami penurunan nilai maximum frekuensi dimana jembatan tersebut bisa diasumsikan mengalami kerusakan 63%, jika nilai penurunan maximum frekuensi tersebut turun jauh dari nilai yang diharapkan jembatan normal yang diasumsikan adalah 100%, pada penelitian ini penulis menggunakan jembatan miniatur untuk melakukan pengujian, dengan menggunakan dua skenario terhadap pengaturan jembatan yang diasumsikan normal dan jembatan yang diasumsikan tidak normal(damage) mendapatkan nilai perbandingan yaitu 82% nilai jembatan dari 100%, mengalami penurunan sebesar 18% (8 sensor), dan untuk 4 sensor mendapatkan nilai perbandingan yaitu 63% nilai jembatan dari 100%, mengalami penurunan sebesar 37%. Maka kesimpulan analisis indaktor jembatan rusak menghasilkan nilai persentase 63%.



Reference

- [1] Y. Herry, N. M. S and M. Indrayadi, "Penilaian Kondisi Jembatan Rangka Baja di Kabupaten Sintang Menggunakan Metode Bridge Manajemen Sistem (BMS) (Studi Kasus Jembatan Kapuas III, Kabupaten Sintang)," *JeLAST: Elektronik laut, Sipil, Tambang*, p. 334, 2017.
- [2] W. F. Darmawan, R. Suryanita and D. Z, "Monitoring Kesehatan Struktur Rangka Gedung Tidak Beraturan Berdasarkan Hasil Sensor Akselerometer," *Jom FTEKNIK*, p. 1, 2017.
- [3] A. B. Noel, A. Abdaoui, T. Elfouly, M. Hossam Ahmed, A. Badawy and M. S. Shehata, "Structural Health Monitoring Using Wireless Sensor Networks: A Comprehensive Survey," *Ieee Communications Surveys & Tutorials*, p. 1405, 2017.
- [4] A. Malekjafarian, R. Brincker, M. R. Ashory, and M. M. Khatibi, "Modified Ibrahim time domain method for identification of closely spaced modes: Experimental results," in *Topics on the Dynamics of Civil Structures*, vol. 1. New York, NY, USA: Springer, 2012, pp. 443–449.
- [5] Rune Brincker, Peter Olsen, Sandro Amador, Martin Juul, Abdollah Malekjafarian, Mohammad Ashory." Modal participation in multiple input Ibrahim time domain identification",vol:1,p. 168-180,20,2017
- [6] Mulyadi Bur1, Meifal Rusli, Adriyan dan Lovely Son." Kaji Eksperimental Penerapan Metode Ibrahim Time Domain Untuk Identifikasi Model Bangunan Dua Lantai Dengan Gangguan Pada Tumpuan".p 3443,2014
- [7] Wenliang Zhou, David Chelidze." Generalized Eigenvalue Decomposition in Time Domain Modal Parameter Identification",vol:130,2008