

DETEKSI KELONGGARAN BAUT DENGAN MENGGUNAKAN SINYAL SUARA

Fajar Dwi Junianto¹⁾, Feblil Huda²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

²⁾Dosen Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

¹fajar.dwi1310@student.unri.ac.id, ²feblil.huda@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Bolt is one of machine elements which used in joining process. Failure that often occurs in the bolt joint is usually caused by dynamic load. In this research, bolt loosening detection method by using sound signal was investigated, for that purpose by analyze the dynamic characteristics of bolt connection which are the natural frequency and damping ratio. The research method was used Structural Health Monitoring (SHM) is a process of identifying damage by Nondestructive Evaluation (NDE). The advantage this method it is not costly to set-up testing. Excitation was given to the steel plate by the speaker and the sound response of the bolt loosening was recorded through the microphone. Sound signals are given for normal bolt conditions, looseness of 1 bolt with different torque fastening variations. Sound signal data was processed using the Fast Fourier Transform (FFT) to obtain natural frequency and damping ratio. The result of this research was the value of natural frequency and damping ratio increases with the addition of bolt tightening torque.

Keywords: bolt looseness, structural health monitoring (SHM), fast fourier transform (FFT)

1. Pendahuluan

Proses penyambungan (*joining*) merupakan salah satu jenis proses manufaktur yang penting untuk dibahas karena sering digunakan dalam manufaktur suatu mesin atau konstruksi. Pembuatan suatu konstruksi terdiri dari beberapa bagian/komponen yang digabungkan. Penyambungan merupakan penggabungan dua atau lebih komponen dengan menggunakan suatu cara tertentu. Salah satu cara penyambungan adalah dengan menggunakan baut sebagai material tambahan untuk menggabungkan beberapa komponen.

Penyambungan menggunakan baut dapat mengalami kegagalan yang disebabkan oleh beberapa hal seperti kelonggaran (*loosening*) yang diakibatkan oleh beban awal yang diberikan terlalu besar dan/atau beban dinamik seperti getaran yang menyebabkan baut dapat lepas dengan sendirinya pada getaran tertentu yang tidak dapat ditahan oleh baut, *slip* karena kerusakan yang terjadi pada ulir baut, patah akibat beban lelah/beban yang terus-menerus [1]. Kegagalan yang sering terjadi pada sambungan baut adalah kelonggaran akibat beban dinamik. Untuk itu banyak dilakukan penelitian tentang kelonggaran baut untuk mencegah kegagalan dalam berbagai aplikasi mekanik [2].

Structural Health Monitoring (SHM) adalah sebuah proses identifikasi kerusakan dengan cara *Nondestructive Evaluation* (NDE). Saat ini metode dengan teknik *inspeksi visual*, teknik getaran, teknik *Acoustic Emission* (AE), dan teknik gelombang propagasi telah banyak digunakan untuk menilai kondisi dari suatu komponen infrastruktur. Namun kebanyakan metode tersebut membutuhkan kontak langsung ke material, hal tersebut akan sulit dilakukan pada struktur-struktur seperti mesin

rotasi maupun struktur dengan lingkungan kerja yang bertemperatur tinggi, karena berisiko menyebabkan kerusakan pada sensor kontak, oleh karena itu metode non-kontak lebih baik untuk digunakan pada kondisi tersebut [3].

Penelitian ini bertujuan melakukan analisis deteksi kelonggaran dengan menggunakan sinyal suara menggunakan metode *non-kontak* untuk *monitoring* kelonggaran baut dengan memanfaatkan sinyal suara, dengan cara data sinyal suara tersebut diolah menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) mengetahui karakteristik dinamik seperti frekuensi pribadi dari baut dan rasio redaman sehingga dapat mendeteksi kelonggaran baut.

2. Metodologi

2.1 Kekuatan dan Kekakuan Sambungan Baut

Sambungan baut merupakan jenis penyambungan yang bersifat tidak permanen karena jika komponen material yang disambung dengan material penyambungannya dipisahkan, maka komponen-komponen tersebut tidak akan rusak. Pemilihan proses penyambungan tergantung terhadap proses kerja sistem serta tegangan yang terjadi pada sistem [4].

Salah satu faktor yang mempengaruhi kegagalan baut dan menyebabkan baut mengalami kelonggaran adalah pembebanan awal dan torsi.

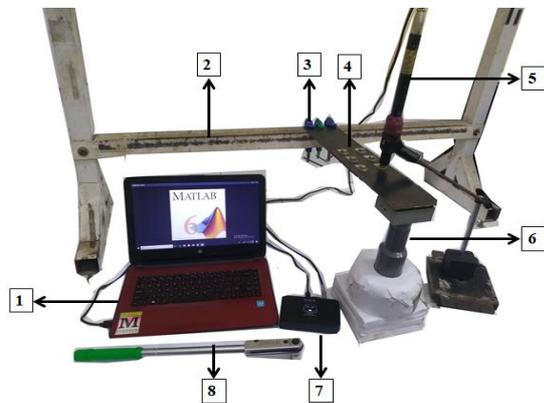
Pembebanan awal (F_i) merupakan pembebanan yang diberikan terhadap sambungan baut agar semua komponen yang disambungkan dapat melekat dengan komponen penyambungannya (baut), sehingga memiliki gaya jepit (*clamping force*). Pembebanan awal dibutuhkan untuk melawan besar beban luar yang diberikan kepada sambungan dan menciptakan suatu gaya gesekan

antara bagian-bagian untuk menahan beban geser dari sambungan baut [4].

Torsi berkaitan dengan pembebanan awal dimana torsi digunakan untuk mencapai pembebanan awal yang diinginkan dan mengikat sambungan baut. Apabila penambahan panjang baut dapat diukur dengan menggunakan mikrometer pada saat pemasangan, maka penambahan panjang baut dapat dihitung menggunakan rumus [4]. Oleh sebab itu, untuk mencapai pembebanan awal yang diinginkan maka dilakukan pengencangan baut menggunakan metode penguncian daya putar seperti kunci pas torsi (*torque wrench*). Kunci pas ini memiliki alat penunjuk torsi yang sesuai dengan keinginan.

2.2 Set Up Pengujian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimen yang berupa deteksi kelonggaran baut dengan menggunakan sinyal suara dapat dilihat *set up* pengujian pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Setup Pengujian

Keterangan :

1. *Personal Computer* (PC)
2. Rangka
3. *Clamp C*
4. Struktur Uji
5. *Microphone Condenser*
6. *Speaker*
7. *Soundcard*
8. *Torque Wrench*

2.3 Pengujian Kelonggaran Baut

Pengujian kelonggaran baut dalam penelitian menggunakan baut M10 dengan standar torsi yang digunakan yaitu 24,5 Nm dan variasi torsi yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

<i>Tightening torque (Nm)</i>	<i>State</i>
24,5	Normal
15	<i>Loose</i>
10	<i>Loose</i>
5	<i>Loose</i>
0	<i>Loose</i>

Pengujian kelonggaran 1 baut merupakan pengujian pada sambungan baut dengan plat dimana penelitian tersebut menganalisis dari 6 baut yang digunakan sebagai sambungan terdapat 1 baut yang mengalami kelonggaran dan 5 baut mengalami kondisi normal, pada kasus kelonggaran tersebut diberikan empat kondisi yaitu kelonggaran dengan variasi torsi yang berbeda yang dapat dilihat pada Tabel 2, serta untuk posisi 1 baut yang longgar dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2 Variasi Kelonggaran 1 Baut

Kondisi	<i>Tightening torque (Nm)</i>					
	Baut 1	Baut 2	Baut 3	Baut 4	Baut 5	Baut 6
1	*15	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
2	*10	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
3	*5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
4	*0	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5

Nb: (*) = Torsi baut yang mengalami kelonggaran



Gambar 2 Posisi 1 Baut Longgar

2.4 Proses Pengambilan Data

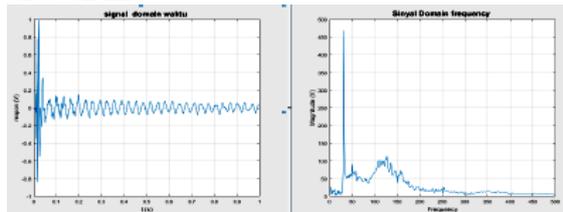
Speaker sebagai eksitasi diletak diujung pada plat dengan kondisi speaker dan plat tidak bersentuhan, sedangkan respon dari eksitasi yaitu baut dibaca oleh *microphone* sebagai respon akibat eksitasi yang diterima, posisi *microphone* tepat berada dekat dengan baut yang dideteksi, tetap tidak bersentuhan antara *microphone* dan baut. Eksitasi yang diberikan *speaker* berupa suara impuls yang membuat plat bergetar, sedangkan untuk membaca respon dari baut menggunakan *microphone* dihubungkan dengan *soundcard*.

Microphone dihubungkan dengan *soundcard* lalu terhubung dengan PC kemudian dilakukan pencuplikan data respon baut terhadap sinyal suara, dan pencuplikan data sinyal impuls menggunakan perangkat numerik MATLAB. Pencuplikan data respon dilakukan pada setiap baut yang telah diberi torsi yang berbeda, sedangkan panjang pencuplikan data adalah 2 detik untuk setiap data.

2.5 Fast Fourier Transform

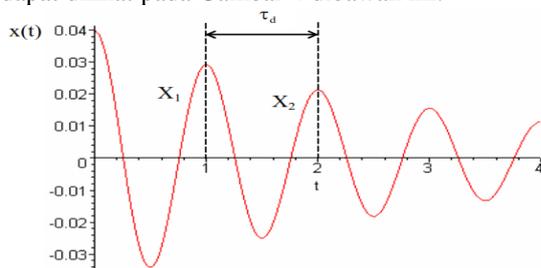
Fast fourier transform merupakan suatu metode untuk mentransformasikan sinyal dalam bentuk domain waktu, dimana domain waktu memandang getaran sebagai amplitudo terhadap

waktu, yang memberikan fenomena getaran secara fisik. Oleh karena itu perlu untuk dikonversi kedalam bentuk Domain Frekuensi agar didapat informasi berapa banyak sinyal terletak didalam setiap pita frekuensi yang diberikan pada rentang frekuensi, sehingga didapatkan nilai frekuensi pribadi. Metode yang dapat digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi salah satunya dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Contoh domain waktu dan domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3 Domain Waktu dan Domain Frekuensi

Dari domain waktu dapat diketahui penurunan logaritmik bertujuan untuk mengetahui rasio redaman (ξ) secara eksperimental, untuk penghitungan yang lebih teliti dapat juga digunakan perbandingan amplitudo simpangan yang terletak berjauhan dan secara umum rasio redaman dapat dihitung berdasarkan data hasil pengukuran dua amplitudo simpangan yang terletak berjauhan [5] dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini:



Gambar 4 Logaritmik Rasio Redaman

Rasio redaman (ξ) dapat ditulis secara matematis, dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2 berikut.

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} \quad (1)$$

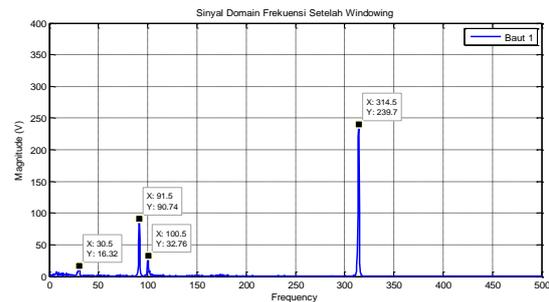
$$\xi = \frac{\delta}{2\pi} \quad (2)$$

Dimana nilai x_1 merupakan nilai yang menunjukkan puncak pertama dari gelombang dan x_2 merupakan nilai yang menunjukkan puncak kedua dari gelombang yang mana apabila terjadi penurunan puncak dari gelombang tersebut maka itu merupakan siklus dari getaran yang memiliki redaman.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Frekuensi Pribadi

Pengujian untuk analisis frekuensi pribadi diperoleh kecenderungan peningkatan nilai frekuensi pribadi terhadap variasi torsi yang diberikan. Perbandingan nilai frekuensi pribadi terhadap variasi torsi pengencangan adalah berbanding lurus. Semakin besar torsi yang diberikan maka semakin besar nilai frekuensi pribadi dan sebaliknya. Hasil nilai frekuensi pribadi terhadap variasi torsi pada baut 1 yang mengalami kelonggaran terjadi pada kondisi 1, kondisi 2, kondisi 3, dan kondisi 4. Gambar 5 merupakan nilai frekuensi pribadi dari hasil pengujian dengan kelonggaran 1 baut kondisi 1 yang terjadi pada baut 1.



Gambar 5 Hasil Pengujian Kelonggaran Baut 1

Tabel 3 dapat dilihat bahwa perubahan nilai frekuensi pribadi cenderung meningkat terhadap penambahan torsi. Pada frekuensi pribadi pertama dapat dilihat perubahan frekuensi pribadi struktur yang mengalami kelonggaran dengan struktur yang memiliki variasi kekencangan. Kondisi 4 merupakan struktur yang mengalami kelonggaran karena antara kedua pelat yang disambung masih memiliki *clearance* sehingga mengalami kontak permukaan yang besar. Kontak permukaan yang besar ini mempengaruhi nilai frekuensi pribadi struktur.

Tabel 3 Frekuensi Pribadi Kelonggaran Baut 1

Kondisi	Frekuensi Pribadi (Hz)			
	Baut 1 on 1	Baut 1 on 2	Baut 1 on 3	Baut 1 on 4
1	30,5	91,5	100,5	314,5
2	29,5	91,5	100	314
3	28,5	91	100,5	314
4	27,5	87	100	313,5

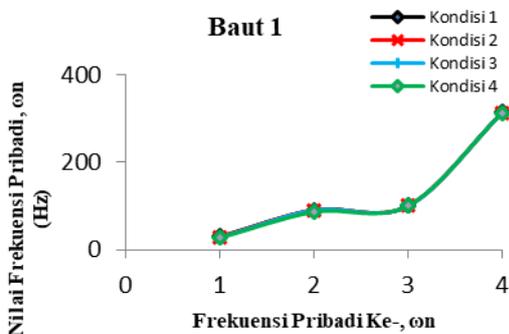
Tabel 4 merupakan nilai frekuensi pribadi akibat dari baut 1 yang mengalami variasi kelonggaran dengan beberapa kondisi dan Tabel 5 merupakan nilai frekuensi pribadi antara kondisi normal dengan kondisi yang mengalami variasi kelonggaran yang terjadi pada baut 1, maka untuk menganalisis variasi semua kelonggaran baut yang terjadi pada baut 1 dengan variasi torsi yang berbeda.

Tabel 4 Frekuensi Pribadi Kelonggaran 1 Baut

Posisi Baut	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi	Kondisi
		1 (Hz)	2 (Hz)	3 (Hz)	4 (Hz)
Baut 1	on 1	30,5	29,5	28,5	27,5
	on 2	91,5	91,5	91	87
	on 3	100,5	100	100,5	100
	on 4	314,5	314	314	313,5
Baut 2	on 1	30,5	30	29,5	29,5
	on 2	91,5	91,5	91	91
	on 3	101	100,5	100,5	100,5
	on 4	314,5	314	314	314
Baut 3	on 1	30,5	30	29,5	29,5
	on 2	91,5	91,5	91	91
	on 3	101	100,5	100	100
	on 4	314,5	314,5	314,5	314,5
Baut 4	on 1	30,5	30	30	30
	on 2	91,5	91,5	91	91
	on 3	101	100,5	100,5	100,5
	on 4	314,5	314,5	314,5	314,5
Baut 5	on 1	30,5	30	29,5	29,5
	on 2	91,5	91,5	91	91
	on 3	101	100,5	100,5	100,5
	on 4	314,5	314,5	314,5	314,5
Baut 6	on 1	30,5	30	29,5	29,5
	on 2	91,5	91,5	91,5	91,5
	on 3	101	100,5	101	101
	on 4	314,5	314,5	314,5	314,5

Frekuensi Pribadi (Hz)

Perbandingan nilai frekuensi pribadi pada tiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.

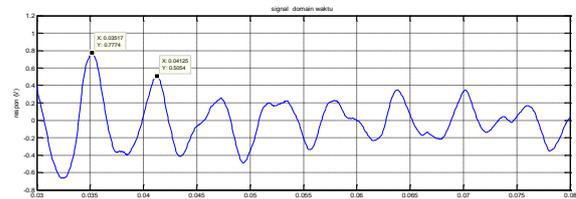


Gambar 6 Perbandingan Nilai Frekuensi Pribadi Baut 1

Nilai frekuensi pribadi Kondisi 4 lebih kecil dibandingkan nilai frekuensi pribadi Kondisi 1. Nilai frekuensi pribadi pertama setiap kondisi didapatkan perubahan nilai frekuensi pribadi yang berbeda untuk setiap variasi torsi pengencang baut. Namun pada frekuensi pribadi kedua sampai keempat dari kondisi 1, kondisi 2, dan kondisi 3 memiliki nilai yang tidak terlalu jauh berbeda dari setiap variasi torsi pengencang baut tetapi pada kondisi 4 frekuensi pribadi kedua memiliki nilai perubahan yang signifikan. Dari analisis frekuensi pribadi, dapat dikatakan bahwa struktur dengan sambungan baut yang mengalami kelonggaran (*loosening*) memiliki nilai frekuensi pribadi yang kecil dibandingkan dengan struktur penyambungan baut yang diberi variasi torsi pengencangan menggunakan *torque wrench*. Hal ini terjadi karena pengaruh kontak dua permukaan yang disambungkan dan gesekan yang terjadi dari kedua permukaan tersebut sehingga mempengaruhi sifat *clamping force* dari sambungan baut. Sifat *clamping force* mengalami penurunan seiring dengan penurunan nilai torsi yang diberikan.

3.2 Analisis Rasio Redaman

Hasil pengolahan data pengujian menunjukkan bahwa nilai rasio redaman berbanding lurus terhadap variasi torsi yang diberikan. Semakin besar torsi yang diberikan maka semakin besar nilai rasio redaman yang dihasilkan dan sebaliknya, Gambar 7 menunjukkan logaritmik rasio redaman dari pengujian kondisi 1 pada baut 1.



Gambar 7 Logaritmik Rasio Redaman Baut 1

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln \frac{0,7774}{0,5054} = 0,4306$$

$$\xi = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{0,4306}{2\pi} = 0,068$$

Nilai rasio redaman cenderung menurun dengan adanya pengurangan nilai torsi dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5 Rasio Redaman Kelonggaran 1 Baut

Kondisi	Nilai Rasio Redaman					
	Baut 1	Baut 2	Baut 3	Baut 4	Baut 5	Baut 6
1	0,068	0,106	0,166	0,122	0,121	0,094
2	0,066	0,113	0,097	0,151	0,136	0,139
3	0,062	0,084	0,092	0,090	0,146	0,135
4	0,044	0,087	0,086	0,089	0,061	0,075

Pada Tabel dapat dilihat nilai rasio redaman cenderung meningkat terhadap pertambahan torsi yang diberikan pada setiap pengujian. Penurunan rasio redaman terjadi pada baut 1 yang menyatakan bahwa dibaut 1 tersebut terjadi kolonggaran dengan variasi torsi pengencangan yang berbeda tetapi baut 2 sampai 6 merupakan nilai baut dengan torsi keadaan normal. Baut 1 dengan Kondisi 1, kondisi 2, dan kondisi 3 memiliki nilai yang tidak signifikan tetapi pada kondisi 4 memiliki nilai rasio redaman yang signifikan hal tersebut disebabkan dengan torsi=0 Nm.

Secara matematis, apabila rasio redaman akan besar jika nilai x_1 lebih besar dibandingkan x_2 sehingga δ bernilai besar yang mengakibatkan rasio redaman yang dihasilkan menjadi besar dan membuat benda tersebut cepat teredam. Berdasarkan hasil pengujian, apabila torsi yang diberikan besar maka nilai rasio redaman bernilai besar hal ini disebabkan antara posisi baut 1 yaitu nilai torsi yang diberikan bervariasi sedangkan posisi baut 2 sampai 6 yaitu kondisi normal, sehingga kontak permukaan pada sambungan baut yang menyebabkan sifat redaman meningkat terhadap besar torsi yang diberikan. Semakin besar lebar nilai puncak yang dihasilkan maka semakin besar nilai rasio redaman yang dihasilkan.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut, Nilai frekuensi pribadi berbanding lurus terhadap penambahan nilai torsi pengencangan baut. Semakin besar torsi pengencangan yang diberikan maka semakin besar nilai frekuensi pribadi sistem dan sebaliknya. Perubahan nilai frekuensi terhadap variasi torsi pengencangan dipengaruhi oleh beban awal sambungan baut yang dapat merubah sifat gaya jepit (*clamping force*) sambungan, nilai rasio redaman meningkat terhadap variasi torsi yang diberikan. Semakin besar torsi yang diberikan maka semakin besar nilai rasio redaman yang dihasilkan dan sebaliknya, semakin kecil torsi yang diberikan maka semakin kecil redaman yang dihasilkan. Nilai rasio redaman cenderung meningkat dengan adanya pertambahan nilai torsi.

Daftar Pustaka

- [1] Bickford, J.H. 1990. *Introduction to the Design and Behaviour of Bolted Joints*. Edisi ke-4. Marcel Dekker Inc. New York. USA.
- [2] F. Huda, I Kajiwaru, N Hosoya, S. Kawamura. 2013. 'Bolted Joint Loosening Detection by Using Laser Excitation'. *Health Monitoring of Structural and Biological Systems*. Vol. 8695, pp. 869531.
- [3] Arora V, Wijnant YH, de Boer A. 2014. *Acoustic-based damage detection method*. *Applied Acoustics* 80: 23–27
- [4] Shigley, J.E, Mitchell, L.D, dan Harahap, G

(Penterjemah). 1999. *Perencanaan Teknik Mesin*. Edisi ke-4. Erlangga : Jakarta

- [5] Bur, M. 2012. *Dasar-dasar Getaran Mekanik*. CV.Ferila : Padang.