

Pengaruh Pembebanan Dan Pemanasan Paduan Ni-Ti Terhadap Deformasi Dan Transformasi Balik

Tjuk Oerbandono Sugiarto, Deny Widianuriyawan

Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Abstrak

Tulisan ini mengetengahkan *experiment* yang telah dilakukan pada bahan *SMA (Shape Memory Alloy)* Nickel-Titanium. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan dan pemanasan terhadap deformasi yang terjadi pada bahan *SMA* serta pengaruh variasi temperatur terhadap waktu yang diperlukan untuk transformasi balik ke bentuk semula. Bahan *SMA* yang digunakan pada penelitian berupa suatu kawat yaitu *Nitinol SM495*. Hasil percobaan yang dilakukan menggambarkan karakteristik bahan *SMA* yang mendapat beban tarik kemudian dipanaskan untuk mendapatkan transformasi baliknya atau *Shape Memory Effect* kemudian ditarik lagi, lalu dipanaskan lagi. Demikianlah penelitian ini dilakukan. Grafik tersebut menggambarkan bahwa ketika spesimen diberi beban tarik mengalami deformasi tetapi jika spesimen dipanaskan kembali mengalami transformasi balik ke bentuk semula. Besar deformasi maksimum rata-rata yang memungkinkan terjadinya transformasi balik yang terjadi pada spesimen *Nitinol SM495* selama percobaan tidak lebih dari 6%. Selanjutnya karakteristik yang didapat ini akan digunakan pada proses disain sistem kontrol untuk pembuatan mikro aktuator pada *gripper* robot.

Kata Kunci: *Shape Memory Alloy, Shape Memory Wire, Shape Memory Effect, Nitinol*

Influence Of Loading And Fleading On Deeforation And Reverse Transformation Of Ni - Ti Alloy

Abstract

Influence of loading and fleading on deeforation and reverse transformation of ni - ti alloy. In this paper, the results of investigation on *SMA (Shape Memory Alloy)* Nickel-Titanium are presented. The investigation has aim to know the influence of various tension loading and heating over elongation of *SMA* material. Investigation has also measured the effect of various temperatures on the time for reverse transformation of *SMA*. The material used in the research is *Shape Memory Wire* or *Nitinol* wire *SM495*. The experiment describes a characteristic of *SMA* material under tension loading and heating repetitively. The given tension load and heating on *SMA* material has intention to get a *Shape Memory Effect* of material. The mean of maximum value in length of deformation which is still possible for being reverse transformation of specimen *Nitinol SM495* during the experiment not more than 6% of it's previous length. The characteristic which is appearance in the experiment will be utilized for design of control system in the micro actuators of robot gripper.

Keywords: *Shape Memory Alloy, Shape Memory Wire, Shape Memory Effect and Nitinol*

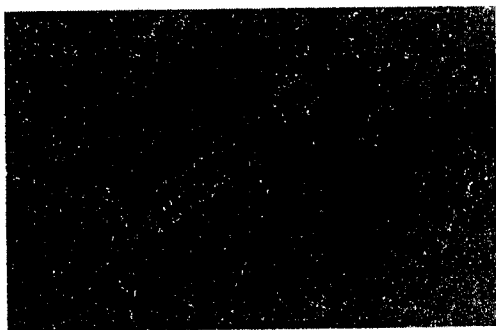
PENDAHULUAN

Penggunaan SMA (*Shape Memory Alloy*) sebagai aktuator, sensor maupun produk-produk industri lainnya dewasa ini demikian pesat. Dasar penggunaan SMA untuk berbagai kepentingan tersebut didasarkan pada suatu fenomena yang disebut sebagai SME (*Shape Memory Effect*). SMA adalah bahan yang memiliki kemampuan untuk kembali pada bentuk awalnya ketika dipanaskan. Saat SMA dalam keadaan dingin atau dibawah temperatur transformasinya maka bahan tersebut memiliki kekuatan luluh yang rendah dan dapat dengan mudah mengalami deformasi, tetapi saat bahan tersebut dipanaskan diatas temperatur transformasinya maka terjadi perubahan struktur kristal pada bahan yang menyebabkan kembali ke bentuk semula.

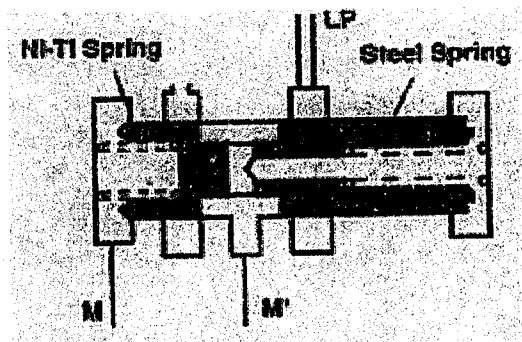
SMM (*Shape Memory Material*) yang banyak digunakan adalah jenis paduan antara Nickel dan Titanium yang sering disebut sebagai Nitinol. Bahan paduan tersebut memiliki sifat listrik dan mekanik yang baik, umur kelelahan bahan yang lama (*Long Fatigue Life*) serta ketahanan korosi yang tinggi. Sebagai bahan Aktuator bahan ini mampu mengalami regangan (*strain*) sampai 5% bahkan lebih dan dapat kembali ke bentuk semula ketika dipanaskan. Nitinol juga mampu kembali ke bentuk asal setelah menerima beban sebesar

344,738 MPa untuk siklus yang berulang kali. Sebagai contoh kawat Nitinol dengan diameter 0,507 mm dapat menerima beban sebesar 71,17 Newton. Pada umumnya dibuat agar temperatur ruang selalu jauh berada dibawah temperatur transformasi SMA. Hanya dengan penambahan panas yang intensif akan membuat SMA menunjukkan perubahannya. Pada prinsipnya Nitinol adalah suatu aktuator, sensor dan pemanas.

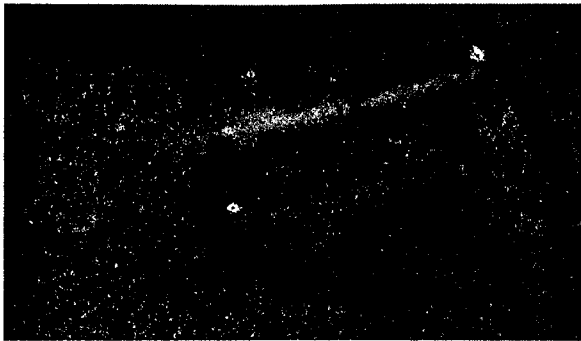
Salah satu contoh aplikasi TSM (*Thermal Shape Memory*) pada paduan Ni-Ti adalah *thermally responsive pressure control valve pada car otomatic transmision*. Untuk meningkatkan kenyamanan perubahan gigi, tekanan perubahan gigi pada transmisi reduksi selama penyalaan saat keadaan dingin dan meningkat lagi ketika transmisi mencapai temperatur operasi (Gambar 1) sedangkan skematiknya ditunjukkan pada gambar 1.2. Kenyamanan tersebut dapat tercapai karena: temperatur *A*, yang diperlukan adalah 60°C dengan toleransi ± 5°C, *spring* terendam semua pada *transmission fluids*, yang mengakibatkan pemanasan dan pendinginan berjalan lambat dan sangat seragam. Gaya yang diperlukan sangat rendah (kira-kira 5N), perubahan jarak sangat kecil, temperatur lingkungan maksimum adalah 130°C. Aplikasi Nickel-Titanium lainnya pada bidang robotika yaitu penggunaan SMA sebagai penggerak lengan robot sebagaimana pada Gambar 3 dan 4.



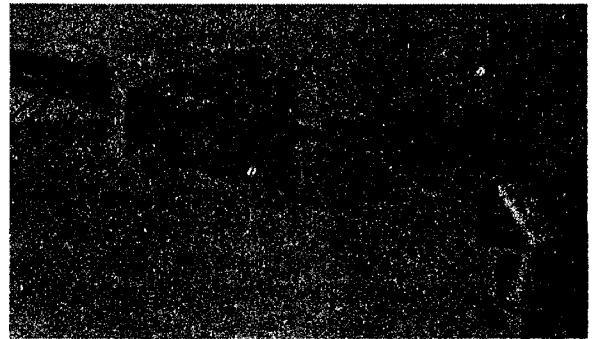
Gambar 1. *Thermostatic Control Valve* (Anonymous 2000)



Gambar 2. *Schematic Thermostatic Control Valve* (Anonymous 2000)

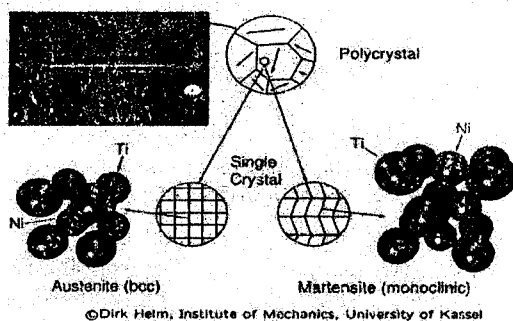


Gambar 3. *First Joint in Flexion* (DeLaurentis et. al 2000)



Gambar 4. *Aluminum Finger Prototype* (DeLaurentis et. al 2000)

SMA memiliki dua sifat yang unik yaitu elastisitas semu (*pseudo-elasticity*) dan *SME*. Dua sifat unik tersebut membuat perubahan fase pada keadaan padat dapat mungkin terjadi, itu karena pengorganisasian ulang molekuler yang terjadi pada *Shape Memory Alloy*. Perubahan fase pada keadaan padat adalah sama sejak terjadi pengorganisasian ulang molekuler, tetapi molekul penunjang hampir terikat sehingga substansi penunjangnya adalah padat. Pada bahan SMA perubahan temperatur meskipun hanya 10 °C telah cukup untuk menyebabkan terjadinya perubahan fase. Dua fase pada SMA adalah martensit dan austenit sebagaimana Gambar 5.



Gambar 5. Fase Martensit dan Austenit (Dirk 2007)

Kemajuan yang sudah dicapai dan studi pendahuluan yang sudah dilaksanakan digunakan sebagai landasan penelitian :a)Regangan yang mampu balik (*reversible*) yang terjadi akibat fenomena *SME* pada bahan paduan begitu penting.

Regangan yang terjadi ketika bahan berubah bentuk dapat mencapai 15% hal ini tergantung pada jenis paduan bahan (Moorlegghem 1992) b)Stork (1997) telah mencoba membuat suatu model sistem dinamik dan statik dari suatu *Shape Memory Bahan* dari paduan Ni-Ti yang mendapat pemanasan melalui arus listrik. Pengaliran panas tersebut menyebabkan perubahan mekanis dan struktur kristal bahan. Perubahan mekanis dan struktur kristal tersebut berdasarkan hukum-hukum fisika yang ada, seperti *hysteresse* statik yang dapat disimulasikan dengan *Preisach Models*. c)Suatu desain untuk aktuator berbasis SMA dapat digunakan untuk mengangkat beban 300 kali dari berat aktuator itu sendiri. Aktuator tersebut lisatukan dan dibentuk sedemikian rupa layaknya otot pada manusia. Dalam percobaan tersebut aktuator tersebut diberi berbagai macam fungsi masukan (*input functions*) seperti step, ramp, sinusoida dan half sinusoida kemudian karakteristik dinamikanya dievaluasi. (Michael, et. al., 1999)

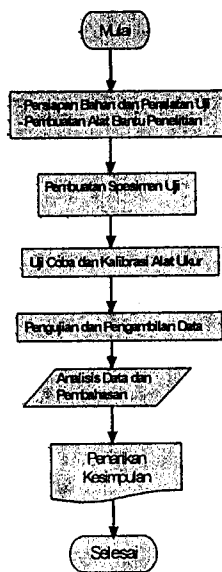
d)Dunlop dan Angelo (2002) telah berhasil menggunakan SMA Nitinol sebagai aktuator pada Stewart Platform Mechanism yang diketahui sebagai mekanisme paralel robot dan sering digunakan sebagai *Flight Simulator*. Dalam penelitiannya digunakan 6 kawat Nitinol sebagai tiang pada Stewart platform tersebut. Kawat Nitinol tersebut dikendalikan secara binary (*binary actuated*) yang di *switching* hidup dan mati untuk menentukan posisi Stewart Platform. Binary control yang diterapkan pada 6 kawat Nitinol tersebut menghasilkan 60 kemungkinan posisi Stewart Platform. e)Featherstone (2004)

dalam penelitiannya telah berhasil meningkatkan kecepatan gerak aktuator yang berbahan SMA dengan cara meningkatkan laju pemanasan pada kawat SMA tersebut. Metode yang digunakan adalah dengan pengukuran tahanan listrik pada elemen kawat SMA tersebut, menghitung temperatur pemanasan maximum yang aman sebagai fungsi dari tahanan listrik dan memastikan bahwa arus panas aktual tidak melebihi temperatur maximum yang telah ditentukan.

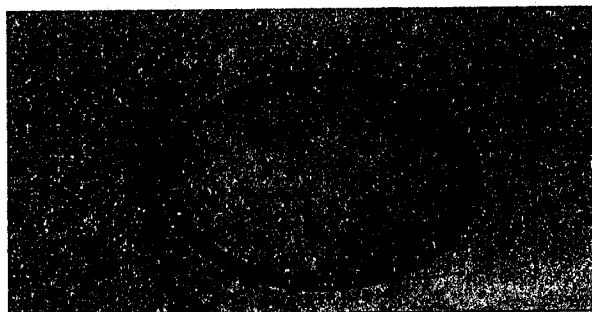
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah penelitian semu, yang bertujuan untuk mengetahui variasi perubahan panjang (*elongation*) dari Ni-Ti ketika mendapat beban tarik yang bervariasi kemudian dipanaskan untuk mengetahui besar transformasi balik yang ditunjukkan oleh bahan. Selain itu, dilakukan pengukuran pengaruh temperatur terhadap waktu yang dibutuhkan untuk transformasi balik setelah bahan mengalami deformasi akibat pembebanan. Besar gaya beban tarik merupakan variabel bebas yang divariasikan sedangkan besar perubahan panjang merupakan variabel terikat. Sedangkan besar temperatur dalam penelitian ini didefinisikan sebagai parameter yang menentukan lama transformasi balik setelah spesimen terdeformasi. Percobaan tarik dan pemanasan terhadap spesimen dilakukan tidak sampai membuat bahan mengalami patah. Percobaan tersebut untuk mengetahui karakteristik *SME* pada bahan uji bukan untuk mengetahui kekuatan struktural bahan. Kedua prosedur percobaan tersebut untuk mengetahui kondisi dinamis bahan uji *Nitinol*.

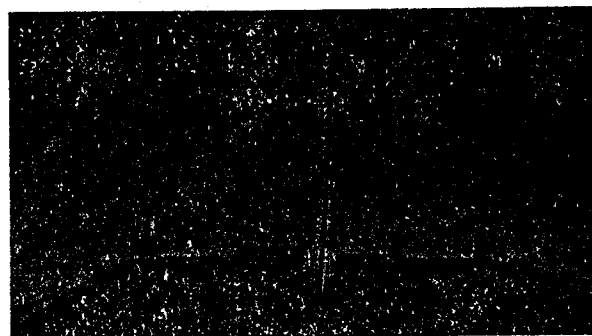
Prosedur penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada diagram alir Gambar 6. Pertama dilakukan persiapan bahan, yakni meliputi pembelian *SMA Ni-Ti* yang harus diimpor dari Eropa (Perancis) karena belum tersedianya industri pembuat maupun distributor penjualan di dalam negeri. *Shape Memory Alloy* yang dibeli dan digunakan untuk penelitian ini berupa kawat atau sering disebut sebagai *Shape Memory Wire*. Pada gambar 7 ditunjukkan memory wire yang digunakan dalam percobaan ini.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 7. Bahan Spesimen Uji SMA Ni-Ti.



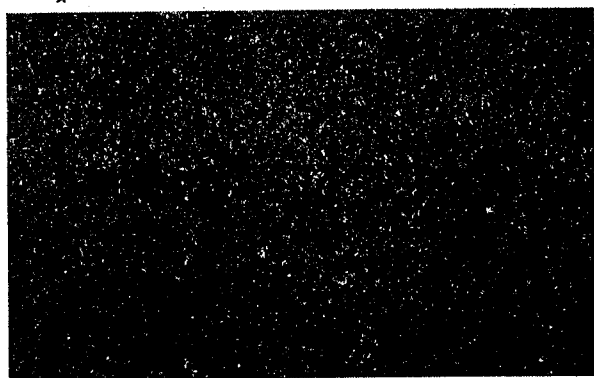
Gambar 8. Specimen Uji SMW Ni-Ti

Pembuatan alat bantu penelitian dan pembelian peralatan uji lainnya berupa sensor-sensor, pembuatan *Datalogger* dan alat ukur yang diperlukan lainnya. Bahan *SMA Ni-Ti* dibuat spesimen uji tarik. Spesimen uji tarik dan pemanasan yang dibuat sebagaimana Gambar 7.

Berikutnya dilakukan Uji Coba dan proses kalibrasi alat ukur. Setelah proses persiapan diselesaikan selanjutnya dilaksanakan proses pengujian dan pengambilan data. Peralatan yang digunakan pada proses tersebut berupa mesin uji tarik logam Laboratorium Pengujian Logam Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan peralatan bantu penelitiannya dibuat sendiri sebagaimana Gambar 9 dan 10.

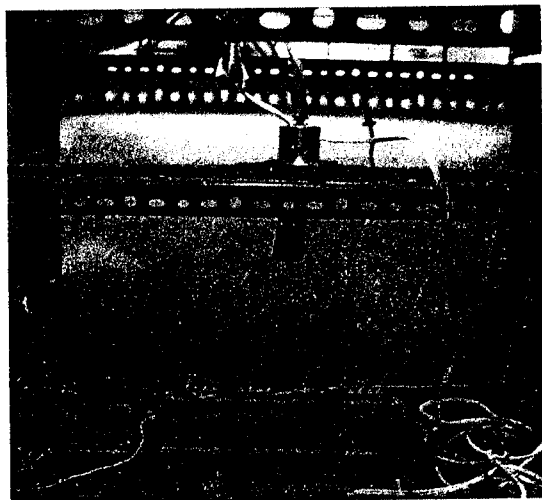


(a)



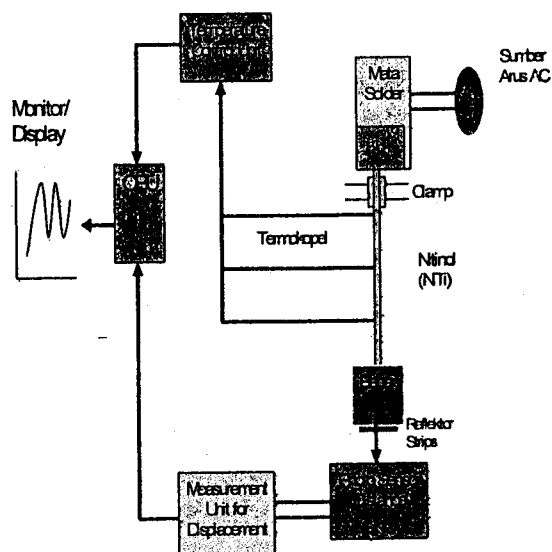
(b)

Gambar 9. (a) Alat Uji Tarik Logam
(b) Pengujian Tarik *SMW*



Gambar 10. Peralatan Bantu Penelitian untuk Pengujian Pemanasan *SMW*

Bagan instalasi pengujian pemanasan spesimen setelah ditarik dan mengalami deformasi sebagaimana Gambar 11.



Gambar 11. Instalasi Pengujian Pemanasan Bahan *SMW*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi pembebanan dan pemanasan terhadap deformasi yang terjadi pada SMA serta pengaruh variasi temperatur terhadap waktu yang diperlukan SMA untuk transformasi balik ke bentuk semula.

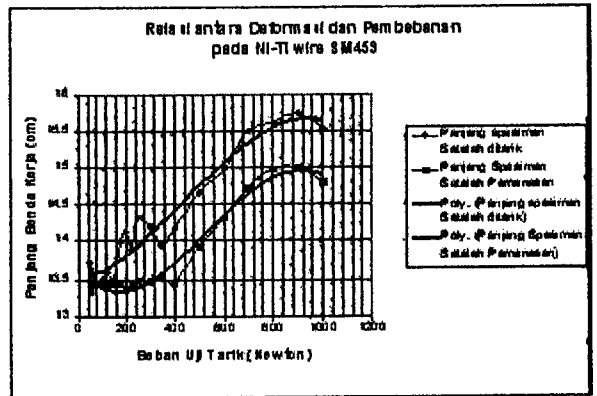
Hasil Penelitian secara lengkap ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik data percobaan yang dihasilkan menunjukkan karakteristik SMW Ni-Ti SM495 yang diuji. Selanjutnya karakteristik ini akan digunakan untuk mendisain sistem kontrol yang akan digunakan untuk membuat gripper robot pada penelitian berikutnya.

Pada Gambar 12 ditunjukkan grafik hasil percobaan yang menggambarkan karakteristik SMW yang mendapat beban tarik kemudian dipanaskan untuk mendapatkan transformasi baliknya kemudian ditarik lagi, lalu dipanaskan lagi. Gambar 12 menunjukkan bahwa ketika spesimen diberi beban tarik mengalami deformasi, tetapi jika spesimen dipanaskan kembali mengalami transformasi balik ke panjang semula. Hal tersebut menunjukkan bahwa fenomena SME terjadi pada spesimen uji Memory Wire Ni-Ti SM495. Gambar 12 diperoleh dari Tabel 1 hasil percobaan.

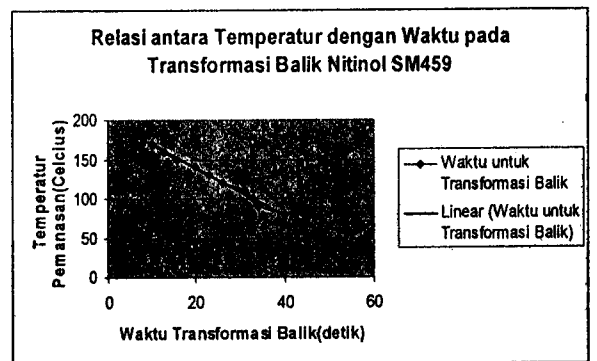
Tabel 1. Hasil Percobaan Tarik dan Pemanasan Spesimen Ni-Ti SM495

No.	Panjang Awal (cm)	Panjang Akhir (cm)	Panjang Setelah Pemanasan (cm)	Beban (Newton)
	13	13.4	13.35	50
1	13.35	13.75	13.35	50
2	13.35	13.45	13.45	75
3	13.45	13.5	13.45	100
4	13.45	13.6	13.45	125
5	13.45	13.5	13.45	150
6	13.45	14	13.45	175
7	13.45	14.125	13.381	200
8	13.381	13.904	13.428	225
9	13.428	14.301	13.5	250
10	13.5	14.188	13.494	300
11	13.494	13.944	13.531	350
12	13.531	14.168	13.466	400
13	13.466	14.652	13.943	500
14	13.943	14.983	14.319	600
15	14.319	15.496	14.728	700
16	14.728	15.613	14.986	800
17	14.986	15.746	14.989	900
18	14.989	15.53	14.808	1000

Pada Gambar 13 ditunjukkan grafik relasi antara temperatur pemanasan dengan waktu Spesimen Nitinol SM495 untuk bertransformasi balik ke fase Austenit. Dari grafik tampak bahwa semakin besar temperatur maka akan semakin singkat waktu yang diperlukan untuk transformasi balik dari fase Martensit ke Austenit dan grafiknya cenderung linear seiring dengan naiknya temperatur.



Gambar 12. Grafik Hasil Percobaan Tarik dan Pemanasan pada SMW Ni-Ti SM495



Gambar 13. Relasi antara Temperatur dengan Waktu Tranformasi Balik Nitinol SM495

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan. a) Fenomena Shape Memory Effect terjadi pada spesimen Memory Wire Nitinol SM495. b) Pada uji tarik dan pemanasan yang dilakukan pada penelitian diperoleh diagram hubungan antara Gaya Tarik dan deformasi yang menggambarkan deformasi yang terjadi ketika spesimen diberi beban tarik dan transformasi balik setelah dipanaskan sampai temperatur akhir

Austenit. Dari Gambar 12 diketahui bahwa grafik spesimen yang mengalami deformasi sebelum dan sesudah dipanasi adalah parallel dengan jarak yang merupakan deformasi maksimum rata-rata. c) Besar deformasi maksimum rata-rata yang memungkinkan terjadinya transformasi balik yang terjadi pada spesimen *Nitinol* SM495 tidak lebih dari 6%. d) *Memory Wire Nitinol* SM495 dapat digunakan sebagai bahan aktuator *gripper* robot karena memiliki kemampuan transformasi balik dan memberikan respon yang dinamis ketika mendapatkan perlakuan panas setelah proses deformasi. e) Semakin tinggi temperatur yang diberikan pada *Memory Wire* saat proses Transformasi balik (Martensit ke Austenit) maka akan semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke bentuk semula. f) Pemanasan diatas temperatur akhir fasa Austenit bahan *Nitinol* SM495 (kurang lebih 160° C) menghasilkan deformasi yang permanen dan prosedur tersebut disebut sebagai *pemberian memori* kepada bahan *SMA*.

Saran a) Perlu untuk menggunakan sensor-sensor dan alat bantu penelitian yang lebih akurat agar dapat memperoleh hasil yang lebih sempurna. Hal tersebut karena respon dinamis dari bahan uji *Nitinol* berlangsung cepat dengan perubahan deformasi yang sangat kecil. b) Jika sarana memungkinkan perlu dilakukan pengamatan dengan mikroskop elektron untuk mengetahui struktur mikro bahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan syukur dan terima kasih kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Besar atas terselesaikannya penelitian ini, serta tak lupa kami sampaikan pula ucapan terima kasih kepada, a) DIKTI atas dukungan finansial yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian ini sehingga terealisasikan. Penelitian tersebut dibiayai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Nomor 017/SP2H/PP/DP2M/III2007 dengan judul "Paduan Ni-Ti Sebagai Bahan Alternatif Pembuatan Mikro Aktuator Pada Gripper Robot". b) Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Brawijaya atas bantuan, bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian penelitian ini. c) Kepada Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik

Mesin Universitas Brawijaya atas bantuan dalam penyediaan sarana laboratorium Pengujian Bahan dan Laboratorium Otomasi Manufaktur. d) Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- DeLaurentis K. J., Mavroidis C., Pfeiffer C, *Development of a Shape Memory Alloy Actuated Robotic Hand*, Rutgers, The State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, 2000.
- Dirk Heim, Institute Of Mechanics, University Kassel, Germany, 2007.
- Dunlop R. and Garcia D. Angelo, *A Nitinol Wire Actuated Stewart Platform*, Proc.2002 Australasian Conference on Robotics and Automation Auckland, 27-29 November, New Zealand, 2002.
- Anonymous, EUROflex G. RAU GmbH, Germany, 2000.
- Mosley J. Michael, Mavroidis C, Pfeiffer C, 1999, *Design and Dynamics of A Shape Memory Alloy Wire Bundle Actuator*, Proc. Of the am. Nuc. Soc., 8th Top Meet. On Rob. And Remote Systems, Pittsburgh, PA, , USA, April 1999.
- Featherstone R., and Y. H. Teh, "A Shape Memory Alloy Actuator," Australian Provisional Patent Application no. 2004900618, 9th February, Australia, 2004.
- Stork, H., *Aufbau Modellbildung und Regelung von Formgedächtnisaktorsystem*, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 8. Nr. 657. Düsseldorf, Germany, 1997.
- Van Moorlegem, W., *Produktbeschreibung der Firma AMT-Advanced Bahans and Technologies*, Industrieweg 43, 3540 Herg-de-Stad, Belgium, 1992.