

Analysis of Natural Frequency Changes in Palm Trees Caused by Geometric and Morphologic Aspects

Radon Dhelika^{1,*}, Anantama Karis¹ dan Wahyu Nirbito¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia - Jakarta

*Korespondensi: radon@eng.ui.ac.id

Abstract. Tree is an important part of urban ecology. However, the condition of trees from time to time should be routinely observed in order to avoid the case of falling trees that often take casualties. There are several types of tree defects that can trigger the fall of a tree, such as decay, cancer, crack, etc. So far, there have been several methods to detect such defects as an early indicator of tree condition, for example by acoustic tomography, intrusive indentation, etc. In this study, a detection method is proposed by using natural frequency analysis (modal analysis) of a tree. The selected tree is palm tree. As an initial step, an analysis is required to determine the changes occurring in the natural frequency of palm trees that are affected by, 1) geometric aspects, such as diameter and tree height, 2) morphological aspects, such as the presence or absence of decay and its position on the tree. Natural frequency analysis is done with the help of FEM software. The result shows that the change in natural frequency is not very significant, in the range of 10% to 11%. Therefore, to be able to identify the condition of a tree, further research is needed.

Abstrak. Pohon merupakan bagian penting dari ekologi perkotaan. Namun, kondisi pohon dari waktu ke waktu harus rutin diamati agar tidak terjadi kasus pohon tumbang yang seringkali memakan korban. Ada beberapa tipe kerusakan pohon yang bisa memicu tumbangnya suatu pohon, seperti kelapukan, kanker, keretakan (crack), dll. Selama ini, sudah ada beberapa metode untuk mendeteksi kerusakan-kerusakan tersebut sebagai indikator awal kondisi pohon, misalnya dengan acoustic tomography, intrusive indentation, dll. Pada penelitian ini, diajukan suatu metode deteksi menggunakan analisis frekuensi alamiah (modal analysis) suatu pohon. Pohon yang dipilih adalah pohon Palembang. Sebagai tahap awal, diperlukan analisis untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada frekuensi alamiah pohon Palembang yang dipengaruhi oleh, 1) aspek geometris, seperti diameter dan tinggi pohon, dan 2) aspek morfologis, seperti ada tidaknya kelapukan dan keretakan, dan posisinya pada pohon. Analisis frekuensi alamiah dilakukan dengan bantuan software FEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan besaran frekuensi alamiah tidak terlalu signifikan dengan adanya kerusakan pada suatu pohon. Perubahan yang terjadi hanya di sekitar 10% sampai 11%, sehingga untuk dapat mendeteksi kondisi pohon dengan analisis frekuensi alamiah diperlukan penelitian lebih lanjut.

Kata kunci: vibrasi, modal analysis, pohon, condition monitoring

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pohon merupakan suatu komponen penting pada setiap daerah perkotaan karena memiliki pengaruh yang besar terhadap kualitas lingkungan dibandingkan dengan tanaman yang lainnya. Maka dari itu, kondisi pohon menjadi hal yang perlu diperhatikan. Kondisi kekuatan fisik yang kurang baik pada pohon dapat mengakibatkan pohon tersebut tumbang. Kejadian pohon tumbang ini dapat menyebabkan banyak kerugian mulai dari kerugian ekonomi hingga kerugian nyawa. Sudah banyak kejadian pohon tumbang yang terjadi dan memakan lebih dari 1 korban, seperti contoh pada tanggal 4 Februari 2017 pohon tumbang di daerah dekat Universitas Indonesia menimpa sebuah sepeda motor yang sedang melintas mengakibatkan 2 orang meninggal dunia [1].

Kejadian tumbangnya suatu pohon dapat dipicu oleh banyak faktor, mulai dari faktor eksternal

seperti angin, faktor internal dari pohon tersebut seperti bentuk pertumbuhan dari pohon yang tidak ideal hingga campuran dari berbagai macam faktor yang mempengaruhi pohon tersebut. Terdapat 7 jenis cacat (defect) yang dapat diidentifikasi pada pohon, diantaranya pelapukan (decayed wood), keretakan (crack), masalah pada akar (root problems) [2]. Kondisi cacat atau kerusakan pada pohon dapat dijadikan sebuah tanda untuk memprediksi tumbangnya suatu pohon. Walaupun pohon yang sehat juga bisa tumbang, namun pohon yang mengalami kecacatan atau kerusakan mempunyai potensi tumbang yang lebih besar. Maka dari itu, perlu adanya identifikasi kondisi pohon agar potensi tumbang suatu pohon dapat di prediksi dengan baik.

Sudah ada berbagai macam metode untuk mengidentifikasi kondisi suatu pohon, mulai dari metode konvensional dengan menginspeksi kondisi fisik dari pohon, hingga dengan menggunakan

bantuan berbagai macam alat seperti yang paling sering digunakan adalah metode akustik (Acoustic Tomography). Metode konvensional merupakan metode yang paling mudah karena hanya dengan menginspeksi kondisi fisik akan tetapi metode ini memiliki banyak keterbatasan. Metode akustik merupakan sebuah metode yang sering digunakan dengan menggunakan prinsip pengukuran waktu transmisi gelombang dari sensor yang di pasang di sekitar batang pohon [3]. Metode ini menghasilkan gambar tomografi yang menggambarkan kondisi fisik dari pohon [4]. Namun pengambilan data dengan metode ini tidak mudah, karena harus dilakukan pengukuran di sepanjang ketinggian geometri pohon.

Tujuan dalam penelitian ini, ingin mencoba suatu metode dengan memanfaatkan teknik condition monitoring untuk dapat mengidentifikasi kondisi dari pohon tersebut. Dengan menggunakan metode ini nantinya akan didapatkan informasi mengenai frekuensi alamiah (natural frequency) dari beberapa model pohon. Dengan menggunakan metode ini diharapkan dapat bisa mengidentifikasi kondisi pohon dengan lebih efisien.

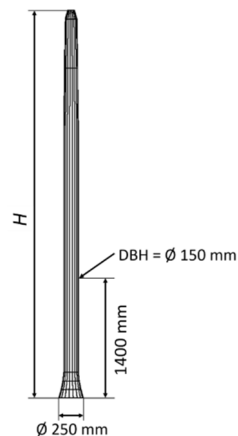
Frekuensi alamiah dari pohon dapat diprediksi dengan mempertimbangkannya sebagai cantilever yang berosilasi secara bebas. Sehingga persamaan getaran bebas yang digunakan dapat menggunakan persamaan umum [5]. Maka dari itu, frekuensi alamiahnya akan dipengaruhi oleh beberapa variabel dari geometri dan sifat materialnya seperti L (panjang cantilever), I (Inersia), k (konstanta elastisitas), E (Modulus Young).

Konsep identifikasi kondisi pohon yang dilihat dari getarannya merupakan sebuah konsep berdasarkan metode Condition monitoring. Condition monitoring merupakan metode yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi dan memprediksi kondisi pada mesin. Dengan mengamati beberapa parameter pada mesin seperti vibrasi dan suhu yang nantinya jika ada perubahan yang signifikan, maka bisa menjadi indikasi bahwa mesin mengalami suatu kerusakan. Condition monitoring juga merupakan komponen penting dalam *Condition Based Maintenance*. Metode Condition monitoring biasanya digunakan pada mesin yang berputar seperti pompa, motor listrik, turbin dan mesin lainnya [6].

Metode Penelitian

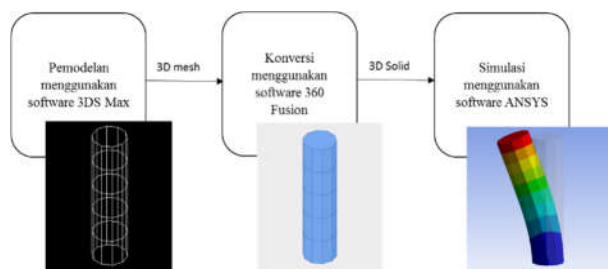
Objek pada penelitian ini akan difokuskan ke pohon palem karena untuk penelitian awal lebih mudah untuk dijadikan model dan analisis daripada pohon lainnya. Untuk penelitian lebih lanjut, pohon lain akan digunakan. Riset ini dilakukan dengan menggunakan model pohon palem yang disederha-

nakan lalu disimulasikan untuk memprediksi frekuensi alamiah dari model pohon tersebut. Setiap model pohon memiliki diameter pada bagian bawahnya sebesar 250 mm dan *Diameter at Breast Height* (DBH) diukur pada ketinggian 1400 mm dari permukaan tanah memiliki diameter sebesar 150 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pengukuran diameter pohon pada ketinggian dada rata-rata orang dewasa atau DBH merupakan sebuah standar yang digunakan oleh para ahli dan peneliti untuk mengukur besarnya pohon [7].



Gambar 1. Geometri model pohon

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan software 3DS Max, di sini pohon dimodelkan sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan. Model yang dihasilkan dari perangkat lunak 3DS Max masih dalam bentuk *mesh* sehingga perlu dirubah menjadi *solid* menggunakan software 360 fusion. Setelah mendapatkan model akhir, untuk mendapatkan prediksi frekuensi alamiah dari model dilakukan simulasi menggunakan software ANSYS. Proses kerja pemodelan ditunjukkan pada gambar 2.

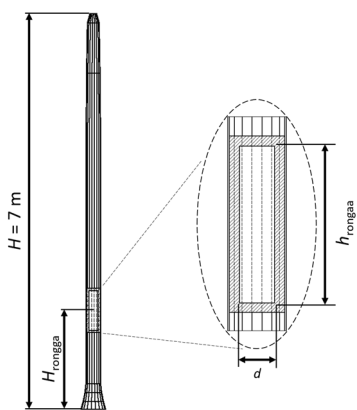


Gambar 2. Proses kerja modelling dan hasil yang di dapat dari setiap software yang digunakan

Pada riset ini dilakukan 4 jenis simulasi dengan parameter geometri yang berbeda, untuk memprediksi perbedaan efek geometri terhadap frekuensi alamiah model. Pada simulasi yang pertama, parameter geometri yang divariasikan merupakan tinggi model pohon (H). berdasarkan pengamatan, tinggi pohon palem yang dijumpai bervariasi mulai dari 5

m hingga 7 m. maka dari itu untuk tinggi model pohon yang dipakai yaitu 4 m, 5 m, 6 m, 7 m, 8 m, dan 9 m.

Di antara banyak jenis cacat yang sering terjadi pada pohon, *Decayed wood* atau pelapukan pada pohon menjadi fokus utama dalam makalah ini. Untuk ketiga simulasi selanjutnya bertujuan untuk menentukan efek dari cacat terhadap frekuensi alamiah dari model pohon. Simulasi dilakukan terhadap model pohon yang memiliki tinggi yang sama yaitu 7 m diberikan cacat berupa pelapukan di dalam pohon. Dalam pemodelan ini cacat tersebut dimodelkan sebagai rongga berbentuk silinder didalam pohon yang nantinya akan memiliki geometri yang divariasikan sesuai dengan parameter yang ditentukan. Seperti yang bisa dilihat pada gambar 3, parameter-parameter yang akan divariasikan yaitu posisi rongga pada model pohon (H_{rongga}), diameter rongga (d), dan tinggi rongga (h_{rongga}). Pada simulasi rongga yang pertama, model pohon diberikan rongga yang memiliki d sebesar 130 mm dan h_{rongga} 600 mm, geometri yang divariasikan berupa H_{rongga} yang ditentukan yaitu 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m pada pohon. Pada simulasi yang ke-2 model pohon diberikan rongga pada ketinggian $H_{rongga} = 1$ m yang memiliki variasi d yang ditentukan yaitu 130 mm, 110 mm, 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm. Pada simulasi yang ke-3 model pohon diberikan rongga pada ketinggian $H_{rongga} = 1$ m yang memiliki d sebesar 130 mm dan variasi h_{rongga} yang ditentukan yaitu 600 mm, 500 mm, 400 mm, 300 mm, 200 mm, 100 mm.



Gambar 3. Geometri pemodelan rongga pada model pohon

Tabel 1. Variasi pemodelan rongga pada model pohon

Simulasi	Posisi (m)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Parameter yang divariasikan
1	1	130	600	Posisi rongga pada pohon (H_{rongga})
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
2	1	130	600	Diameter rongga

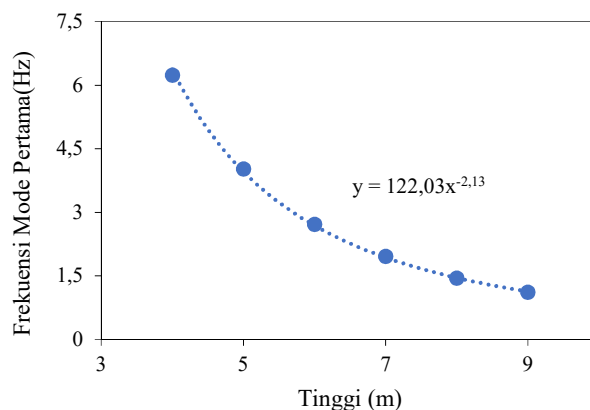
			110	(d)
			90	
			70	
			50	
			30	
3	1	130	600	Tinggi rongga (h_{rongga})
			500	
			400	
			300	
			200	
			100	

Hasil dan Diskusi

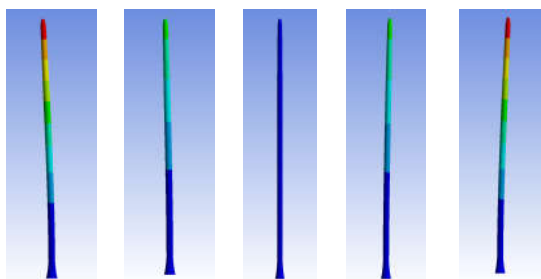
Untuk memvalidasi ketepatan model dan proses simulasi, maka dilakukan simulasi awal dimana tinggi model pohon divariasikan. Frekuensi alamiah yang digunakan merupakan frekuensi mode pertama dari hasil simulasi. Getaran bebas mode pertama dari model pohon palem dapat dilihat pada gambar 5 dengan warna yang menunjukkan defleksi. Berdasarkan tabel 2, dapat dilihat bahwa frekuensi alamiah model pohon berkurang seiring dengan bertambah tingginya model pohon, begitu juga pada defleksinya yang berkurang seiring bertambah tingginya model pohon. Dari plot kurva di gambar 4 didapatkan trendline yang memiliki koefisien pangkat sebesar -2.13. Angka ini sangat mendekati koefisien pangkat dari persamaan umum pada cantilever yang beresilasi secara bebas. Hal ini menunjukkan bahwa metode simulasi yang dilakukan menunjukkan validitas secara saintifik karena sesuai dengan teori getaran pada cantilever.

Tabel 2. Hasil simulasi dari variasi tinggi model pohon

Tinggi (m)	Frekuensi Mode Pertama (Hz)
4	6.2403
5	4.0212
6	2.715
7	1.9646
8	1.447
9	1.1149



Gambar 4. Grafik hubungan antara tinggi model pohon dengan frekuensi mode pertama dari tabel 2 berdasarkan simulasi

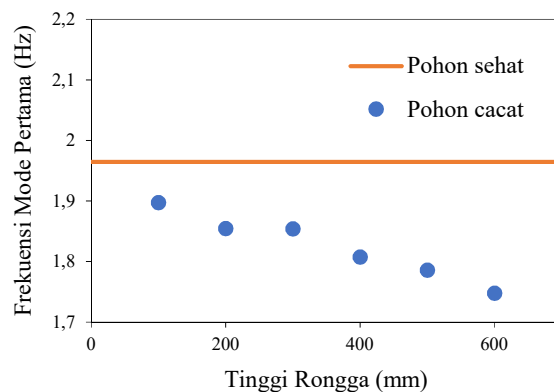
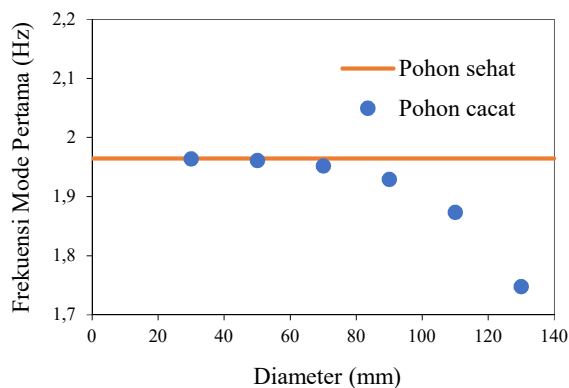
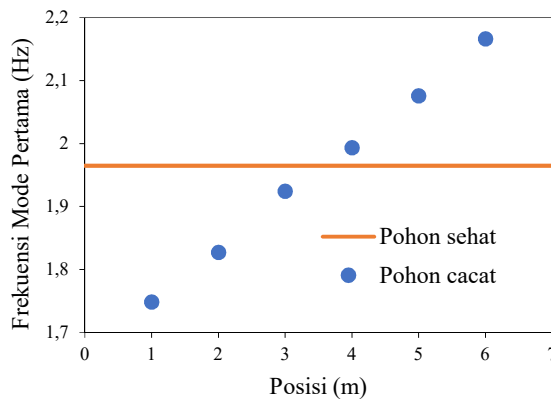


Gambar 5. Vibrasi mode pertama model pohon

Dari hasil simulasi pertama pada tabel 3 dimana cacat rongga pada model pohon divariasikan posisinya, frekuensi alamiah dapat mengalami kenaikan dan penurunan dari kondisi pohon tanpa rongga. Pada saat rongga diposisikan pada ketinggian 1 sampai 3 m dari permukaan tanah, frekuensi alamiah dari model mengalami penurunan sebesar 11%. Sementara itu pada saat rongga diposisikan di ketinggian 4 sampai 6 m dari permukaan tanah, frekuensi alamiah dari model mengalami kenaikan sebesar 10%. Dari hasil simulasi kedua dimana cacat rongga pada model pohon divariasikan diameternya, dapat dilihat dari gambar 6 pada saat diameter dari rongga dinaikan, frekuensi dari model pohon terlihat mengalami penurunan. Selanjutnya, dari hasil simulasi ketiga dimana tinggi rongga divariasikan, dapat dilihat dari gambar 6 pada saat tinggi dari rongga dinaikan, frekuensi dari model pohon mengalami penurunan.

Tabel 3. (a) Hasil simulasi dari variasi posisi rongga pada model pohon (b) Hasil simulasi dari variasi diameter rongga pada model pohon (c) Hasil simulasi dari variasi tinggi rongga pada model pohon

	Posisi (m)	Frekuensi Mode Pertama (Hz)
(a)	1	1.7477
	2	1.8266
	3	1.9242
	4	1.9934
	5	2.0759
	6	2.1662
(b)	30	1.9642
	50	1.9615
	70	1.952
	90	1.9292
	110	1.8732
	130	1.7477
(c)	100	1.8976
	200	1.8549
	300	1.8542
	400	1.8076
	500	1.7858
	600	1.7477



Gambar 6. (a) Hubungan posisi rongga pada model pohon dengan frekuensi mode pertama (b) Hubungan diameter rongga pada model pohon dengan frekuensi mode pertama (c) Hubungan tinggi rongga pada model pohon dengan frekuensi pertama

Kesimpulan

Frekuensi alamiah dari model pohon palem yang telah disimulasikan terlihat berubah pada saat beberapa parameter geometri divariasikan. Frekuensi alamiah pada model pohon mengalami penurunan pada saat tinggi pohon ditambahkan. Penurunan frekuensi alamiah ini seperti yang diharapkan dari teori osilasi pada kantilever. Pada saat model pohon palem diberikan cacat, frekuensi alamiah juga terlihat mengalami perubahan. Akan tetapi, besaran perubahannya tidak terlalu signifikan hanya sekitar 10% sampai 11%. Dikarenakan perubahan frekuensi alamiah yang tidak signifikan akan sulit untuk

dapat mengidentifikasi kondisi pohon. Maka dari itu diperlukan penelitian yang lebih mendalam.

Referensi

- [1] Santoso, "Detail Berita," detiknews, 4 Februari 2017. [Online]. Available: <https://news.detik.com/berita/d-3413919/korban-tewas-pohon-tumbang-timpa-pemotor-di-ui-jadi-2-orang#>. [Accessed 6 September 2017].
- [2] Pokorny, *Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation*, Saint Paul: USDA Forest Service Northeastern Area State and Private Forestry, 2003.
- [3] L. Socco, L. Sambuelli, R. Martinis, E. Comino and G. Nicolloti, "Feasibility of ultrasonic tomography for nondestructive testing of decay on living trees," *Research in Nondestructive Evaluation*, no. 15, pp. 31-58, 2004.
- [4] V. Bucur, "Nondestructive characterization and imaging of wood," *Wood Science*, pp. 181-214, 2003.
- [5] John and Douglas, "Natural sway frequencies and damping ratios of trees: influence of crown structure," *Trees*, no. 19, pp. 363-373, 2005.
- [6] R. B. Randall, *Vibration-based condition monitoring: industrial, aerospace and automotive applications.*, John Wiley & Sons, 2011.
- [7] Leverett and D. Bertollette, *American Forests Champion Trees Measuring Guidelines Handbook*, American Forests.
- [8] John and Douglas, "Natural sway frequencies and damping ratios of trees: concepts, review and synthesis of previous studies," *Trees*, no. 18, pp. 195-203, 2004.
- [9] K. R. James and B. Kane, "Precision digital instruments to measure dynamic wind loads on trees during storms," *Agricultural and Forest Meteorology*, no. 48, pp. 1055-1061, 2008.