

PENGARUH TEGANGAN SISA TERHADAP FREKUENSI NADA DASAR PERUNGGU

Ari Wibowo

Mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin
Universitas Gadjah Mada Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281
e-mail : wee_bow_wow@yahoo.com

Abstract

Bronze is material that usually used in musical instrument. Saxophone, trumpet, cymbal of drum, and Indonesia traditional orchestra gamelan are the common example of the used of bronze as musical instrument. For musical instrument that need to be tuned precisely, like gamelan, it is known that there are some tuning change after it used for several time. The theory that developed to discuss the tuning change is about residual stress. Because of the production of gamelan, with some forging activities, there will be large amount of residual stress. The objective of this research is to prove that the residual stress release will affect to the change of the tone frequency of bronze.

Experimental analysis is used to prove the hypothesis. The specimens consist of three plates of bronze. Residual stress is given to the plate by forging. Residual stress than release from the plate by vibration method and the change of the tone frequency is measured. The result show that there are changes in tone frequency after the residual stress is release.

Keywords: residual stress, bronze, frequency, vibration

1. Pendahuluan

Perunggu merupakan material yang sudah sejak ratusan tahun yang lalu digunakan sebagai material alat musik. Dari gamelan hingga simbal drum dan senar gitar yang terbaik umumnya menggunakan perunggu sebagai material dasar. Beberapa alat musik tiup, seperti terompet, saxophone, maupun klarinet juga menggunakan bahan paduan tembaga-timah (Cu-Sn) ini untuk mendapatkan kualitas bunyi yang baik. Salah satu kelebihan dari perunggu adalah kemudahan untuk dibentuk ketika dalam kondisi panas, namun pada temperatur kamar memiliki kesetabilan bentuk yang baik.

Namun salah satu masalah yang sering timbul pada alat musik yang terbuat dari perunggu adalah terjadinya perubahan nada setelah alat musik tersebut digunakan dalam jangka waktu tertentu. Untuk alat musik yang mudah diatur nadanya (*tuning*) tidak akan terlalu bermasalah, namun untuk alat musik seperti gamelan hal ini menjadi cukup menjadi permasalahan. Pengaturan nada gamelan, atau sering dikenal dengan nglaras, tidak memiliki standar tetap dan pasti. Pengaturan nada sangat tergantung kepada indera dan perasaan penglaras yang umumnya dilakukan oleh Empu pembuat gamelan. Dan sungguh sayang sekali setiap Empu gamelan memiliki cara pelarasan masing-masing dengan standar nada yang berbeda-beda pula. Dengan karakteristik seperti ini, maka perubahan nada pada gamelan menjadi masalah yang cukup besar bagi pemilik gamelan.

Gamelan yang baru dibuat kemudian digunakan secara rutin akan mengalami perubahan dalam jangka waktu sekitar tiga hingga lima tahun. Gamelan tersebut kemudian dilaras kembali untuk mengembalikan ke nada semula. Proses ini akan berulang setelah tiga hingga lima tahun

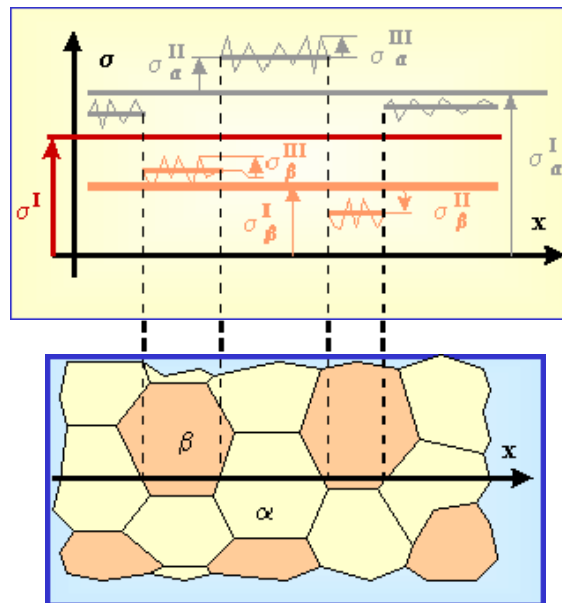
kemudian. Gamelan baru akan memiliki nada yang tetap tidak berubah setelah digunakan secara rutin selama 25 hingga 30 tahun. Melihat proses perubahan nada tersebut serta proses pembuatan gamelan yaitu dengan pengecoran yang kemudian ditempa, maka ada dugaan bahwa perubahan nada tersebut terjadi karena adanya tegangan sisa pada gamelan baru yang akan dilepaskan selama digunakan.

Tegangan sisa (*residual stress*) adalah tegangan yang tetap berada pada material meskipun beban luar (*external load*) dilepas dari material tersebut. Tegangan sisa dapat ditimbulkan dari aktifitas thermal maupun akibat deformasi. Sehingga pada proses pembuatan gamelan yang dilakukan dengan tempa hampir dapat dipastikan terdapat tegangan sisa. Selama penggunaan gamelan, tegangan sisa ini dilepaskan sehingga dapat mengubah sifat mekanik dari material perunggu.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan frekuensi nada pada perunggu akibat tegangan sisa yang dilepaskan. Dengan penelitian ini akan diketahui secara langsung apakah perubahan nada yang terjadi pada gamelan diakibatkan oleh tegangan sisa yang dilepaskan ketika gamelan tersebut digunakan.

2. Dasar Teori

Tegangan sisa adalah tegangan tekan atau tegangan tarik yang terdapat di bagian dalam material tanpa adanya pembebanan dari luar (*external load*) apakah berbentuk gaya ataupun perubahan temperatur. Biasanya tegangan sisa dibedakan berdasarkan besar-kecilnya tegangan yang berada di sekitar butir material. Yang pertama disebut macro stress jika melewati beberapa butir. Jenis yang kedua adalah yang berada di sekitar batas butir, dan yang ketiga berada di dalam butir. Jenis kedua dan ketiga merupakan micro stress.



Gambar 1. Jenis tegangan sisa di sekitar butir

Tegangan sisa muncul akibat beberapa proses pembentukan seperti deformasi plastis, perubahan temperatur dan transformasi fasa. Beberapa proses pembentukan yang menghasilkan tegangan sisa antara lain: casting, forming, forging, drawing, extruding, rolling, spinning, bending, machining, welding, shot peening, quenching, carburizing, coating, dll.

Tegangan sisa ini dapat menguntungkan tetapi juga dapat merugikan. Jika beban berupa tegangan tarik dan terdapat tegangan sisa tekan pada material maka tegangan sisa ini akan memberi resultante negatif mengurangi efek beban ke material. Sebaliknya jika terdapat tegangan sisa tarik pada material yang mengalami beban tarik maka akan memberikan resultante positif dan jika melawati tegangan luluhnya akan menjadi awal mula terjadinya patahan.

Beberapa teknik telah dikembangkan untuk menghilangkan tegangan sisa ini, khususnya jika bersifat merugikan. Yang umum digunakan adalah dengan anealing, yaitu proses pemanasan material yang mengalami pengerjaan dingin hingga pada temperatur rekristalisasinya. Pada temperatur rekristalisasi, butir-butir akan terbentuk kembali dan tegangan sisa akan dilepaskan. Metode lain adalah dengan menggetarkan material pada frekuensi pribadinya. Dengan metode ini, material relatif tidak mengalami perubahan bentuk meskipun tegangan sisanya terlepas.

Untuk proses relaksasi tegangan sisa dengan metode getaran sudah banyak peneliti yang mengembangkan. Hahn, W.F. (2002) menyatakan bahwa pelepasan tegangan sisa dengan metode getaran memiliki efektifitas yang cukup tinggi dan hanya membutuhkan energi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan proses relaksasi dengan metode pemanasan (*annealing*). Penelitian yang dilakukan Hahn dengan beberapa variasi data. Untuk reduksi dengan berbagai frekuensi penggetar, didapatkan bahwa hasil reduksi maksimal hingga 97,4 % didapatkan ketika frekuensi penggetar berada pada frekuensi pribadi sistem (Tabel 1)

Tabel 2.1 Hasil reduksi tegangan sisa dengan berbagai frekuensi getaran (Hahn, 2002)

	Frekuensi Penggerak f_n (Hz)	Tegangan sisa sebelum digetarkan (Psi)	Tegangan sisa setelah digetarkan (Psi)	Reduksi Tegangan Sisa
Kasus 1	64,486	-6877	-176	97.4 %
Kasus 2	64,195	-6877	-5054	26.5 %
Kasus 3	63,922	-6877	-6877	0 %
Kasus 4	61,2617	-6877	-6877	0 %

Dengan mengubah amplitudo getaran ternyata juga didapatkan hasil yang berbeda. Untuk kasus 2 dengan frekuensi getaran 64,195 Hz dengan amplitudo getaran 0,004 in didapatkan reduksi sebesar 26,5 %. Namun jika pada frekuensi yang sama diberikan amplitudo yang lebih besar 0,006 in, ternyata didapatkan reduksi tegangan sisa hingga 96,9 %. (Hahn, 2002)

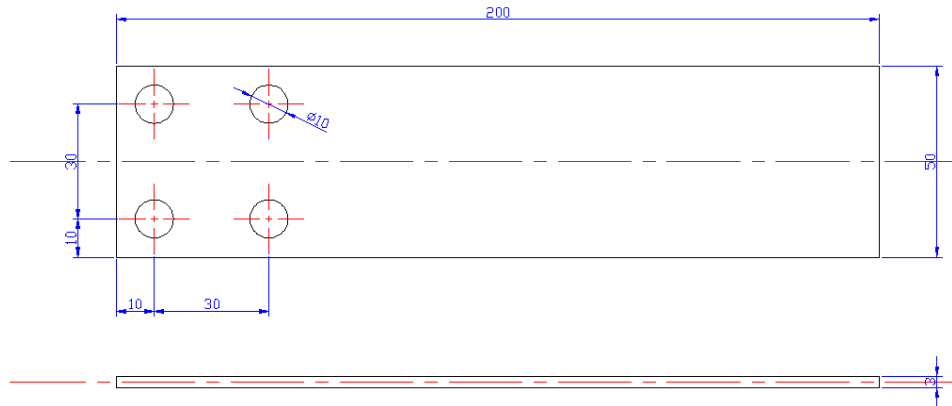
Sementara Aoki, dkk (2005) mencoba mengaplikasikan metode getaran untuk mereduksi tegangan sisa pada sambungan las dengan pemberian frekuensi acak. Sumber frekuensi acak terdiri dari dua jenis, yaitu *white noise* yang memberikan eksitasi seluruhnya acak, dan *filtered white noise*, yang memberikan eksitasi acak dengan diberikan filter yang menghasilkan konsentrasi di sekitar frekuensi pribadi sistem. Hasilnya menunjukkan penurunan tegangan sisa tarik di sekitar lasan.

Dari penelitian tentang reduksi tegangan sisa dengan metode getaran tersebut, maka dapat dilihat bahwa reduksi tegangan sisa dengan metode getaran cukup efektif. Hasil maksimal didapatkan jika frekuensi getaran yang diberikan adalah pada frekuensi pribadi sistem.

3. Hasil Penelitian

Specimen terdiri dari tiga buah pelat yang ditempa untuk memberikan tegangan sisa. Specimen dibuat dari material yang sama dengan material untuk gamelan yaitu perunggu dengan

paduan Cu-77% Sn-23%. Penempaan yang diberikan adalah tempa manual dengan dipukul-pukul, sama dengan proses pembuatan gamelan. Dimensi specimen ditunjukkan pada gambar 2.



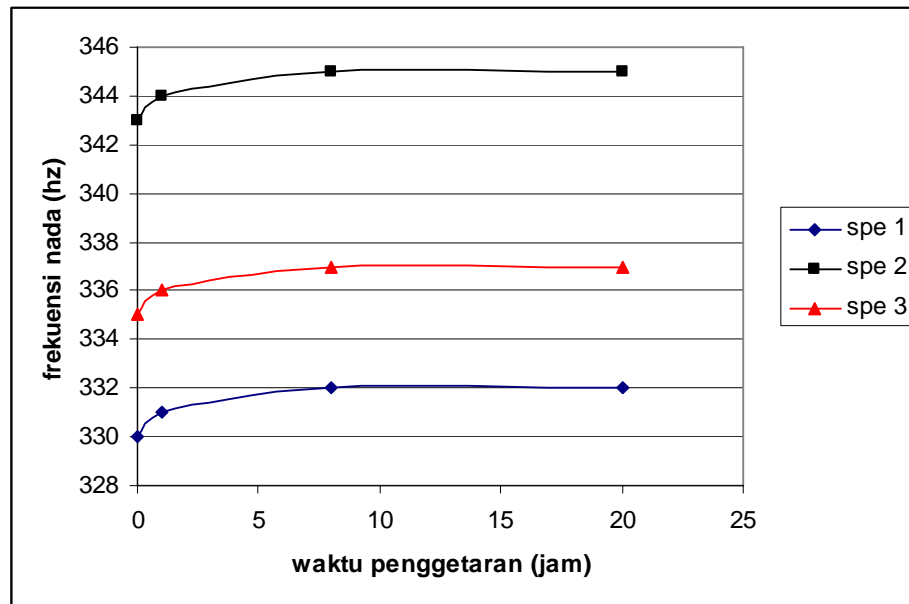
Gambar 2 dimensi specimen

Pengujian frekuensi nada ini dilakukan pada ruang anechoic. Specimen yang ditempatkan pada dudukan kemudian dipukul untuk menghasilkan bunyi. Bunyi tersebut kemudian ditangkap oleh mikrofon akustik, yang dengan level recorder dapat dianalisa dengan FFT Analyzer. Keluaran dari FFT Analyzer adalah serangkaian spectrum frekuensi dari bunyi yang dihasilkan. Dari spectrum frekuensi tersebut dapat diketahui frekuensi fundamental, yaitu frekuensi nada yang paling berpengaruh dalam bunyi yang dihasilkan, dan umumnya disebut frekuensi nada dasar.

Setelah diketahui frekuensi nada awal specimen, maka dilakukan pelepasan tegangan sisa. Pelepasan dilakukan dengan metode getaran, yaitu dengan memberikan eksitasi pada frekuensi nada dasar specimen seperti yang diuji pada tahap sebelumnya. Sesuai dengan referensi, maka penggetaran pada frekuensi pribadi ini menghasilkan efek pelepasan tegangan sisa yan terbesar. Setelah penggetaran, maka specimen diuji frekuensi nada dasarnya kembali.

Hasil penelitian dapat dilihat pada grafik gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan perubahan frekuensi nada setelah digetarkan. Pada awal penggetaran, selama 1 jam, maka terdapat kenaikan frekuensi untuk masing-masing specimen sebesar 1 hz. Namun setelah itu, kenaikan baru terjadi kembali setelah lama penggetaran mencapai 8 jam, sebesar 1 hz. Specimen kemudian digetarkan kembali, ternyata tidak terdapat kenaikan, meskipun penggetaran mencapai 20 jam.

Secara umum perubahan yang terjadi hanya sebesar 2 hz. Namun perubahan nada sebesar 2 hz ternyata merupakan perubahan yang cukup signifikan.



Gambar 3 Grafik hasil penelitian

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat hubungan antara tegangan sisa dengan frekuensi nada. Setelah tegangan sisa dihilangkan, maka frekuensi nada naik sebesar 2 Hz. Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa ada kemungkinan perubahan nada pada gamelan perunggu terjadi karena efek tegangan sisa ini.

Penelitian lebih lanjut diharapkan dapat dilakukan dengan specimen gamelan, sehingga dapat lebih membuktikan fenomena yang terjadi pada perubahan laras gamelan.

5. Daftar Pustaka

1. Aoki, S., Nishimura, T., Hiroi, T. (2005), Reduction method for residual stress of welded joint using random vibration, *Nuclear Engineering and Design* 235(2005) 1441–1445
2. Hahn, W.F. (2002) *Vibratory Residual Stress Relief and Modifications in Metals to Conserve Resources and Prevent Pollution*, Final Report, Center of Environmental and Energy Research (CEER), Alfred University, New York
3. He, B.B., Preckwink, Uwe, Smith, K.L., (2000) *Fundamentals of Two-Dimensional X-Ray Diffraction (XRD²)*, JCPDS-International Centre for Diffraction Data, *Advances in X-ray Analysis*, Vol.43 p. 237-280
4. Wasisto Surjodiningrat, P.J. Sudarjana, Adhi Susanto, (1993) *Tone Measurements of Outstanding Javanese Gamelan in Yogyakarta and Surakarta*, Gadjah Mada University Press, 2nd. Revised Edition
5. Roy, A.K., Venkatesh, A., Marthandam, V., Dronavalli, S.B., Wells, D., Rogge, R., (2005) Residual Stress Characterization in Structural Materials by Destructive and Nondestructive Techniques, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 14(2) April 2005 p.203-211