

TEMPERATUR TRANSFORMASI FASA *SHAPE MEMORY ALLOY* - TiNi HASIL PEMADUAN TEKNIK *ARC-MELTING*

Elman Panjaitan⁽¹⁾, Sulistioso G. S⁽¹⁾ dan Sumaryo⁽¹⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir – BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

TEMPERATUR TRANSFORMASI FASA *SHAPE MEMORY ALLOY* - TiNi HASIL PEMADUAN TEKNIK *ARC-MELTING*. Penelitian temperatur transformasi fasa paduan TiNi hasil pemaduan dengan menggunakan teknik *arc-melting* telah dilakukan pada komposisi Ti - 53% berat Ni. Paduan yang terbentuk dipanaskan pada temperatur 900°C yang didinginkan cepat pada temperatur 20°C dan 5°C yang selanjutnya dikenai aging pada temperaur 400°C selama 1, 4 dan 16 jam. Pemaduan Ti-53% berat Ni dilakukan untuk memperoleh paduan *shape memory alloys* berbasis TiNi. Paduan TiNi dianalisis dengan menggunakan mikroskop optik, difraksi sinar X dan Simultan Thermal Analyser. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik paduan TiNi pada temperatur saat terjadi transformasi fasa martensit - austenit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelat martensit berstruktur kristal BCT (*body centre tetragonal*) yang terbentuk pada temperatur kamar. Temperatur transformasi fasa martensit – austenit terjadi pada temperatur $(162 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Kata Kunci : Temperatur transformasi, *shape memory alloy*, *arc-melting*.

ABSTRACT

PHASE TRANSFORMATION TEMPERATURE OF *SHAPE MEMORY ALLOY* - TiNi PRODUCED BY *ARC-MELTING* TECHNIQUE. The observation of phase transformation temperature of TiNi alloys produced by *arc-melting* technique was carried out by alloying Ti – 53%w Ni. TiNi alloys were tempered at 900°C and then followed by quenching at 20°C and 5°C, and finally were aged at 400°C for 1, 4 and 16 hours. The Ti-53%w.Ni alloyed is applied to obtain a *shape memory alloys* base on TiNi. The TiNi sample was analyzed by optical microscope, X-ray diffraction and Simultaneous Symmetrical Thermoanalyzer (STA). The results show that the martensitic phase has a structure of BCT (*Body Center Tetragonal*) formed at room temperature. The phase transformation temperature from martensitic - austenitic phase was taken place at $(162 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Key Words : Transformation temperature, *shape memory alloy*, *arc-melting*.

PENDAHULUAN

Pada umumnya logam yang dibengkokkan sampai melampaui batas elastisitasnya akan tetap bengkok setelah beban eksternal dilepaskan dan akan kembali pada bentuk semula bila diberi deformasi plastis yang sama pada arah berlawanan. Lain halnya pada

sejumlah paduan logam yang menunjukkan sifat transformasi fasa yang *reversible* antara fasa martensit dan austenit tanpa melalui proses difusi. Paduan logam tersebut bila dibengkokkan pada temperatur di bawah temperatur martensitik akan kembali ke bentuk semula bila dipanaskan pada temperatur austenit.

Sifat mampu kembali ke bentuk semula dengan cara pemanasan dikenal sebagai efek ingat bentuk (*shape memory effect*) dan paduan yang memiliki sifat ingat bentuk tersebut dikenal sebagai *memory shape alloy*. Temperatur dimana paduan kembali ke bentuk semula dikenal sebagai temperatur transformasi^[1,2].

Sifat mampu balik ke bentuk semula seperti paduan TiNi banyak dimanfaatkan pada industri *actuator*, efek rumah kaca, penyambungan tulang patah dan bahkan dapat digunakan sebagai lengan pemegang guna pemindahan dan atau pengambilan elemen bakar nuklir.

Salah satu *memory shape alloy* yang dikenal luas adalah paduan TiNi pada komposisi equiatomik. Dibandingkan *memory shape alloy* lainnya seperti CuZn, CuZnAl, FeNiCoTi, FeMnSi dan paduan lainnya, paduan TiNi memiliki keunggulan diantaranya adalah : tahan korosi, resistansi listrik tinggi dan rentang temperatur transformasi lebar.

Mengacu pada keunggulan sifat paduan TiNi tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan memadukan TiNi menggunakan teknik *arc-melting* pada komposisi Ti-53% berat Ni yang diikuti perlakuan panas pelarutan (*solution treatment*), pendinginan cepat (*quenching*) dan perlakuan aging (*aging*), sehingga dapat dipelajari karakteristik temperatur saat transformasi fasa martensit – austenit terjadi.

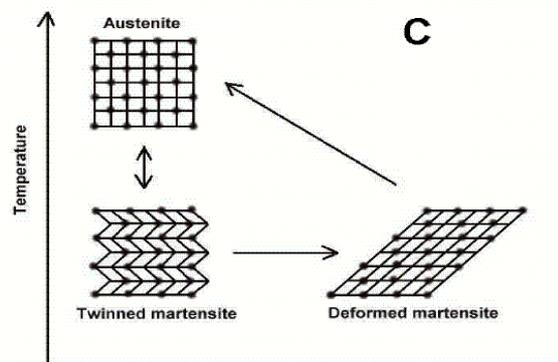
TEORI

Sifat *memory shape alloy* merupakan gejala yang diperlihatkan oleh sejumlah paduan logam akibat adanya transformasi fasa yang *reversible* antara fasa martensit dan fasa austenit tanpa melalui proses difusi (*diffusionless*).

Mekanisme sifat ingat bentuk tersebut diilustrasikan pada Gambar 1. Suatu bahan *memory shape alloy* pada temperatur

rendah yang mempunyai struktur austenit pada temperatur tinggi berubah ke bentuk struktur kembaran yang dikenal sebagai fasa martensit. Fasa martensit mudah dideformasi dengan beban yang relatif rendah.

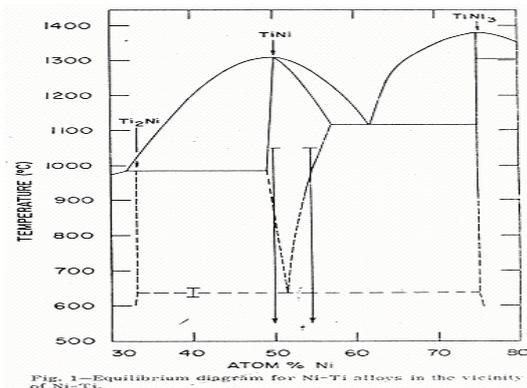
Ketika bahan pada fasa martensit yang terdeformasi dipanaskan, struktur kembaran fasa martensit akan mengatur dirinya dan membentuk fasa austenit. Transformasi fasa austenit ke fasa martensit dan sebaliknya berlangsung tanpa melalui proses difusi seperti terlihat pada Gambar 1^[3].



Gambar 1. Ilustrasi transformasi fasa austenit - martensit yang mampu balik pada suatu

Temperatur ketika bahan berfasa austenit berubah menjadi fasa martensit dikenal sebagai *martensite start* (M_s) yang berlangsung terus hingga fasa martensit stabil pada temperatur *martensite finish* (M_f). Ketika bahan dipanaskan dan fasa berubah menjadi fasa austenit dikenal sebagai temperatur *austenite start* (A_s), dimana perubahan ini berlangsung hingga temperatur *austenite finish* (A_f)^[1-4].

Pada paduan TiNi transformasi fasa martensit – austenit yang *reversible* yang stabil terjadi pada komposisi Ti – Ni *equiatomic*. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2, dimana fasa TiNi pada komposisi equiatomik relatif stabil hingga temperatur di atas 1100°C.



Gambar 2. Diagram fasa paduan TiNi^[3]

Rentang temperatur transformasi pada *shape memory alloy* - TiNi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya : penambahan kandungan Ni, proses aging setelah *solution-treatment*, aniling pada temperatur dibawah rekristalisasi, siklus termal dan substitusi elemen ketiga ^[5].

Penelitian lain menunjukkan bahwa perlakuan aging paduan TiNi sangat mempengaruhi temperatur transformasi martensitik yaitu, dengan bertambahnya waktu aging maka semakin tinggi temperatur transformasi martensitik paduan TiNi ^[6].

TATA KERJA

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan TiNi dengan komposisi 53%berat Ni sebagai hasil teknik pemaduan *arc-melting*. Bahan dipotong-potong dan dipanaskan hingga temperatur 900°C selama 1 jam yang diikuti pendinginan cepat pada media air (temperatur 20°C) dan es cair (temperatur 5°C). Cuplikan hasil perlakuan panas pelarutan tersebut dibagikan untuk dipanaskan pada temperatur aging 400°C selama 1, 4 dan 16 jam.

Pengamatan karakteristik paduan TiNi dilakukan dengan menggunakan Mikroskop Optik Nikon UFX-DX, Difraktometer Sinar-X dan *Simultan Thermal Analyser* (STA), yang

terdapat di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir - BATAN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4, yang masing-masing untuk pendinginan cepat pada temeperatur 20°C dan 5°C yang diikuti panas proses aging (*aging*) masing-masing selama : 3(a) dan 4(a) 1 jam; 1(b) dan 4(b) 4 jam; 3(c) dan 4(c) 16 jam. Mikrostruktur yang terlihat pada Gambar 3 dan 4 memperlihatkan pelat-pelat *lamelar* sebagai hasil proses pengembaran (*twinning*) yang dikenal sebagai struktur martensit.

Aging selama 1 jam, baik hasil pendinginan cepat pada temperatur 20°C dan 5°C (Gambar 3(a) dan 4(a)), belum menunjukkan batas butir yang jelas, pelat-pelat martensit yang terbentuk terlihat kasar dengan orientasi yang acak. Penampakan ini disebabkan pendinginan cepat dari panas pelarutan menghasilkan reaksi ketidak teraturan (*disordered*) dan aging selama 1 jam belum cukup untuk mengatur orientasi pelat martensit.

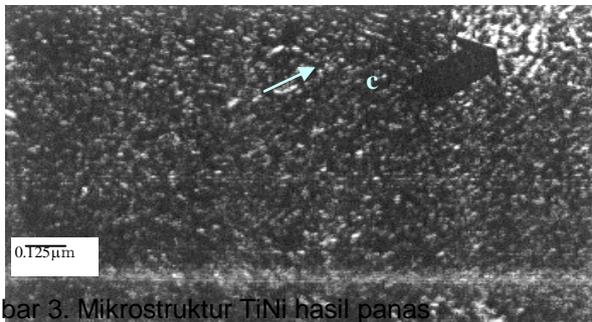
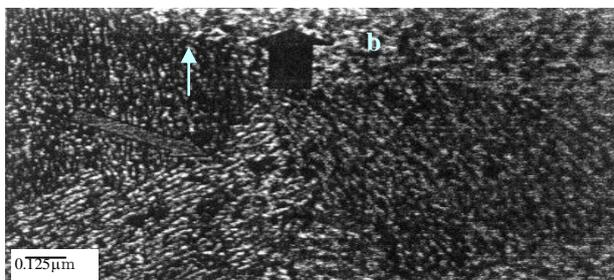
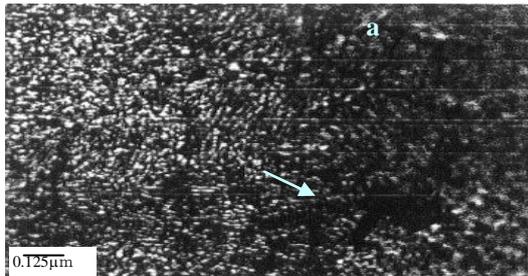
Waktu aging yang lebih lama, memberi kesempatan pada vakansi dan intertisi yang terjadi sebagai akibat panas pelarutan untuk bergerak menyusun dirinya sehingga terbentuk tatanan atom yang lebih teratur, karenanya pola pelat martensit hasil aging 4 jam (Gambar 3(b) dan 4(b)) dan aging 16 jam (Gambar 3(c) dan 4(c)) menampilkan pola pelat martensit yang semakin teratur.

Gambar 3 dan 4, tidak menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara hasil perlakuan pemanasan terlarut (*solid solution treatment*) pendinginan cepat pada temperatur 20°C dan pendinginan cepat pada temperatur 5°C. Mikrostruktur hasil pendinginan cepat pada temperatur 20°C menunjukkan pola martensit yang lebih teratur dari pada pendinginan pada temperatur 5°C. Anak

panah pada Gambar 3 dan 4 menunjukkan daerah pola martensit yang relatif kasar.

Memperbandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Miyazaki dan Otsuka^[5], perbedaan kekasaran pola martensit

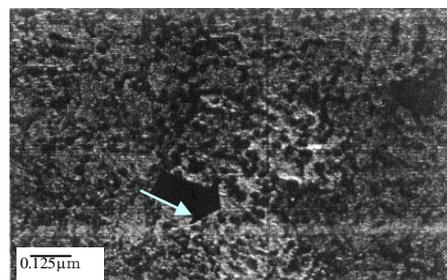
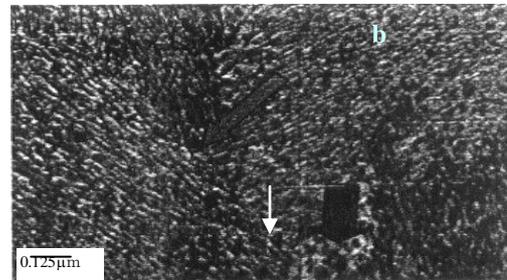
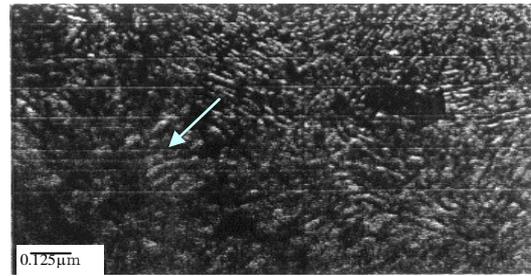
disebabkan pada pendinginan temperatur 20°C paduan TiNi berkesempatan membentuk fasa $Ti_{11}Ni_{14}$ selain fasa TiNi. Kedua fasa ini membangun paduan TiNi yang stabil, karenanya pola martensit hasil pendinginan media air menunjukkan keteraturan yang lebih baik.



Gambar 3. Mikrostruktur TiNi hasil panas pelarutan, 900°C, diikuti pendinginan cepat, 20°C, dan aging, 400°C, selama (a) 1 jam, (b) 4 jam, (c) 16 jam.

Semakin teraturnya pelat martensit menunjukkan bahwa fasa martensit semakin stabil. Kestabilan fasa martensit memberi konsekuensi bahwa energi termal yang dibutuhkan agar fasa martensit mengalami transformasi semakin tinggi, dengan kata lain semakin stabil fasa martensit semakin tinggi temperatur transformasi yang diperlukan^[7].

Difraktogram sinar – x, Gambar 5 (a) dan (b), masing – masing untuk cuplikan hasil



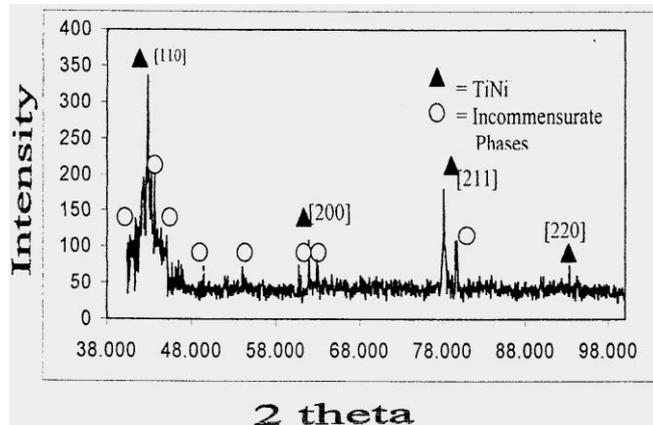
Gambar 4. Mikrostruktur TiNi hasil panas pelarutan, 900°C, diikuti pendinginan cepat, 5°C, dan aging, 400°C, selama (a) 1 jam, (b) 4 jam, (c) 16 jam.

pendinginan cepat pada temperatur 20 °C dan 5°C, menunjukkan fasa martensit paduan TiNi berstruktur kristal BCT (*Body Centre Tetragonal*).

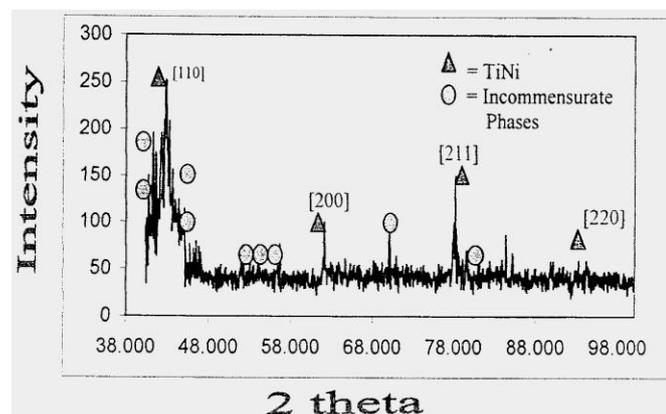
Selain fasa martensit TiNi terdapat fasa lain yang sukar ditentukan, teramatinya puncak-puncak difraksi ini dimungkinkan sebagai efek dari impuritas lain yang terikutkan pada proses pemaduan dan atau terbentuknya fasa *incommensurate* yang

tidak lain merupakan fasa antara yang teramati ketika paduan bertransformasi ke

fasa martensit saat paduan TiNi setelah perlakuan panas terlarut^[8].



(a)



(b)

Gambar 5. Pola difraksi hasil pengamatan difraktometer sinar X pada : (a) Paduan TiNi hasil perlakuan *quenching* pada media air 2 pada temperatur 20°C, (b) Paduan TiNi hasil perlakuan *quenching* pada media pada temperatur 5 °C.

Teridentifikasi puncak-puncak TiNi pada difraktogram hasil pendinginan cepat tersebut, didukung oleh hasil pengamatan mikrostruktur seperti terlihat pada Gambar 3 dan 4. Proses pendinginan cepat telah menunjukkan pola pelat martensit, dimana pola pelat martensit pada pendinginan cepat media air (temperatur 20 °C) lebih teratur dibandingkan media air (temperatur 5 °C). Perbedaan keteraturan pelat martensit tersebut sesuai dengan hasil pengamatan

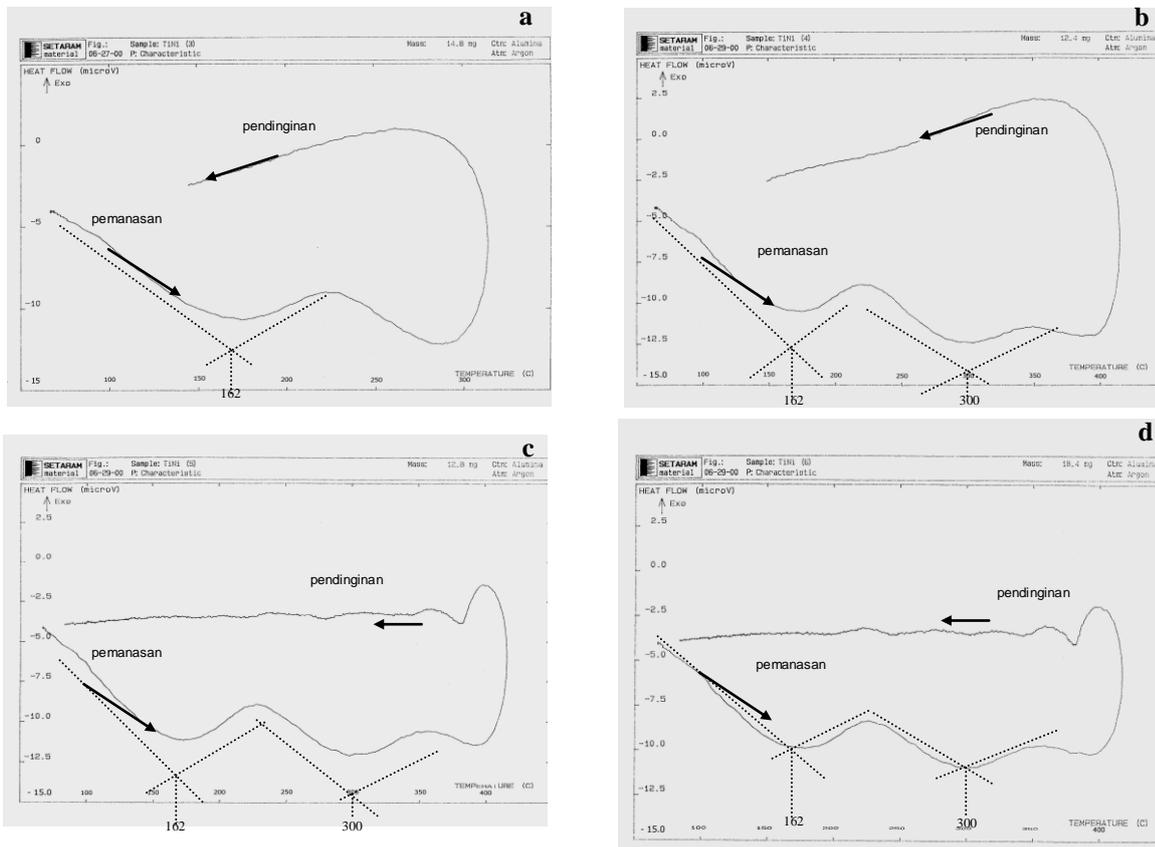
difraktogram, dimana Gambar 5(a) menampilkan pola puncak-puncak TiNi yang lebih tegas dibandingkan Gambar 5(b).

Gambar 5(b) menunjukkan puncak-puncak difraksi *incommensurate phases* dan atau puncak dari fasa lain yang tidak dan atau belum dikenal. Banyaknya puncak-puncak pola difraksi tersebut menunjukkan bahwa pendinginan media es relatif tidak memberikan kesempatan terhadap

pergeseran bidang-bidang kristal untuk membentuk pola martensit.

Penentuan karakteristik temperatur transformasi menggunakan *Simultan Thermal Analyser* (STA), dimana pengamatan

dilakukan dengan mengamati puncak endotermis dan eksotermis yang mungkin terjadi ketika sampel dipanaskan dan didinginkan.



Gambar 6. Thermogram Ti-53%w Ni (a). Hasil pendinginan cepat dalam media air, (b). Aging 400°C selama 1 jam, (c). Aging 400°C selama 4 jam, (d). Aging 400°C selama 16 jam.

Termogram menunjukkan bahwa pada proses pemanasan dari temperatur 100°C hingga 450°C menampilkan adanya dua puncak endotermik, ditunjukkan berupa sebuah lembah pada Gambar 6(a) dan masing-masing terdapat dua lembah pada Gambar 6(b)–(d), yang menyatakan terjadinya transformasi fasa. Pada puncak endotermik pertama menunjukkan transformasi fasa austenit sedangkan puncak endotermik kedua pada paduan yang mengalami proses aging (Gambar 6(b) – (d)) merupakan transformasi fasa *incommensurate*. Dari hasil pengamatan dengan

melakukan *onset* temperatur, pada kedua puncak tersebut diperoleh $(162 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ pada puncak pertama dan $(300 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ pada puncak kedua.

Proses pendinginan, tidak menunjukkan adanya puncak eksotermik yang mewakili perubahan fasa martensit sebagai transformasi fasa balik dari autenit ke fasa martensit. Tidak teramatinya puncak eksotermik ini dimungkinkan karena rentang pengamatan temperatur relatif sempit ($450^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$), sedangkan hasil pengamatan mikrostruktur (Gambar 3 dan 4) menunjukkan mikrostruktur martensit.

Dengan kata lain, transformasi fasa martensitik terjadi pada temperatur di bawah 100°C. Hal ini didukung hasil pengamatan Gyunter dkk., yang menunjukkan tempertaur transformasi martensit terjadi pada rentang temperatur 66°C–19°C^[10]. Karenanya puncak eksotermis, yang mencirikan transformasi fasa martensitik dimungkinkan terjadi pada temperatur kamar, yang tidak teramati pada termogram Gambar 6.

SIMPULAN

Paduan TiNi dengan komposisi 53%berat Ni hasil pemaduan menggunakan teknik *arc-melting* yang mengalami perlakuan panas pelarutan 900°C, yang diikuti pendinginan cepat pada temperatur 20°C dan 5°C serta proses penuan memperlihatkan hal-hal berikut :

Pemeriksaan dengan menggunakan mikroskop optik menunjukkan fasa TiNi pada temperatur kamar adalah fasa martensit sedangkan pada pengamatan dengan menggunakan difraktometer sinar-x menunjukkan difraksi TiNi dan fasa lain yang tidak dikenal (*incommensurate phase*). Sementara itu, pada pengujian dengan menggunakan *Simultan Thermal Analyser* (STA) menunjukkan bahwa tempertatur transformasi austenit terjadi pada temperatur (162 ± 5)°C dan temperatur transformasi fasa lain, fasa *incommensurate*, pada temperatur (300 ± 5)°C.

DAFTAR PUSTAKA

1. B. FREDERICK, WANG, J. WILLIAM.: *TiNi Base Alloy Shape Memory Enhancement Through Thermal and Mechanical Processing*, US Patent No. 4304613, USA, (1981).
2. K. OTSUKA.: *Recent Developments of Ti-Ni and Ti-Ni Based Ternary Shape Memory Alloys*”, *Proceeding of the International Symposium on Shape Memory Materials*, Beijing, (1994), 129.
3. <http://smart.tamu.edu/sma/mems>, down load 17 desember 2007.
4. HONNA, TAKEI.: *Journal of Japan Institute of metals*, 39 (2), (1995),.
5. M. FREEMON, S. MIYAZAKI.: *Shape memory alloys*, Springer Verlag Wien, New York, (1996).
6. S. MIYAZAKI, K. OTSUKA.: *Recent Developments in Ti-Ni Shape memory alloys*”, *Proc. 1st Japan International SAMPE*, (1989), 211.
7. S. K. WU, H. C. Lin, T. S. CHOU.: *Scripta Metallurgica*, 23, (1989), 2043.
8. T. SABURI.: *Trans. Mat. Res. Soc. Japan*, 18B, (1994), 997.
9. ELMAN PANJAITAN.: Perilaku Presipitat TiNi Paduan NITINOL Akibat Perlakuan Panas Aging, Prosiding Seminar Nasional Mikroskopi dan Mikroanalisis IV, Serpong, (1999), 67.
10. V.E. GYUNTER, L.A. MONASEVEVICH, et. All., *Dokl. Akad., Nauk. SSSR*, 247, (1979) ,85.