

## Peningkatan Sifat Mekanik Kawat Anyam (*Wire Mesh*) Baja Melalui Proses Pelapisan Nikel

Baskara Surya Widagdo<sup>1</sup>, \*Sulistyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [listyo2007@gmail.com](mailto:listyo2007@gmail.com)

### Abstrak

Teknologi pelapisan logam telah berkembang dengan pesat. Metode yang dikembangkan bervariasi. Salah satu tujuan teknologi pelapisan logam adalah untuk meningkatkan kualitas logam baik dari sifat ketahanan korosi maupun peningkatan ketahanan sifat mekanik seperti tahan aus maupun kekuatan tarik logam tersebut. Paper ini membahas tentang teknologi pelapisan logam berbentuk kawat anyam (*wire mesh*) menggunakan lapisan nikel. Kawat anyam dibersihkan dengan larutan HCl dan dicuci dengan air sabun kemudian dikeringkan dalam udara biasa. Pelapisan dilakukan dengan metode elektroplating dengan pengontrolan kuat arus dan waktu proses pelapisan. Pemeriksaan lapisan dilakukan dengan pemeriksaan struktur mikro menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) dan kekuatan kawat dilakukan dengan uji tarik. Hasil ketebalan pelapisan tertinggi diperoleh pada kuat arus 1,5 A dengan waktu proses pelapisan selama 180 detik dengan ketebalan lapisan sebesar 5,32  $\mu\text{m}$ . Kekuatan tarik kawat diuji pada suhu 900 C kekuatan kawat tanpa lapisan sebesar 22,1 MPa, sedang pada pelapisan nikel ketebalan 5,32  $\mu\text{m}$  sebesar 352,1 MPa.

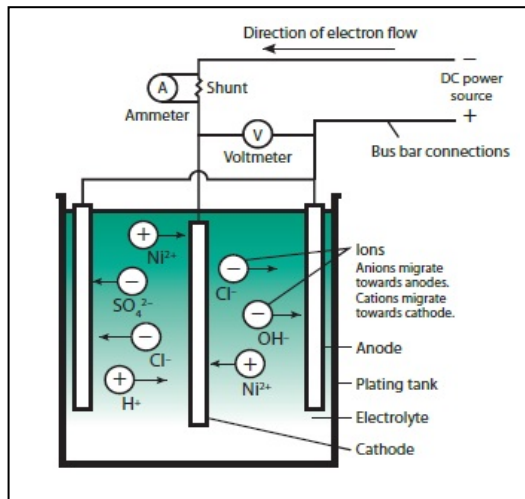
**Kata kunci:** Pelapisan Nikel, Uji tarik, kawat anyam

### 1. Pendahuluan

Material yang dipakai pada temperatur tinggi harus memenuhi syarat tertentu seperti tahan korosi dan mempunyai kekuatan tertentu tergantung dari beban yang mengenai material tersebut. Pemakaian material pada temperatur tinggi adalah seperti pada material pengumpul arus (*current collector*) *solid oxide fuel cell* (SOFC) [1]. Persyaratan material pengumpul arus (*current collector*) SOFC adalah mudah sebagai penghantar arus, kompatibel terhadap material sebelahnya dan tahan pada operasi temperatur tinggi dan tidak mudah terdegradasi [2]. Pada umumnya material yang beroperasi pada suhu tinggi harganya relatif mahal karena material pada suhu tinggi harus memiliki ketahanan terhadap korosi dan tidak banyak perubahan struktur mikronya terutama perubahan ukuran butir [1, 3]. Material yang memiliki ketahanan tinggi dan mampu sebagai penghantar arus pada umumnya adalah logam. Logam tersebut biasanya dikelompokkan dalam golongan logam mulia seperti platina, emas, rhodium, palladium [4] atau logam paduan tinggi [3] serta nikel. Logam mulia ini mampu membentuk oksida tipis pada permukaan yang dapat melindungi logam dibawahnya. Logam yang dioperasikan pada suhu tinggi seperti pada pemakaian SOFC harus mampu mendukung beban pada rentang suhu 600 – 1000°C. Logam tersebut harus memiliki kemampuan menahan terhadap pertumbuhan butir (*grain growth*). Pertumbuhan butir ini akan menurunkan kekuatan tarik (*ultimate strength*) ataupun kekuatan luluh (*yield strength*). Upaya menanggulangi penurunan kekuatan dapat dilakukan dengan menambahkan elemen tertentu atau dengan melakukan proses pelapisan. Proses penambahan elemen tertentu dilakukan pada saat proses pencairan logam untuk membentuk logam paduan tinggi (*super alloys*). Logam paduan tinggi akan membentuk fasa tertentu yang akan menghambat gerak dislokasi pada temperatur tinggi. Gerak dislokasi terhambat akan meningkatkan kekuatan material tersebut [3,5]. Upaya yang lain yaitu dengan proses pelapisan. Proses pelapisan ini biaya prosesnya relatif lebih murah dibandingkan proses pembuatan logam paduan tinggi. Proses pelapisan dapat dilakukan dengan logam mulia atau menggunakan pelapis nikel. Pelapisan ini akan mampu melindungi material utama dari serangan korosi pada permukaan dan dapat membentuk fasa tertentu pada permukaan yang dapat meningkatkan kekuatannya [5].

### 2. Bahan dan Metode Penelitian

Tahapan ini dilakukan guna mendapatkan referensi alat dan bahan pendukung yang diperlukan dalam proses penelitian yang akan dilakukan mengacu kepada referensi yang ada. Sebagian besar alat percobaan dapat dibeli di daerah Semarang yakni material mesh *stainless steel* 304. Spesimen yang digunakan berupa kawat wire mesh *stainless steel* 304 yang tanpa coating dan dengan coating nikel dengan variasi ketebalan. Sedangkan proses pengujian tarik pada suhu ruangan (kamar) menggunakan alat uji tarik IMMADA yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro dan pengujian tarik pada suhu tinggi menggunakan tungku pemanas dan timbangan digital dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Untuk pengujian tarik pada suhu kamar dan suhu tinggi menggunakan spesimen kawat mesh *stainless steel* AISI 304, dan kawat mesh *stainless steel* AISI 304 yang telah dilapisi oleh nikel dengan metode elektroplating.

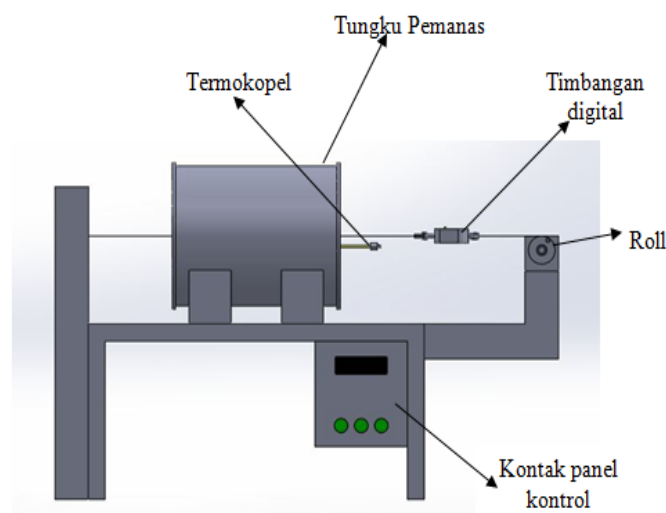


**Gambar 1.** Ilustrasi rangkaian proses elektroplating [6]

Bahan yang dipakai untuk proses elektroplating adalah Nikel Sulfat ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Nikel sulfat dalam proses pelapisan berfungsi sebagai penyedia ion nikel, nikel sulfat yang dilarutkan dalam aquades inilah yang akan memberikan pelapisan nikel pada katoda dimana logam pada katoda akan bereaksi dengan Ni pada proses elektroplating. Nikel Klorida ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), Nikel klorida dengan rumus kimia  $\text{NiCl}_2$  dalam proses pelapisan berfungsi meningkatkan konduktivitas. Dalam proses elektroplating, elektrolit yang dibuat disamping berfungsi sebagai pelarut harus juga mempunyai konduktivitas yang baik karena digunakan sebagai aliran listrik dari anoda ke katoda dan meningkatkan pasifasi pada katoda. Asam borak ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) dalam proses elektroplating berfungsi untuk mempertahankan pH dari larutan. *Brighteners I* “Carriers *Brighteners I* berfungsi untuk memperbaiki struktur butir dan meningkatkan kilap pada hasil lapisan, *Brighteners II* “Levelling Agents” berfungsi untuk mengisi cacat atau goresan pada permukaan spesimen.

### 2.1. Pengujian Tarik Kawat *Wire Mesh*

Pengujian tarik dilakukan dengan berpedoman standar pengujian ASTM E8 [7]. Pengujian dilakukan pada suhu kamar dan suhu tinggi. Diameter kawat mesh adalah  $75 \mu\text{m}$ , ketebalan lapisan yang digunakan adalah  $3,3 \mu\text{m}$  dan  $5,3 \mu\text{m}$ . Suhu pengujian tarik adalah pada suhu tungku  $500^\circ\text{C}$ ,  $700^\circ\text{C}$  dan  $900^\circ\text{C}$ . Ilustrasi pengujian tarik pada suhu tinggi diilustrasikan seperti berikut.



**Gambar 2.** Ilustrasi pengujian pada suhu tinggi

### 2.2. Pemeriksaan Struktur Mikro

Pemeriksaan struktur mikro dilakukan untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan nikel pada logam induk (base metal). Pemeriksaan struktur mikro yang dilakukan adalah ketebalan lapisan Ni yang terbentuk. Mikroskop optik digunakan untuk mengamati struktur mikro dari spesimen uji kemudian mengambil foto menggunakan kamera digital setelah mendapatkan gambar yang diinginkan [8]. Mikroskop optik yang dipakai adalah mikroskop Olympus BX41M, dan kamera yang dipakai adalah kamera Olympus C-5060.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Proses pelapisan

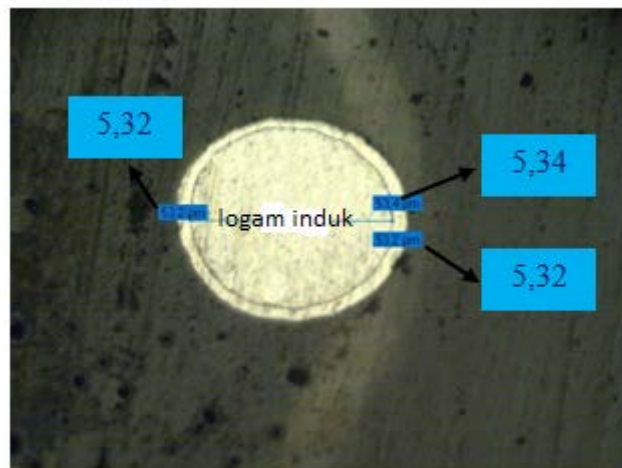
**Tabel 1** Pengaruh arus dan waktu pelapisan Ni terhadap ketebalan lapisan

Arus Listrik (A)	Waktu (s)	Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )
0	0	0
0,5	60	1,79
1	120	3,33
1,5	180	5,32
2	240	4,32

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa waktu pelapisan mempengaruhi tebal lapisan. Semakin waktu meningkat, lapisan ketebalan Ni meningkat pada logam induk (base metal). Ketebalan lapisan Ni pada base metal diperoleh pada proses pelapisan menggunakan arus 1,5 A dan waktu pelapisan 180 detik ketebalan yang diperoleh 5,32  $\mu\text{m}$ , sedangkan pada arus 2 A waktu pelapisan 240 detik diperoleh ketebalan lapisan nikel sebesar 4,32  $\mu\text{m}$ . Pada arus semakin besar maka larutan elektrolit temperaturnya meningkat serta munculnya gelembung udara pada larutan terutama pada sekitar elektrodasehingga ion ion nikel yang bermuatan positif terganggu untuk menempel pada elektroda. Dengan demikian proses pelapisan tidak efektif pembentukan lapisan logam induk [6].

#### 3.1. Pemeriksaan Struktur Mikro

Hasil pemeriksaan strukru mikro seperti gambar



**Gambar 3.** struktur mikro lapisan

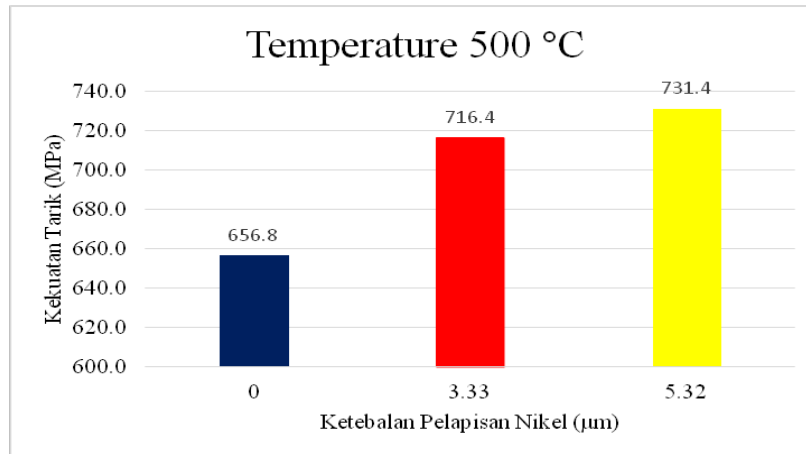
Pada Gambar 3 adalah proses pelapisan nikel dengan proses elektroplating dengan kuat arus listrik 1,5 A dan waktu proses pelapisan 180 detik (3 menit). Ketebalan yang diperoleh adalah 5,32  $\mu\text{m}$ . Ketebalan nikel pada logam induk menempel dengan merata pada logam induk kawat SS304. Proses pelapisan nikel pada material SS 304 dengan komposisi larutan nikel sulfat dan sebagai larutan utama dan ditambahkan larutan klorida berlangsung dengan baik. Proses ini dibuktikan dengan struktur yang diperlihatkan pada Gambar 3. Parameter yang diperoleh pada proses pelapisan adalah waktu pelapisan 180 detik dan kuat arus listrik sebesar 1,5 A. Pelapisan tidak mengalami cacat pengelupasan (*delaminating*).

#### 3.2. Pengujian tarik kawat

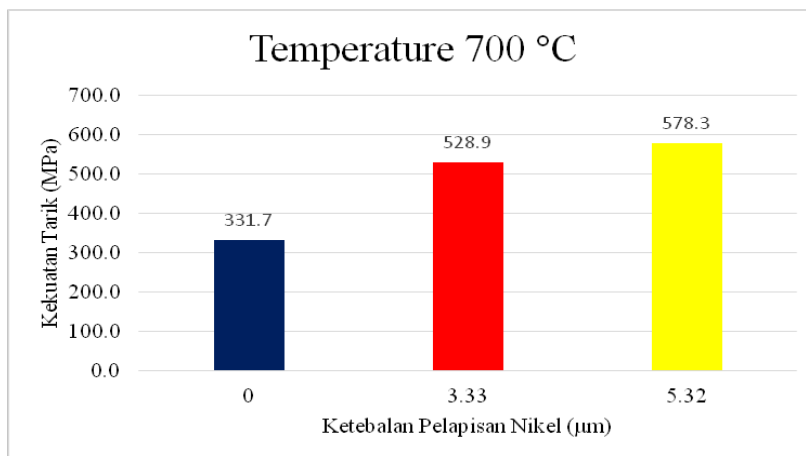
Hasil pengujian tarik kawat SS 304, diambil proses pelapisan dengan ketebalan 3,3  $\mu\text{m}$  dan 5,32  $\mu\text{m}$ . Panjang kawat 6 cm pada mesin uji IMMADA. Suhu operasi pada kondisi suhu kamar. Sedangkan untuk pengujian tarik pada suhu 500, 700 C dan 900 C ukuran panjang kawat adalah 100 cm. Panjang ini disesuaikan dengan kondisi peralatan pemanas seperti yang terlihat pada gambar 2. Hasil pengujian tarik pada suhu 500°C dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat dari grafik 4.2 kekuatan tarik dengan ketebalan pelapisan kekuatannya meningkat dibandingkan pada kekuatan tarik yang tanpa pelapisan. Kawat tanpa pelapisan nikel pada suhu 500°C mempunyai kekuatan 656,8 MPa sedangkan pada pelapisan nikel dengan ketebalan 3,3  $\mu\text{m}$  dan 5,32  $\mu\text{m}$  adalah 716,4 MPa dan 731,4 MPa.

Pada Gambar 4, 5 dan 6 diperoleh informasi pengujian pada masing – masing suhu. 500°C, 700°C dan 900°C. Pelapisan nikel mempengaruhi kekuatan tarik kawat SS 304, ketebalan 5,32 ( $\mu\text{m}$ ) memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi pada masing – masing variasi suhu, sedangkan kawat tanpa pelapisan memiliki kekuatan terendah diantara tiga kondisi

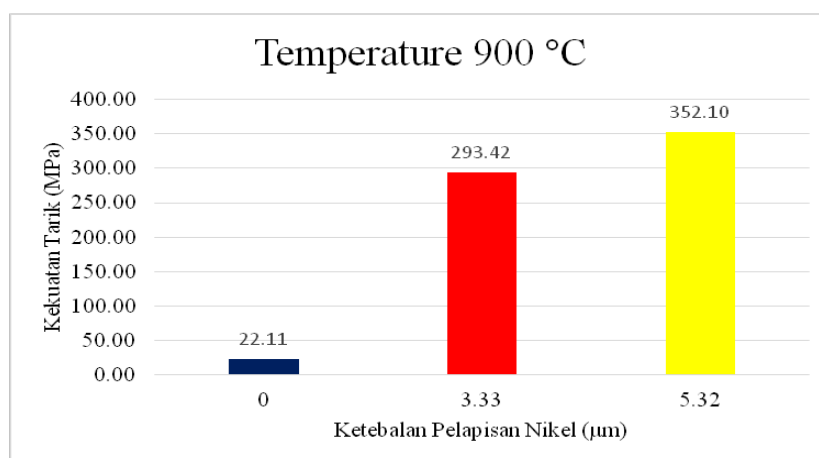
pelapisan. Pada suhu 700°C, kawat 304 tanpa pelapisan nikel memiliki kekuatan tarik sebesar 331,7 MPa, pelapisan nikel ketebalan 3,33 (µm) memiliki kekuatan tarik 528,9 MPa dan pada pelapisan nikel ketebalan 5,32 (µm) memiliki kekuatan tarik sebesar 578,3 MPa. Pada suhu 900°C kawat tanpa pelapisan nikel mempunyai kekuatan tarik sebesar 22,1 MPa, sedangkan kawat pada pelapisan 3,33 µm dan 5,32 µm mempunyai kekuatan tarik 293,42 MPa dan 352,10 MPa pada masing masing kawat. Dari Gambar 5 dan 6 kawat yang diuji pada temperatur semakin tinggi kekuatannya semakin menurun. Pada kawat yang dilapisi nikel 5,32 µm pada suhu 500°C, 700°C dan 900°C kekuatan tarik pada masing masing kawat adalah 731,4 MPa, 578,3 MPa dan 352,1 MPa.



**Gambar 4.** Hubungan tebal pelapisan dan kekuatan tarik pada suhu 500°C



**Gambar 5.** Hubungan tebal pelapisan dan kekuatan tarik pada suhu 700°C



**Gambar 6.** Hubungan tebal pelapisan dan kekuatan tarik pada suhu 900°C

Pada kondisi kawat yang dilapisi dan tidak dilapisi kekuatannya mempunyai kekuatan yang berbeda. Kawat yang dilapisi nikel mengalami peningkatan kekuatan tarik. Fenomena ini terjadi pada sisi antar muka kawat SS 304 dan

nikel terjadi proses difusi selama proses elektroplating. Atom nikel mampu berdifusi dalam logam induk SS 304 sehingga memungkinkan membentuk suatu fasa tertentu yang mampu menghambat gerak dislokasi [9]. Penghambatan gerak dislokasi akan meningkatkan kekuatan material SS 304 [3,9,10].

Pada Gambar 4, 5 dan 6 disajikan grafik perbandingan pada kondisi kawat yang dilapisi nikel dan tidak dilapisi nikel dengan suhu 500°C, 700°C dan 900°C. Kekuatan tarik pada masing masing kondisi jika temperatur naik kekuatan tarik mengalami penurunan. Pada temperatur 900°C kekuatan tarik paling rendah pada kondidi dilapisi maupun tanpa dilapisi. Pada kondisi operasi suhu tinggi mengakibatkan terjadi fenomena *grain growth* [5]. Pada suhu tinggi fenomena *grain growth* akan menyebabkan butir berkembang menjadi lebih besar daripada pada saat suhu kamar sehingga memudahkan gerak dislokasi pada material yang mengakibatkan kekuatan tariknya menurun [3,5]. Kemungkinan yang terjadi pada penurunan kawat tersebut adalah fenomena perbesaran butir. Apabila batas butir semakin banyak dan halus maka akan mengakibat sulitnya terjadi gerak dislokasi yang akan mengakibatkan kekuatan tarik meningkat Berbeda halnya dengan butir yang berkembang menjadi lebih besar dan kasar. Semakin besar dan kasar pada batas butir akan mengakibatkan mudahnya terjadi gerak dislokasi dan hasilnya kekuatan tarik akan berkurang, sehingga kekuatan tarik pada suhu 500°C mulai berkurang. Dengan adanya peningkatan suhu 700°C, 900°C maka fenomena *grain growth* akan semakin meningkat dan membesar. Hal ini bisa dibuktikan dari hasil pengujian diatas bahwa semakin tinggi suhunya maka semakin kecil pula kekuatan tariknya dan pada suhu 900°C memiliki kekuatan tarik terendah.

Adanya energi panas cenderung untuk berpindah dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah yang temperaturnya lebih rendah. Energi panas dapat mempengaruhi ikatan logam dan paduan yang sejenis sehingga berkurang kekuatannya. Perlakuan panas terhadap suatu bahan logam pada temperatur tertentu akan mengakibatkan pelemahan ikatan antar butir dan mengubah kekuatan suatu material [10]. Selain itu energi aktivasi juga mengakibatkan atom bergerak tidak stabil dan berputar sangat cepat. Hal ini akan mengakibatkan ikatan antar atom melemah sehingga akan cepat putus. Pemberian suhu tinggi pada spesimen diberikan sampai antara 500°C - 900°C yang dikontrol dengan termokopel dan furnace chamber. Pada temperatur itu fasa dan struktur mikro baja tidak berubah, karena belum cukup panas namun diyakini sifat mekaniknya mengalami perubahan baik kekuatan tarik maupun regangan [1,3,5].

Kenaikan temperatur pengujian menyebabkan turunnya kekuatan tarik yang signifikan, yaitu berkisar 70 - 98% dibanding kekuatan tarik maksimum pada temperatur kamar. Penurunan yang paling besar terjadi pada temperatur 900°C sebesar 98,08 % pada kawat SS304 tanpa pelapisan. Sedangkan pada pelapisan nikel ketebalan 3,33 ( $\mu\text{m}$ ) memiliki penuruna sebesar 74,72 % dan untuk pelapisan nikel ketebalan 5.32 ( $\mu\text{m}$ ) sebesar 70,09 %. Fenomena ini berkaitan erat dengan perbedaan ukuran butir austenit (fasa  $\gamma$ ). Bertambah tinggi temperatur menyebabkan ukuran butir austenit bertambah besar, sehingga akan menurunkan kekuatan SS A304.

#### 4. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah:

- 1) Berdasarkan pengujian tarik kawat dari kawat anyaman tanpa pelapisan dan dengan pelapisan terhadap suhu kamar maupun suhu tinggi, nilai kekuatan tarik yang berbeda – beda dari masing - masing spesimen.
- 2) Pelapisan nikel mempengaruhi kekuatan tarik dari masing-masing spesimen. Hal ini disebabkan karena adanya substansi atom berupa atom nikel berdifusi dalam logam induk SS 304. Adanya penambahan atom asing secara difusi dalam logam induk SS 304 kemungkinan akan membentuk fasa yang akan mempengaruhi gerak dislokasi pada suatu material. Ketidak seragaman atom dalam suatu material akan menghambat gerak atom lain yang berakibat susah terjadinya gerak dislokasi pada suatu material.
- 3) Kawat SS 304 tanpa pelapisan pada suhu 500 C memiliki kekuatan tarik pada suhu kamar sebesar 656,8 MPa dan pada suhu 900°C 22,1 MPa. Sedangkan kawat anyaman mesh dengan coating nikel ketebalan 5,32 ( $\mu\text{m}$ ) memiliki kekuatan tarik pada suhu 500°C sebesar 731,4 MPa dan pada suhu 900°C sebesar 352,1 MPa.
- 4) Efek temperature tinggi akan mengakitkannya terjadi terjadi fenomena *grain growth*. Pada suhu tinggi fenomena *grain growth* akan menyebabkan butir berkembang dan butir semakin besar, sehingga memudahkan gerak dislokasi yang mengakibatkan penurunan kekuatannya.

#### Daftar Pustaka

- [1] Jeffrey W. Fergus, Rob Hui, Xianguo LI, David P. Wilkinson, Jijun Zhang, Solid Oxide Fuel Cells, Materials Properties and Performance, Green Chemistry and Chemical Engineering, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2009.
- [2] Chihiro Hiraiwa, Hiromasa Tawarayama, Hajime Ota, Takahiro Higashino, Kazuki Okuno, Masatoshi Majima, Long-term stability of Ni-Sn porous metals for cathode current collector in solid oxide fuel cells, International Journal of Hydrogen Energy 42(2017) p 12567-12573.
- [3] Michael F. Ashby, David R.H. Jones, Engineering Materials1, An Introduction to properties, Application, and Design, Fourth Edition, BH, Elsevier, Waltham, MA, USA, 2012.
- [4] Harald U. Sverdrup, Kristin Vala Ragnarsdottir, A system dynamics model for platinum group metal supply, market price, depletion of extractable amounts, ore grade, recycling and stocks-in-use, Resources, Conservation and Recycling, 114, p. 130-152, 2016.

- [5] William D.(Jr.) Callister and David G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*, Eight Edition, John Wiley & Sons, Inc, USA, 2009
- [6] DiBari, G. a., *Nickel Plating Handbook*, Canada: University in Toronto, 2014
- [7] Standard, A.S.T.M., E8," *Standard Test Methods for Tension Testing of Metal Material Annual book of ASTM standards*,3, p.57-72,2004.
- [8] Adams, B.L., *ASM HANDBOOK Vol. 09 Metallography and Microstructures*, USA: ASM International,2004.
- [9] Adrian Mouritz, *Strengthening of metal alloys*, ch.4, *An introduction to aerospace materials*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2012.
- [10] Ronan madec, Ladislav P. Kubin, *Dislocation strengthening in FCC metals and in BCC metals at high temperatures*, *Acta Materilia* 126, p. 166-173, 2017.