

ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK TABUNG MOTOR ROKET RX-250

oleh :

EDIWAN ¹⁾

Abstract

Untuk mengamati pengaruh temperatur tinggi terhadap struktur tabung motor roket adalah dengan mengamati perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya. Penelitian ini dilakukan pada tabung paduan aluminium dengan diameter 250 mm yang digunakan pada motor roket dengan bahan bakar padat yang pernah gagal. Tujuan penelitian adalah mengamati perubahan struktur mikro akibat temperatur tinggi, memetakan temperatur kerja maksimum yang telah diterima dinding tabung dan menganalisis perubahan struktur mikro yang dapat menyebabkan kegagalan kerja tabung tersebut

1. PENDAHULUAN

Untuk mendapatkan tingkat kehandalan yang tinggi, diperlukan pengontrolan kualitas yang memadai dimulai dari pemilihan bahan yang dipergunakan, dalam proses pengerjaan dan perakitan hingga suatu sistem yang siap dipergunakan.

Konstruksi dalam teknologi antariksa sering mempergunakan struktur yang kuat dan ringan serta persyaratan-persyaratan tinggi yang menuntut studi dan penelitian yang cermat dalam pemilihan bahan dan proses pengerjaan serta prosedur - prosedur pengujian dan pemeriksaan.

Perancang konstruksi selalu me-ramalkan kondisi yang bakal dihadapi yang meliputi kondisi pembebanan atau gaya-gaya yang akan diterima. Sedangkan pada kondisi yang sebenarnya bukanlah suatu hal yang mudah, dari ketidak pastian akan kesempurnaan material maka timbul apa yang disebut faktor keamanan. Pemilihan faktor keamanan yang terlalu tinggi ber-akibat terlalu berat dan boros penggunaan material, sebaliknya pemilihan faktor keamanan yang terlalu kecil berarti bermain untung-untungan dan mengundang bahaya. Langkah yang lebih baik adalah menguji sub-sub bagian serta menganalisis hasil rancangan yang telah terlanjur gagal dengan analisis kegagalan.

Tujuan penelitian adalah untuk memastikan sifat mekanik material, mengamati perubahan struktur mikro akibat pengaruh temperatur tinggi, memetakan temperatur kerja maksimum yang telah diterima dinding tabung yang tidak gagal dan menganalisis perubahan struktur mikro yang dapat menyebabkan kegagalan kerja tabung tersebut.

1) Staf Bidang Struktur LAPAN

Untuk mengetahui temperatur kerja pada daerah yang tidak gagal dapat diketahui dari analisis kesesuaian struktur mikro antara aluminium yang dipanaskan dan tabung yang telah menerima panas yang tinggi akibat pembakaran propellant.

2. STUDI LITERATUR

Untuk memahami proses temperatur tinggi dan pengaruhnya terhadap struktur mikro material tabung ruang bakar motor roket, akan dibahas mengenai peroketan, paduan-paduan aluminium dan metalurgi nya, serta dasar-dasar peroses perlakuan-perlakuan aluminium secara singkat.

2.1 Motor Roket dan Kondisi Operasinya

Roket terdiri dari beberapa bagian utama, salah satu bagian yang terpenting dari sebuah roket adalah motor roket sebagai sistem propulsinya. Motor roket inilah yang mendorong dan meluncurkan roket secara keseluruhan sesuai dengan misi yang diembannya sebagai senjata, penelitian atmosfer, cuaca, sumber alam dan penelitian ilmiah lainnya.

Sistem propulsi yang digunakan bermacam-macam, salah satunya adalah motor roket propellan padat yang mempergunakan propellan (fuel dan oxidiser) berbentuk padat sesuai dengan tabung yang akan diteliti berdiameter 250 mm dengan proses pembakaran dalam (internal burning) serta dinding tabung dilindungi liner. Pada motor roket propellan padat, proses pembakaran berlangsung terus setelah awal penyalaan hingga propellannya habis terbakar.

2.2 Material Motor Roket

Bila ditinjau dari volume pemakaianya maka bahan-bahan bukan baja (non ferrous) menempati urutan pertama dalam teknologi antariksa seperti halnya dalam teknologi pesawat terbang. Bahan-bahan lain yang dipergunakan dalam teknologi antariksa adalah polimer, keramik, grafit dan bahan-bahan komposit.

2.3 Persyaratan Material Motor Roket

Beberapa persyaratan yang menentukan pemilihan bahan material yang dipergunakan untuk ruang bakar motor roket antara lain adalah sebagai berikut:

- Dinding ruang bakar harus kuat dan ulet menahan tekanan tinggi dan perubahan tekanan yang cepat (ledakan).
- Material yang dipilih harus tahan temperatur yang tinggi serta di per timbangkan kekuatannya terhadap ter jadinya tegangan termal (thermal Stress) akibat perpindahan panas yang tidak merata dari gas hasil pembakaran. Sifat bahan secara umum pada berbagai temperatur
- Dinding diusahakan setipis mungkin dan seringan mungkin agar tercapai *loading density* yang tinggi.
- Mempunyai keuletan (ductility) yang tinggidan tidak getas / rapuh (brittle).
- Disamping itu mudah pengerjaannya, relatif murah dan mudah didapat.

2.4 Paduan Aluminium

Material yang banyak dipakai dalam bidang penerbangan dan keantariksaan harus memiliki sifat ringan, kuat, kaku dan ulet sebagai contoh adalah paduan aluminium. Aluminium merupakan logam yang luas pemakaiannya, hal ini disebabkan karena logam aluminium memiliki sifat yang istimewa yaitu ringan, kuat ulet dan sebagainya. Dalam hal ini material yang digunakan untuk tabung adalah aluminium 2024-T3 dengan paduan utama tembaga.

Material ini banyak pema kaiannya pada konstruksi-konstruksi ringan, dalam penerbangan dan keantariksaan sebagai struktur rangka pesawat terbang, tabung roket dan struktur rangka satelit.

2.5 Klasifikasi Paduan AL

1. Berdasarkan Unsur-unsur paduan :

Aluminium merupakan logam ringan dengan masa jenis yang relatif kecil (2.7 g/cm^3) bila dibandingkan dengan baja (7.9 g/cm^3) dan mempunyai sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya

2. Berdasarkan pembuatannya

a. Paduan tempa (wrought alloys) dibagi berdasarkan kemampuannya dikeraskan kan dengan proses perlakuan panas (heat treatment) yaitu :

- Heat treatable alloys seri 2000, 6000 dan 7000
- Non heat treatable alloys yaitu seri 1000, 3000, 4000 dan 5000

b. Paduan cor (casting alloys) : Paduan ini umumnya mempergunakan Si, Cu, Mg, Mn sebagai unsur-unsur paduannya yaitu paduan yang dipakai untuk proses coran.

Dalam teknologi antariksa paduan-paduan tempa yang dapat dikeraskan (heat treatable) merupakan bahan yang dominan pemakaiannya.

Dari hasil uji tarik yang pernal dilakukan bahwa kekuatan paduan aluminium ini mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dari kekuatan baja karbon rendah. sehingga dengan keunggulan-keunggulan tersebut menyebabkan pemakaian yang luas dari paduan-paduan aluminium tempa berkekuatan tinggi sebagai struktur rangka pesawat terbang, roket dan satelit.

2.6 Metalurgi Paduan Dasar Tembaga

Paduan aluminium 2024 biasa di gunakan untuk komponen yang mempunyai kekuatan tinggi dan stabil pada temperatur operasinya. Penggunaan pada motor roket ditujukan untuk mendapatkan material yang kuat dan ringan, hal ini memerlukan pertimbangan berbagai faktor untuk me mastikan bahwa bahan aluminium yang diteliti ini mempunyai kehandalan (reliability) yang tinggi dalam pema- kaiannya.

Dalam kondisi yang seimbang pada temperatur kamar paduan Al-Cu memiliki diagram fasa yang ada adalah $\alpha + \theta$ Aging (penuaan).

3. LANGKAH-LANGKAH DAN HASIL PENGUJIAN

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengambil sampel material yang gagal atau pecah akibat proses pembakaran.
2. Mengambil sampel material induk untuk bahan yang sama yang belum menerima panas
3. Material langkah kedua dilakukan pemanasan (heat treatment $T=350, \dots 650^{\circ}C$)
4. Langkah pertama dan ketiga di persiapkan untuk pemeriksaan struktur mikro, yaitu penghalusan dan pemolesan
5. Dilanjutkan dengan pengamatan struktur mikro dengan mengambil foto struktur mikro serta kekerasannya.
6. Pemeriksaan kekerasan makro
7. Langkah keempat juga dilakukan pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscop)
8. Dilakukan analisis struktur mikro dan kekerasan.

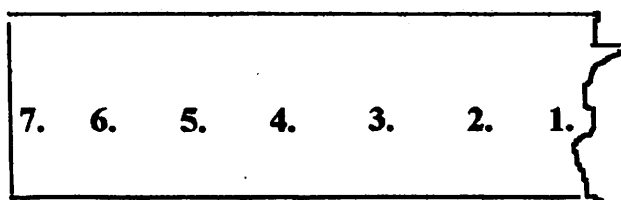
Dari hasil pengujian tarik yang pernah dilakukan untuk material yang sama, ternyata kekuatan tarik maksimum material induk yang diteliti lebih kuat dari baja paduan rendah.

3.1 Pembuatan Sampel

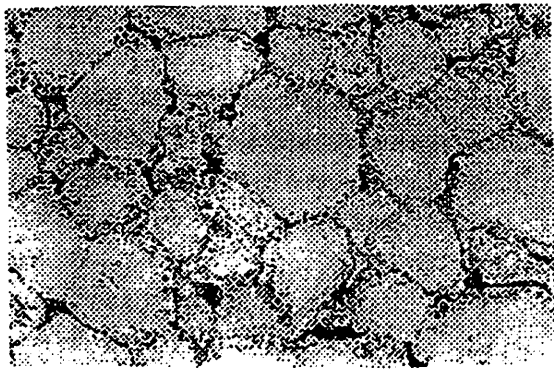
Hasil pemotongan material tabung yang gagal dan material induk, masing-masing diampelas. Selama proses pengampelasan harus dilakukan pendinginan secukupnya dengan memberikan fluida pendingin yang tidak akan merusak struktur mikro yang dimulai dari pengampelasan yang kasar sampai pengampelasan halus. Setiap langkah pengampelasan diharapkan dapat menghilangkan sama sekali bagian-bagian yang terdeformasi yang diperoleh dari langkah pengampelasan sebelumnya dan dianjurkan pengampelasan yang cukup lama dan cermat sehingga waktu pemolesan lebih singkat. Setiap langkah berakhir specimen harus senantiasa dicuci dan dibersihkan. Material yang telah dipoles kemudian di etsa untuk melihat batas butir dengan menggunakan etsa *Keller's Reagent* yang terdiri dari : 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃ 190 ml Air.

3.2 Pemeriksaan Struktur Mikro dan Kekerasan

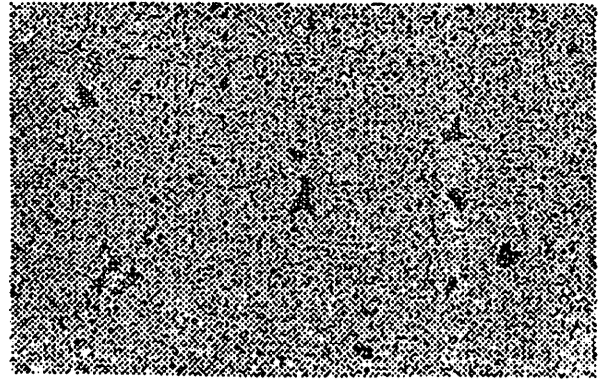
Bentuk specimen yang diperiksa struktur mikro dan kekerasannya dimulai dari daerah yang gagal (1) gambar 3.4 hingga menjauhi daerah yang gagal tersebut dan hasilnya seperti gambar 3.3 sampai gambar 3.10 sedangkan gambar 3.2 adalah struktur mikro logam induk. Gambar 3.11 sampai 3.16 adalah gambar struktur mikro hasil pemanasan (heat treatment) dari temperatur 350 sampai 650^o C selama 30 menit



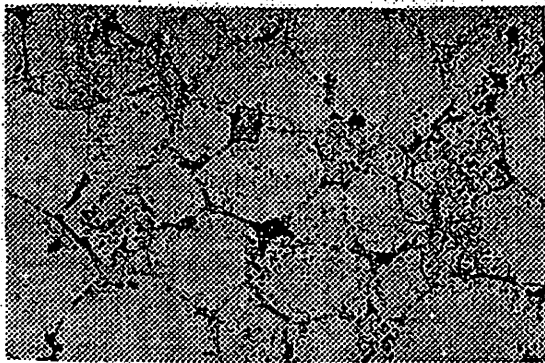
Gambar 3.1 CONTOH DAERAH SAMPEL GAGAL YANG AKAN DIUJI



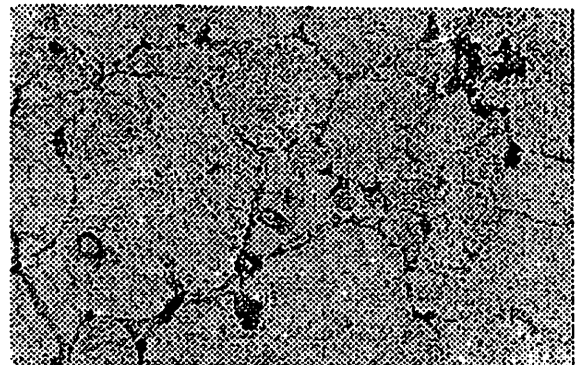
Gambar 3.2 SAMPEL MATERIAL YANG TELAH MENGALAMI PANAS PADA DAERAH AMAN (1)
KEKERASAN 127 H_v , 125 H_h



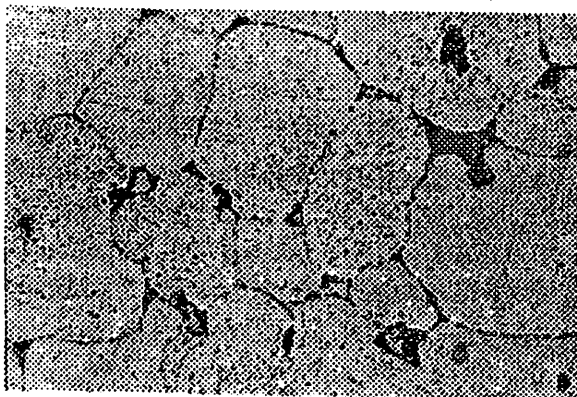
Gambar 3.5 SAMPEL MATERIAL INDUK PEMANASAN PADA 500 °C
KEKERASAN 128 H_v , 130 H_h



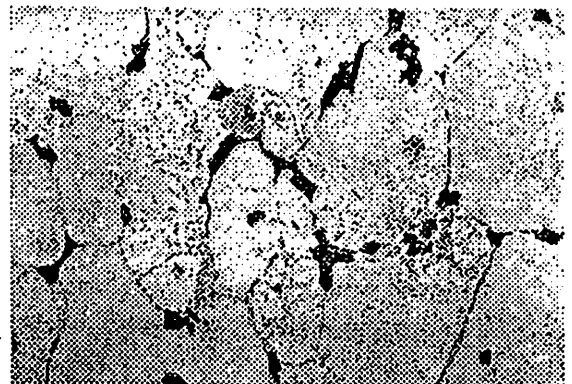
Gambar 3.3 SAMPEL MATERIAL YANG MENGALAMI PANAS PADA DAERAH AMAN (2)
KEKERASAN 125.5 H_v , 125 H_h



Gambar 3.6 SAMPEL MATERIAL INDUK PEMANASAN PADA 550 °C
KEKERASAN 125 H_v , 128 H_h



Gambar 3.4 SAMPEL MATERIAL YANG TELAH MENGALAMI PANAS PADA DAERAH AMAN (3)
KEKERASAN 127.6 H_v , 127 H_h

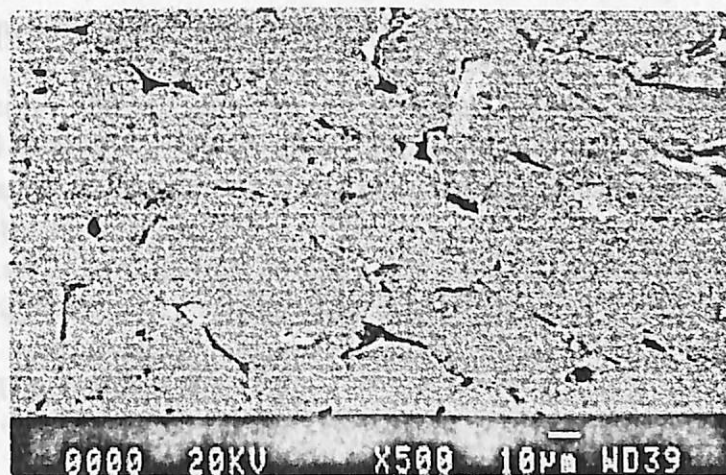


Gambar 3.7 SAMPEL MATERIAL INDUK PEMANASAN PADA 575 °C
KEKERASAN 119 H_v , 120 H_h

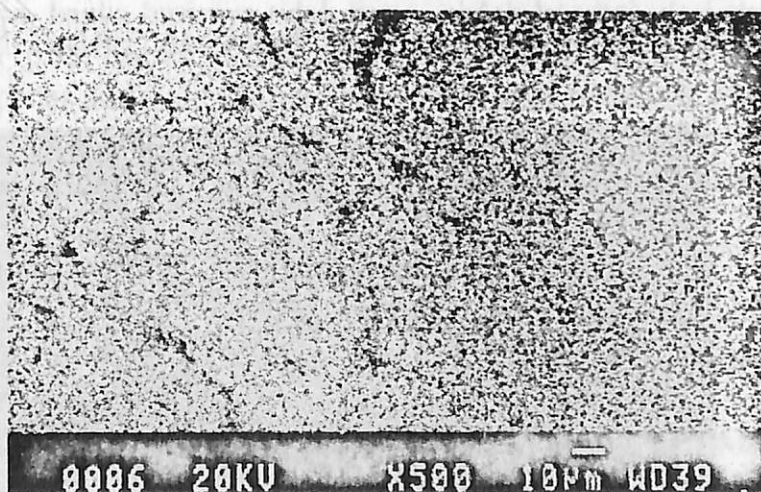
Dari gambar 3.2 sampai 3.4 dibandingkan Gambar 3.5 sampai 3.7 di-atas terlihat bahwa striktur mikro dan kekerasan yang sesuai terdapat pada pemanasan 550 °C batas butir terlihat sangat jelas. proses ini disebabkan oleh pemanasan yang terlalu tinggi sehingga matrik α tumbuh yang dapat merugikan sifat material yang diproses. Pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi akan menimbulkan terjadinya pengintian butir-butir baru yang kerapatan dislokasinya rendah sehingga sifatnya lunak.

3.3 Pengamatan Dengan Mikroskop Elektron

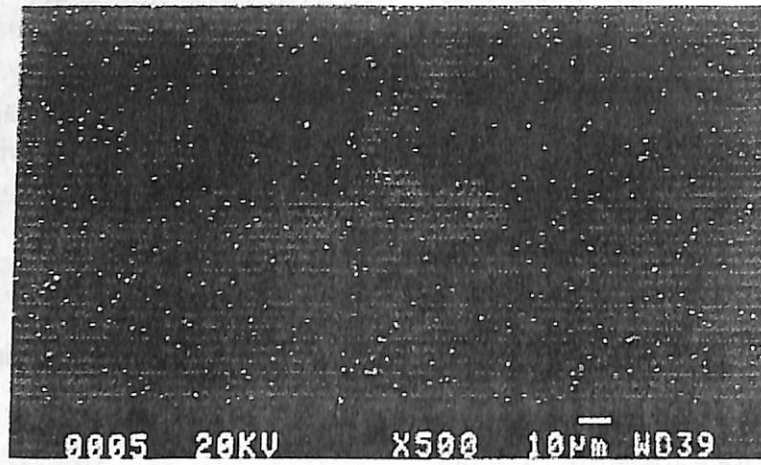
Pengamatan dengan Scanning Electron Microscope (SEM) adalah untuk memperjelas pengamatan batas butir.



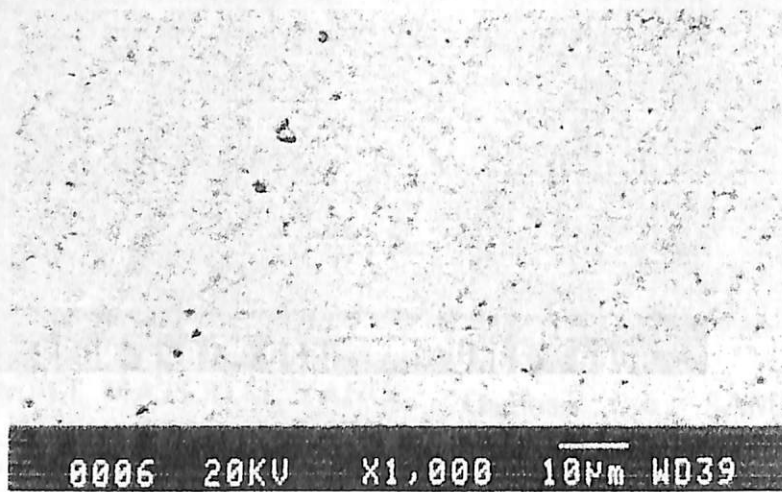
Gambar 3.8 STRUKTUR MIKRO MATERIAL YANG MENERIMA PANAS



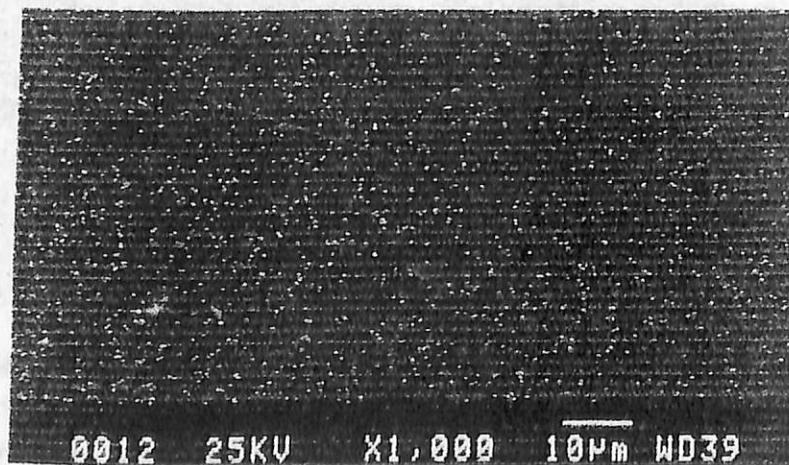
Gambar 3.9 DISTRIBUSI ALUMINIUM PADA MATERIAL PENERIMA PANAS



Gambar 3.10 DISTRIBUSI CU PADA MATERIAL YANG MENERIMA PANAS



Gambar 3.11 DISTRIBUSI AL PADA MATERIAL INDUK



Gambar 3.12 DISTRIBUSI CU PADA MATERIAL INDUK

Gambar 3.8 dan 3.12 memperlihatkan distribusi Cu yang terdapat pada batas butir, yang menunjukkan bahwa Cu terdistribusi pada batas butir sesuai struktur mikro.

4. ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Dari hasil pemeriksaan struktur mikro dan pengujian kekerasan pada bagian dilakukan beberapa analisis sebagai berikut:

1. Pada daerah logam induk atau daerah yang tidak mengalami pemanasan atau terpengaruh panas kekerasannya sesuai dengan kekerasan material tabung aluminium 2024-T3 yaitu 140 Hv, sebab material logam induk sebelumnya telah mengalami proses perlakuan panas dengan fasa θ atau GP-2 dan matrik α .
2. Dari pengamatan struktur mikro material yang menerima panas dengan Scanning Electron Microscope (SEM) gambar 3.9 terlihat bahwa aluminium terdistribusi merata dan sesuai dengan komposisi aluminium, yang komposisinya lebih besar dari 90 % berat, sedangkan distribusi Cu terdistribusi pada batas butir sesuai dengan bentuk butir struktur mikronya.
3. Untuk pengamatan logam induk dengan Scanning Electron Microscope (SEM) gambar 3.12 terlihat bahwa Cu juga ter-distribusi seperti logam induk.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan pengujian material tabung motor roket, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pada daerah yang semakin menjauhi (1) struktur mikronya mirip struktur mikro daerah sebelumnya, hanya butirnya tidak sama, sudah berubah dari titik (1) menjadi lebih kecil sedikit pada daerah (3) dimana batas butir mulai terurai karena bagian ini masih menerima panas sisa pembakaran, pada batas butir terbentuk CuAl_2 atau fasa θ dengan matrik dan batas butir yang kaya dengan CuAl_2 masih cukup tinggi.
2. Dengan melihat diagram fasa AL-Cu, terlihat bahwa terjadinya perubahan sedemikian adalah pada temperatur diatas 500 °C.

5.2 Saran

1. Jarak pengamatan pada material yang telah mengalami panas akibat pembakaran dapat diperkecil untuk mendapatkan keakuratan yang lebih baik.
2. Selang kenaikan temperatur pemanasan specimen diperkecil untuk mendapatkan data kesesuaian struktur mikro dengan ketelitian yang lebih baik.
3. Mungkin ada metode lain yang lebih baik untuk mendapatkan kesesuaian struktur mikro seperti diatas, misalnya dengan melihat pengkasaran presipitat dengan menggunakan TEM dan se-bagainya

DAFTAR PUSTAKA

1. George E Dieter, 1988, *Mechanical Metallurgy*, Third Edition, McGraw-Hill International Co, Singapore.
2. Surdia, Tata dan Saito, S., 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik Pradnya Paramita*, Jakarta
3. Mondolfo L.F., 1976, *Aluminum Alloys Structure and Properties*. Butterworths London
4. Parker, E.R., 1977, *Material Missiles and Space Craft*, McGraw-Hill New York
5. Parker, E.R., 1972, *Material Data Book For Engineering and Scientists*, University of California, Barkley.
6. Petty, E.R., 1971, *Physical Metallurgy of Engineering Materials*, London.
7. Abraham, L.H., 1969, *Structural Design of Missiles and Space Craft* McGraw-Hill New York
8. Grobecker, D.W., 1979, *Metals for Supersonic Aircraft and Missiles* American Society for Metals, New York
9. Military Standardization Hand Book Vol I., 1983, *Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structure*, Department of Defense USA.
10. Aluminum Standards and Data., 1982, *The Aluminum Association*, New York
11. Voort, Gerge F., 1984, *Metallografy, Principles and Practice*, McGraw Hill, Inc, USA.