

Wireless Sensor Network Untuk Menganalisis Perilaku Jembatan *Single Degree Of Freedom* Dengan Menggunakan Metode Hilbert Huang Transform

Rayhan Muhammad¹, Dr. Setyorini, S.T., M.T.², Dr. Seno Adi Putra, S.Si., M.T.³

^{1,2}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung ³Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Bandung

¹raayanmuhammad@students.telkomuniversity.ac.id, ²setyorini@telkomuniversity.ac.id,

³adiputra@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak

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 mudah di salurkan tanpa harus memakan biaya yang sangat mahal, pertumbuhan penduduk dan perekonomian akan bertambah pesat seiring dengan bertambahnya sarana dan prasarana jalan. Damage Detection berbasis Huang Hilbert Transform atau yang lebih dikenal sebagai HHT dapat diaplikasikan ke dalam prediksi kesehatan jembatan dimana HHT sendiri memiliki algoritma prediksi yang menggunakan energi frekuensi time atau yang di kenal sebagai gelombang lambda sehingga algoritma tersebut dapat digunakan sebagai menentukan frekuensi jembatan. Agar mempermudah jalannya algoritma HHT dibutuhkan juga dukungan berupa node sensor yang berfungsi sebagai pengumpulan data seperti sensor SunSPOT. Hasil pengujian dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa bahwa hasil dari SunSpot Solarium memiliki kinerja yang sangat baik untuk melakukan pengambilan data pada sistem sensor accelerometer dan sink node, data yang dihasilkan yaitu data accelerometer sebanyak 512 data sample dan waktu sampling adalah 512 detik. Perolehan nilai hasil rata-rata frekuensi dari masing-masing HHT dan FFT di setiap percobaan, maka untuk model terbaik dari kondisi jembatan berstruktur normal didapat dengan model terbaik yaitu dengan nilai frekuensi HHT 17.38 Hz dan nilai frekuensi FFT 15.93 Hz, sedangkan untuk model terbaik dari kondisi jembatan berstruktur rusak didapat dengan model terbaik dengan nilai frekuensi HHT 16.38 Hz dan nilai frekuensi FFT 15.60 Hz. Sedangkan hasil rata-rata nilai frekuensi untuk setiap kali percobaan pada kondisi jembatan berstruktur normal untuk HHT sebesar 16.7480 Hz dan untuk waktu dari rata-rata setiap sensor 0.8675 m/s dan untuk kondisi jembatan berstruktur rusak yaitu 15.9179 Hz dan untuk waktunya dari setiap rata-rata 0.825 m/s. Waktu yang dihasilkan dari HHT ialah waktu dari setiap sensor dimana frekuensi muncul di waktu beberapa, maka dapat dilihat bahwa jembatan dengan kekakuan yang semakin rendah, maka frekuensi yang dihasilkan semakin besar.

Kata kunci : HHT, IMF, FFT, Damage Detection, SunSpot

Abstract

In the development of road and bridge infrastructure, especially roads that connect isolated areas or difficult access to the center of the economy so that the distribution of agricultural products can be easily distributed without having to be very expensive, population and economic growth will increase rapidly along with the increase in facilities and road infrastructure. Huang Hilbert Transform-based Damage Detection or better known as HHT can be applied to bridge health predictions where HHT itself has a prediction algorithm that uses time-frequency energy or what is known as lambda waves so that the algorithm can be used to determine the bridge frequency. To facilitate the operation of the HHT algorithm, support is also needed in the form of sensor nodes that function as data collection such as the SunSPOT sensor. The test results from this study can be concluded that the results of the SunSpot Solarium have very good performance for capturing data on the accelerometer sensor system and sink node, The resulting data are 512 accelerometer data samples and 512 seconds of sampling time. Obtaining the average frequency value of each HHT and FFT in each experiment, then for the best model of normal structured bridge conditions, the best model is obtained with the HHT frequency value 17.38 Hz and the FFT frequency value 15.93 Hz, while for the best model of The condition of the damaged structured bridge is obtained with the best model with the HHT frequency value of 16.38 Hz and the FFT frequency value of 15.60 Hz. While the results of the average frequency value for each experiment on a normal structured bridge condition for HHT is 16.7480 Hz and for the average time of each sensor is 0.8675 m / s and for a damaged structured bridge is 15.9179 Hz and for the time of each 0.825 m / s average. The time generated from HHT is the time of each sensor where the frequency appears at what time, it can be seen that the bridge with the lower the stiffness, the greater the resulting frequency.

Keywords: HHT, IMF, FFT, 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 mudah di salurkan tanpa harus memakan biaya yang sangat mahal, pertumbuhan penduduk dan perekonomian akan bertambah pesat seiring dengan bertambahnya sarana dan prasarana jalan [1]. 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 di bangun melintasi sungai atau penghalang lalu lintas lainnya, jadi jika suatu jembatan mengalami reruntuhan maka hal ini dirasakan sangatlah 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 di akibatkan 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.

Jembatan *Single Degree of Freedom* (SDOF) hanya akan mempunyai satu koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi massa pada saat tertentu yang ditinjau. Jembatan satu bentang adalah salah satu contoh jembatan SDOF. Jembatan SDOF tersebut terdiri dari massa (m) yang terkonsentrasi pada bentang jembatan, dengan rangka massa kecil memiliki kekakuan (k) pada sistem, dan redaman pelekak [2].

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 [3].

Hilbert – Huang Transform (HHT) adalah metode analisis data berbasis empiris. HHT telah ditemukan digunakan dalam deteksi kerusakan. Algoritma yang diusulkan menggabungkan *Empiris Mode Decomposition* (EMD), teknik penurunan acak dan HHT untuk mengidentifikasi momen di mana kerusakan struktural terjadi [4]. Teknik ini dapat diterapkan dalam situasi di mana struktur mengalami kebisingan yang signifikan dan dapat mendeteksi perubahan bertahap dan cepat dalam kerusakan struktural, namun, tidak dapat memisahkan frekuensi yang sangat dekat. Dalam, disajikan pendekatan identifikasi kerusakan berdasarkan gelombang Lambda untuk struktur komposit. Pemantauan kerusakan komposit meningkat sebagai masalah prioritas utama SHM. Metode lambda sangat sensitif untuk kerusakan kecil (retak atau delaminasi). Selain itu gelombang Lambda dapat diperbanyak untuk jarak jauh tanpa atenuasi amplitudo yang signifikan dalam struktur pelat. Dibutuhkan pemrosesan sinyal dan ekstraksi fitur yang lebih tepat dan canggih untuk mengidentifikasi informasi kerusakan [5].

Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Domain waktu diskrit (Periode) didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan sebuah isyarat atau gelombang untuk mencapai suatu gelombang penuh dan dapat menentukan nilai periodesitasnya. Perlu dicermati bahwa pengertian ini berlaku untuk isyarat monokromatis, isyarat yang dimaksud adalah gelombangnya bersifat tunggal, pasti memiliki sebuah priode. Dengan demikian isyarat itu dikenal dengan istilah priodis, pengamatan dapat dilakukan dengan memantau gelombang kita dapat mengetahui nilai nilai yang terkandung dalam isyarat serta periodenya. Domain frekuensi yang diartikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya adalah detik (second) akan menjadi Hertz (1-per second) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum [6].

Topik dan Batasannya

Perumusan masalah yang akan dibahas berdasarkan dari latar belakang yang dikemukakan diatas. Permasalahan pertama, bagaimana melakukan studi pada algoritma EMD untuk memperoleh nilai residu dari IMF. Permasalahan kedua, bagaimana membangun algoritma HHT dan FFT untuk mendapatkan hasil frekuensi deteksi kondisi pada jembatan normal dan jembatan rusak. Permasalahan ketiga, bagaimana mengevaluasi hasil performansi berdasarkan algoritma HHT dan FFT untuk mendeteksi kondisi jembatan berdasarkan frekuensi.

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 digunakan 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 di produksi lagi, 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

yaitu frekuensi dasar dan amplitudo frekuensi, dan data yang di hitung adalah data fundamental frequency (frekuensi dasar), amplitudo frekuensi, dan kapasitas.

Tujuan

Tujuan dari penelitian yang ingin dicapai adalah yang pertama, Melakukan Studi pada algoritma EMD untuk mendapatkan nilai residu dari beberapa *Instrict Mode Function (IMF)*. Yang kedua, membangun algoritma HHT dan FFT untuk mendapatkan nilai frekuensi sebagai acuan dalam mendeteksi jembatan normal dan jembatan rusak. Yang ketiga, mengevaluasi hasil performansi berdasarkan algoritma HHT dan FFT untuk mendeteksi kondisi jembatan berdasarkan frekuensi.

Organisasi Tulisan

Pada bagian selanjutnya dibahas mengenai penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut: pada bagian 1 merupakan uraian latar belakang serta permasalahan penelitian. Bagian 2 menunjukkan studi literature yang terkait dengan penelitian ini. Bagian 3 menjelaskan sistem serta alur yang akan dialami metode mulai dari sensor menerima data hingga pemrosesan data. Bagian 4 menjelaskan Analisa mengenai penelitian yang dilakukan. Bagian 5 menyimpulkan hasil Analisa

2. Studi Terkait

J.J. Moughy dan J.R. Casas (2018) mengusulkan metode penilaian kondisi jembatan dari data percepatan memasukkan penggunaan *Fourier Transform (FT)* untuk mendapatkan atau menilai fitur sensitif kerusakan, namun akurasi file keluaran FT untuk sinyal *non-linier* dan *non-stasioner* dapat menyebabkan masalah untuk aplikasi struktural dunia nyata. *Hilbert Huang Transform (HHT)* telah lama disebut-sebut sebagai alternatif potensial dari FT untuk sinyal *non-linear* dan *non-stasioner* dan telah mendapatkan popularitas dalam penilaian kondisi karena representasi frekuensi, waktu, dan energi [7].

Sunspot Solarium

Solarium adalah aplikasi *Java* untuk mempermudah pengelolaan Sensor SunSpot dan perangkat lunak aplikasi untuk sensor SunSpot tersebut. *Solarium* juga berisi emulator SunSpot yang berguna untuk menguji software SunSpot. *Solarium* menyertakan emulator yang mampu menjalankan aplikasi Sun SPOT di komputer desktop. aplikasi ini memungkinkan untuk menguji program sebelum menerapkannya ke Sensor SunSPOT nyata, atau jika Sensor SunSPOT sudah tidak tersedia, *Solarium* menampilkan Sensor SunSPOT virtual dengan kontrol panel yang dapat mengatur input sensor potensial misalnya level cahaya, suhu, input pin digital, tegangan input analog, dan nilai akselerometer. Aplikasi ini dapat mengontrol warna LED yang ditampilkan dalam gambar sensor SunSPOT virtual, seperti halnya sensor SunSPOT asli [8].

Damage Detection

Damage Detection and Localization untuk SHM, node sensor mengumpulkan data parameter seperti akselerasi, regangan, kecepatan, dan perpindahan. Data mentah ini harus diproses sedemikian sehingga fitur seperti parameter modal struktur dapat diekstrak. Fitur-fitur ini digunakan oleh SHM di deteksi kerusakan dan lokalisasi. Sisa dari bagian ini membahas teknik deteksi kerusakan dan lokalisasi yang umum digunakan.

Damage Localization Method Setelah kerusakan struktural terdeteksi, maka perlu untuk menentukan lokasi kerusakan. Proses ini disebut lokalisasi kerusakan, yang memerlukan pemasangan sensor yang cukup sehingga cakupan sensor yang memadai disediakan untuk menemukan kerusakan di mana saja dalam struktur. Cakupan sensor yang tidak memadai dapat mengakibatkan deteksi kerusakan tanpa pelokalisasi. Penggunaan parameter modal seperti frekuensi dan bentuk mode dalam lokalisasi kerusakan diinginkan karena kesederhanaan dalam menentukan parameter modal ini. Dalam baik lokalisasi kerusakan berbasis frekuensi dan algoritma lokalisasi kerusakan berbasis-mode diusulkan. Algoritma deteksi kerusakan berbasis frekuensi yang diusulkan menggunakan perubahan dalam bentuk mode yang diukur untuk melokalisasi kerusakan dan perubahan dalam frekuensi alami yang diukur untuk memperkirakan tingkat kerusakan. Demikian pula, algoritma deteksi kerusakan berbasis-mode, yang menggunakan perubahan energi regangan modal untuk melokalisasi kerusakan, diusulkan. Eksperimen menunjukkan bahwa metode berbasis frekuensi melokalisasi kerusakan dengan kesalahan kecil sedangkan metode berbasis mode melokalisasi kerusakan dengan hampir tidak ada kesalahan.

Damage Detection Method Salah satu tujuan utama dalam SHM adalah deteksi kerusakan struktural. Biasanya, deteksi kerusakan memerlukan pengumpulan data sensor yang dapat digunakan untuk mengekstrak parameter yang terkait dengan kesehatan keseluruhan struktur. Parameter yang paling umum digunakan dalam deteksi kerusakan adalah parameter modal seperti frekuensi alami dan bentuk mode. Estimasi parameter modal dapat dilakukan dalam domain waktu dan frekuensi. Setelah parameter modal diekstrak, algoritma deteksi kerusakan digunakan untuk menentukan apakah kerusakan telah terjadi. HHT telah ditemukan digunakan dalam deteksi kerusakan. Algoritma yang diusulkan menggabungkan EMD, teknik penurunan acak dan HHT untuk mengidentifikasi momen di mana kerusakan struktural terjadi. Teknik ini dapat diterapkan dalam situasi di mana

struktur mengalami kebisingan yang signifikan dan dapat mendeteksi perubahan bertahap dan cepat dalam kerusakan struktural, namun, tidak dapat memisahkan frekuensi yang sangat dekat.

Emperical Mode Decomposition (EMD)

Emperical Mode Decomposition (EMD) merupakan metode analisis frekuensi yang didapat mendekomposisikan sinyal berdasarkan amplitudo dan frekuensi sinyal informasi pada saat tertentu. Oleh karena itu, EMD dapat digunakan untuk mengidentifikasi apabila terdapat kesalahan noise pada rentang frekuensi sinyal tertentu. Dan EMD menguraikan sinyal menjadi dua bagian, yaitu IMF dan komponen sisa (residu). Proses yang digunakan pada EMD disebut *Sifting Process*, konsep dasar dari EMD ialah untuk mengidentifikasi skala waktu yang tepat yang dapat menunjukkan karakteristik fisik sinyal, dan kemudian mengubah sinyal ke mode instrik dengan fungsi yang disebut dengan IMF. Kriteria sinyal IMF adalah jumlah *zero crossing* dan *extrema point* harus sama atau berbeda paling tidak satu, rata-rata *envelope* yang didenifisikan oleh *maxima* dan *minima*, harus sama dengan nol pada semua titik. Deteksi sinyal $x(t)$ menggunakan EMD dapat dilakukan sebagai berikut [9]:

- Mengidentifikasi nilai ekstrim dari sinyal $x(t)$, meliputi *upper envelope* dan *lower envelope*.
- Menghitung data diantara *upper envelope* dan *lower envelope* yang didefinisikan sebagai m_1 (*mean* dari data yang berbeda diantara *upper envelope* dan *lower envelope*). Perbedaan antara data (sinyal awal) dan m_1 adalah komponen h_1 yang disebut juga sebagai komponen pertama [10].

$$x(t) - m_1 = h_1 \quad (1)$$

Kemudian data (sinyal awal) berubah menjadi h_1 untuk proses sifting kedua.

$$h_1 - m_{11} = h_{11} \quad (2)$$

Proses sifting kembali dilakukan sebanyak k kali sampai h_{1k} merupakan komponen IMF pertama.

$$h_{1(k-1)} - m_{1k} = h_{1k} \quad (3)$$

IMF pertama dari data juga dapat dinyatakan sebagai:

$$c_1 = h_{1k} \quad (4)$$

- Memisahkan c_1 dari residu data dengan persamaan:

$$x(t) - c_1 = r_1 \quad (5)$$

Hingga diperoleh persamaan:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i + r_n \quad (6)$$

Melakukan langkah-langkah, tersebut berkali-kali hingga menghasilkan beberapa IMF yang nilainya optimal dan akhirnya menghasilkan suatu residu yang konstan atau monoton. Dalam proses sifting untuk menjamin agar komponen IMF yang dihasilkan tetap mempertahankan arti fisik dari kedua amplitudo dan modulasi frekuensi, digunakan kriteria tersebut ialah dengan membatasi ukuran standar deviasi, yaitu:

$$SD = \sum_{t=0}^T \left[\frac{|h_{1(k-1)}(t) - h_{1(k)}(t)|^2}{h_{1(k-1)}^2(t)} \right] \quad (7)$$

$h_{1(k-1)}$ adalah sinyal awal dan h_{1k} adalah hasil sinyal awal dikurangi dengan rata-rata dari sinyal awal [11].

Hilbert Huang Transform (HHT)

Sebuah metode identifikasi berbasis energi diusulkan untuk menyelidiki mekanisme kegagalan seismik dari tanah longsor dengan diskontinuitas. Metode yang diusulkan diverifikasi dengan menggunakan uji tabel goyang pada lereng batuan dengan bidang struktural diskontinyu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mekanisme kegagalan gempa lereng dapat dianalisa dengan menggunakan HHT dan spektrum marginal berdasarkan energi seismik Hilbert.

Hilbert Huang Transform Method (HHT) telah di temukan dalam deteksi kerusakan. Algoritma yang diusulkan menggabungkan EMD, teknik ini dapat diterapkan dalam situasi di mana struktur mengalami kerusakan

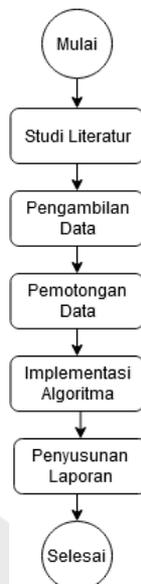
yang signifikan, namun tidak dapat memisahkan frekuensi yang sangat dekat. HHT adalah nama yang ditunjuk untuk hasil EMD dan *Hilbert Spectral Analysis (HSA)*, yang keduanya diperkenalkan baru-baru ini oleh *Huang et al.* Khususnya untuk menganalisis data dari proses *nonlinier* dan *nonstasioner*. Analisis data adalah langkah yang sangat diperlukan dalam memahami proses fisik, tetapi secara tradisional metode analisis data didominasi oleh analisis berbasis *Fourier*. Dan HHT terdiri dari dua bagian yaitu EMD dan HSA. Metode ini berpotensi layak untuk analisis data *Nonlinier* dan *Nonstasioner*, terutama untuk representasi energy frekuensi-waktu. Ini telah diuji dan divalidasi secara mendalam, tetapi hanya secara *Empiris*.

Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Domain waktu diskrit (Periode) didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan sebuah isyarat atau gelombang untuk mencapai suatu gelombang penuh dan dapat menentukan nilai periodesitasnya. Perlu dicermati bahwa pengertian ini berlaku untuk isyarat monokromatis, isyarat yang dimaksud adalah gelombangnya bersifat tunggal, pasti memiliki sebuah priode. Dengan demikian isyarat itu dikenal dengan istilah priodis, pengamatan dapat dilakukan dengan memantau gelombang kita dapat mengetahui nilai nilai yang terkandung dalam isyarat serta periodenya. Domain frekuensi yang diartikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya adalah detik (second) akan menjadi Hertz (1-per second) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum. Yang dikenal dengan spektrum frekuensi. Pengertian frekuensi ini juga berlaku untuk gelombang monokromatis. Membahas mengenai FFT tentunya tidak dapat dilepaskan dari *Discrete Fourier Transform (DFT)*. FFT merupakan turunan dari persamaan DFT dimana jumlah perhitungan digital pada DFT dapat dikurangi secara significant sehingga dengan adanya penemuan FFT maka perhitungan digital terhadap spektrum-spektrum frekuensi dapat diwujudkan secara sederhana dalam implementasinya. DFT untuk finite-length sequence $y(n)$ yang terdefinisi untuk rentang $0 \leq n \leq N-1$.

3. Sistem yang Dibangun

Riset Framework



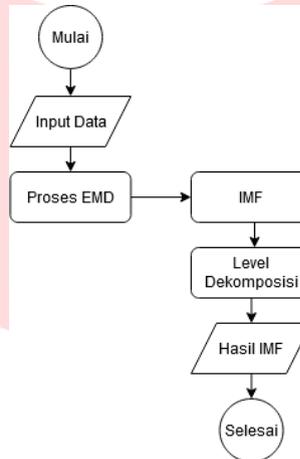
Gambar 1 Diagram Alir Riset Framework

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 pengambilan data, yang telah tervalidasi kebenarannya untuk dijadikan bahan uji algoritma yang diusulkan. Selanjutnya pemotongan data agar data yang diperoleh pada proses sebelumnya lebih akurat ketika dilakukan implementasi algoritma. Lalu pada tahapan implementasi algoritma

dilakukan pengujian HHT dan FFT untuk memperoleh nilai frekuensi. Terakhir menyusun laporan terkait penelitian yang dilakukan mengikuti metode perancangan tata tulis ilmiah. Hasil dari tahapan ini adalah jurnal.

Metodologi Penelitian

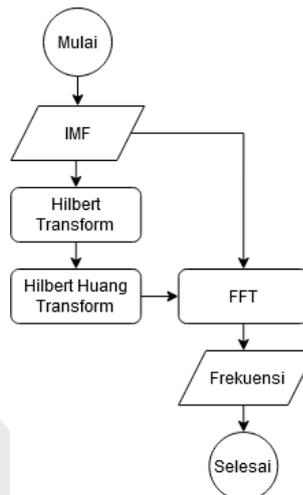
- a. Metodologi untuk mencapai objektif pertama adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Alur untuk mencapai metodologi pertama

Pada tahap input data, data yang telah didapat sebelumnya menggunakan sensor *SunSpot*. Diproses pada tahapan EMD dimana hasil EMD berupa nilai maxima, minima, dan mean. Selanjutnya pada proses IMF didapatkan dari hasil EMD yang berupa level dekomposisi di setiap IMF yang menghasilkan nilai residu.

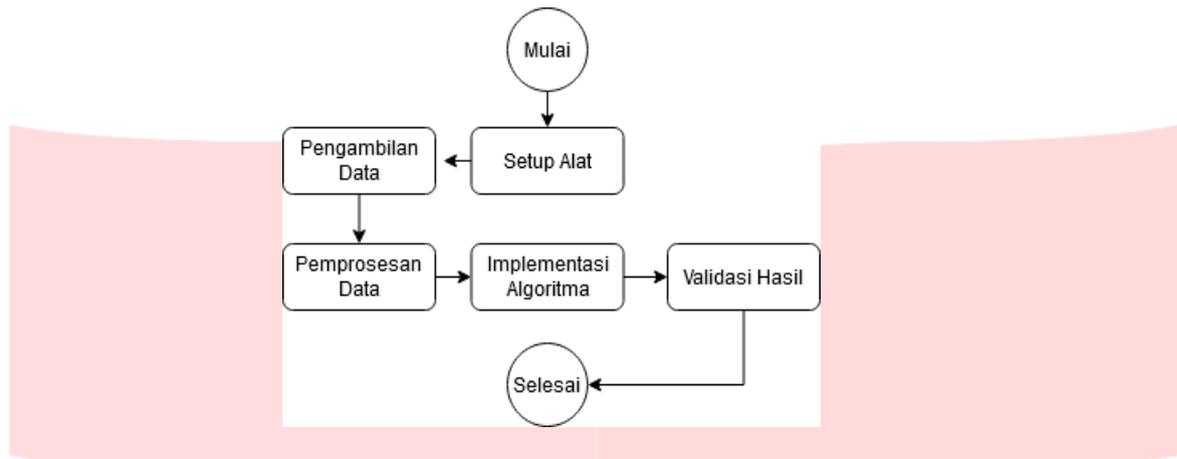
- b. Metodologi untuk mencapai objektif kedua adalah sebagai berikut:



Gambar 3 Alur untuk mencapai metodologi kedua

Pada tahap IMF, data yang digunakan hasil dari pengambilan data menggunakan Sensor *SunSpot* dimana data yang diinputkan diproses ke dalam tahap IMF dengan output hasil Hilbert Transform lalu dilanjutkan pada tahap HHT untuk memperoleh hasil berupa Hilbert Spectrum. Untuk memperoleh frekuensi dibutuhkan FFT sebagai metode yang dapat menentukan nilai frekuensi berdasarkan magnitudo. FFT juga bisa langsung memperoleh frekuensi tanpa harus melewati proses EMD dan Hilbert Transform tetapi langsung menggunakan data sinyal asli, dengan tujuan membandingkan nilai hasil frekuensi menggunakan HHT dan FFT saja.

- c. Metodologi untuk mencapai objektif ketiga adalah sebagai berikut:



Gambar 4 Alur untuk mencapai metodologi ketiga

Pada setup alat, alat ditempelkan pada sisi sebelah kiri dan kanan pada jembatan, setelah alat ditempelkan data diambil menggunakan truk Scania 1:14 RC dengan berat truk 7,5kg, 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 10 kali percobaan. Setelah pengambilan data, data di proses dengan cara memotong data agar data menjadi lebih akurat pada implementasi algoritma, kemudian pada implementasi algoritma, algoritma yang digunakan adalah HHT dan FFT untuk memperoleh hasil berupa nilai frekuensi. Tahapan terakhir adalah memvalidasi hasil dimana membandingkan nilai frekuensi menggunakan HHT dan FFT untuk memperoleh nilai terbaik.

Dataset Pengujian Jembatan SDOF

Data diambil menggunakan truk Scania 1:14 RC dengan berat truk 7,5kg, 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 10 kali percobaan.

- Desain penempatan sensor *Node* pada eksperimen ini berjumlah delapan sensor *Node* dengan peletakan dibagian kiri jembatan sebanyak empat sensor *Node* dan dibagian kanan jembatan sebanyak empat sensor *Node*.
- Dari kedelapan sensor *node* kemudian diaktifkan dan dihubungkan pada Basestation, selanjutnya data yang sudah diterima pada Basestation disimpan didalam sistem.
- Skenario beban truk dilakukan dengan dua macam yaitu kondisi beban truk kosong dan beban truk penuh (8kg), setiap kondisi dilakukan sebanyak 10 kali dari setiap skenario jembatan normal dan skenario jembatan rusak.
- Sensor *Node* akan mengirim data rekaman aktivitas getaran jembatan dengan rentang waktu tiap 0.01s.

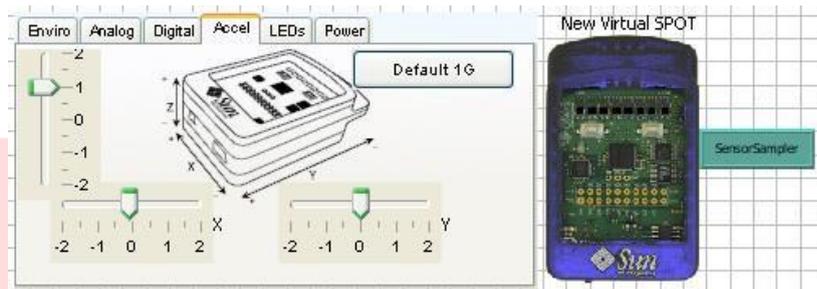
Skenario Pengujian

1. Pengujian Menggunakan HHT
Menentukan nilai frekuensi menggunakan HHT dari 10 kali percobaan dengan menggunakan 8 sensor
2. Pengujian Menggunakan FFT
Menentukan nilai frekuensi menggunakan FFT dari 10 kali percobaan dengan menggunakan 8 sensor

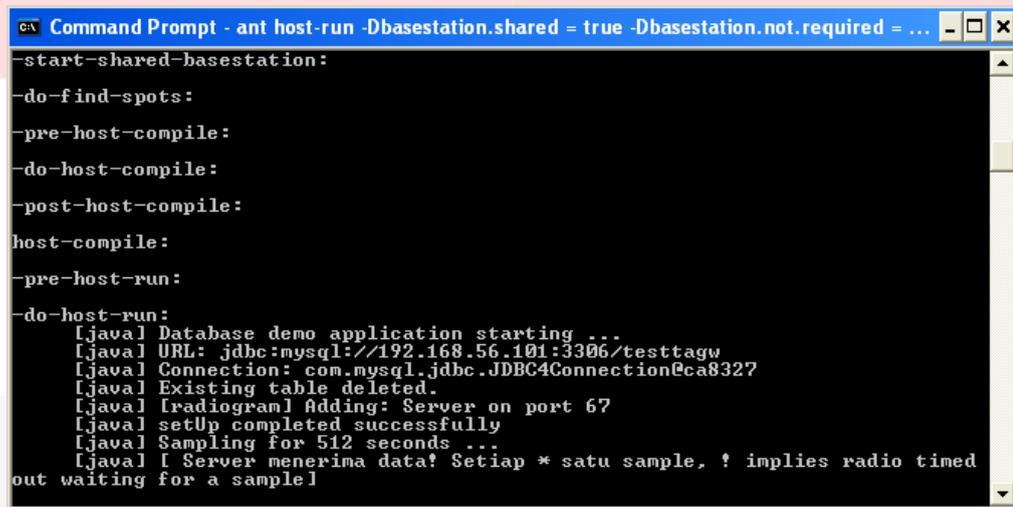
4. Evaluasi

4.1 Hasil Pengujian Sensor Sunspot Solarium

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. Solarium menampilkan Sensor SunSPOT virtual dengan sensor panel yang dapat mengatur input sensor potensial misalnya nilai Accelerometer pada sumbu x.

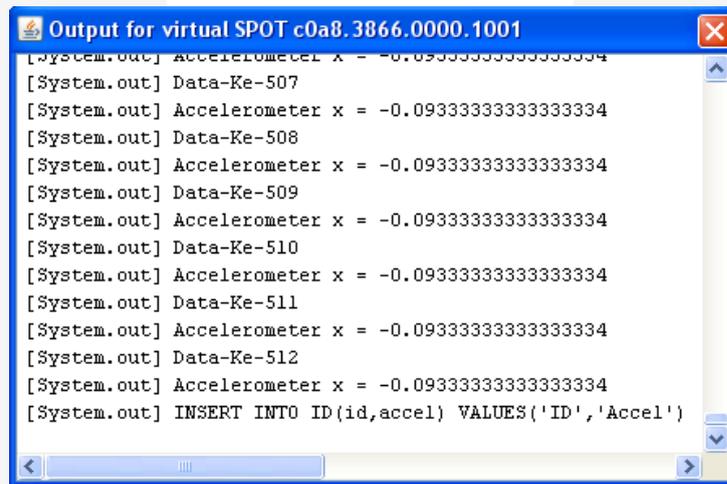


Gambar 5 Display Sensor Panel



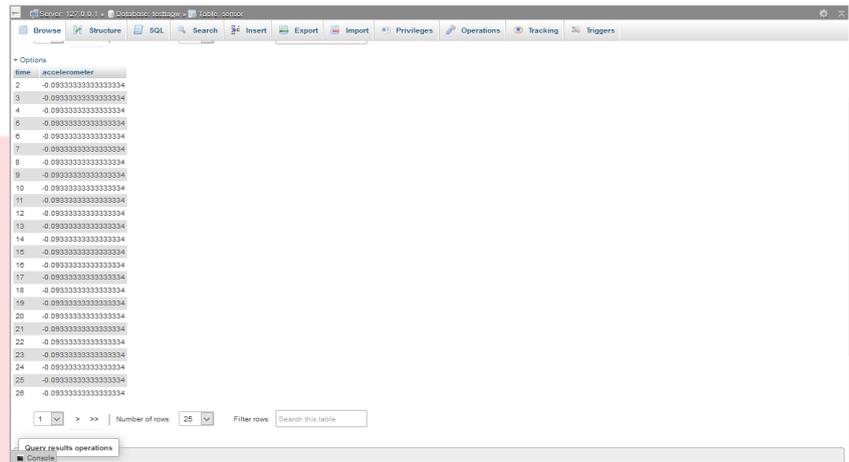
Gambar 6 Server Siap Menerima Data

Pada gambar 6 diatas menunjukkan bawa sensor SunSpot siap untuk diambil datanya sampai 512 sample, dan server pun siap untuk menerima data dari setiap satu kali sample. Hasil data yang diambil yaitu 512 sample.



Gambar 7 Display Application Output

Hasil keluaran dari nilai accelerometer pada sumbu x yang akan dikirimkan ke sink node hingga 512 sample data accelerometer.



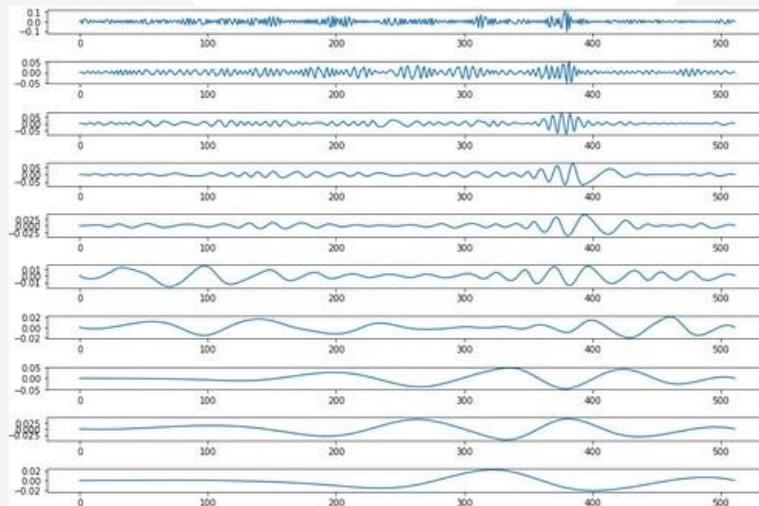
Gambar 8 Data di Server

Didalam output virtual di SunSpot Solarium adalah display untuk melihat nilai data yang diambil dari setiap satu kali sample hingga data berhasil diambil dan disimpan ke dalam server, pada tampilan server terdapat nilai accelerometer pada setiap satu sample data sampai 512 data.

4.2 Hasil Pengujian

a. Hasil IMF sinyal dengan Emperical Mode Decomposition

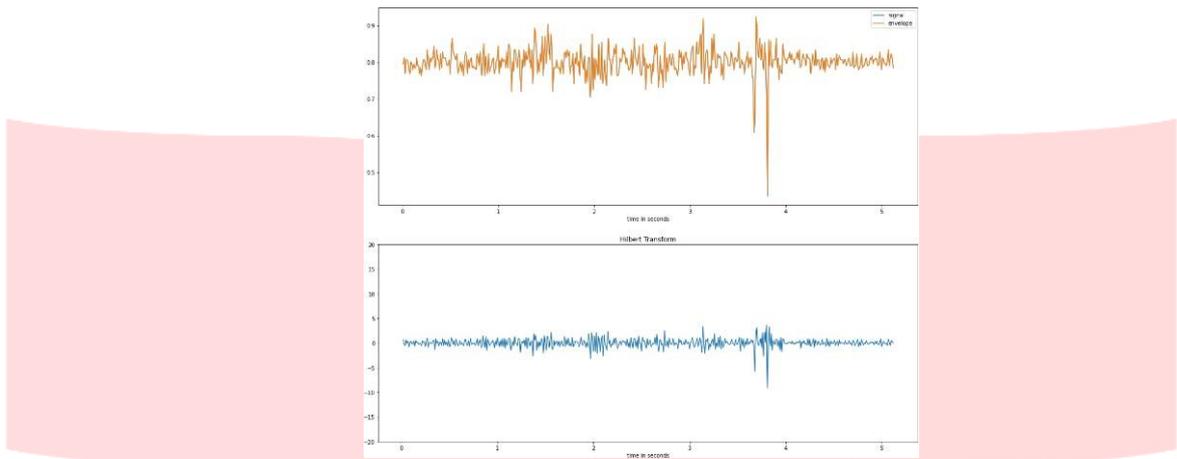
Berikut ini hasil preprocessing yang dilakukan menggunakan EMD



Gambar 9 Grafik IMF

b. Hasil Hilbert Transform

Berikut adalah hasil dari *Hilbert Transform (HT)*.

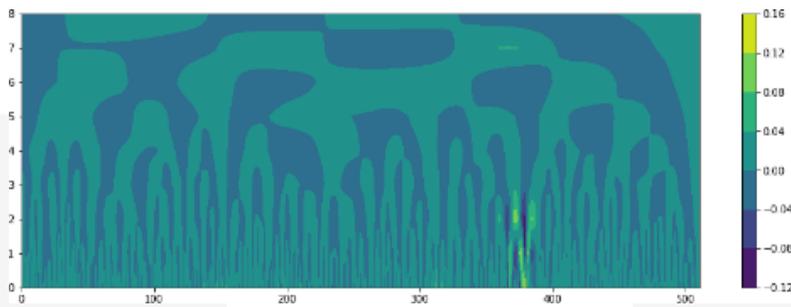


Gambar 10 Grafik Hilbert Transform

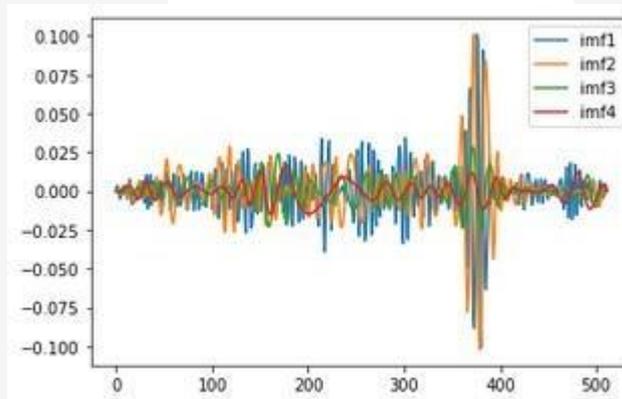
Sinyal yang digunakan yaitu dari sinyal raw lalu ditransformasi menjadi HT.

c. Hasil Hilbert Huang Transform

Berikut adalah hasil dari Hilbert Spectrum



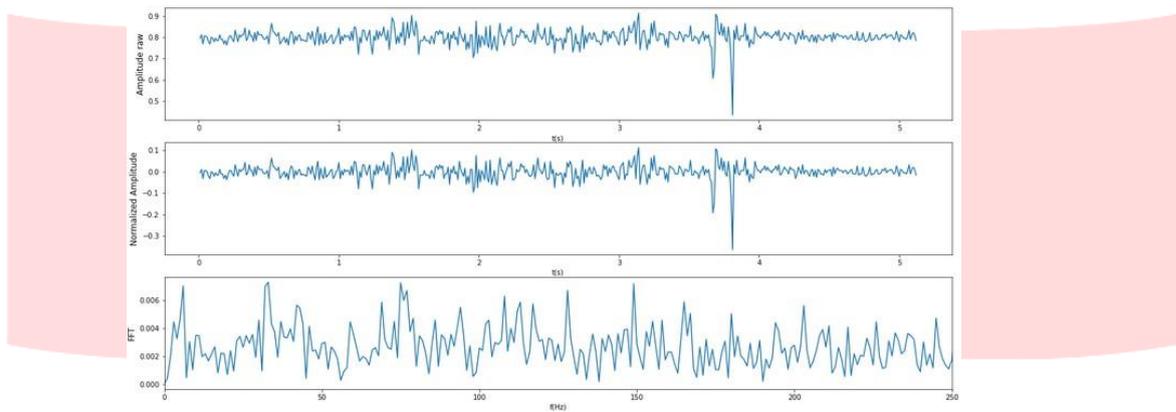
Gambar 11 Hilbert Spectrum



Gambar 12 Grafik didalam Hilbert Spectrum

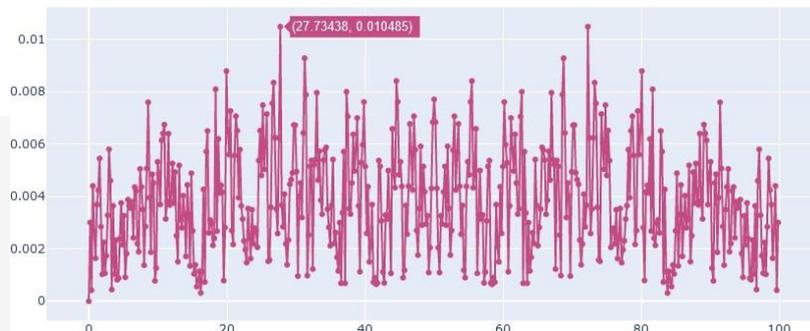
Hasil HHT adalah gabungan dari sinyal HT dan IMF, lalu menghasilkan empat level pada IMF, dan dikelompokan menjadi satu di *Hilbert Spectral Analysis (HSA)*. Hilbert Spectrum mempunyai frekuensi, waktu, dan energi. Pada sisi sebelah kanan dimana setiap energi mempunyai warna yang berbeda-beda.

- d. Hasil Frekuensi
Berikut Hasil FFT



Gambar 13 Grafik FFT

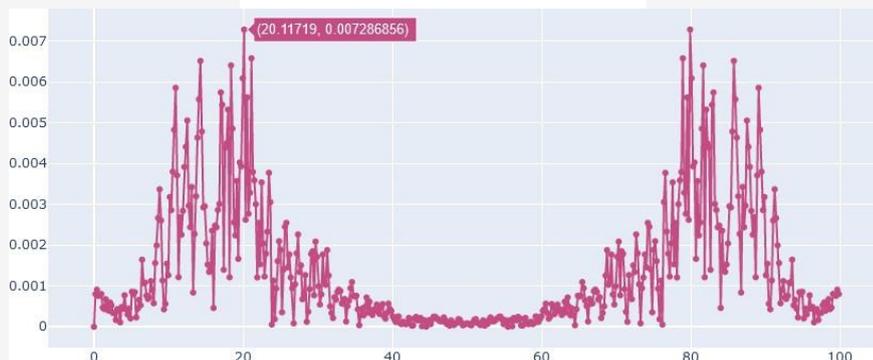
- e. Berikut Hasil Frekuensi FFT



Gambar 14 Grafik Frekuensi FFT

Hasil frekuensi dari FFT ialah 27.73 Hz dan Magnitudo 0.010485

- f. Berikut Hasil Frekuensi HHT



Gambar 15 Grafik Frekuensi HHT

Hasil frekuensi dari HHT ialah 20.11 Hz dan Magnitudo 0.007287

4.1.2 Hasil dan Pembahasan

Proses pencarian IMF dari HHT digunakan untuk mencari nilai IMF akhir yang telah dilakukan transformasi dengan menggunakan HT. Dan untuk Frekuensi acuan disini menggunakan data yang sudah diperoleh dari Teknik Sipil.

Table 1 Frekuensi Acuan

Frekuensi Acuan			
Kondisi Jembatan	Lokasi Kerusakan	Beban Truk	Frekuensi (cycl/sec)
100%	-	0	11.22053
75%	0.25 bentang	0	11.15803

a. Kondisi Jembatan Berstruktur Normal

Table 2 Kondisi Jembatan SDOF Berstruktur Normal

Kondisi Jembatan Normal				
sensor	HHT (Hz)	MAGNITUDE	FFT (Hz)	MAGNITUDE
1	14.47266	0.006918	16.07422	0.008785733
2	15.74219	0.008352	19.88281	0.010149916
3	18.22266	0.006664	24.25781	0.00897838
4	18.02734	0.006948	24.84375	0.011325048
5	17.34375	0.007099	26.11797	0.021692681
6	17.8711	0.007077	25.54688	0.01034193
7	17.38281	0.006202	15.9375	0.008473895
8	15.89844	0.007464	7.65625	0.010404061

Table 3 Kondisi Jembatan SDOF Berstruktur Normal Sekali Percobaan

Hilbert Huang Transform			
Jembatan Normal			
	frekuensi	magnitudo	waktu
sensor 1	14.84375	0.006301595	0.77
sensor 2	17.96875	0.008372737	0.93
sensor 3	22.85156	0.005107823	1.18
sensor 4	11.13281	0.006276529	0.58
sensor 5	11.32813	0.005366934	0.59
sensor 6	21.48438	0.007268094	1.11
sensor 7	21.67969	0.006102628	1.12
sensor 8	12.69531	0.008923659	0.66
rata-rata	16.74805	0.006715	0.8675

Berdasarkan table diatas hasil rata-rata frekuensi dari HHT dan FFT setelah didapatkan masing-masing frekuensi dari setiap sensor dengan skenario jembatan berstruktur normal, pada rata-rata dari 10 kali percobaan bahwa nilai frekuensi terbaik berada dengan nilai frekuensi HHT 17.38 Hz dan nilai frekuensi FFT 15.93 Hz. Maka dapat dilihat bahwa data yang diambil tidak berbeda jauh hanya

berbeda 1.44 Hz. Sedangkan untuk sekali percobaan frekuensi rata-rata yang di hasilkan yaitu 16.7480 Hz dan untuk waktu dari rata-rata setiap sensor 0.8675 m/s.

b. Kondisi Jembatan Berstruktur Rusak

Table 4 Kondisi Jembatan SDOF Berstruktur Rusak

Kondisi Jembatan Rusak				
sensor	HHT	MAGNITUDE	FFT	MAGNITUDE
1	17.109376	0.011197888	20.625001	0.014296902
2	16.757814	0.017397451	19.131249	0.0271562
3	17.207034	0.010106055	23.339847	0.013185409
4	15.585938	0.011239394	23.57422	0.01508785
5	14.257814	0.008434569	17.9101568	0.011397538
6	16.386721	0.00904652	15.60547	0.012705065
7	16.503908	0.006050001	29.121095	0.008166929
8	17.597657	0.006794884	16.5429683	0.010104453

Table 5 Kondisi Jembatan SDOF Berstruktur Rusak Sekali Percobaan

Hilbert Huang Transform			
Jembatan Rusak			
	frekuensi	magnitudo	waktu
sensor 1	13.28125	0.013021162	0.69
sensor 2	18.75	0.009476681	0.97
sensor 3	16.6015625	0.010435997	0.86
sensor 4	14.0625	0.009760219	0.73
sensor 5	13.4765625	0.013413171	0.7
sensor 6	16.6015625	0.00876738	0.86
sensor 7	17.7734375	0.005585285	0.92
sensor 8	16.796875	0.0059987	0.87
rata-rata	15.91796875	0.009557324	0.825

Berdasarkan table diatas hasil rata-rata frekuensi dari HHT dan FFT setelah didapatkan masing-masing frekuensi dari setiap sensor dengan skenario jembatan berstruktur rusak, pada rata-rata dari 10 kali percobaan bahwa nilai frekuensi terbaik berada dengan nilai frekuensi HHT 16.38 Hz dan nilai frekuensi FFT 15.60 Hz. Maka dapat dilihat bahwa data yang diambil tidak berbeda jauh hanya berbeda 0.78 Hz. Sedangkan untuk sekali percobaan frekuensi rata-rata yang di hasilkan yaitu 15.9179 Hz dan untuk waktunya dari setiap rata-rata 0.825 m/s.

5. Kesimpulan

Hasil pengujian dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil dari SunSpot Solarium memiliki kinerja yang sangat baik untuk melakukan pengambilan data pada sistem sensor accelerometer dan sink node, data yang dihasilkan yaitu data accelerometer sebanyak 512 data sample dan waktu sampling adalah 512 detik. Perolehan nilai hasil rata-rata frekuensi dari masing-masing HHT dan FFT di setiap percobaan, maka untuk model terbaik dari kondisi jembatan berstruktur normal didapat dengan model terbaik yaitu dengan nilai frekuensi HHT 17.38 Hz dan nilai frekuensi FFT 15.93 Hz, sedangkan untuk model terbaik dari kondisi jembatan berstruktur rusak didapat dengan model terbaik dengan nilai frekuensi HHT 16.38 Hz dan nilai frekuensi FFT 15.60 Hz. Sedangkan hasil rata-rata nilai frekuensi untuk setiap kali percobaan pada kondisi

jembatan berstruktur normal untuk HHT sebesar 16.7480 Hz dan untuk waktu dari rata-rata setiap sensor 0.8675 m/s dan untuk kondisi jembatan berstruktur rusak yaitu 15.9179 Hz dan untuk waktunya dari setiap rata-rata 0.825 m/s. Waktu yang dihasilkan dari HHT ialah waktu dari setiap sensor dimana frekuensi muncul di waktu beberapa dengan satuan m/s , maka dapat dilihat bahwa jembatan dengan kekakuan yang semakin rendah, maka frekuensi yang dihasilkan semakin besar.

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] R. Mustofa, "Analisis Periode Getaran dan Redaman Struktur Jembatan Teksas Berdasarkan Data Pengukuran Vibrasi," *Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia*, p. 9, 2011.
- [3] W. F. Darmawan, R. Suryanita and D. Z., "Monitoring Kesehatan Struktur Rangka Gedung Tidak Beraturan Berdasarkan Hasil Sensor Akselerometer," *Jom FTEKNIK*, p. 1, 2017.
- [4] C. Bo, Z. Sheng-lin and L. Peng-yun, "Application of Hilbert-Huang Transform in Structural Health Monitoring: A State-of-the-Art Review," *Mathematical Problems in Engineering*, p. 2, 2014.
- [5] A. B. Noel, A. Abderrazak, E. Tarek, H. A. Mohamed, B. Ahmed and S. S. Mohamed, "Structural Health Monitoring Using Wireless Sensor Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE*, p. 14, 2017.
- [6] S. Wei, L. Dongsheng, Z. Shuaifang and O. Jinping, "Analysis of wave motion in one-dimensional structures through fast-Fourier-transform-based wavelet finite element method," *Journal of Sound and Vibration*, pp. 370-371, 2017.
- [7] J. M. J and R. C. J., "Damage Identification of Bridge Structures Using the Hilbert Huang Transform," *Departement of Civil and Environmental Engineering, Technical University of Catalonia (BarcelonaTech)*, 2018.
- [8] O. Sun, "Sun SPOT Programmer's Manual," *Oracle Labs*, May 2011.
- [9] W. Piotr, L. Krystian and L. Grzegorz, "Monitoring Of Cutting Conditions With The Empirical Mode Decompositions," *Advances in Science and Technology Research Journal*, pp. 96-101, 2017.
- [10] G. Nicholas F, M. Adam J and V. Gareth A, "Application of the Hilbert-Huang transform in the identification of frequency synchronisation in transonic aeroelastic systems," *School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering*, pp. 1-5, 2019.
- [11] M. D. Maja and A. Samir, "A new approach for df/dt and active power imbalance in power system estimation using Huang's Empirical Mode decomposition," *Electrical Power and Energy Systems*, pp. 63-65, 2019.
- [12] S. Danqing, L. Xiaoli, H. Jin and Z. Jianmin, "Energy-Based analysis of seismic failure mechanism of a rock slope with discontinuities using Hilbert-Huang Transform and marginal spectrum in the time-frequency domain," *Springer-Verlag GmbH Germany part of Springer Nature 2020*, p. 1.
- [13] C. Mauricio, C. V. Mahmet and V. Senem, "Design a Wireless Vision Sensor For Object Tracking in Wireless Vision Sensor Networks," *CSE Conference and Workshop Papers*, p. 5, 2008.