

PENGARUH PELEPASAN TEGANGAN SISA DENGAN METODE GETARAN TERHADAP FREKUENSI NADA DASAR BILAH PERUNGGU GAMELAN

Ari Wibowo¹⁾, Sukoco²⁾

¹⁾Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin Politeknik LPP, Yogyakarta
Jl. LPP No 1A Yogyakarta 55222
Email: ariwibowo.lpp@gmail.com

²⁾Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Janabadra Yogyakarta
Jln. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta
Email: skcujb@yahoo.com

ABSTRACT

Bronze is the material that is usually used to make musical instruments. Unfortunately, it's known that the tone of some instruments will change after several times of usage, like in gamelan. The theory that underlies the change of the tone is residual stress. Residual stress is resulted from some forging activities during the production of gamelan. The objective of this research is to prove that the residual stress release will affect the change of the tone frequency of bronze; therefore, the change of the tone frequency of gamelan could be known.

Experimental analysis was employed to prove the hypothesis. The specimens consisted of three beams of forged bronze. The residual stress was released from the beams by vibratory stress release method and the change of the tone frequency was measured. The amount of residual stress was measured at the beginning and at the end of the vibratory treatment with neutron diffraction method.

The result showed that the tone frequency increased after the residual stress was released. The tone frequency changed 1 Hz for non-reduction specimen. While the 30% thickness reduction and 50% reduction changed 1 Hz and 3.5 Hz in frequency. Residual stress measurement showed that the residual stress decreased after vibratory stress release. The average reduction of residual stress could attain 39,6% for non-reduction specimen, 69,9% for 30% thickness reduction specimen and 81% for 50% thickness reduction specimen. It could be concluded that the change in gamelan tone caused by residual stress.

Keywords: residual stress, tone frequency, bronze, gamelan

PENDAHULUAN

Perunggu merupakan material yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan alat musik. Beberapa alat musik modern dari barat, menggunakan perunggu sebagai bahan dasar atau komponen untuk mendapatkan kualitas terbaik, seperti simbal drum, senar gitar, terompet, clarinet dan saxophone. Sedangkan dari alat musik tradisional, gamelan yang terbaik selalu terbuat dari perunggu. Penggunaan perunggu sebagai bahan terbaik gamelan bahkan sudah berlangsung sejak ratusan tahun yang lalu.

Salah satu kelebihan dari perunggu adalah mudah untuk dibentuk (*formability*) ketika dalam kondisi panas, dan ketika pada temperatur kamar memiliki kestabilan bentuk yang baik.

Meskipun demikian, ternyata perunggu juga memiliki kelemahan. Salah satu contoh yang terjadi pada gamelan adalah perubahan

nada setelah digunakan dalam jangka waktu tertentu. Gamelan yang terbuat dari perunggu memiliki warna bunyi yang terbaik, namun perubahan nada terjadi lebih cepat dibandingkan dengan gamelan yang terbuat dari bahan lain seperti dari baja ataupun kuningan (Alves, 1997).

Untuk alat musik yang mudah diatur nadanya (*tuning*) tidak akan terlalu bermasalah, namun untuk alat musik seperti gamelan hal ini 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 (Alves, 1997). 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.

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.

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.

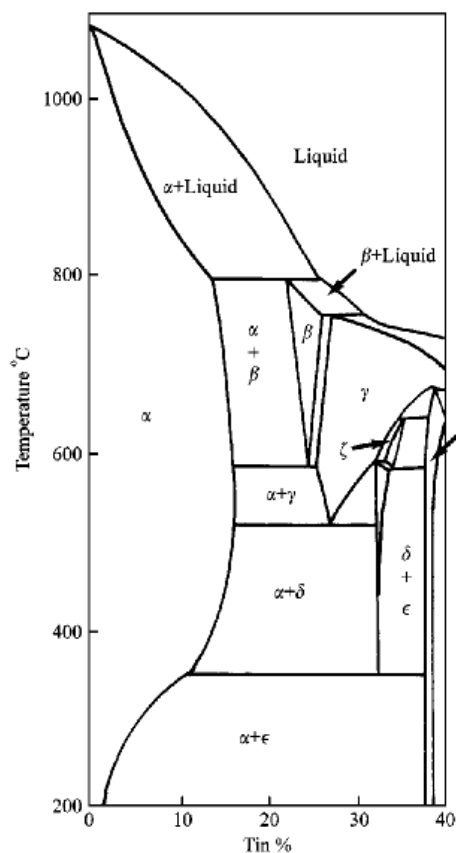
Tegangan sisa ini dapat menguntungkan tetapi juga dapat merugikan. Jika beban berupa tegangan tarik dan terdapat tegangan sisa tekan pada material maka tegangan sisa ini akan memberi resultante negatif mengurangi efek beban ke material. Sebaliknya jika terdapat tegangan sisa tarik pada material yang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

Pengaruh tegangan sisa terhadap frekuensi bunyi pernah diteliti oleh Perrin dkk. (1999). Penelitian dilakukan terhadap frekuensi larasan bel eropa akibat beberapa perlakuan. Frekuensi yang diukur adalah frekuensi nada dasar pertama (*hum*) dan frekuensi harmoniknya (*tierce*). Salah satu perlakuan yang diteliti adalah annealing, yaitu pelepasan tegangan sisa dengan pemanasan. Pada penelitian ini digunakan bel yang terbuat dari paduan Cu-Sn, material yang juga digunakan pada gamelan. Pengaruh annealing pada frekuensi larasan dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Frekuensi *Hum* dan *Tierce* Bel Carillon 4,5 Kg (Perrin dkk, 1999)

Perlakuan	Frekuensi (Hz)		Perubahan (Hz)	
	<i>Hum</i>	<i>Tierce</i>	<i>Hum</i>	<i>Tierce</i>
Kondisi Awal	2996,9	7029,3	-	-
Annealing 340°C	2999,1	7032,5	+2,2	+3,2
Annealing dan Quenching dari 340°C	2966,8	6975,5	-32,3	-57,0
Re-Annealing 340°C	2985,5	7022,0	+18,7	+46,5
Annealing 610°C	2980,5	7009,0	-5,0	-13,0

Dari tabel 1 menunjukkan bahwa pada annealing 340°C, frekuensi nada naik. Sedangkan pada annealing 610°C, frekuensi turun. Jika melihat diagram fasa untuk Cu-Sn (gambar 1), dengan paduan Sn diatas 15%, maka pada annealing 340°C tidak terjadi perubahan fasa, sedangkan pada temperatur 610°C fasa berubah. Dari sini dapat disimpulkan bahwa penurunan frekuensi pada annealing 610°C diakibatkan perubahan struktur mikro bahan. Dari tabel juga dapat dilihat bahwa quenching yang mengakibatkan penimbunan tegangan sisa akan menurunkan frekuensi nada.



Gambar 1. Diagram fasa Cu-Sn (Perrin dkk, 1999)

Sementara Qiu, dkk (2005) melakukan penelitian untuk melihat pengaruh tegangan sisa terhadap giroskop. Salah satu karakteristik giroskop yang diteliti adalah frekuensi pribadi. Hasil menunjukkan bahwa pelepasan tegangan sisa akan berpengaruh kepada frekuensi pribadi. Naik atau turunnya frekuensi pribadi tergantung pada jenis tegangan sisa yang tersimpan.

Sedangkan pengaruh tegangan sisa terhadap sifat mekanik bahan, dilakukan oleh

Zhang, dkk (2005). Pada penelitian ini, dilakukan pelepasan tegangan sisa dengan getaran (*vibratory stress release*) pada bahan pipa, kemudian diuji beberapa sifat mekaniknya.

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 dan struktur mikro 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 2)

Tabel 2 Hasil reduksi tegangan sisa dengan berbagai frekuensi getaran (Hahn, 2002)

	Frekuensi Penggetar 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

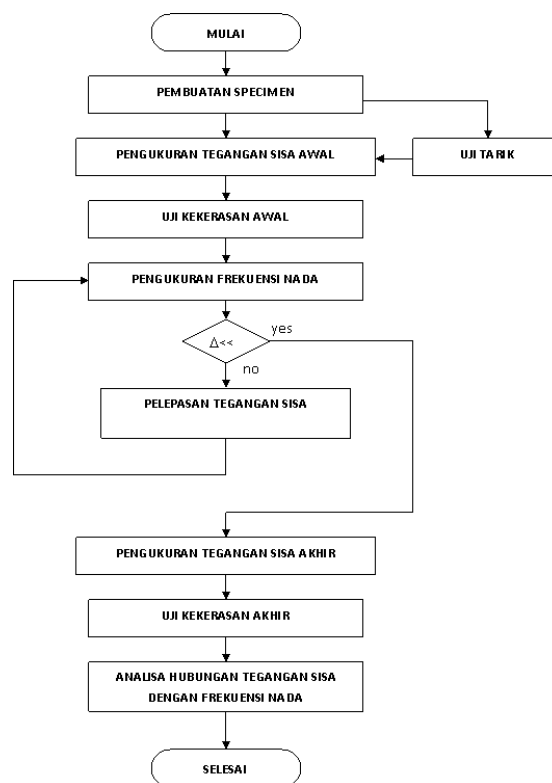
64,195 Hz dengan amplitudo getaran 0,004 in didapatkan reduksi sebesar 26,5 %. Namun jika pada frekuensi yang sama diberikan amplitudo yang lebih besar 0,006 in, ternyata didapatkan reduksi tegangan sisa hingga 96,9 %. (Hahn, 2002)

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.

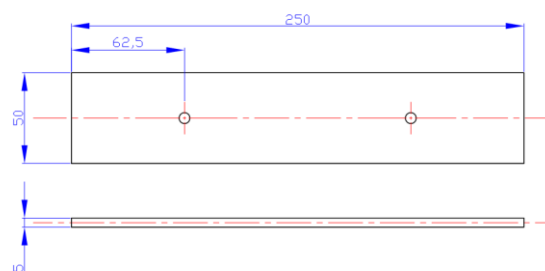
Dari penelitian tentang reduksi tegangan sisa dengan metode getaran tersebut, dapat dilihat bahwa reduksi tegangan sisa dengan metode getaran cukup efektif. Hasil maksimal didapatkan jika frekuensi getaran yang diberikan pada frekuensi pribadi sistem.

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian sesuai dengan diagram alir pada gambar 2. Pembuatan specimen dilakukan di pande gamelan di dusun Baturan Lor, Trihanggo, Sleman Yogyakarta. Specimen dibuat dari material yang sama dengan material untuk gamelan yaitu perunggu dengan paduan diabaikan. Specimen terdiri dari tiga buah pelat hasil pengecoran yang ditempa dengan reduksi ketebalan yang berbeda. Penempaan yang diberikan adalah tempa manual dengan dipukul-pukul, sama dengan proses pembuatan gamelan. Dimensi specimen ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

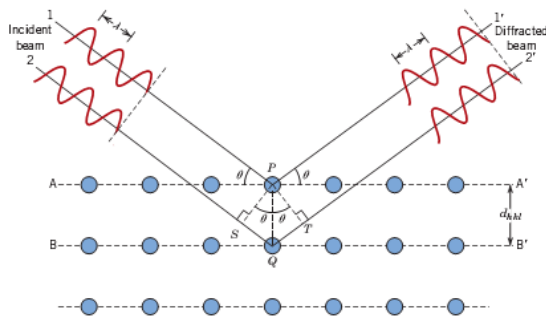


Gambar 3. Dimensi specimen

Tabel 3. Specimen penelitian

No . Specimen	Reduksi ketebalan
I	0 (tanpa tempa)
II	30%
III	50 %

Selanjutnya specimen diuji tegangan sisa awal menggunakan fasilitas milik Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir-BATAN, Serpong. Pengukuran tegangan sisa ini dilakukan dengan alat hamburan neutron (Neutron Diffraction). Prinsip pengukuran dapat diilustrasikan seperti gambar 4.



Gambar 4 Prinsip pengukuran tegangan sisa menggunakan hamburan neutron

(Callister, 2007)

Pengukuran tegangan sisa bertujuan untuk mengetahui perubahan tegangan sisa akibat proses penggetaran. Diambil tiga titik pengukuran di tengah specimen. Dalam pengujian ini menggunakan monokromator Si pada bidang (311), dan panjang gelombang (λ) 1.8327 Å. Ukuran slit yang digunakan pada berkas datang 3 x 3 mm² sedangkan detektor 3 x 10 mm². Jarak antara slit berkas datang dengan target adalah 130 mm dan jarak target dengan slit detektor 145 mm. Jarak antar bidang kristal dihitung menggunakan persamaan Bragg (persamaan 1) dan regangan dihitung menggunakan persamaan 2 (Shackelford, 2009) sebagai berikut:

$$n_b \lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{d - d_0}{d_0} \quad (2)$$

dimana

ε = regangan

λ = panjang gelombang

n_b = bilangan bulat

d = jarak bidang kristal yang diukur

d_0 = jarak bidang kristal specimen yang tidak mengalami tegangan sisa

Jarak bidang kristal d_0 didapatkan dari serbuk untuk material yang sama. Dengan menggunakan metode tiga sumbu (Hukum Hooke), tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \{ (1-\nu)\varepsilon_x + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z) \} \quad (3)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \{ (1-\nu)\varepsilon_y + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_z) \} \quad (4)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \{ (1-\nu)\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \} \quad (5)$$

dimana E adalah modulus elastisitas dan ν adalah angka poisson yang didapat dari uji tarik.

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin UGM. Sedangkan untuk pengujian frekuensi nada dan proses pelepasan tegangan sisa dengan metode getaran dilakukan di Laboratorium Getaran dan Akustik Teknik Mesin UGM.

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.

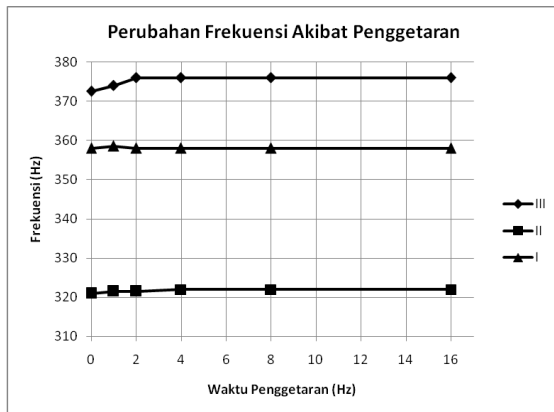
Setelah diketahui frekuensi nada awal specimen, maka dilakukan pelepasan tegangan sisa. Pelepasan dilakukan dengan metode getaran, yaitu dengan memberikan eksitasi pada frekuensi nada dasar specimen seperti yang diuji pada tahap sebelumnya. Sesuai dengan referensi, maka penggetaran pada frekuensi pribadi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

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Frekuensi Nada

Masing-masing specimen digetarkan untuk melihat efek tegangan sisa terhadap frekuensi nada. Penggetaran dilakukan dalam jangka waktu tertentu. Hasil pengujian dapat

dilihat pada grafik gambar 5 dan tabel 4 berikut.



Gambar 5. Perubahan frekuensi akibat penggetaran

Tabel 4. Perubahan frekuensi akibat penggetaran

	Frekuensi (Hz) stlh n-jam penggetaran					
Smpl	0	1	2	4	8	16
I	358	358.5	358	358	358	358
II	321	321.5	321.5	322	322	322
III	372.5	374	376	376	376	376

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa dua sampel II dan III mengalami perubahan nada yang cukup besar pada awal proses penggetaran baru kemudian mengalami kesetabilan nada setelah penggetaran selama dua jam. Sedangkan sampel I relatif tetap frekuensi nada dasarnya.

Dilihat dari data ini, hipotesa bahwa perubahan frekuensi terjadi akibat adanya pelepasan tegangan sisa bisa diperlihatkan. Pada awal proses penggetaran, tegangan sisa yang tersimpan pada specimen masih cukup tinggi, sehingga pelepasannya cukup drastis mempengaruhi frekuensi nada. Namun pada penggetaran selanjutnya, tegangan sisa relatif kecil atau bahkan sudah tidak ada samasekali, sehingga tidak terjadi lagi perubahan frekuensi. Untuk lebih jelasnya maka perlu dilihat hasil pengujian tegangan sisa.

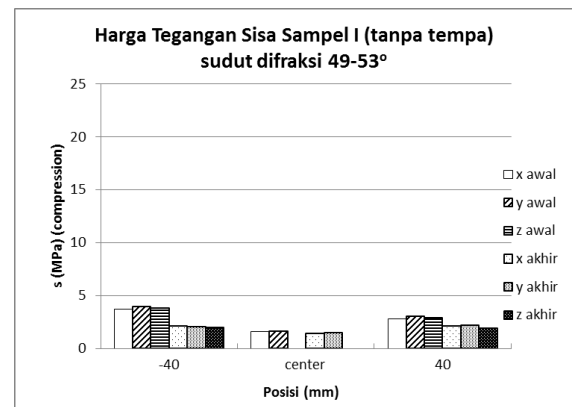
b. Tegangan Sisa

Data tegangan sisa merupakan data yang digunakan untuk melihat hasil pelepasan tegangan sisa dengan proses penggetaran. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa

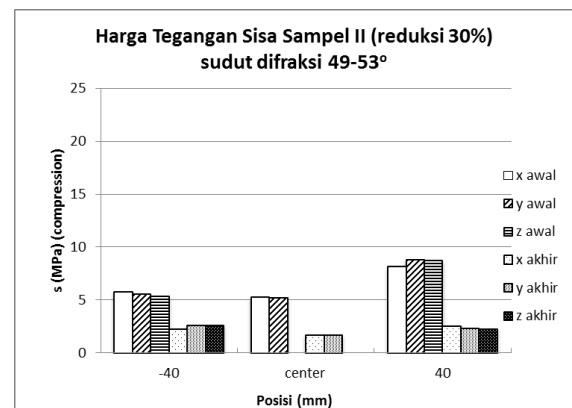
perubahan nada dasar gamelan diakibatkan oleh adanya pelepasan tegangan sisa.

Pengujian tegangan sisa ini dilakukan pada awal sebelum digetarkan dan akhir setelah proses penggetaran selesai dilakukan. Idealnya setiap tahap penggetaran diukur tingkat tegangan sisanya, tetapi dengan segala keterbatasan maka data awal dan akhir cukup mewakili.

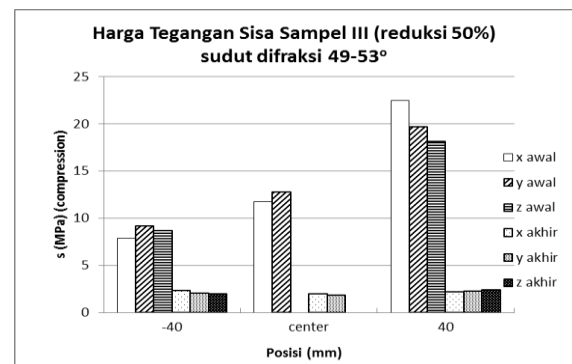
Hasil pengukuran tegangan sisa awal dan akhir dapat dilihat pada gambar 6, 7 dan 8 berikut.



Gambar 6. Pengujian tegangan sisa specimen I



Gambar 7. Pengujian tegangan sisa specimen II

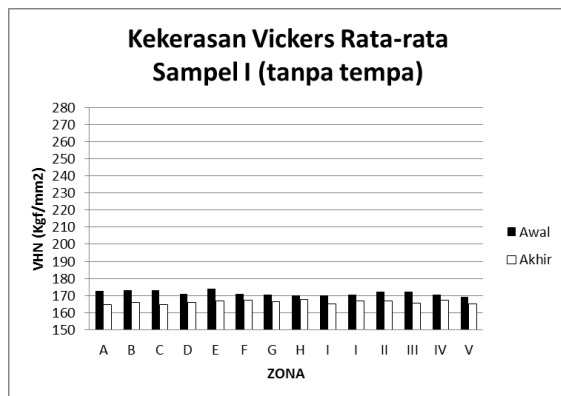


Gambar 8. Pengujian tegangan sisa specimen III

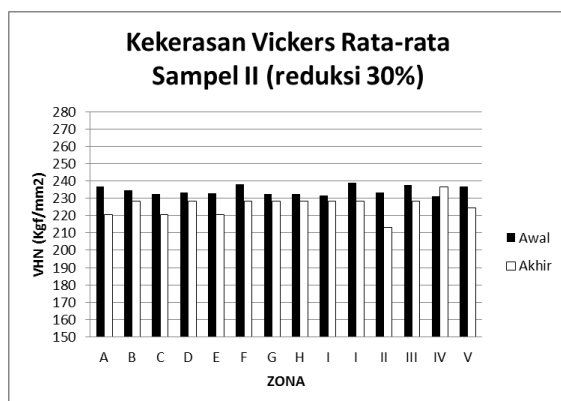
Dengan hasil penurunan tegangan sisa pada masing-masing specimen, maka dapat dibuktikan bahwa perubahan frekuensi nada diakibatkan oleh pelepasan tegangan sisa.

c. Uji keras

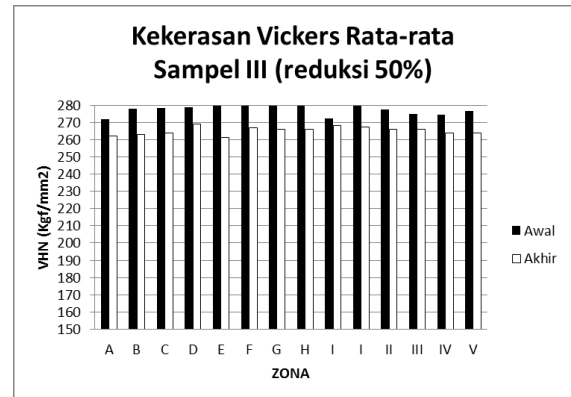
Dari hasil pengujian frekuensi dan tegangan sisa, diketahui bahwa frekuensi naik setelah tegangan sisa tekan dilepaskan. Perubahan frekuensi ini diakibatkan oleh perubahan kekakuan pada bahan. Untuk membuktikan perubahan kekakuan ini maka dilakukan uji keras. Untuk material yang biasa digunakan untuk konstruksi, kekakuan akan sebanding dengan kekerasan bahan. Pengujian kekerasan dilakukan sebelum (awal) dan setelah (akhir) perlakuan penggetaran. Hasil pengujian keras untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada gambar 9, 10 dan 11 berikut.



Gambar 9. Kekerasan Vickers specimen I



Gambar 10. Kekerasan Vickers specimen II



Gambar 11. Kekerasan Vickers specimen III

Perbandingan tingkat kekerasan untuk masing-masing sampel menunjukkan harga kekerasan yang paling tinggi pada sampel III dengan reduksi penampang yang lebih besar. Selain karena adanya tegangan sisa yang menghasilkan *strain hardening*, juga porositas yang dapat direduksi pada sampel yang ditempa.

Setelah perlakuan pelepasan tegangan sisa dengan getaran menunjukkan harga kekerasan yang menurun. Hal ini berbeda dengan yang dihasilkan oleh Syahroni (2007) dimana kekerasan pada sampel tempa naik setelah perlakuan. Namun berdasarkan analisis Gibmeier, dkk (2005) menyatakan bahwa penurunan tegangan sisa tekan akan menurunkan angka kekerasannya. Sehingga penurunan angka kekerasan ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Gibmeier dkk.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat hubungan antara tegangan sisa dengan frekuensi nada. Pada tegangan sisa tekan (negatif) yang terdapat pada sampel, pelepasan tegangan sisa akan mengakibatkan frekuensi nada yang naik.

Meskipun demikian belum bisa dilihat formulasi yang tepat antara kenaikan frekuensi terhadap pelepasan tegangan sisa yang terjadi.

Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderoglu, Osman, 2004, *Residual Stress Measurement Using X-Ray Diffraction*, Thesis, Texas A&M University.
- 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
- Alves, Bill, 1997, *Pleng: Composing for a Justly Tuned Gender Barung*, Journal of the Just Intonation Network 1, pp. 4-11
- Beards, C.F., 1996, “Structural Vibration: Analysis and Damping”, John Willey & Sons, New York.
- Burzic, Meri, dkk, 2012, Effect of Vibration on the Variation of Residual Stresses and Impact Energy in Butt-Welded Joints, Structural Integrity and Life, Vol 12, No 3 (2012), pp. 215-220
- Callister, W.D., Jr., 2007, Material Science and Engineering, An Introduction, 7th ed, John Willey & Sons, inc. pp 36-206
- Fitzpatrick, M.E., dkk, 2005, Determination of Residual Stresses by X-ray Diffraction – Issue 2, National Physical Laboratory Teddington, Middlesex, United Kingdom
- Gibmeier, J., Hartmann, S., dan Scholtes, B., 2005, Effect of applied and residual stresses on the analysis of mechanical properties by means of instrumented indentation techniques, Materials Science Forum Vols. 490-491 (2005) pp. 454-460
- 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
- He, B.B., Preckwinkler, 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
- Malau, Daniel P., , 2004, Kaji Numerik dan Eksperimental Parameter Dinamik Gong Sunda dan Gong Jawa, Tugas Sarjana, Dept Teknik Mesin, ITB
- Perrin, R., Swallowe, G.M., Charnley, T., dan Marshall, C., 1999, “On The Debossing, Annealing and Mounting of Bells”, Journal of Sound and Vibration 227(2), pp. 409-425
- Prevéy, Paul S., 1986, “X-ray Diffraction Residual Stress Techniques”, Metals Handbook 10, Metals Park: American Society for Metals, , 380-392.
- Qiu, A.P., Su, Y., Wang, S.R., dan Zhou, B.L., 2005. “Effect of Residual Stresses on a Micromachined Z-Axis Vibrating Rate Gyroscope”, Key Engineering Materials Vols. 295-296 pp. 101-106
- 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
- Shackelford, James F., 2009, Introduction to Material Science for Engineers, Seventh Edition, Pearson Education Inc., New Jersey
- Surjodiningrat, W. Sudarjana, P.J., dan Susanto, A., 1993, Tone Measurements of Outstanding Javanese Gamelan in Yogyakarta and Surakarta, Gadjah Mada University Press, 2nd. Revd Edition
- Syahroni, Ahmad, 2007, Karakteristik Getaran pada Baja yang Mendapatkan Proses Penepaan, Skripsi, Jur Teknik Mesin dan Industri, UGM, Yogyakarta

Thomson, William T., 1993, "Theory of Vibration with Applications", Fourth Edition, Prentice Hall, New Jersey.

Withers, P.J., dan Badheshia, H.K.D.H., 2001, "Overview Residual Stres : Part 1 – Measurement Technique", Material Science and Technology, Vol 17 April, 2001 pp. 355-365

Zhang, Y.B., Chen, S.W., Liu, C.J., Sun, Y.H., Sun, M.C., dan Wang, R.K., 2005, "The Vibratory Stress Relief of Drill Pipe", Materials Science Forum Vols. 490-491 pp. 300-304