

Pengaruh Perlakuan Panas dan Media Pendingin pada Paduan Perunggu 80%Cu–20%Sn terhadap Umur Lelah

Anak Agung Istri Agung Sri Komaladewi & I Ketut Suarsana

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung

e-mail: komala.dewi@me.unud.ac.id

Abstrak

Pembuatan produk gamelan Bali bertumpu pada proses pengecoran yang dilanjutkan dengan proses penempaan, pelarasan, dan pada akhirnya proses finishing. Namun masih sering menimbulkan kegagalan dari material seperti, material mengalami patah karena beban pada proses pemakaian (megambel) secara berulang-ulang dalam jangka waktu yang cukup lama. Patah yang terjadi akibat pembebanan yang berulang-ulang disebut patah lelah. Pada penelitian ini permasalahan yang diangkat adalah bagaimana pengaruh perlakuan panas dan media pendingin (quenching) terhadap umur lelah (fatigue life) dengan uji Reversed Bending. Benda uji dibuat dengan peleburan Tembaga dan Timah Putih dengan komposisi 80%(Cu)-20%(Sn). Material hasil peleburan dicetak sesuai standar spesimen uji Reversed Bending dan memvariasikan perlakuan panas juga media pendingin. Spesimen diberi perlakuan panas (heat treatment) pada temperatur 650°C, 700°C dan 750°C, kemudian didinginkan menggunakan media pendingin Air, Oli dan Udara. Pengamatan dari kontur patahan, struktur makro dan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan nilai umur lelah pada paduan Perunggu 80%Cu – 20%Sn, dari perlakuan panas 650°C, 700°C sampai 750°C dan terjadi peningkatan umur lelah pada media pendingin udara dengan rata-rata umur lelah mencapai 36621 cycle, sedangkan umur lelah media pendingin oli rata-rata mencapai 44975 cycle dan untuk media pendingin air rata-rata umur lelah mencapai 55191 cycle. Pengamatan struktur makro permukaan patah berwarna agak gelap dan pengamatan struktur mikro struktur logamnya tampak lebih terang.

Kata kunci: Perlakuan panas,, Media pendingin, Umur lelah dan Struktur makro dan mikro

Abstract

The Influence of Heat Treatment and Quenching Media at Bronze 80% Cu–20% Sn toward Fatigue Life

Production of the Balinese gamelan product rest on molding process which then continued with forging process, adjustment, and finally the finishing process. But still often to make the failure from this material like. The material become broke because heavy thing with the user processing (playing gambelan) with continuity in the long time. The broke that happen from the heavy thing by the continuity that is called fatigue. At this examination the things that will be up is how much the heat treatment influence and the cooler thing with the fatigue life through the Reversed Bending process. By to variated the heat treatment and cooler thing to Bronze mixture 80%Cu and 20%Sn. This examination to aim at knowing the heat treatment influence and cooler thing at the composition of Bronze 80%Cu and 20%Sn about the fatigue life. The making process of this things made by copper solution and the white Tin with the composition are 80%Cu and 20%Sn by variated heat treatment and cooler media. The produce of this solution will print with the Reversed Bending speciment. Then the speciment gift the heat treatment about 650^o C, 700^o C till 750^o C, and then the speciment keep cold by the water, oil and the air. The thing will be analize from the breach counture, Macro Structure and Micro Structure. The examination produce showing the growing up at the fatigue life in the Bronze mixture 80%Cu - 20%Sn, From the heat treatment 650^o C, 700^o C and 750^o C and become the drop age fatigue with the water cooler media with the age fatigue about 36621 cycle, and the fatigue by oil about 44975 cycle and the air cooler age fatigue about 55191 cycle. The inspection makro structure the breach face colouring litle bit dark and the inspection mikro structure, the metal structure lool more bright.

Key words: Heat treatment and Cooler, Fatigue life, Macro and Micro structure.

1. Pendahuluan

Pembuatan Gambelan Bali dengan proses pengecoran merupakan salah satu industri kecil yang berkembang pesat di daerah Bali. Berbagai jenis perangkat Gambelan Bali khususnya Gong yang terbuat dari paduan Perunggu masih diproduksi oleh para pengrajin (*pande*) dengan metode pengecoran secara tradisional yang didasari oleh pakem-pakem

yang diperoleh secara turun-temurun. Namun masih sering menimbulkan kegagalan dari material seperti, material mengalami patah karena beban pada proses pemakaian (*megambel*) secara berulang-ulang dalam jangka waktu yang cukup lama, hal ini juga mempengaruhi kualitas suara Gambelan tersebut.

Kesadaran akan terjadinya kegagalan akibat kelelahan khususnya pada bahan Gambelan Bali

masih sangat kurang. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Kadek Yuliana, 2007) mengenai pengaruh variasi komposisi Tembaga dan Timah Putih terhadap umur lelah memberikan nilai Umur Lelah yang panjang pada paduan Perunggu 80%Cu dan 20%Sn yaitu dengan nilai sebesar 30826 Cycle. Namun penelitian tersebut belum mengkaji pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) dan media pendingin pada paduan Perunggu 80%Cu-20%Sn terhadap umur lelah (*fatigue life*). Proses pembuatan suatu produk (*gambelan*) bertumpu pada proses pengecoran yang selanjutnya dengan proses pemadatan (*forging*). Dalam proses *forging* tegangan sisa yang terjadi tidak dapat dihindari. Efek negatif dari timbulnya tegangan sisa adalah produk tersebut akan retak ataupun sifat mekanis logam akan menurun. Menurunnya sifat ini akan memberi implikasi pada kualitas pada material yang di tempa. Untuk dapat mengurangi tegangan sisa seperti pada proses pembentukan diberikan perlakuan panas setelah *forging* pada produk tersebut (Sriati Djaprie, 1987). Perlakuan panas yang meliputi temperatur pemanasan, lama pemanasan dan pendinginan dengan tujuan merubah sifat dan struktur mikro suatu material. Penggunaan media pendingin seperti air, oli dan udara setelah proses *forging* juga memberikan pengaruh terhadap umur lelah pada paduan Perunggu Gambelan Bali. Pada penelitian ini akan diangkat permasalahan bagaimana Pengaruh Perlakuan Panas dan Media Pendingin pada Paduan Perunggu terhadap Umur Lelah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dan media pendingin pada komposisi paduan Perunggu 80%Cu dan 20%Sn terhadap umur lelah. Juga untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada paduan perunggu setelah diberikan perlakuan panas dan didinginkan dengan air, oli dan udara dengan pengamatan metalografi. Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menampilkan data hasil uji kelelahan dari material perunggu dengan komposisi 80%Cu dan 20%Sn yang digunakan sebagai bahan gambelan.

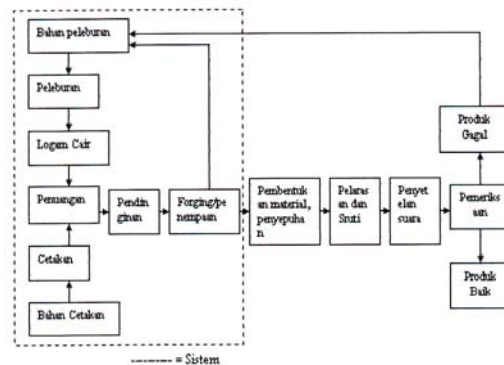
2. Tinjauan Pustaka

Proses pengecoran logam khususnya gambelan Gong Bali menggunakan prinsip mengikuti alur produksi seperti gambar 1. Peleburan paduan logam pada produksi gong dilakukan dengan dua tahap peleburan. Pertama khusus untuk pencampuran Tembaga dengan Timah. Pada peleburan tahap ini dilakukan pada dapur dan kowi dengan kapasitas yang besar. Perbandingan campuran yang dilebur merupakan standar dari tukang (*pande*) tidak memperhatikan kapasitas campuran maupun campuran masing-masing komponen Gambelan. Mula-mula bahan Tembaga dan Timah Putih ditimbang sesuai dengan kebutuhan misalnya, 1 kg, 1,2 kg, 1,5 kg. Paduan coran yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam kowi-kowi ukuran kecil.

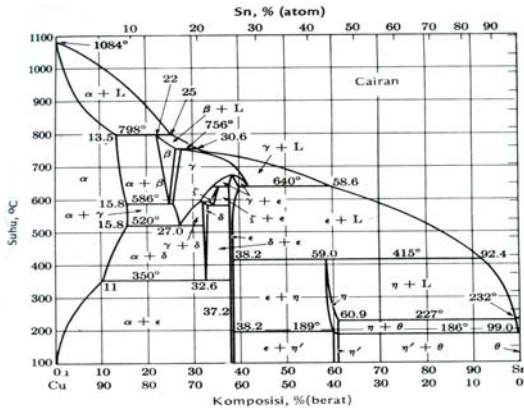
Kowi-kowi tersebut dimasukkan kedalam dapur peleburan.

Pertama-tama Tembaga dilebur/dicairkan pada dapur peleburan seperti ditunjukkan pada gambar 1. Pada saat tembaga mencair baru dimasukkan Timah Putih sehingga pencampuran dua logam tersebut dapat dianggap merata. Campuran yang telah melebur dituangkan kedalam cetakan (*cetakan I sebelum cetakan berikutnya*). Pada tahap ini kualitas campuran tidak begitu dipentingkan karena akan diperbaiki pada proses peleburan yang kedua yaitu pada waktu pembuatan lakar untuk ditempa. Masaknya campuran Perunggu akibat pemanasan ditandai dengan gelembung-gelembung yang timbul pada campuran tersebut. Campuran yang telah mencair dimasukkan/dicetak pada cetakan khusus yang sesuai dengan bentuk Gambelan.

Paduan Timah Putih yang larut dalam Tembaga hampir sama dengan Seng yang larut dalam Tembaga. Dalam Gambar 2 diperlihatkan sistem biner untuk diagram Equilibrium dari dua paduan yaitu antara Timah Putih dengan Tembaga. Dalam gambar terlihat bahwa kemampuan untuk melarut dari Timah Putih dengan presentase diatas 13,5 % selama terjadi proses pembekuan dimana akan terbentuk fase α , pada temperatur dibawah akan terbentuk fase $\alpha + \delta$ (*eutektoid phase*) akan terjadi. Pada paduan ini fase α yang terbentuk merupakan fase yang larut pada kondisi padat tetapi lebih lunak. Akan tetapi untuk fase δ mempunyai sifat terlalu keras dan getas. Di samping itu presentase Timah Putih antara 5-15 % memiliki jarak temperatur yang relatif lama yaitu diatas 400° F. Dengan proses pembekuan yang panjang, paduan ini cukup menyebabkan kenaikan kekerasan dan meningkatkan kekuatan cor [8]. Reaksi *Eutektoid* yang terdapat pada sistem Cu-Sn terdapat empat *Eutektoid*, reaksi *Eutektoid* berlangsung pada satu suhu tertentu-suhu eutektoid. Bila bahan padat 2 menyimpang dari komposisi *Eutektoid*, salah satu dua garis daya larut terlampaui lebih dulu, sehingga salah satu fasa mulai memisahkan diri. Prototipe reaksi *Eutektoid* adalah Dekomposisi Isotermal dari *Austenit*.



Gambar 1. Diagram alir produksi gambelan



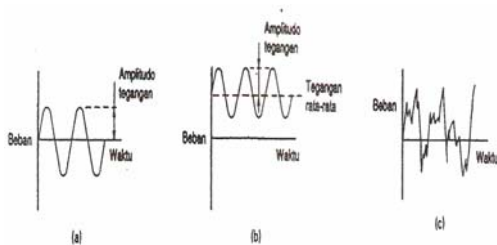
Gambar 2. Diagram Equilibrium Sistem Biner Paduan Cu-Sn [10]

Kelelahan

Kelelahan (*fatigue*) didefinisikan sebagai suatu proses yang progresif dan terlokalisasi dari perubahan struktur permanen akibat keadaan yang menghasilkan fluktuasi tegangan atau regangan pada satu atau beberapa titik yang pada puncaknya dapat menimbulkan retak (*crack*) atau patah sempurna (*fracture*) setelah sejumlah fluktuasi tertentu [6].

Kegagalan lelah (*fatigue failure*) pada umumnya terjadi sangat tiba-tiba tanpa petunjuk awal. Kegagalan lelah dijumpai pada tegangan kurang dari 1/3 kekuatan tarik statik pada bahan struktur tanpa pemusatan tegangan. Dalam keadaan dimana pemusatan tegangan diperhitungkan, mungkin bahan akan putus pada tegangan yang jauh lebih rendah [9].

Kegagalan lelah adalah proses statistik, sehingga pengukurannya memerlukan pengujian yang meluas. Pengujian dapat dilakukan dengan mempersiapkan sejumlah material uji pada kondisi tertentu dan mencatat sejumlah siklus yang diperlukan hingga terjadi perpatahan pada tegangan tertentu. Parameter uji yang penting antara lain: tegangan rata-rata σ_m dan amplitudo tegangan fluktuasi σ_a . Kondisi pada saat pembebanan yang biasa digunakan dalam pengujian lelah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Siklus Pembebanan: (a). Tegangan-tekanan Berfluktuasi (*tegangan rata-rata = 0*); (b) Tegangan Berfluktuasi (*tegangan rata-rata > 0*); (c) Beban Tegangan-Tekanan Acak. Sumber : Alexander,1990.

Umur lelah dinyatakan sebagai jumlah siklus tegangan yang dicapai material sampai terjadi perpatahan pada pembebanan tertentu. Batas lelah (*fatigue limit* atau *endurance limit*) didefinisikan sebagai besarnya beban maksimal yang menyebabkan umur lelah tak terhingga. Kekuatan lelah (*fatigue strength*) didefinisikan sebagai besarnya tegangan yang menyebabkan terjadinya kegagalan lelah pada suatu siklus [3].

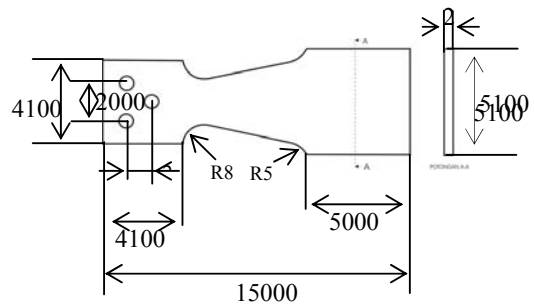
Fase pertama terjadi *cyclic slip* setelah mengalami sejumlah siklus beban yang diteruskan dengan terjadinya retak mikro yang dapat diamati dalam pita slip (*slip band*). Pada fase ini retak mulai mengintasi. Retak mikro ini akan merambat dan menjadi retak makro. Transisi retak mikro menjadi retak makro sulit ditentukan, sebagai patokan retak makro didefinisikan sebagai retak yang dapat dilihat dengan mata telanjang. Retak makro akan merambat sehingga penampang sisa (*ligaman*) menjadi semakin kecil yang pada akhirnya penampang tersebut tidak mampu lagi menahan fluktuasi beban sehingga terjadi patah akhir [4].

3. Metodologi Penelitian

Material yang digunakan adalah material Perunggu hasil coran yaitu campuran antara Tembaga dan Timah Putih dengan campuran paduan 80% Cu dan 20% Sn. Didalam pelaksanaan penelitian ini alat-alat yang digunakan untuk mendapatkan data, adalah:

- Cetakan yang terbuat dari tanah sari.
- Wadah/tempat untuk mencairkan logam (*crucible*).
- Sendok pengaduk/pengambil slag.
- Bak air dan oli untuk pendinginan.
- Mikroskop optik dan kamera digital.

Adapun dimensi material uji dinamis berdasarkan pada *basic test specimen (plate bending specimen)* LFE-150 Universal Testing Machine,



Gambar 4. Bentuk dan Ukuran Spesimen Standar Reversed Bending.

Langkah-langkah dari proses perlakuan panas pada spesimen uji adalah sebagai berikut:

1. Masukkan spesimen dengan waktu *holding time* yang sudah ditentukan kedalam dapur pemanas untuk menjalankan proses *heat treatment*.
2. Temperatur : 650⁰ C, 700⁰ C dan 750⁰ C.

- Jika temperatur sudah mencapai temperatur yang ditentukan maka selanjutnya didiamkan spesimen uji di dalam Oven atau dapur pemanas sesuai dengan waktu penahanan 30 menit. Kemudian ambil dan dinginkan dengan media pendingin air, oli dan udara pada temperatur tertentu.

Pada pengujian ini suatu benda uji yang digetarkan oleh mesin uji yang nantinya dapat diketahui sifat kerapuhan dan ketangguhan dari suatu material. Hasil coran yang telah didinginkan selanjutnya dibentuk untuk spesimen uji *reversed bending*. Dimensi dan ukuran dari benda uji untuk uji *reversed bending* disesuaikan dengan specimen standar, menggunakan *Plate Bending Specimen Model LFE-150 Universal Testing Machine*.

Tahap – tahap pengujian ini adalah :

- Persiapkan spesimen dan alat uji *reversed bending*.
- Pastikan sensor dan counter pada alat uji menunjukkan angka nol.
- Pastikan tidak ada sesuatu yang menghambat gerakan dari poros *reciprocating*.
- Letakkan spesimen pada dudukan secara benar.
- Catat data pada counter cycle dari alat uji
- Ulangi langkah diatas untuk spesimen berikutnya.
- Data dapat ditabelkan dan pengolahan data.

Langkah selanjutnya struktur mikro dapat diamati dengan menggunakan mikroskop, dengan pembesaran hingga 400x. Spesimen dihaluskan permukaannya dengan menggunakan amplas, dengan tingkat kehalusan yang tinggi selanjutnya di etsa dan diamati dengan mikroskop.

4.Data dan Pembahasan

Data hasil pengujian *Reversed Bending* dari masing-masing spesimen dengan perlakuannya dapat dilihat pada tabel umur lelah sebagai berikut :

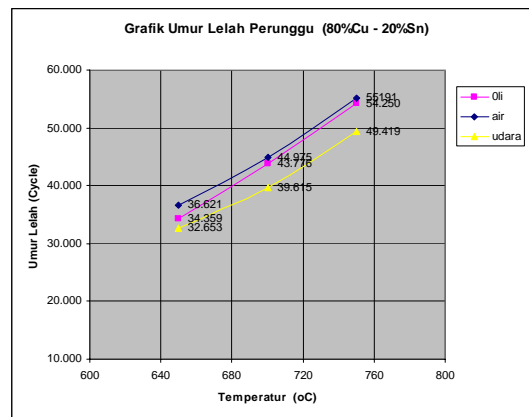
Tabel 1. Data hasil pengujian umur lelah (cycle) dari masing-masing perlakuan

PERLAKUAN PANAS	MEDIA PENDINGIN			JUMLAH
	AIR	OLI	UDARA	
650°C	36.180 35.895 37.787	39.567 46.583 48.775	49.880 57.470 58.223	
Jumlah	109.862	134.925	165.573	410.360
Rata-Rata	36620,66667	44975	55191	
700°C	33.180 34.892 35.004	44.865 40.985 45.478	53.245 51.939 57.545	
Jumlah	103.076	131.328	162.749	397.153
Rata-Rata	34358,666	43776	54249,666	
750°C	34.025 31.830 32.085	39.465 41.005 38.375	48.255 49.857 50.145	
Jumlah	97.980	118.845	148.257	365.062
Rata-Rata	32653,33333	39615	49419	
TOTAL	310.898	385.098	476.579	1.172.575

Tabel 2. Rata-rata Umur Lelah (Cycle) dari masing-masing perlakuan.

Temperatur	Media Pendingin		
	Air	Oli	Udara
650°C	36.621	44.975	55.191
700°C	34.359	43.776	54.250
750°C	32.653	39.615	49.419

Dalam penelitian ini digunakan analisa grafik dengan menampilkan data rataan dari Perlakuan panas dan media pendingin terhadap umur lelah material. Pada gambar 5 berikut ditunjukkan hubungan antara Perlakuan panas dan media pendingin terhadap umur lelah sebagai berikut:

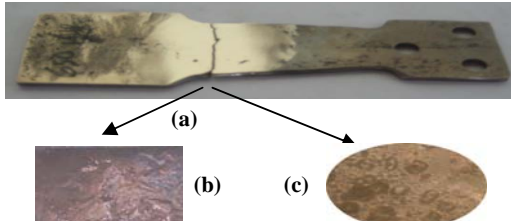


Gambar 5. Grafik hubungan media pendingin dan perlakuan panas terhadap umur lelah

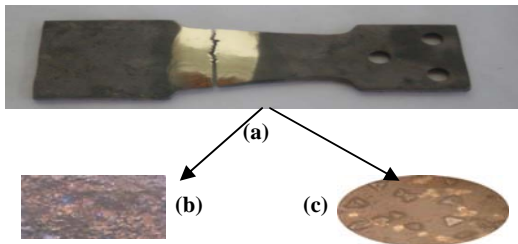
Pada gambar 5 ditunjukkan grafik adanya pengaruh perlakuan panas dan media pendingin terhadap umur lelah. Dapat juga dilihat pada grafik tersebut interaksi Perlakuan panas dan media pendingin memberikan pengaruh terhadap umur lelah yaitu dari media pendingin udara, oli dan air mengalami peningkatan, begitu pula dengan perlakuan panas yang juga memberi pengaruh terhadap umur lelah yaitu mengalami peningkatan umur lelah mulai dari 650°C, 700°C dan 750°C, disebabkan pendinginan yang cepat pada temperatur yang tinggi akan merubah struktur membentuk struktur yang keras (*martensit*).

Untuk kontur seperti yang terlihat pada gambar 6 Temperatur 650°C dengan media pendingin Udara, kountur patahan yang terjadi pada material berbentuk bergerigi. Perpatahan pada material memotong batas butir pada logam perunggu tersebut. Dari struktur mikro dapat diamati bahwa bentuk dari struktur logamnya membentuk garis-garis panjang, dapat dilihat pertumbuhan butiran mulai berubah menjadi butiran yang lebih besar, patahan tersebut didefinisikan sebagai patah getas yang pada umumnya tampak terang dan berkilau. Gambar 7 Temperatur 700°C dengan media pendingin Oli,

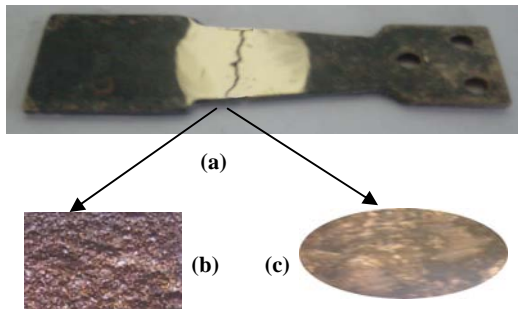
bahwa spesimen tampak lebih berwarna agak gelap dan cenderung berserabut, patahan tersebut didefinisikan sebagai patahan ulet, Gambar 8 Temperatur 750°C dengan media pendingin Air, bahwa spesimen tampak lebih terang dan seperti kristal (*Crystalline*), patahan tersebut didefinisikan sebagai patah getas yang pada umumnya tampak terang dan berkilau.



Gambar 6. (a) Kontur Patahan, (b) Struktur Makro 50x, (c) Struktur Mikro 400x, pada Temperatur 650°C dengan media pendingin Udara



Gambar 7. (a) Kontur Patahan, (b) Struktur Makro 50x, (c) Struktur Mikro 400x, pada Temperatur 700°C dengan media pendingin Oli



Gambar 8. (a) Kontur Patahan, (b) Struktur Makro 50x, (c) Struktur Mikro 400x, pada Temperatur 750°C dengan media pendingin Air.

5. Kesimpulan

1. Dari pengujian *Reversed Bending* pada material Perunggu dengan komposisi 80%Cu - 20%Sn dengan variasi media pendingin dan perlakuan panas menunjukkan adanya pengaruh dari media pendingin dan perlakuan panas terhadap umur lelah material, dimana pada media pendingin air

dengan perlakuan panas 750°C menunjukkan umur lelah yang tertinggi dengan nilai umur lelah mencapai 55191 cycle.

2. Fenomena yang terjadi pada paduan perunggu dengan komposisi 80%Cu -20%Sn setelah diberikan perlakuan panas 650°C, 700°C, 750°C dan didinginkan dengan udara, oli dan air mengalami peningkatan umur lelah.
3. Patahan pada material memotong butir-butir pada logam perunggu, dari struktur mikro dapat dilihat pertumbuhan butiran mulai berubah menjadi butiran yang lebih besar, patahan tersebut didefinisikan sebagai patah getas yang pada umumnya tampak terang dan berkilau.

Daftar Pustaka

- [1] Askeland, D. R., 1984, *The Science and Engineering of Materials*, University of Missouri-Rolla, California, USA.
- [2] ASTM Designation: E466-82, Standard Practice for Conducting Constant Amplitude Axial
- [3] Deutschman, D. E., 1975, *Machine Design*, MacMillan Publishing Co., Inc, New York.
- [4] Dieter, G. E., 1992, *Metalurgi Mekanik*, edisi ketiga, alih bahasa Ir. Ny Sriati Djaprie M.E.,M.Met.penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] Faupel, J. H and Fisher, F.E., 1981, *Engineering Design*, A Wiley-Interscience Publications, Jhon Wiley and Sons, Toronto.
- [6] Funch, H.O. and Stephens, R.I., 1980, *Metal Fatigue in Engineering*, A Wiley-Interscience Publications, Jhon Wiley and Sons, Toronto.
- [7] George, D.E, 1992, *Metalurgi Mekanik*, edisi ketiga, alih bahasa Ir. Ny Sriati Djaprie M. E. M. Met, penerbit Erlangga, Jakarta.
- [8] Gruber, S., 1985, *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*, Angkasa, Bandung.
- [9] Surdia, T. Dan Chijiiwa, K., 1986, *Teknik Pengecoran Logam*, edisi ketujuh, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [10] Vlack, V., 1986, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, edisi empat, alih bahasa Ny Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- [11] Wikipedia (*The Free Eyclopedia*), 2006, (*Tin*),(*Bronze*),(*Copper*) <http://en.wikipedia.org/wiki/Tin>, Wikipedia Foundati