

## Rancang Bangun dan Uji Unjuk Kerja Alat Pendingin Dalam Proses Penambalan Gigi Berbasis Mini Heat Pipe

Handi Rizkinugraha<sup>1,a\*</sup>, Bambang Ariantara<sup>1,b</sup>, Kristofer Haliansyah<sup>1,c</sup>, Nandy Putra<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>Heat Transfer Laboratory, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok  
16424 Indonesia

Email: <sup>a</sup>handinugr@yahoo.com,

<sup>b</sup>bambang.ariantara@gmail.com, <sup>c</sup>kristoferhaliansyah@yahoo.com, <sup>d</sup>nandyputra@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Teknik penambalan gigi dengan sinar *curing light* merupakan metode yang banyak digunakan di seluruh dunia. Salah satu permasalahan yang muncul adalah temperatur yang cukup tinggi yang dihasilkan oleh sinar tersebut yaitu 38°C hingga 42°C selama sekitar 1 menit yang dapat membuat pasien merasakan tidak nyaman. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain, membuat, dan menguji kinerja prototipe alat pendingin tambalan gigi berbasis *miniature heat pipe*. Dengan memanfaatkan *miniature heat pipe* dengan diameter luar 5mm sebagai basis, telah dirancang suatu alat pendingin pasif yang berfungsi untuk memindahkan kalor dari tambalan gigi ke lingkungan. Kalor yang dihasilkan oleh lampu LED disimulasikan dengan menggunakan pemanas listrik. Variasi beban kalor dilakukan dengan mengatur daya masukan pemanas listrik antara 0,54watt hingga 5,76watt. Diperoleh bahwa efisiensi yang dapat dicapai oleh alat pendingin tambalan gigi ini berkisar antara 51,7% hingga 57,88% bergantung pada jumlah kalor yang masuk.

**Kata kunci :** *Miniature heat pipe, pendingin tambalan gigi, curing light.*

### Latar belakang

Teknik penambalan gigi dengan menggunakan sinar *curing light* banyak digunakan karena tidak membutuhkan waktu yang lama dan tidak menggunakan alat yang berbahaya dalam proses solidifikasi material penambalan gigi. Namun, sinar yang diradiasikan dapat meningkatkan temperatur material penambalan gigi hingga 38-42°C selama 1 menit yang dapat membuat pasien merasa tidak nyaman. Pada kasus tertentu temperatur dapat meningkat hingga 47 – 60°C untuk waktu *curing* selama 30 detik, di mana temperatur ini dapat membahayakan kesehatan gigi pasien[1].

Al Qudah et al. melakukan analisis mengenai pengaruh jenis *curing light* terhadap kenaikan temperatur tambalan gigi pada saat proses penambalan gigi menggunakan sinar (*photocuring*). Dalam penelitian tersebut, digunakan *curing light* komersial yang sering digunakan dengan rentang *heat flux* antara 850 – 1000 mW/cm<sup>2</sup> [2].

Alexander et al. melakukan analisis mengenai pengaruh panas yang dikeluarkan oleh *curing light* terhadap *cells in vitro* pada bagian dentin gigi. *Curing light* yang digunakan dalam percobaan ini adalah *curing light* komersial yang dapat melepaskan kalor radiasi antara 400 mW hingga 3 W [3].

Dengan tingginya daya *curing light*, tentunya akan menghasilkan kalor yang tinggi yang

diradiasikan terhadap gigi pasien. Kalor yang dihasilkan harus dipindahkan agar tidak

mengganggu kenyamanan dan tidak membahayakan pasien. Kalor dapat dipindahkan secara pasif dari tempat bertemperatur tinggi menuju tempat bertemperatur lebih rendah. Dalam kasus ini, diperlukan suatu alat yang mampu memindahkan kalor dengan cepat.

*Heat pipe* merupakan suatu alat penukar kalor dengan konduktivitas termal yang tinggi tanpa adanya bagian yang bergerak yang dapat memindahkan kalor dengan jarak yang relatif jauh tanpa membutuhkan tambahan daya apapun [4]. *Heat pipe* yang umumnya berupa pipa yang di dalamnya terdapat fluida kerja [5] dan sumbu kapiler. *Heat pipe* terdiri atas bagian evaporator, bagian adiabatik dan bagian kondensor. *Heat pipe* bekerja dengan memanfaatkan perubahan fasa fluida kerja sehingga dapat memindahkan kalor dalam jumlah besar dengan dimensi yang relatif kecil. Fluida cair pada evaporator akan menguap sebagai akibat dari proses penyerapan panas. Uap dari fluida kerja ini selanjutnya bergerak menuju kondensor. Pada bagian kondensor terjadi pelepasan kalor sehingga fluida terkondensasi. Fluida cair kemudian akan kembali bergerak ke bagian evaporator akibat gaya gravitasi [6]. Sumbu kapiler berfungsi sebagai jalur pergerakan fluida cair sehingga ada batasan jalur yang jelas antara fluida cair dan fluida uap. Selain itu, gaya

kapilaritas pada sumbu kapiler juga berpengaruh terhadap pergerakan fluida cair menuju evaporator

[7]. Untuk memenuhi kebutuhan *heat pipe* yang memiliki batasan – batasan dimensi, maka modifikasi dilakukan dengan membuat *microheatpipe*, atau *miniature heatpipe*. *Heat pipe* jenis ini memiliki kapasitas pemindahan kaloryang relatif kecil sehubungan dengan dimensinya yang kecil. *Microheat pipe* dan *miniature heat pipe* banyak digunakan pada aplikasi sistem pendingin komponen elektronik, dan simulator saraf. Perbedaan yang ada antara *microheat pipe* dan *miniature heat pipe* ada pada dimensi yang dimilikinya. *Microheat pipe* memiliki diameter 10–500  $\mu\text{m}$ , sedangkan *miniature heat pipe* (mHP) memiliki diameter hidrolik sekitar 2 – 4 mm [8].

*Miniatureheat pipe* dengan kinerja yang tinggi berhasil dibuat oleh Luikov Institute, Belarus sejak 1998. Optimasi dilakukan dengan menggunakan *sintered copper powder* wick dengan diameter 4 mm dan panjang 200 mm. Daya maksimum yang mampu dipindahkan adalah 50 watt [9]. Karakteristik dari *miniatureheat pipe* ataupun *microheat pipe* dengan tip eround and flat *heat pipes* dapat diprediksi dengan menggunakan perangkat lunak [10].

Posamai et al. [11] melakukan penelitian mengenai aplikasi *miniature heat pipe* sebagai pendingin pada kompresor dan diapat penurunan suhu pada bagian-bagian utama kompresor (silinder, oli, dan shell kompresor) sebesar 10 – 15 °C.

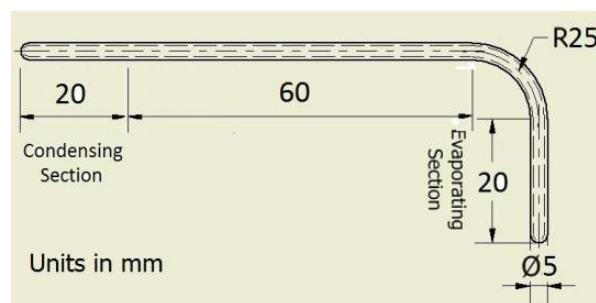
Aplikasi *miniature heat pipe* juga dapat ditemui pada pendinginan alat elektronika. Salah satunya yang paling banyak ditemui adalah pada pendingin CPU. Vasiliev et al. [12] meneliti penggunaan *minature loop heat pipe* pada CPU. Penelitian ini kemudian menemukan bahwa orientasi dari *thermal load* tidak mempengaruhi karakteristik operasi *micro loop heat pipe* sebagai pelepas kalor selama *thermal load* tersebut berada dalam *nominal range* dari *heat pipe* tersebut.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa *miniature heat pipe* dapat menjadi media penghantar panas pasif yang baik dalam kuantitas yang relatif kecil. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji prototipe alat pendingin dalam proses penambalan gigi berbasiskan *miniature heat pipe*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi beban kalor terhadap kinerja prototipe.

## Metodologi penelitian

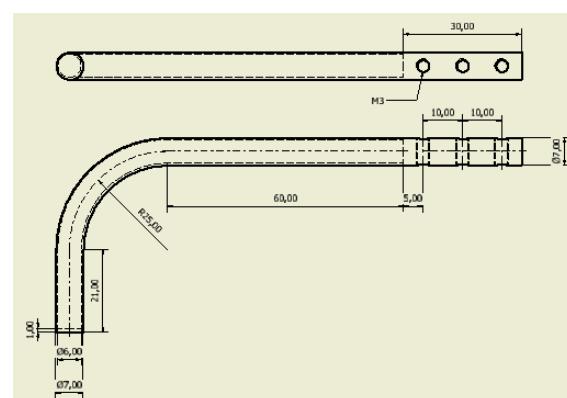
Prototipe alat pendingin tambalan gigi yang dirancang terdiri dari beberapa komponen, yaitu

*miniature heat pipe*, *heat pipe cover*, tangki pendingin, *handle*, dan *handle cover*. *Miniature heat pipe* yang digunakan untuk prototipe ini terbuat dari pipa tembaga dengan sumbu kapiler berupa *sintered copper powder* dan fluida kerjanya adalah *crystallized water*. Secara skematik, *mini heat pipe* ini diperlihatkan pada Gambar 1. Komponen ini memiliki diameter luar 5 mm dengan panjang evaporator dan kondenser 20 mm. Jarak antara ujung evaporator dengan kondensor terdekat adalah 60 mm. *Heat pipe* dibengkokkan pada ujung evaporator yang menuju kondensor dengan radius 25 mm.



Gambar 1 Skematik *mini heat Pipe*

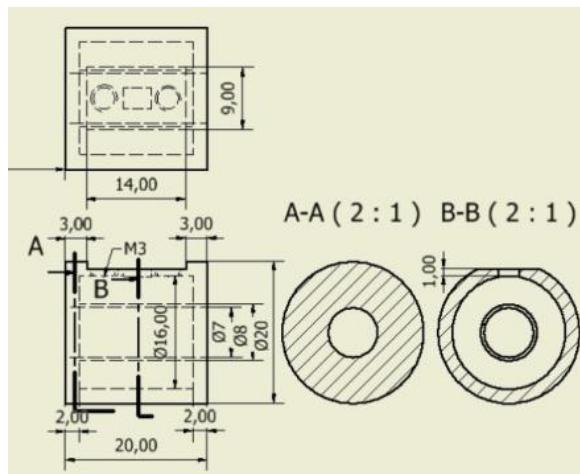
*Heat pipe cover* dibuat untuk mencegah kerusakan *heat pipe* akibat korosi dan juga reaksi kimia lainnya. Komponen ini berupa silinder berongga berdiameter luar 7 mm dan tebal 1 mm dengan material stainless steel 304. Bentuk dan dimensi dari *heat pipe cover* ini mengikuti bentuk *heat pipe* yang digunakan dengan penambahan dimensi sebesar 30 mm setelah ujung kondensor yang berguna pada proses pemasangan *handle*. Gambar skematik dari *heat pipe cover* ini diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik *heat pipe cover*

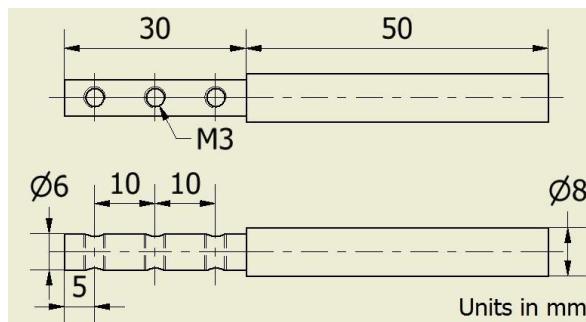
Tangki pendingin berfungsi untuk menangkap kalor yang dilepaskan oleh *heat pipe* pada bagian kondensor. Tangki pendingin ini berisi fluida pada suhu ruangan (24 – 28 °C) dan berada di luar rahang pasien. Tangki pendingin ini menggunakan

material *stainless steel* 304. Skematik dari tangki pendingin ini diperlihatkan pada Gambar 3.

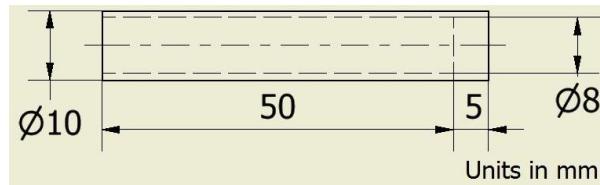


Gambar 3. Skematik tangki pendingin

*Handle* dibuat untuk mempermudah penggunaan prototipe ini dalam pendinginan pada proses penambalan gigi. *Handle* diukur menggunakan material stainless steel 304. Mengingat logam adalah konduktor panas, *handle cover* dibuat dari silikon sebagai isolator panas. Detil desain dan dimensi dari *handle* dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan detil dari desain dan dimensi *handle cover* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Skematik *handle*



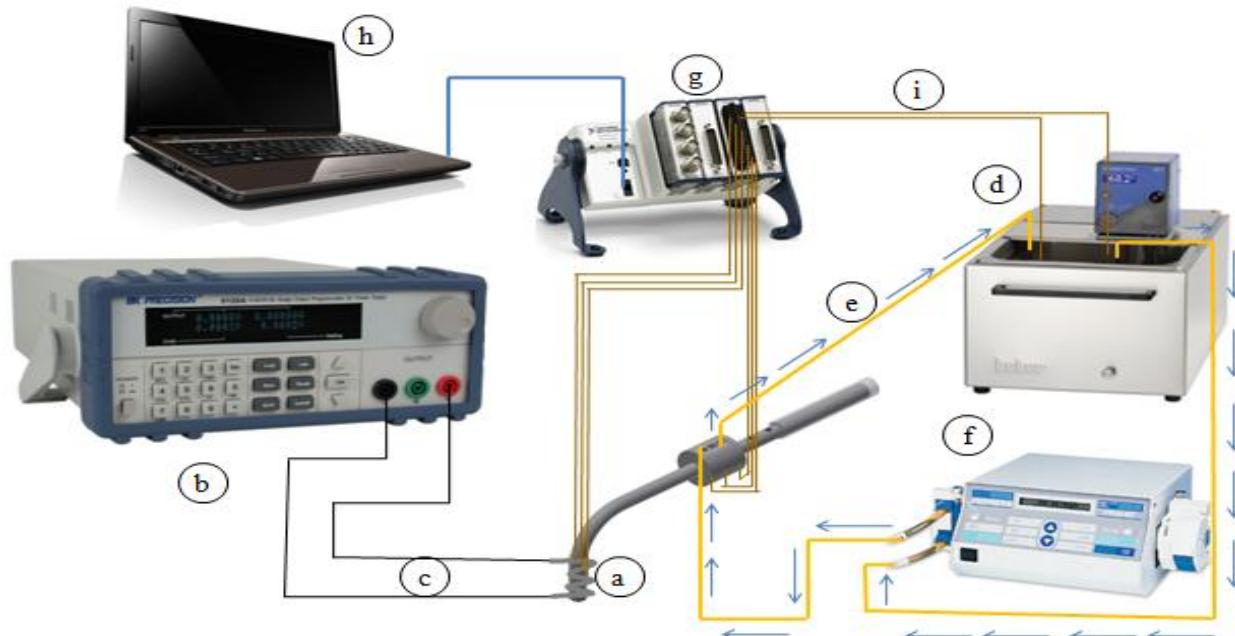
Gambar 5. Skematik *handle cover*

Prototipe alat pendingin pada proses penambalan gigi diperlihatkan pada gambar 6. Gambar 6 memperlihatkan prototipe dengan komponen – komponen yang telah terpasang dengan lengkap.



Gambar 6. Prototipe alat pendingin pada proses penambalan gigi

Pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui performa prototipe alat pendingin tambalan gigi ini dengan cara mengukur seberapa banyak kalor yang dapat dipindahkan dari bagian evaporator menuju bagian kondensor. Skema pengujian alat ini diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skematic Pengujian

Pemanas listrik(c) dililitkan hingga mengelilingi seluruh bagian evaporator(a) dari alat ini, kemudian pemanas listrik ini dihubungkan dengan *DC Power Supply*(b). Kemudian, selang masuk dan selang keluar(e)dipasang pada tangki pendingin di bagian kondensor. Pangkal selang masuk dan ujung selang keluar diarahkan ke *circulating thermostatic bath* (CTB)(d) yang berisi akuades. Bagian tengah selang masuk dipasang pada pompa peristaltik(f) untuk memompa air pada CTB menuju tangki pendingin.

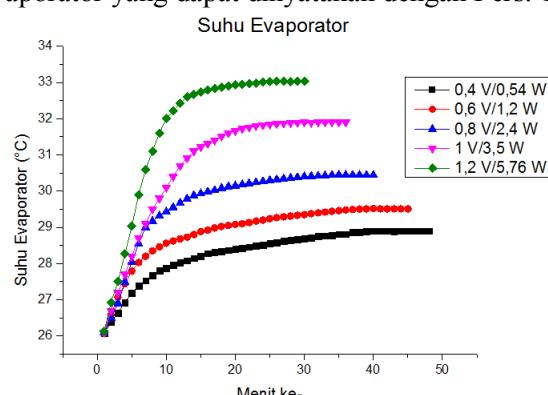
Untuk pengukuran temperatur digunakan modul data akuisisi dengan pemasangan termokopel(i) pada bagian-bagian yang akan diukur temperaturnya, yaitu tiga titik pada bagian evaporator, tiga titik pada dinding tangki pendingin, satu titik pada pangkal saluran masuk, satu titik pada ujung saluran keluar, dan satu titik untuk mengukur suhu lingkungan. Selanjutnya, perangkat alat pendingin dibungkus dengan alumunium foil mulai dari bagian evaporator hingga tangki pendingin dan selang dibungkus dengan bahan isolator panas *insuflex* untuk mencegah terjadinya kerugian kalor.

Kemudian *circulating Thermostatic Bath* (CTB) diarahkan pada temperatur 25°C dan pompa peristaltik diarahkan pada debit 30mL/menit untuk seluruh pengujian, sedangkan tegangan yang diberikan pada pemanas listrik divariasikan pada nilai 0,4V, 0,6V, 0,8V, 1V, dan 1,2V. Pengujian dimulai ketika temperatur alat uji sama dengan temperatur lingkungan, yaitu 26°C. Setelah itu, modul data akuisisi(g) dihubungkan pada laptop(h) untuk merekam temperatur.

Kalibrasi terhadap laju aliran air pendingin dilakukan dengan menampung dan mengukur volume keluar air pendingin dalam waktu 20 detik. Proses kalibrasi dilakukan 10 kali. Hasil rata – rata pengukuran menunjukkan bahwa laju massa air pendingin adalah 0,316 g/s.

### Hasil dan diskusi

Temperatur evaporator pada *heat pipe* terhadap waktu untuk berbagai nilai daya pemanas diperlihatkan pada Gambar 8. Dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan temperatur evaporator pada setiap kenaikan daya yang diberikan. Hal ini dapat dijelaskan melalui hubungan antara laju perpindahan kalor konveksi untuk pendidihan dengan temperatur permukaan evaporator yang dapat dinyatakan dengan Pers. 1.



Gambar 8. Grafik peningkatan suhu evaporator  
 $q = hA(T_e - T_{sat})$  (1)

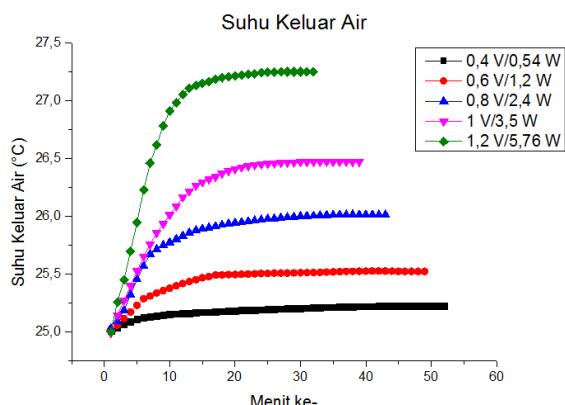
Pada Pers. 1  $q$ ,  $h$ ,  $A$ ,  $T_e$  dan  $T_{sat}$  masing-masing menyatakan laju perpindahan kalor, koefisien konveksi, luas permukaan, temperatur evaporator, dan temperatur saturasi fluida kerja. Dari

hubungan ini tampak bahwa kenaikan laju perpindahan kalor yang sebanding dengan daya pemanas listrik akan meningkatkan temperatur evaporator. Kenaikan temperatur evaporator dapat lebih tinggi lagi sehubungan dengan temperatur saturasi fluida kerja yang juga meningkat dengan meningkatnya tekanan fluida kerja akibat kenaikan temperatur fluida kerja.

Hasil pengukuran temperatur keluar air pendingin kondensor diperlihatkan pada Gambar 9. Laju perpindahan kalor dari kondensor ke air pending dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan neraca energi yang dinyatakan oleh Pers. 2.

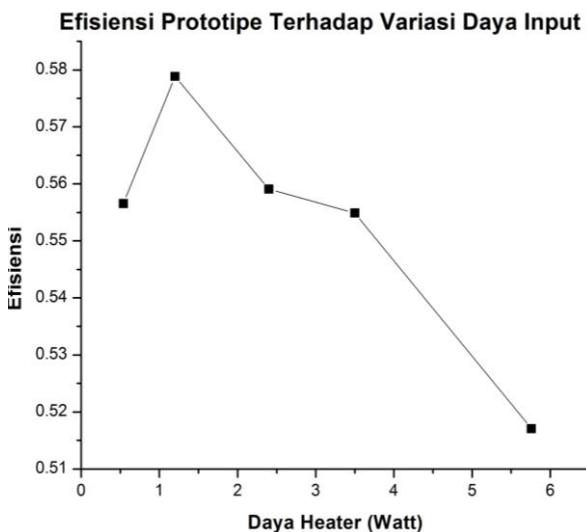
$$q_c = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (2)$$

Pada Pers. 2,  $\dot{m}$ ,  $c_p$ ,  $T_o$  dan  $T_i$  masing-masing menyatakan laju aliran massa, kalor spesifik, temperatur keluar dan temperatur masuk air pendingin. Laju aliran massa air pendingin adalah 0,316 g/s, kalor spesifik air adalah 4,187 J/g.K dan data perbedaan temperatur air yang masuk dan keluar dari condenser yang digunakan adalah data pada saat kondisi *steady*, maka kita dapat mengetahui besarnya kalor yang dipindahkan melalui *heat pipe*.



**Gambar 9.** Grafik temperatur air keluar dari kondensor

Kalkulasi efisiensi dapat dilakukan dengan menghitung rasio antara jumlah kalor yang dipindahkan oleh *heat pipe* dengan jumlah kalor input yang diberikan oleh pemanas listrik. Gambar 10 menunjukkan efisiensi dari prototipe terhadap variasi daya input pemanas listrik.



**Gambar 10.** Grafik efisiensi alat pendingin penambalan gigi berbasis mini heat pipe

Melalui gambar 10, dapat dilihat bahwa efisiensi prototipe tertinggi diperoleh ketika pemanas listrik memberikan kalor sebesar 1,2 watt. Pada harga daya pemanas sebesar 0,54 watt kalor yang masuk kedalam evaporator belum cukup untuk mendidihkan fluida kerja di dalam *heat pipe*. Sedangkan untuk kalor yang lebih besar dan sama dengan 2,4 watt, diduga telah terjadi *dry out* pada *heat pipe* karena kurangnya fluida kerja.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk daya input pemanas listrik yang lebih besar dan sama dengan 2,4 watt, perpindahan kalor dalam jumlah yang lebih besar dari pemanas menuju lingkungan terjadi tanpa melalui *heat pipe*. Hal ini dikarenakan rendahnya nilai efisiensi *heat pipe* pada kondisi ini.

### Kesimpulan

Alat pendingin dalam proses penambalan gigi telah berhasil dirancang, dibuat, dan diuji kinerjanya. Dengan memanfaatkan *miniature heat pipe* sebagai basis dari alat penghantar kalor, prototipe ini memiliki efisiensi antara 51,7% hingga 57,88% bergantung pada jumlah kalor yang masuk pada alat.

Jumlah kalor yang masuk mempengaruhi kinerja *heat pipe* dimana kalor dalam jumlah yang terlalu kecil tidak dapat mendidihkan fluida kerja, sedangkan kalor dalam jumlah yang terlalu besar dapat menyebabkan *dry out* pada *heat pipe*.

### Referensi

- [1] Information on <http://www.conceptdental.com.au/general-service.asp> (09-11-2013)
- [2] A.A. Al Qudah, C.A. Mitchell, P.A. Biagiioni, dan D.L. Hussey, *Effect of composite shade, increment thickness, and curing light on*

*temperature rise during photocuring*, Journal of Dentistry 35 (2007) 238-245

[3] Alexander Uhl, Andrea Völpel, Bernd W. Sigusch, *Influence of heat from light curing units and dental composite polymerization on cells in vitro*, Journal of Dentistry 34 (2006) 298-306.

[4] Hassam Nasarullah Chaudhry, Ben Richard Hughes, Saud Abdul Gani, *A Review of heat pipe systems for heat recovery and renewable energy applications*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 2249-2259.

[5] Vasiliev Leonard L., *Review Heatpipes in Modern Heat Exchangers*, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 1-19.

[6] Michael V. Albanese, Brian S. Robinson, Ellen G. Brehob, M. Keith Sharp, *Simulated and Experimental Performance of A Heat pipe Assisted Solar Wall*, Solar Energy 86 (2012) 1552-1562.

[7] Yong Li, Heng-fei He, Zhi-xin Zeng, *Evaporation and Condensation Heat Transfer in A Heat pipe with A Sintered-Grooved Composite Wick*, Applied Thermal Engineering 50 (2013) 342-351.

[8] L.L.Vasiliev, *Micro and Miniature Heatpipes—Electronic Component Coolers*, Applied Thermal Engineering 28 (2008) 266-273

[9] L.L. Vasilley, A. Antukh, V. Maziuk, A. Kulakov, M. Rabetsky, L. Vasilley, Jr., *Miniature heat pipes experimental analysis and software development*, 12th International Heat pipe Conference “Heat pipes Science, Technology, Application”, Moscow-Kostroma-Moscow (2002)

[10] V. Maziuk, A. Kulakov, M. Rabetsky, L. Vasiliev, M. Vukovic, *Miniature heat—pipe thermal performance prediction tool—software development*, Appl. Thermal Eng. 21 (2001) 559–571.

[11] F.C. Possamai, I. Setter, L.L. Vasiliev, *Miniature heat pipes as compressor cooling devices*, Applied Thermal Engineering 29 (2009) 3218–3223.

[12] L. Vasiliev Jr, M. Rabetsky, A Kulakov, L. Vasiliev, Z.M.Li, *An advanced miniature copper heat pipes development for cooling system of mobile PC platform*, in: Proceedings of the VII Minsk International Seminar Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources, September 8–11, Minsk, Belarus, 2008, pp. 336–344.