

Estimasi Rasio Redaman dan Moda Osilasi Menggunakan Metode Hilbert-Huang Transform (HHT) pada Two Area Four Machine (TAFM) System

Puji Ayuning Lestari¹, Khairudin², Herri Gusmedi³, Lukmanul Hakim⁴

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Lampung, Lampung, Indonesia
Penulis korespondensi: khairudin@eng.unila.ac.id

Abstrak- Osilasi sistem tenaga merupakan fenomena stabilitas dinamis pada sistem tenaga. Osilasi pada sistem tenaga ini dikarenakan adanya variasi sudut *rotor* pada generator yang disebabkan oleh perubahan variasi pembebanan dan pembangkit. Osilasi sistem tenaga apabila dibiarkan terus-menerus dengan rasio redaman yang buruk maka kestabilan dinamis sistem akan terganggu. Diperlukan adanya mitigasi dini supaya sistem tetap berada dalam kondisi stabil. Pendekatan *Hilbert-Huang Transform* digunakan untuk menganalisa stabilitas dinamis pada suatu sinyal yang mengandung moda osilasi dan rasio redaman pada sinyal *stasioner* maupun *non-stasioner*. *Two Area Four Machine System* merupakan suatu sistem dengan dua area dengan masing-masing memiliki dua generator yang dihubungkan melalui *weak tie line*. Simulasi dengan metode *Hilbert-Huang Transform* dilakukan pada model *Two Area Four Machine System* dengan memberikan gangguan berupa *short circuit* pada *weak tie line* untuk mendapatkan rasio redaman dan moda osilasi yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil estimasi menggunakan metode *eigenvalue* (sebagai referensi) dan metode *Complex Morlet-Continuous Wavelet Transform* untuk memvalidasi metode yang digunakan. Setelah dilakukan simulasi, maka didapatkan kesimpulan bahwa metode *Hilbert-Huang Transform* dapat digunakan untuk mengestimasi rasio redaman dan moda osilasi, dan setelah dilakukan perbandingan antara hasil estimasi dengan metode *eigenvalue*, *Complex Morlet-Continuous Wavelet Transform*, dan *Hilbert-Huang Transform* dapat dikatakan bahwa metode *Hilbert-Huang Transform* lebih praktis karena tidak memerlukan *setting bandwidth* seperti pada metode *Complex Morlet-Continuous Wavelet Transform*. Di sisi lain, metode *Hilbert-Huang Transform* memiliki kelemahan yaitu adanya *residu* yang mempengaruhi hasil estimasi dengan karakteristik sinyal tertentu.

Kata Kunci- rasio redaman, moda osilasi, *Hilbert-Huang Transform*, *Two Area Four Machine*

Abstract- The power system oscillation is a dynamic stability phenomenon in the power system. Oscillations in this power system are caused by variations in the rotor angle on the generator due to changes in loading and generating variations. If the power system oscillations are allowed to continue with a poor damping ratio, the dynamic stability of the system will be disturbed. Early mitigation is needed so that the system remains in a stable condition. The Hilbert-Huang Transform approach was used to analyze the dynamic stability of a signal containing oscillation modes and attenuation ratios for both stationary and non-stationary signals. Two Area Four Machine System is a system with two areas with each having two generators that are connected through a weak tie line. Simulation with the Hilbert-Huang Transform method was carried out on the Two Area Four Machine System model by providing interference in the form of a short circuit on the weak tie line to get the damping ratio and oscillation mode which was then compared with the estimation results using the eigenvalue method (as a reference) and the Complex Morlet method. -Continuous Wavelet Transform to validate the method used. After the simulation, it was concluded that the Hilbert-Huang Transform method can be used to estimate the damping ratio and the oscillation mode. A comparison between the estimation results with the eigenvalue, Complex Morlet-Continuous Wavelet Transform, and Hilbert-Huang Transform methods showed that the Hilbert-Huang Transform method Hilbert-Huang Transform is more practical because it does not require bandwidth settings as in the Complex Morlet-Continuous Wavelet Transform method. On the other hand, the Hilbert-Huang Transform method has a weakness, namely the presence of residues that affect the estimation results with certain signal characteristics

Keywords- damping ratio, oscillation mode, *Hilbert-Huang Transform*, *Two Area Four Machine*

I. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya permintaan akan energi listrik, maka suatu sistem tenaga listrik dari waktu ke waktu mengalami peningkatan, dengan terhubungnya beberapa unit pembangkit dengan tipe yang bervariasi dan semakin meningkatnya kapasitas saluran transmisi untuk memenuhi kebutuhan akan

konsumsi energi listrik. Dengan semakin kompleksnya suatu sistem tenaga listrik, maka akan timbul berbagai permasalahan salah satunya adalah stabilitas sistem tenaga seperti stabilitas frekuensi, stabilitas tegangan, maupun stabilitas *small signal* [1]. Permasalahan pada stabilitas *small signal* berupa osilasi yang terdapat pada saluran transmisi dan tidak bisa dieliminasi namun bisa diredam. Osilasi frekuensi termasuk dalam stabilitas dinamis pada sistem tenaga berupa penyimpangan nilai frekuensi sistem dengan *magnitude* yang rendah pada saluran transmisi yang menghubungkan antara dua subsistem dan ini dapat mempengaruhi kemampuan *transfer* daya pada saluran.

Osilasi frekuensi ini terjadi dikarenakan adanya perbedaan sudut rotor generator antara dua subsistem yang terhubung melalui saluran transmisi. Osilasi frekuensi pada sistem tenaga, jika tidak mampu teredam secara sempurna atau memiliki redaman yang buruk dan jika dibiarkan terus-menerus maka akan timbul penyimpangan nilai frekuensi dari nilai nominal sistem sehingga sistem akan mengalami ketidakserempakan dan dampak terburuknya banyak pembangkit yang melepaskan diri dari sistem. Sebagai mitigasi awal adanya ketidakserempakan pada sistem tenaga, maka perlu dilakukan analisa kestabilan dinamis yang disebabkan oleh osilasi frekuensi. Dalam analisa terdapat dua metode yang digunakan yaitu *modelling base* dan *measurement base* yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. *Modelling base* dapat menghasilkan estimasi yang presisi namun dalam permodelannya memerlukan parameter sistem yang sangat kompleks, dan apabila salah satu parameter yang dibutuhkan mengalami kekurangan maka menyebabkan hasil permodelan sistem berbeda dengan sistem secara *real* [2]. Sedangkan analisa dengan *measurement base* hanya memerlukan hasil pengukuran tanpa memerlukan parameter-parameter seperti pada *modelling base*, dimana hasil pengukuran akan diproses menggunakan *signal processing* untuk menentukan rasio redaman dan moda osilasi pada sistem.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa kestabilan dinamis pada TAFM System dengan mendeteksi moda osilasi dan rasio redaman pada sistem di area yang berbeda dengan jenis analisa *measurement base* menggunakan metode HHT. Kemudian penelitian ini bertujuan membandingkan hasil estimasi rasio redaman dan moda osilasi dengan nilai eigen (nilai *referensi*) dengan estimasi menggunakan metode HHT dan CM-CWT.

II. STUDI PUSTAKA

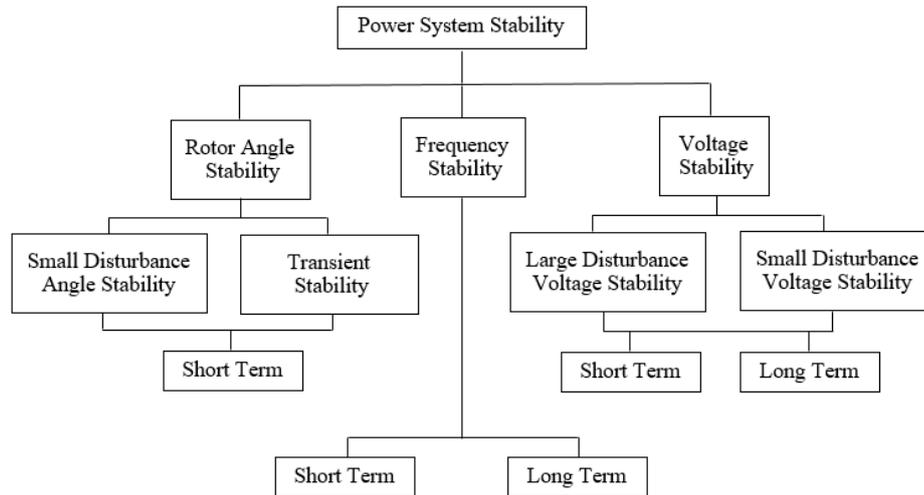
A. Power System Small Signal Stability

Sistem interkoneksi merupakan suatu sistem tenaga dengan skala yang sangat besar dan memiliki kompleksitas yang sangat tinggi dengan terhubungnya beberapa unit tipr pembangkit yang bervariasi dan kapasitas saluran transmisi yang mengalami peningkatan untuk memenuhi permintaan beban yang bervariasi. Semakin kompleksnya suatu sistem maka akan menimbulkan berbagai permasalahan, salah satunya stabilitas pada sistem tenaga. Stabilitas sistem tenaga bermakna kemampuan suatu sistem tenaga untuk kembali pada kondisi normal sesaat setelah terjadi gangguan, baik itu gangguan yang besar (*short circuit* pada saluran transmisi) maupun gangguan kecil (perubahan pembebanan pada sistem). Menurut Prabha Kundur sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 1, stabilitas pada sistem tenaga diklasifikasikan menjadi 3 yaitu:

- *Rotor Angle Stability*, yaitu kemampuan suatu sistem untuk menjaga mesin-mesin yang terhubung dalam sistem untuk selalu dalam keadaan sinkron.
- *Frequency Stability*, yaitu kemampuan suatu sistem untuk menjaga nilai frekuensi untuk tetap normal sesaat setelah terjadinya gangguan pada sistem.
- *Voltage Stability*, yaitu kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan nilai tegangan pada batas toleransi saat terjadinya *kontingensi* [3].

Small signal stability merupakan jenis kestabilan dinamis yang termasuk dalam klasifikasi *rotor angle stability* dan *frequency stability*. Dimana *small signal stability* berhubungan dengan kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan unit-unit mesin yang terhubung dalam suatu sistem supaya tetap berada dalam kondisi sinkron sesaat setelah terjadinya gangguan. Kata "*small*" mengindikasikan adanya gangguan dengan *magnitude* kecil dalam sistem yang berhubungan dengan sudut *rotor* antar mesin-mesin sinkron [4].

Dalam keadaan normal, terdapat kesetimbangan antara *input* dan *output* daya listrik pada unit pembangkit (generator). *Input* generator menghasilkan torka mekanis yang berlawanan arah dengan torka listrik, karena generator harus mensuplai beban. Adanya keseimbangan antara nilai torka mekanis dan listrik dapat mendukung suatu sistem berada dalam kondisi *steady state*. *Small signal stability* merupakan permasalahan yang disebabkan karena adanya gangguan sistem berupa variasi pembebanan dan pembangkitan yang menyebabkan daya *input* mekanis generator berubah secara lambat sedangkan daya *output* listrik berubah dengan cepat, hal ini akan mempengaruhi kecepatan *rotor*. Adanya perbedaan respon kecepatan maka timbul perbedaan keseimbangan *temporer* pada *rotor* sehingga mengalami percepatan maupun perlambatan dan menyebabkan perubahan sudut relatif *rotor* [3].



Gambar 1. Klasifikasi *Power System Stability* [3].

B. Osilasi pada Sistem Interkoneksi

Permasalahan *small signal stability* yaitu osilasi elektromekanis pada saluran transmisi yang terjadi akibat hilangnya keserempakan pada mesin sinkron yang terhubung pada sistem tenaga. Dimana osilasi ini merupakan permasalahan stabilitas sudut *rotor* yang berhubungan dengan sinkronisasi variasi sudut *rotor*. Ketika torka elektromekanis generator yang mulanya konstan kemudian mengalami perubahan yang disebabkan gangguan di saluran, dan ini akan menyebabkan beberapa generator yang terhubung dalam sistem interkoneksi kehilangan sinkronisasinya. Sehingga dengan gangguan ini dapat menghasilkan dua macam keadaan osilasi yaitu:

- Ketidaksinkronan yang berhubungan dengan sudut *deviasi rotor*.
- Tidak teredamnya osilasi yang berhubungan dengan *deviasi* kecepatan *rotor*.

Menurut Prabha Kundur, berdasarkan karakteristik interaksi maka moda osilasi elektromekanis dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

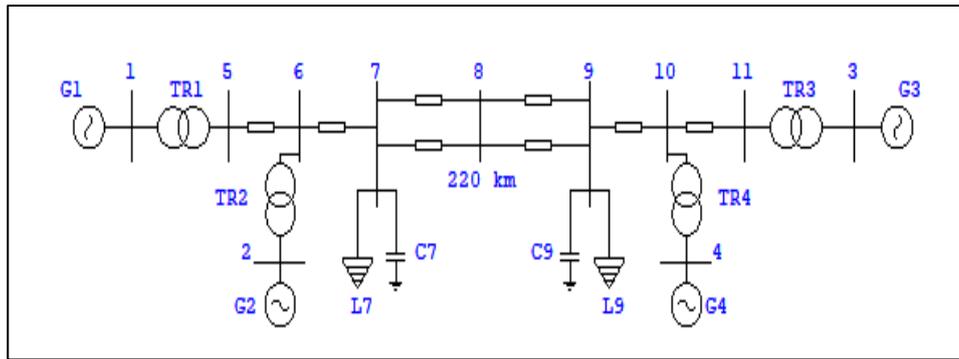
- *Inrerarea mode oscillation*, merupakan gabungan ayunan dari beberapa unit generator dalam suatu area yang melawan beberapa unit generator di area lain yang terhubung melalui *tie line*. Karena jarak antar dua area tersebut cukup jauh maka hubungan antar keduanya lemah sehingga osilasi frekuensi yang dihasilkan kecil yaitu antara 0.1 Hz-1.0 Hz [3].
- *Local mode oscillation*, merupakan ayunan dari beberapa unit generator yang terhubung dalam suatu area. Karena unit generator berada dalam area "*local*" maka hubungan antara generator kuat sehingga osilasi frekuensi yang dihasilkan yaitu 1.0 Hz-2.0 Hz [3].
- *Torsional mode oscillation*, berhubungan dengan adanya pergeseran rotasi antara komponen turbin dan generator yang disebabkan adanya interaksi *exciter control*, *governor*, dan *HVDC control* [3].
- *Control mode oscillation*, disebabkan karena kurang akuratnya *setting* pada *exciter*, *converter HVDC*, dan *static VAR compensator* [3].

Osilasi pada sistem disebabkan karena ketidaksinkronan pada sistem, dan diperlukan adanya redaman yang sempurna untuk setiap osilasi untuk menjaga kestabilan sistem tenaga.

C. Two Area Four Machine (TAFM) System

Dalam penelitian ini digunakan model TAFM System, dimana TAFM merupakan model sistem tenaga yang terdiri dari 4 mesin generator sinkron yang berada di area yang berbeda dan dihubungkan menggunakan *tie line*. Dimana dalam permodelan sistem TAFM terdapat 11 bus dengan 1 beban di masing-masing area.

Pada Gambar 2. dapat diketahui jarak antara dua area yang dipisahkan melalui *weak tie line* sepanjang 220 km dibatasi oleh bus 7 dan bus 9. Dimana dikedua bus tersebut merupakan bus beban (bus 7 dan bus 9). Jarak antara bus 6 dan bus 7 sama dengan jarak antara bus 9 dan bus 10 yaitu sepanjang 10 km, dan jarak antara bus 5 dan bus 6 sama dengan jarak antara bus 10 dan bus 11 yaitu sepanjang 25 km. Dimana TAFM ini merupakan sistem *interarea*.



Gambar 2. One Line Diagram Two Area Four Machine (TAFM) System

III. BAHAN DAN METODOLOGI

A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Laptop Acer Aspire E5-421-27R2 AMD E2.
2. Software Matlab R2015a.
3. Data Ayunan sudut rotor antara generator 1 dan generator 3 pada TAFM system.

B. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu HHT yang terdiri dari 2 bagian yaitu *Huang Transform* dan *Hilbert Transform* [5]. *Huang Transform* yang ada dalam transformasi ini disebut dengan *Empiris Mode Decomposition* (EMD) yang berperan untuk mendekomposisi sinyal menjadi beberapa *Intrinsic Mode Function* (IMF). Sehingga pada akhir proses EMD, maka sinyal $x(t)$ dapat dituliskan dengan persamaan:

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

Setelah sinyal didekomposisi menjadi IMF maka masing-masing IMF akan dianalisis menggunakan *Hilbert Transform* dengan membentuk *envelope* untuk menentukan frekuensi dan amplitude. $X(t)$ adalah sinyal IMF asli, maka hasil dari *Hilbert Transform* adalah $Y(t)$, dimana persamaannya yaitu:

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (2)$$

Pada persamaan (3), $Y(t)$ merepresentasikan bilangan imajiner dan $X(t)$ merepresentasikan bilangan *real* :

$$Z(t) = X(t) + jY(t) = a(t)e^{j\theta(t)} \quad (3)$$

Maka didapatkan nilai amplitudo sesaat, frekuensi sesaat, dan sudut phasa yaitu:

$$a(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t)} \quad (4)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (5)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{Y(t)}{X(t)} \quad (6)$$

Setelah melalui proses EMD maka sinyal IMF yang dihasilkan akan diproses dengan *Hilbert Transform* dan didapatkan nilai osilasi frekuensi. Untuk menentukan rasio redaman di setiap moda osilasi maka digunakan metode *curve fitting* pada kurva amplitudo osilasi, dimana persamaannya sebagai berikut:

$$a(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t)} = A \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (7)$$

Sehingga dilakukan persamaan (8) untuk mendapatkan laju penurunan logaritmik (α) dari persamaan (7) dari dan didapatkan frekuensi sudut dari penurunan sudut fasa, yang dapat dilihat pada persamaan (9) :

$$\ln a(t) = \alpha \cdot t + \ln A \tag{8}$$

$$\omega(t) = \frac{d\theta}{dt} = 2\pi f \tag{9}$$

Sehingga rasio redaman yang dihasilkan dapat dituliskan pada persamaaan berikut:

$$\zeta = \frac{-\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}} \tag{10}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Estimasi rasio redaman dan moda osilasi pada TAFM dengan nilai eigen

Estimasi rasio redaman dan moda osilasi berbasis nilai eigen dihitung menggunakan *toolbox* PSAT dengan mensimulasikan pemberian gangguan berupa *short circuit* pada *weak tie line* (pada bus 8) dengan variasi pembebanan. Dimana terdapat dua perlakuan, yaitu ketika beban 7 tetap dan beban 9 divariasikan (bertambah 5 MVA) dan ketika beban 7 divariasikan (bertambah 5 MVA) dan beban 9 tetap. Sehingga didapatkan hasil rasio redaman dan moda osilasi frekuensi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

TABLE I. ESTIMASI DENGAN METODE EIGEN KETIKA BEBAN 7 TETAP

No.	Beban 7 (MVA)	Beban 9 (MVA)	Eigen Value	ζ	f (Hz)
1.	100	90	-0.1535 + j3.0733	4.989	0.490
2.	100	95	-0.1366 + j3.1260	4.367	0.498
3.	100	100	-0.1274 + j3.1277	4.070	0.498
4.	100	105	-0.1213 + j3.1181	3.889	0.497
5.	100	110	-0.1187 + j3.0958	3.832	0.493

TABLE II. ESTIMASI DENGAN METODE EIGEN KETIKA BEBAN 9 TETAP

No.	Beban 7 (MVA)	Beban 9 (MVA)	Eigen Value	ζ	f (Hz)
1.	90	100	-0.1539 + j2.8906	5.316	0.461
2.	95	100	-0.1384 + j3.0270	4.568	0.482
3.	100	100	-0.1274 + j3.1277	4.070	0.498
4.	105	100	-0.1202 + j3.1999	3.754	0.510
5.	110	100	-0.1168 + j3.2478	3.595	0.517

B. Estimasi rasio redaman dan moda osilasi pada TAFM dengan metode HHT

Estimasi rasio redaman dan moda osilasi dengan metode HHT dihitung menggunakan data ayunan sudut *rotor* antara generator 1 yang terdapat di area yang berbeda dengan generator 3 yang berfungsi sebagai *slack bus*. Dimana dilakukan perlakuan yang sama yaitu ketika beban 7 tetap dan beban 9 divariasikan (bertambah 5 MVA) dan ketika beban 7 divariasikan (bertambah 5 MVA) dan beban 9 tetap. Sehingga didapatkan hasil rasio redaman dan moda osilasi frekuensi sebagaimana yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

TABLE III. ESTIMASI DENGAN METODE HHT KETIKA BEBAN 7 TETAP

No.	Beban 7 (MVA)	Beban 9 (MVA)	Hasil Estimasi	
			ζ	f (Hz)
1.	100	90	4.776	0.4869
2.	100	95	4.312	0.4900
3.	100	100	4.010	0.4911
4.	100	105	3.797	0.4906
5.	100	110	3.552	0.4890

TABLE IV. ESTIMASI DENGAN METODE HHT KETIKA BEBAN 7 TETAP

No.	Beban 7 (MVA)	Beban 9 (MVA)	Hasil Estimasi	
			ζ	f (Hz)
1.	90	100	5.340	0.4517
2.	95	100	4.520	0.4749
3.	100	100	4.010	0.4911
4.	105	100	3.677	0.5027
5.	110	100	3.502	0.5103

C. Perbandingan rasio redaman dan moda osilasi antara nilai eigen, metode HHT, dan CM-CWT.

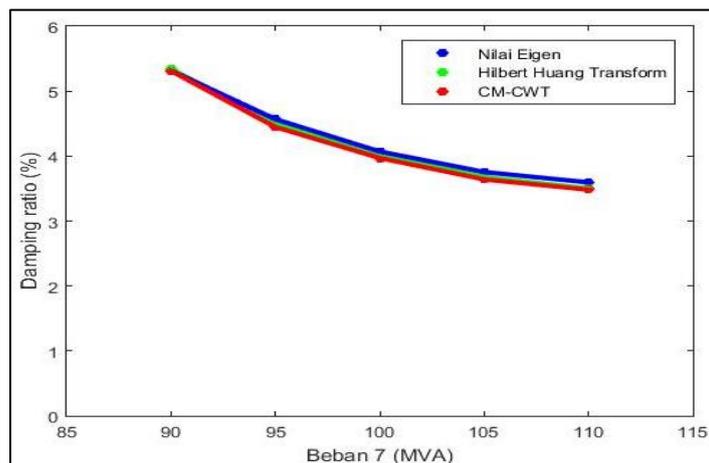
Setelah dilakukan estimasi dengan metode HHT, maka dilakukan perbandingan antara hasil estimasi dengan metode nilai eigen dan metode CM-CWT. Dengan perlakuan yang sama maka didapatkan perbandingan rasio redaman dan moda osilasi ketika beban 7 tetap pada Tabel dan grafik perbandingan sebagaimana pada Tabel 5 dan , serta Gambar 3 dan 4.

TABLE V. PERBANDINGAN ESTIMASI RASIO REDAMAN PADA MODEL TAFM BEBAN 7 TETAP

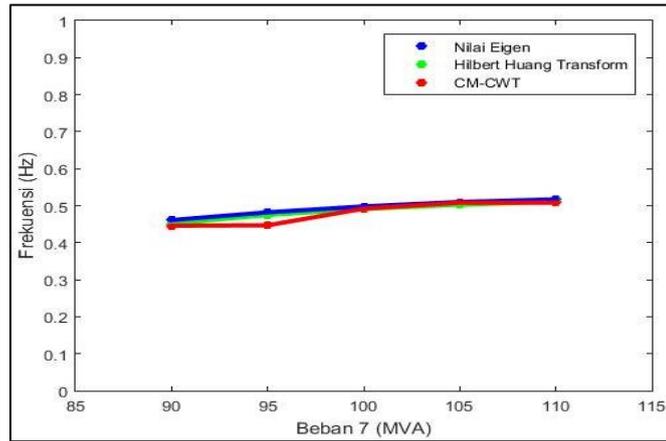
No.	Nilai Beban 7 (MVA)	Nilai Beban 9 (MVA)	Estimasi dan Selisih Rasio Redaman				
			Eigen	CM-CWT		HHT	
				Rasio Redaman	Galat (%)	Rasio Redaman	Galat (%)
1.	100	90	4.989	4.782	4.1491	4.776	4.2694
2.	100	95	4.367	4.291	1.5234	4.312	1.1024
3.	100	100	4.070	3.970	2.0044	4.010	1.2026
4.	100	105	3.889	3.742	2.9465	3.797	1.8441
5.	100	110	3.832	3.647	3.7082	3.552	5.6123

TABLE VI. PERBANDINGAN ESTIMASI MODA OSILASI PADA MODEL TAFM BEBAN 7 TETAP

No.	Nilai Beban 7 (MVA)	Nilai Beban 9 (MVA)	Estimasi dan Selisih Frekuensi				
			Eigen	CM-CWT		HHT	
				Frekuensi (Hz)	Galat (%)	Frekuensi (Hz)	Galat (%)
1.	100	90	0.4900	0.4920	0.4016	0.4869	0.6225
2.	100	95	0.4980	0.4920	1.2048	0.4900	1.6064
3.	100	100	0.4980	0.4920	1.2048	0.4911	1.3855
4.	100	105	0.4970	0.4920	1.0040	0.4906	1.2851
5.	100	110	0.4930	0.4920	0.2008	0.4890	0.8032



Gambar 3. Grafik perbandingan estimasi rasio redaman pada TAFM saat beban 7 tetap



Gambar 4. Grafik perbandingan estimasi moda frekuensi pada TAFM saat beban 7 tetap

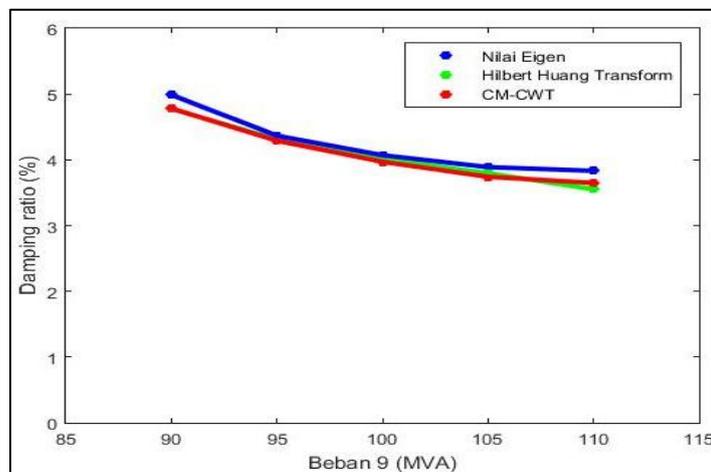
Dengan perlakuan yang sama maka didapatkan perbandingan rasio redaman dan moda osilasi ketika beban 9 tetap pada Tabel 7 dan 8, serta grafik perbandingan pada Gambar 5 dan 6

TABLE VII. PERBANDINGAN ESTIMASI RASIO REDAMAN PADA MODEL TAFM BEBAN 9 TETAP

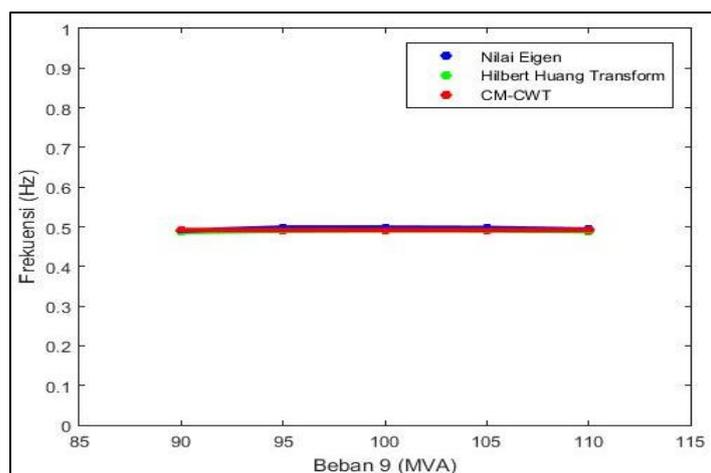
No.	Nilai Beban 7 (MVA)	Nilai Beban 9 (MVA)	Estimasi dan Selisih Galat Redaman				
			Eigen	CM-CWT		HHT	
				Rasio Redaman	Galat (%)	Rasio Redaman	Galat (%)
1.	90	100	5.3160	5.3120	0.0752	5.340	0.4515
2.	95	100	4.5680	4.4470	2.2761	4.520	0.9029
3.	100	100	4.0700	3.9700	1.8811	4.010	1.1287
4.	105	100	3.7540	3.6410	2.1257	3.677	1.4485
5.	110	100	3.5950	3.4820	2.1257	3.502	1.7494

TABLE VIII. TABEL VII. PERBANDINGAN ESTIMASI MODA OSILASI PADA MODEL TAFM BEBAN 9 TETAP

No.	Nilai Beban 7 (MVA)	Nilai Beban 9 (MVA)	Estimasi dan Galat Frekuensi				
			Eigen	CM-CWT		HHT	
				Frekuensi (Hz)	Galat (%)	Frekuensi (Hz)	Galat (%)
1.	90	100	0.4610	0.4460	2.9014	0.4517	1.7988
2.	95	100	0.4820	0.4470	6.7698	0.4749	1.3733
3.	100	100	0.4980	0.4920	1.1605	0.4911	1.3346
4.	105	100	0.5100	0.5080	0.3868	0.5027	1.4120
5.	110	100	0.5170	0.5080	1.7408	0.5103	1.2959



Gambar 5. Grafik perbandingan estimasi rasio redaman pada TAFM saat beban 9 tetap



Gambar 6. Grafik perbandingan estimasi moda frekuensi pada TAFM saat beban 9 tetap

Berdasarkan Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6, didapatkan grafik perbandingan antara estimasi rasio redaman dan moda osilasi dengan menggunakan metode nilai eigen, HHT, dan CM-CWT yang saling bersinggungan, sehingga dapat diketahui bahwa metode CM-CWT dan HHT dapat digunakan untuk mengestimasi rasio redaman dan moda osilasi pada TAFM.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi metode HHT pada TAFM system dengan data ayunan *rotor* antara generator yang berbeda area didapatkan bahwa metode HHT dapat digunakan untuk mengestimasi rasio redaman dan moda osilasi pada TAFM system, dan setelah dilakukan perbandingan hasil estimasi antara metode nilai eigen, CM-CWT, dan HHT didapatkan bahwa metode HHT lebih praktis karena tidak memerlukan *setting bandwidth* seperti pada metode CM-CWT, namun di sisi lain metode HHT memiliki kekurangan yaitu adanya *residu* yang mempengaruhi hasil estimasi pada gelombang dengan karakteristik tertentu.

REFERENSI

- [1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability", IEEE Transactions on Power System, Vol.19, No.2, May.2004.
- [2] D. Lin, "Methods for Analyzing Power System Small Signal Stability", Faculty of Engineering and Applied Science, University of Newfoundland, Canada, Master Thesis, 2015.
- [3] P. Kundur, Introduction to the Power System Stability Problem, Power System Stability and Control. New York: McGraw Hill, 1994
- [4] Khairudin, "Synchronphasor Measurement Based Mode Detection and Damping Estimation in Power System Using FFT Continuous Wavelet Transform Approach", Departement of Electrical and Electronic Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kyushu, Ph.D. Thesis, 2016.
- [5] D.S. Laila, A.R. Messina, and B.C. Pal, "A Refind Hilbert-Huang Transform with Applications to Interarea Oscillation Monitoring", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.24, No.2, May.2009.