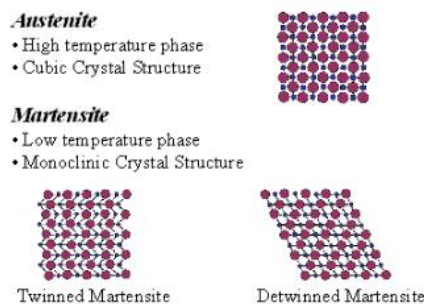


# Peningkatan Ketahanan Fatigue NiTi Shape Memory Alloy Dengan Penghalusan Butir Skala Nano

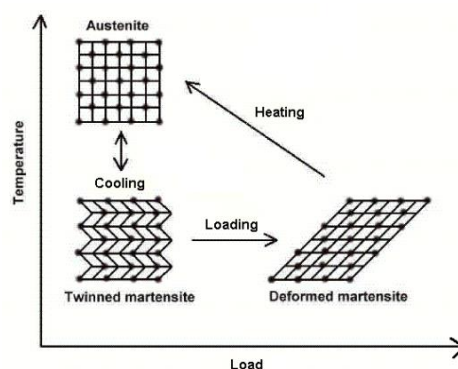
*Shape-memory Alloy* (SMA) adalah sebuah paduan yang dapat “mengingat” bentuk aslinya dan yang ketika dideformasi dapat kembali ke bentuk sebelum deformasi saat dipanaskan pada temperatur tertentu. Terdapat dua tipe paduan SMA yang paling banyak digunakan yaitu copper-aluminum-nickel dan nickel-titanium (NiTi), tetapi paduan SMA juga dapat dibuat dengan memadukan zinc, tembaga, emas dan besi.

SMA memiliki 2 fasa stabil, fasa pada temperature tinggi yang disebut *austenite* dan fasa temperature rendah yang disebut *martensite* yang dapat dideformasi dan memiliki 2 struktur kristal: *twinned martensite* dan *detwinned martensite*. Perubahan fasa yang terjadi antara 2 fasa ini saat dipanaskan/didinginkan adalah yang mendasari keunikan sifat SMA



Gambar 1. Struktur Kristal SMA

Pada saat didinginkan tanpa ada beban yang dikenakan, material bertransformasi dari austenite menjadi *twinned (self-accommodate) martensite* begitu pula sebaliknya, saat dipanaskan terjadi perubahan fasa dari *austenite* menjadi *twinned martensite*. Terdapat 4 temperatur dalam proses perubahan fasa ini yakni *Martensitic start temperature* ( $M_s$ ) yang merupakan temperature dimana material mulai bertransformasi dari *austenite* menjadi *martensite*; *martensitic finish temperature* ( $M_f$ ) yakni saat transformasi selesai dan berubah seluruhnya menjadi *martensite*; *austenite start temperature* ( $A_s$ ) atau suhu saat inisiasi *martensite* menjadi *austenite*; dan *austenite finish temperature* ( $A_f$ ) yakni saat transformasi menjadi seluruh fasa *austenite* selesai.

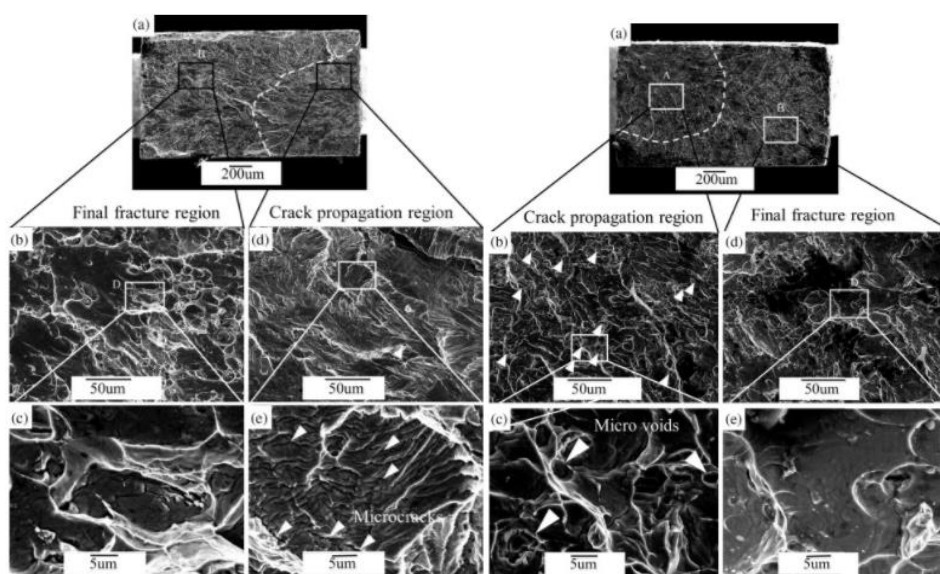


Gambar 2. Grafik Hubungan Stress Vs Temperatur pada Transformasi Fasa SMA

Transisi antar fasa *martensite* dan *austenite* hanya bergantung pada temperatur dan stress serta tidak melibatkan difusi dimana atom-atom berpindah dalam waktu bersamaan membentuk struktur baru. Jika beban dikenakan ke material saat fasa *twinned martensite* (pada suhu rendah), terjadi *detwin*. Saat beban dilepaskan, material tetap terdeformasi namun saat dipanaskan di atas temperature  $A_f$ , akan terjadi perubahan fasa dari martensite menjadi austenite hingga terjadi *shape recovery*. Panas yang ditransfer ke material memberikan energi pada molekul untuk menyusun kembali struktur paduan.

*Nickel-titanium (NiTi) shape memory alloys* merupakan SMA yang paling banyak digunakan dikarenakan selain kemampuan kembali ke bentuk semula, NiTi juga memiliki sifat menguntungkan lainnya yakni peredam yang baik, resistan terhadap korosi, nonmagnetik, dan berat jenis yang rendah. NiTi SMA juga meningkatkan resistansi terhadap dampak dan panas serta dapat mengalami regangan yang sangat besar. Hal ini menyebabkan NiTi banyak digunakan untuk beragam aplikasi, diantaranya mengurangi noise pada pesawat, actuator pada otomotif, robot hingga kawat gigi dan *fixation-compression device* untuk keperluan bedah *orthopedic*. Akan tetapi, masih terdapat hambatan dalam penggunaan SMA NiTi. Umumnya, SMA NiTi memiliki sifat *poor fatigue*, yang berarti SMA ini memiliki *life cycle* yang pendek saat dikenakan beban terus menerus karena beban berulang dapat menyebabkan pergeseran temperatur transformasi SMA

Dalam rangka meningkatkan sifat mekanik NiTi, dapat dilakukan penghalusan butir dengan *severe plastic deformation* untuk menghasilkan mikrostruktur butir sangat halus (nano) guna mendapat nilai toleransi kerusakan terbaik, yang mana sangat penting untuk keamanan dalam penggunaan SMA ini khususnya pada aplikasi medis. Dengan menggunakan metode *equal channel angular pressing (ECAP)* untuk memperkecil ukuran butir SMA NiTi hingga berukuran nano, *yield strength* diharapkan meningkat secara signifikan tanpa memperburuk perilaku pertumbuhan crack dan fraktur. Dengan merekayasa butir menjadi berskala nano, perilaku pertumbuhan *fatigue crack* di stress yang tinggi diharapkan mengalami perbaikan dimana resistansi pertumbuhan crack menjadi meningkat dan laju pertumbuhan *fatigue crack* menjadi lebih lambat.



Hasil SEM microcrack pada SMA NiTi ukuran butir 10 nm (kiri) dan microvoid pada SMA NiTi ukuran butir 0,1 μm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa microcrack muncul di kedua butir, akan tetapi *Cycle fatigue life* SMA NiTi yang memiliki struktur butir sebesar 10 nm meningkat secara signifikan dibanding yang memiliki butir 0,1  $\mu\text{m}$  dengan tidak ditemukannya micro void pada ukuran butir 10 nm seperti yang terdapat pada butir 0,1  $\mu\text{m}$  saat dikenakan beban berulang  $\sigma_{\text{max}}$  450 MPa. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa penghalusan butir hingga skala nano memiliki potensi meningkatkan resistansi SMA NiTi terhadap *fatigue*.

## Referensi

1. Borden, Tom. "Shape-Memory Alloys: Forming a Tight Fit." *Mechanical Engineering* Oct. 1991: 67-72.
2. Falcioni, John G. "Shape Memory Alloys." *Mechanical Engineering* Apr. 1992: 114.
3. Jackson, C.M., H.J. Wagner, and R.J. Wasilewski. *55-Nitinol- -The Alloy With a Memory: Its Physical Metallurgy, Properties, and Applications: A Report*. Washington: NASA, 1972.
4. Kauffman, George, and Isaac Mayo. "Memory Metal." *Chem Matters* Oct. 1993: 4-7.
5. Rogers, Craig. "Intelligent Materials." *Scientific American* Sept. 1995: 154-157.
6. Stoeckel, Dieter, and Weikang Yu. "Superelastic Nickel- Titanium Wires." Available from Raychem Corporation, Menlo Park, CA.
7. Turner, J.D. "Memory-metal Actuators for Automotive Applications." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 208 (1994): 299-302.