

ANALISA PERILAKU DEFLEKSI BIMETAL TEMBAGA (CU) – NIKEL (NI) AKIBAT STIMULASI VARIASI TEMPERATUR

*Prehatin Dwi Cahyono¹, Susilo Adi Widyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: prehatin_dwi_cahyono@yahoo.com

Abstrak

Pengaturan perilaku fisis dan mekanis suatu produk semakin diperlukan untuk meningkatkan aspek ekonomis dan unjuk kerjanya. Salah satu teknik aplikatif yang dapat dikerjakan adalah penggabungan material penyusun suatu produk dengan variasi jenis maupun posisinya. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan dan menguji secara eksperimental produk bimetal. Pemodelan bimetal dengan memvariasikan posisi kombinasi blok Cu-Ni melalui lima model. Yakni model posisi Cu-Ni vertikal, model kombinasi panjang blok Cu-Ni, model kombinasi lebar blok Cu-Ni dan dua model variasi kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan ukuran lebar blok yang berbeda. Pengujian eksperimental pada bimetal dilakukan dengan memberi beban berupa temperatur, dengan panas api dari gelas piala (bunsen), dan memvariasikan tiga posisi pemanasan material, yaitu dengan menggunakan dua pemanas (depan-belakang), satu pemanas didepan, dan satu pemanas dibelakan. Hasil pengujian eksperimental dari kelima model arah defleksi bergerak kearah material Ni. Besarnya defleksi dan sudut puntir dipengaruhi oleh: pengaruh tebal, lebar, dan panjang Cu-Ni, variasi posisi blok Cu-Ni, dan temperatur. Pengembangan penelitian ini selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar pengembangan produk-produk smart material, melalui proses Multi Material Deposition Indirect Sintering (MMD-Is) yang menggunakan bahan baku serbuk sebagai material produk.

Kata kunci: produk, model, defleksi, eksperimental

Abstract

The setting of physical and mechanical behavior of a product increasingly necessary to improve its performance and economical aspects. One technique that can be done is applicable merger constituent material of a product with variations in type and position. The research was conducted by modeling and experimentally test the bimetallic products. Modeling by varying the position of bimetallic Cu-Ni combination block by five models. Namely Cu-Ni model of the vertical position, the model combination Cu-Ni block length, the width of the block model of the combination of Cu-Ni and two blocks wide variation model combined with Cu-Ni blocks of different widths. Experimental tests carried out on a bimetallic temperature with a given load, the hot flame of a glass cup (Bunsen), and varying the three positions of heating the material, by using two heaters (ront-rear), one in front of the heater, and the heater behind. The results of experimental tests of the five models move towards the direction of the deflection of Ni material. The magnitude of the deflection and torsion angles are influenced by: the influence of thickness, width, and length of Cu-Ni, Cu - block variations Ni position, and temperature. Development of this study can then be used as the basis for the development of smart materials products, through the process of Indirect Multi Sintering Material Deposition (MMD -Is) which use powder as a raw material product material.

keyword: product, model, deflection, experimental

1. PENDAHULUAN

Peningkatan aspek fungsional, kehandalan, pengecilan dimensi dan murah merupakan ciri-ciri produk industri hasil teknologi manufaktur modern. Salah satu metode yang ditempuh untuk mengantisipasi persoalan di atas adalah dengan mengembangkan komponen cerdas yang dihasilkan dari karakteristik materialnya (smart material). Pendekatan

proses pembuatan produk smart material antara lain dengan menggabungkan material produk baik jenis maupun komposisinya dan atau memvariasikan karakteristik fisik material produk [1].

Salah satu contoh produk smart material misalnya intelegent blade propeller, dimana sudut blade dapat berubah-ubah secara otomatis sebagai fungsi dari temperatur tanpa menggunakan sistem kendali elektronik. Perilaku blade dihasilkan dengan mengkombinasikan material penyusunnya seperti perilaku bimetal yang biasa digunakan sebagai sensor temperatur. Dimana bimetal sendiri merupakan gabungan dua buah material yang memiliki nilai koefisien pengembangan berbeda. Pada suhu kamar keduanya memiliki panjang sama dan jika suhunya dinaikan maka akan membengkok kearah material yang koefisien pengembangan lebih kecil dan begitu juga sebaliknya jika didinginkan akan membengkok kearah material yang koefisien pengembangannya lebih besar. Salah satu material yang banyak dipakai untuk bahan pembuatan komponen bimetal diindustri elektronik maupun otomotif adalah tembaga dan nikel. Seperti untuk sensor temperatur, termostat dalam sistem pendingin ruangan, saklar otomatis, lampu dim, dll. Hal ini disebabkan material tersebut merupakan penghantar panas yang baik, kuat, tahan terhadap temperatur tinggi dan tahan korosi [2].

Bimetal adalah sensor temperatur yang sangat populer digunakan karena kesederhanaan yang dimilikinya. Bimetal biasa dijumpai pada sensor temperatur, termostat dalam sistem pendingin ruangan, saklar otomatis, lampu dim, dll. Bimetal terbuat dari dua buah lempengan logam yang berbeda koefisien muainya (α) yang direkatkan menjadi satu. Bila suatu logam dipanaskan maka akan terjadi pemuaian, besarnya pemuaian tergantung dari jenis logam dan tingginya temperature kerja logam tersebut. Bila dua lempeng logam saling direkatkan dan dipanaskan, maka logam yang memiliki koefisien muai lebih tinggi akan memuai lebih panjang sedangkan yang memiliki koefisien muai lebih rendah memuai lebih pendek. Oleh karena perbedaan reaksi muai tersebut maka bimetal akan melengkung kearah logam yang muainya lebih rendah. Dalam aplikasinya bimetal dapat menjadi saklar Normally Closed atau Normally Open [3].

Penelitian ini akan mengamati perilaku defleksi akibat perubahan temperatur. Pada penelitian ini bimetal terbuat dari dua buah lempengan logam antar lain tembaga (Cu) – nikel (Ni). Untuk memperoleh hasil yang diharapkan, analisa dilakukan dengan beberapa tahap pemodelan. Pemodelan dilakukan dengan lima variasi untuk mengetahui perbedaan defleksi akibat pengaruh panjang, lebar dan ketebalan masing-masing komponen logam penyusun. sehingga mengetahui perubahan defeksi pada masing-masing bimetal, dengan logam penyusun tembaga (Cu) – nikel (Ni) [4].

Penelitian yang dilakukan merupakan pembahasan tentang defleksi yang terjadi pada bimetal tembaga (Cu) – nikel (Ni) memiliki hubungan yang tidak linier dengan posisinya terhadap tumpuan jepit (beam) dimana besar defleksinya dipengaruhi oleh model beberapa variasi, tebal masing-masing logam dan perbandingan tebal kedua jenis logam tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Material dan Alat Penelitian

a. Defleksi secara empiris bimaterial

Plat bimetal dapat melengkung jika diberi stimulasi temperatur diatas temperatur kamar. Pelengkungan atau defleksi terjadi pada sisi logam yang tidak di-*constraint* dan bergerak kearah yang mempunyai nilai koefisien ekspansi termal lebih rendah. Dengan menggunakan α sebagai koefisien ekspansi termal logam. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Untuk menghitung defleksi yang disebabkan oleh temperatur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$d = L^2 \frac{3(1+m)^2}{4t \left[3(1+m)^2 + (1+mn)(m^2 + 1/mn) \right]} (\alpha_2 - \alpha_1)(T - T_0)$$

b. Eksperimen bimaterial model puntir

Di semua lokasi pemanasan, defleksi bimaterial berupa lengkungan dan puntiran. Hasil pengukuran defleksi ujung bimaterial pada temperatur pemanasan 210°C di ujung bimaterial menunjukkan kecenderungan yang sama pada kedua sisinya. Hal tersebut menunjukkan bahwa bimaterial melengkung dalam satu arah dengan besar defleksi ujung sebesar 3,85 mm. Sedangkan efek puntir yang terjadi dapat dihitung dengan:

- Posisi ujung terendah : 3,80 mm
- Posisi ujung tertinggi : 3,90 mm
- Jarak titik pengukuran (simetris terhadap sumbu netral) : 90 mm

Sudut puntir = $\arcsin((3.90 - 3.80) / 90) = 0,03$

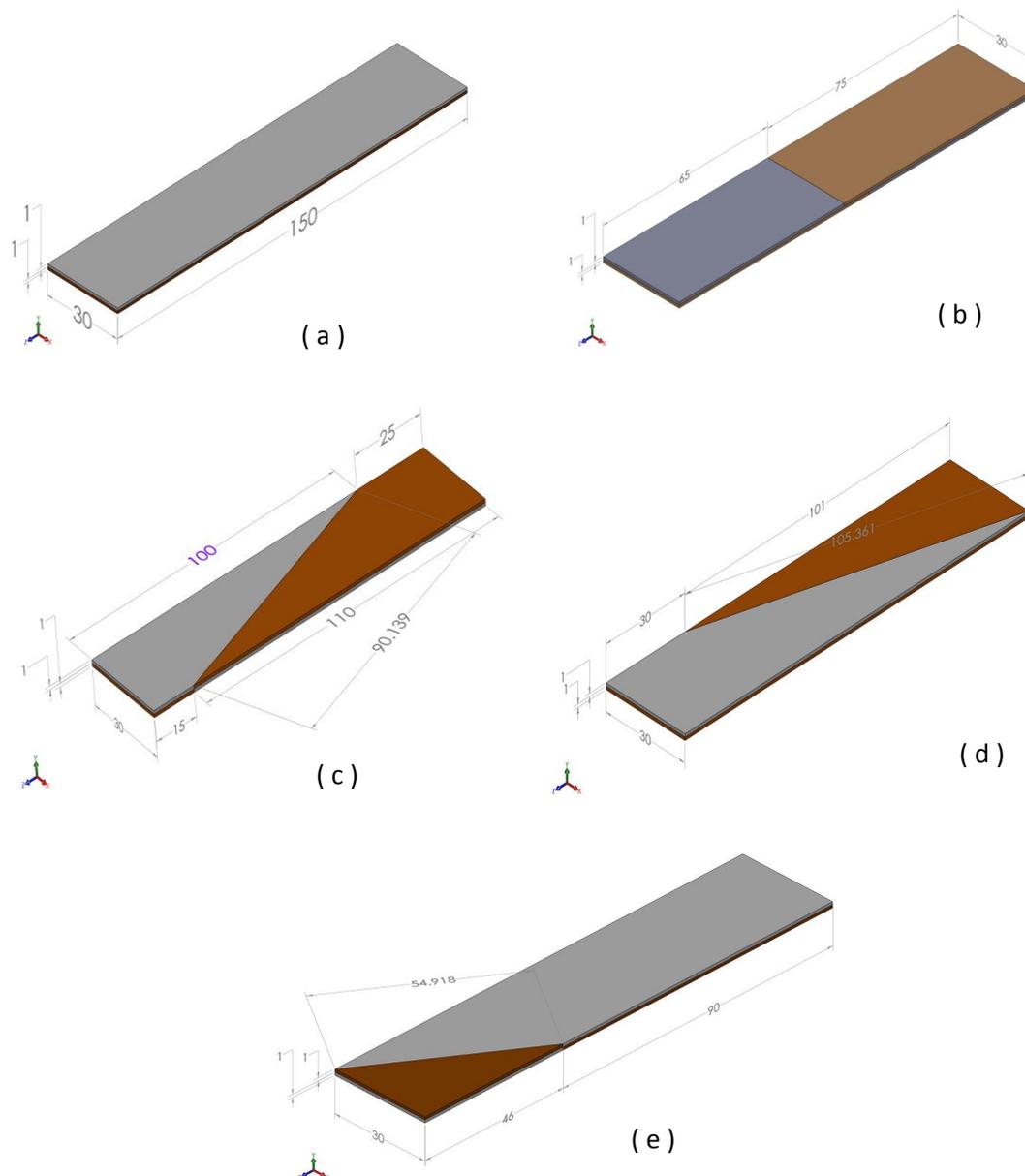
c. Material dan formasi bimaterial Cu-Ni

Penelitian dilakukan dengan metode simulasi dan eksperimental untuk bimaterial bermaterial Cu (tembaga) dan Ni (nikel) dengan karakteristik mekanis dan termal masing-masing material diuraikan dalam **Tabel 1**. Ukuran dan formasi material bimaterial yang disimulasikan meliputi model defleksi vertikal (Gambar 1a), model defleksi vertikal

berseling (Gambar 1b), model defleksi puntir 1 (Gambar 1c), model defleksi puntir 2, dan model defleksi puntir 3. Kontur defleksi diamati dan hasilnya dibandingkan dengan hasil pengujian bimaterial secara eksperimental.

Tabel 1. Karakteristik Mekanis dan Termal Material Cu dan Ni

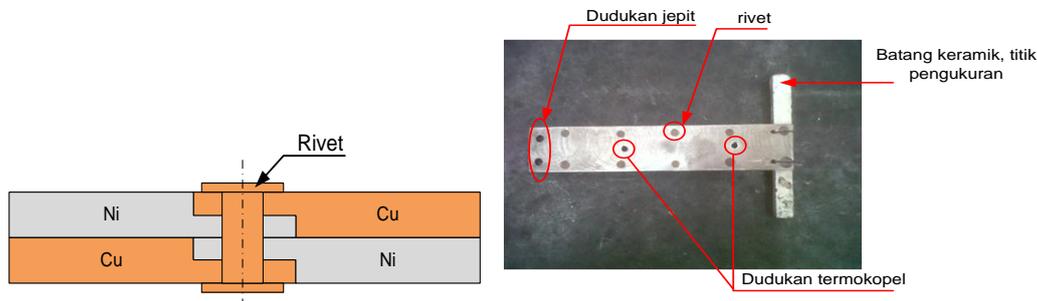
Karakteristik Mekanis dan Termal	Ni	Cu
Modulus elastisitas	199,5 GPa	129,5 Gpa
Ekspansi termal	(25°C) $13,4 \times 10^{-6}$ m/m.K.	$16,8 \times 10^{-6}$ m/m.K
Massa jenis pada suhu kamar	9,908 g/cm ³	8,96 gr/cm ³
Konduktivitas thermal	(300 K) 90.9 W/(m.K)	399 W/m.K
Titik lebur	1455°C	1085 °C
Resistivitas listrik	(20°C) 69.3 n	



Gambar 1. Formasi material Cu dan Ni pada bimaterial model: a. Formasi vertikal, b. formasi vertikal berseling, c.model puntir variasi 1, d. model puntir variasi 2, e. model puntir variasi 3.

d. Pembuatan bimaterial Cu-Ni

Bimaterial Cu-Ni dibuat dengan cara menggabungkan plat Cu dan plat Ni sesuai dengan ukuran yang disesuaikan dengan desain model yang disimulasikan. Proses penggabungan bimaterial dilakukan dengan rivet yang menggunakan material batang Cu berdiameter 2 mm. Untuk menghasilkan sambungan arah diagonal, plat Cu dan Ni dimilling setengah tebal untuk membuat bidang overlap **Gambar 2**.

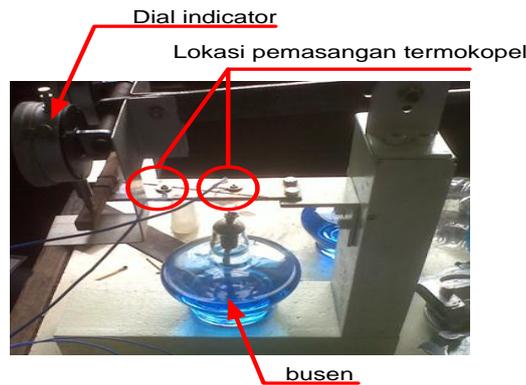


Gambar 2. a. Proses perivetan untuk menggabungkan plat Cu dan Ni, b. Bimaterial Cu-Ni

e. Rig Uji kinerja defleksi dan puntiran bimaterial

Pengujian kinerja defleksi bimaterial dilakukan dengan mengukur defleksi pada ujung bimaterial pada variasi temperatur pemanasan. Namun pemanasan aktual berbeda kondisinya dengan asumsi pemanasan seragam dalam pensimulasian dengan FEM. Pemanasan menggunakan busen (pemanas bermaterial bakar spirtus) sehingga pemanasan bersifat lokal. Temperatur pemanasan diukur dengan sensor termokopel yang ditempelkan pada logam bimaterial pada lokasi pemanasan. Pemanasan bimaterial dilakukan dengan memvariasikan lokasi dari dua lokasi yang ditentukan (depan atau ujung dan belakang dekat tumpuan jepit).

Pengukuran defleksi menggunakan dial indicator yang sensornya ditumpukan pada batang keramik yang diikat dengan ujung bimaterial. Batang keramik digunakan untuk mengisolasi panas, sehingga tidak merambat ke sistem pengukur dial indicator. Konstruksi rig uji kinerja bimaterial seperti ditunjukkan dalam **Gambar 3**.



Gambar 3. Set-up pengujian perilaku defleksi dan puntiran bimaterial

f. Dial indicator

Berfungsi untuk mengetahui nilai defleksi pada ujung permukaan bimetal. Pada pengujian secara eksperimental ini, penulis menggunakan dua buah dial indikator merk MITUTOYO dengan nilai ketelitian 0,01mm, seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Dial indicator

g. Busen

Gelas piala yang digunakan untuk memanaskan bimetal, busen ini menggunakan bahan bakar spirtus. Pada pengujian eksperimental ini penulis menggunakan dua pemanas busen yang diposisikan H1 untuk busen diposisi depan, dan H2 untuk busen pada posisi belakang (dekat dengan penjepit), seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Busen

h. Thermodisplay

Berfungsi untuk mengetahui suhu pada titik pemasangan *thermokopel*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Thermodisplay

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

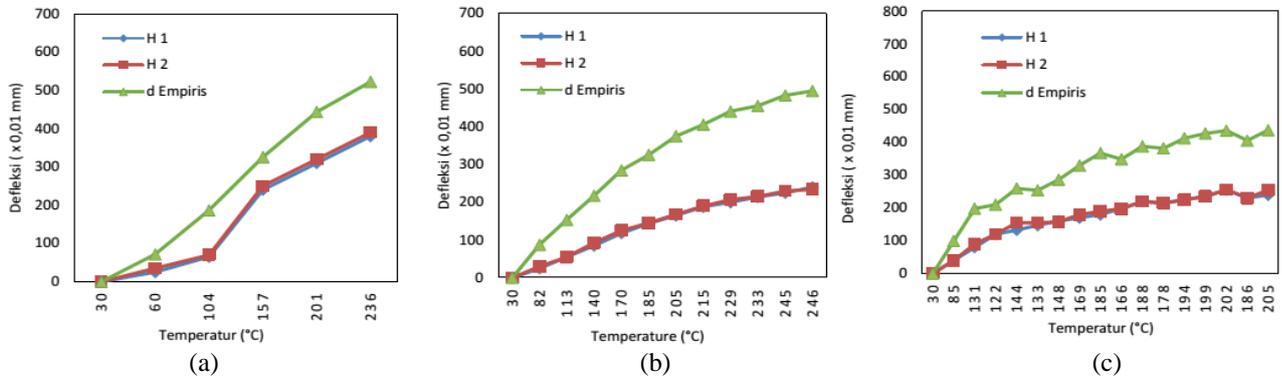
Hasil pengujian model posisi Cu-Ni vertikal menggunakan pembebanan berupa temperatur menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi berbentuk lengkungan dengan arah menuju material yang memiliki koefisien ekspansi termal yang lebih rendah (Ni). Defleksi yang terjadi tidak menunjukkan hubungan yang linier terhadap posisi relatifnya terhadap tumpuan jepit *beam*. Untuk mengamati pengaruh dimensi bimaterial pada defleksi yang dihasilkan akibat stimulasi temperatur, pensimulasian dilakukan untuk dua variasi titik pemanas. Untuk mengamati pengaruh dimensi bimaterial pada defleksi yang dihasilkan akibat stimulasi temperatur, pemsimulasian dilakukan untuk lima variasi seperti ditunjukkan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Model Variasi Dimensi Bimaterial

	Vertikal		Panjang Blok		Lebar Blok		Variasi I Lebar Blok		Variasi II Lebar Blok	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
Panjang	150	150	140	140	125	125	131	131	136	136
Lebar	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Tebal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

c. Analisa model posisi Cu-Ni vertikal

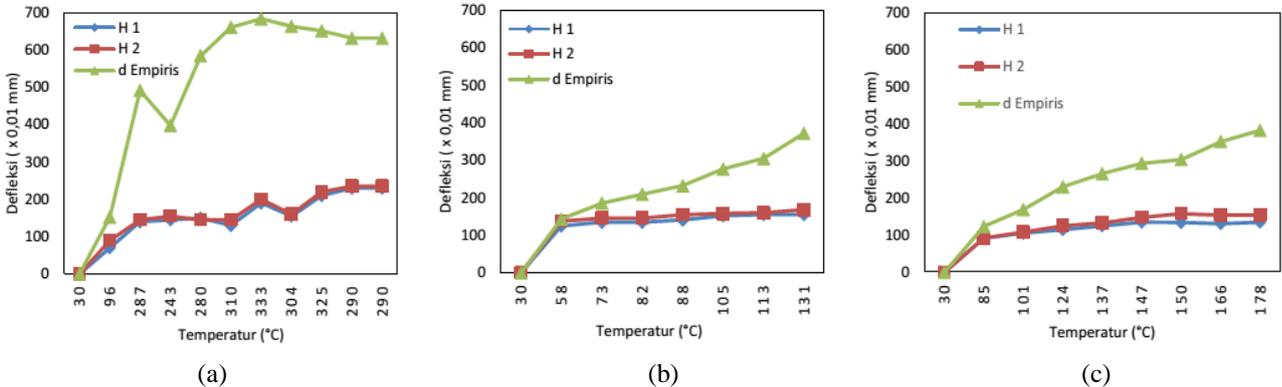
Hasil pengujian bimetal model posisi Cu-Ni vertikal dimana bimetal tersebut diberi beban berupa temperatur dengan beberapa titik pemanasan. Dilihat dari data koefisien ekspansi thermalnya ditunjukkan dalam **Gambar 7**. Cu memiliki koefisien ekspansi thermal $16,8 \times 10^{-6}$ m/m.K sedangkan Ni koefisien ekspansi thermalnya $13,4 \times 10^{-6}$ m/m.K. Modulus elastisitas masing-masing material adalah $E_1 = 129,8$ GPa, $E_2 = 199,5$ Gpa. Perbandingan koefisien ekspansi thermal kedua material (Cu/Ni) = 1,253.



Gambar 7. Grafik defleksi pada model bimetal Cu-Ni vertikal, a. dua pemanas (depan-belakang), b. satu pemanas (depan), c. Satu pemanas (belakang).

d. Analisa model panjang blok Cu-Ni.

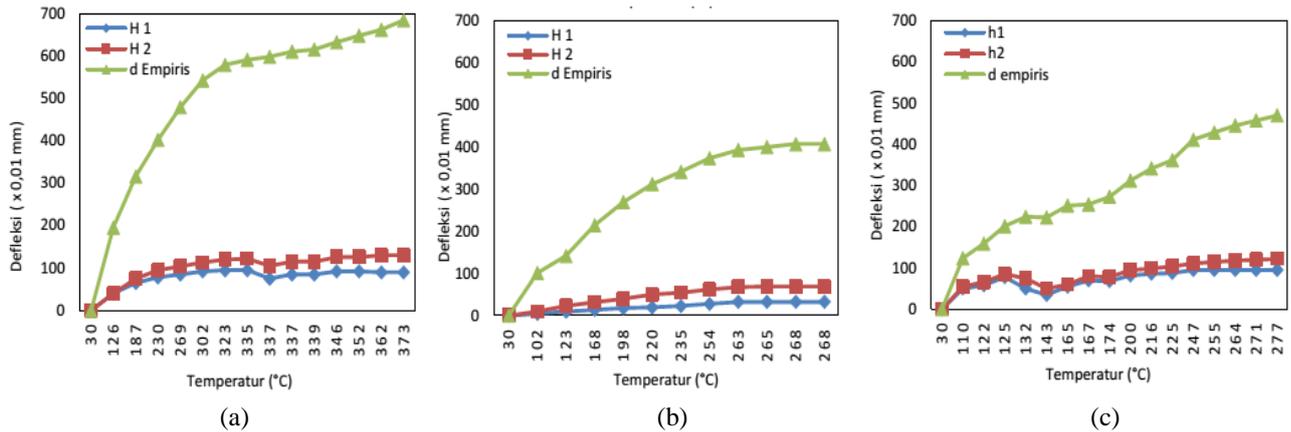
Setelah melakukan pengujian defleksi pada model kombinasi panjang blok Cu-Ni dengan menggunakan dua pemanas (depan-belakang). Dan bentuk defleksi yang terjadi pada model kombinasi panjang blok Cu-Ni dengan menggunakan satu pemanas (belakang), ditunjukkan dalam **Gambar 8**. arah defleksi bergerak searah sumbu Y positif atau kearah atas. Dilihat dari data koefisien ekspansi thermalnya, Cu memiliki koefisien ekspansi thermal $16,8 \times 10^{-6}$ m/m.K sedangkan Ni koefisien ekspansi thermalnya $13,4 \times 10^{-6}$ m/m.K. Modulus elastisitas masing-masing material adalah $E_1 = 129,8$ GPa, $E_2 = 199,5$ Gpa. Perbandingan koefisien ekspansi thermal kedua material (Cu/Ni) = 1,253.



Gambar 8. Grafik defleksi pada model panjang blok Cu-Ni, a. dua pemanas (depan-belakang), b. satu pemanas (depan), c. Satu pemanas (belakang).

e. Analisa model kombinasi lebar blok Cu-Ni

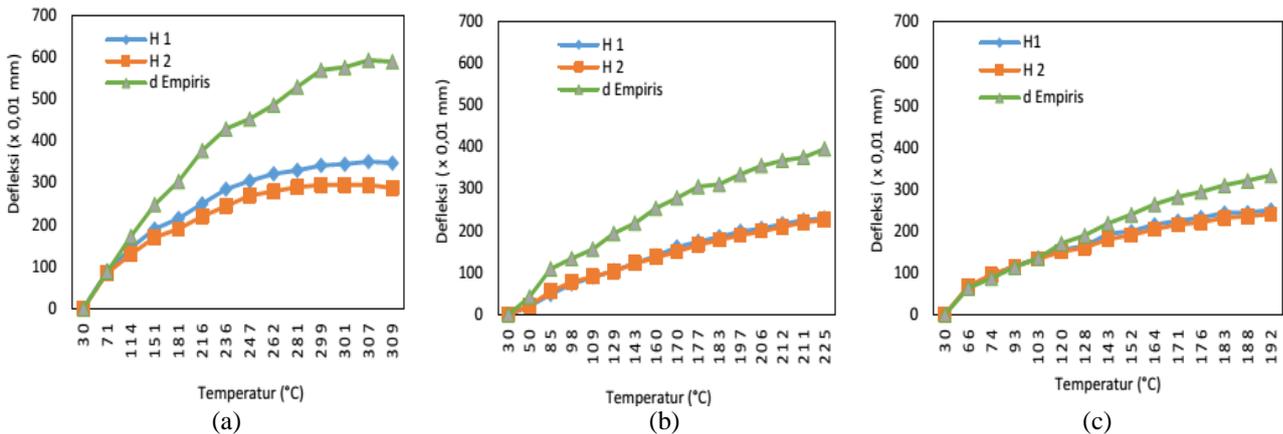
Hasil pengujian defleksi pada model kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan menggunakan dua pemanas (depan-belakang). Dan bentuk defleksi yang terjadi pada model kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan menggunakan dua pemanas (depan-belakang), ditunjukkan dalam **Gambar 9** terlihat arah defleksi bergerak kearah sumbu Y. Dilihat dari data koefisien ekspansi thermalnya, Cu memiliki koefisien ekspansi thermal $16,8 \times 10^{-6}$ m/m.K sedangkan Ni koefisien ekspansi thermalnya $13,4 \times 10^{-6}$ m/m.K. Modulus elastisitas masing-masing material adalah $E_1 = 129,8$ GPa, $E_2 = 199,5$ Gpa. Perbandingan koefisien ekspansi thermal kedua material (Cu/Ni) = 1,253.



Gambar 9. Grafik defleksi pada model kombinasi lebar blok Cu-Ni, a. dua pemanas (depan-belakang), b. satu pemanas (depan), c. Satu pemanas (belakang).

f. Analisa model variasi I kombinasi lebar Blok Cu-Ni

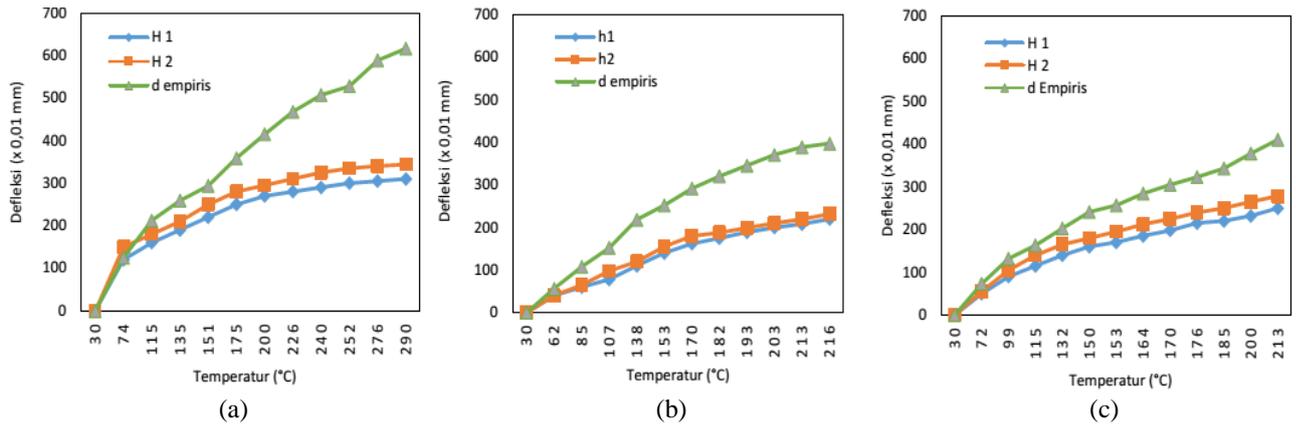
Setelah melakukan pengujian defleksi pada model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan menggunakan dua pemanas (depan-belakang), diperlihatkan besaran yang diamati yaitu nilai defleksi. Dan bentuk defleksi yang terjadi pada model kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan menggunakan dua pemanas (depan-belakang), ditunjukkan dalam **Gambar 10** terlihat arah defleksi bergerak searah sumbu Y. Dilihat dari data koefisien ekspansi thermalnya, Cu memiliki koefisien ekspansi thermal $16,8 \times 10^{-6}$ m/m.K sedangkan Ni koefisien ekspansi thermalnya $13,4 \times 10^{-6}$ m/m.K. Modulus elastisitas masing-masing material adalah $E_1 = 129,8$ GPa, $E_2 = 199,5$ Gpa. Perbandingan koefisien ekspansi thermal kedua material (Cu/Ni) = 1,253.



Gambar 10. Grafik defleksi defleksi pada model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni, a. dua pemanas (depan-belakang), b. satu pemanas (depan), c. Satu pemanas (belakang).

g. Analisa model variasi II kombinasi lebar blok Cu-Ni

Setelah melakukan pengujian defleksi pada model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan menggunakan satu pemanas (belakang), diperlihatkan besaran yang diamati yaitu nilai defleksi seperti ditunjukkan dalam **Gambar 11**. Dan bentuk defleksi yang terjadi pada model kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan menggunakan satu pemanas (depan), terlihat arah defleksi bergerak searah sumbu Y. Dilihat dari data koefisien ekspansi thermalnya, Cu memiliki koefisien ekspansi thermal $16,8 \times 10^{-6}$ m/m.K sedangkan Ni koefisien ekspansi thermalnya $13,4 \times 10^{-6}$ m/m.K. Modulus elastisitas masing-masing material adalah $E_1 = 129,8$ GPa, $E_2 = 199,5$ Gpa. Perbandingan koefisien ekspansi thermal kedua material (Cu/Ni) = 1,253.



Gambar 11. Grafik defleksi pada model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni, a. dua pemanas (depan-belakang), b. satu pemanas (depan), c. Satu pemanas (belakang).

4. KESIMPULAN

Studi tentang perilaku mekanis dengan variasi formasi blok material Cu-Ni akibat stimulasi temperatur telah ditampilkan dengan lima model, yakni model posisi Cu-Ni vertikal, model kombinasi panjang blok Cu-Ni, model kombinasi lebar blok Cu-Ni, model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni dan model variasi pertama kombinasi lebar blok Cu-Ni. Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian ini adalah:

- Pemodelan formasi blok material Cu-Ni memperlihatkan dari kelima model, semua arah defleksi bergerak ke arah material Ni. Dimana defleksi terkecil terjadi pada model kombinasi lebar blok Cu-Ni dengan menggunakan satu pemanas (depan) sebesar $T_1 = 268$ OC, $T_2 = 194$ OC dengan nilai $H_1 = 0,33$ mm dan $H_2 = 0,69$ mm. Menunjukkan bimaterial melengkung dalam satu arah dengan besar defleksi ujung sebesar 0,51 mm dan puntiran pada ujung bimetal sebesar 0,25 derajat.
- Hasil pembebanan berupa variasi temperatur memperlihatkan laju defleksi berbanding lurus terhadap besarnya temperatur yang diberikan. Semakin tinggi temperatur yang diberikan maka akan semakin besar defleksi yang terjadi. Dimana defleksi terbesar terjadi pada model bimetal Cu-Ni vertikal dengan menggunakan dua pemanas (depan-belakang) pada temperatur $T_1 = 236$ OC, $T_2 = 185$ OC dengan nilai defleksi $H_1 = 3,80$ mm dan $H_2 = 3,90$ mm. Menunjukkan bimaterial melengkung dalam satu arah dengan besar defleksi ujung sebesar 3,85 mm dan puntiran pada ujung bimetal sebesar 0,07 derajat.

5. REFERENSI

- Widyanto, S.A., Syaiful. (2013), "Analisa Perilaku Defleksi dan Puntiran Bimetal Cu-Ni pada Variasi Teemperatur Stimulasi"., Universitas Diponegoro.
- Ghantasala. (2005), The Design and Simulation of a Microcentilever for microactuator Applications. Mechanical Engineering, Western Michigan University.
- Saragi, E., Utaja. (2003), "Analisis Bimetal dengan Metode Elemen Hingga"., *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XIV*
- Widyanto, S.A., Umron, Amat (2011), "Analisa Numeris Perilaku Geser pada Bimetal dengan Material Cu-Ni"., Universitas Diponegoro.