

Pengaruh Penerapan Sirip Dalam (*Internal Fin*) untuk Menghasilkan Uap *Superheat* pada Pembangkit Uap

Nuryanti, Adhitya Sumardi S., dan Suyono

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135
Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649
Email: nuryanti@polman-bandung.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan energi sekarang ini telah menjadi salah satu hal utama yang menjadi perhatian semua kalangan baik itu upaya dalam mencari sumber energi alternatif non fosil maupun upaya-upaya pengefisienan energi. Adapun salah satu upaya pengefisienan energi tersebut adalah dengan melakukan perancangan dan pembuatan system Pembangkit uap *superheat* yang menggunakan sirip dalam (*internal fin*). Uap *superheat* yang memiliki temperatur di atas 150 °C diharapkan dapat memberikan pemanasan yang lebih baik dibandingkan dengan pemanasan hanya dengan menggunakan air mendidih. Kegunaan sirip yang sebelumnya sebagai salah satu media pembuang kelebihan kalor maka dalam perancangan pembangkit uap *superheat* digunakan untuk memberikan kalor tambahan yaitu dengan memasangnya di dalam ketel pembangkit uap. Ketel dibuat dengan bahan *stainless steel* dengan ketebalan 2 mm dan berdiameter 20 cm. Sedangkan sirip-sirip terbuat dari material yang sama namun dengan ketebalan 0.52 mm dengan dimensi 3 X 10 cm² sebanyak 10 buah. Air yang dipanaskan hingga mencapai keadaan uap jenuh akan mengalir melewati sirip-sirip dalam. Uap jenuh yang semula memiliki temperatur 100 °C setelah melewati sirip dalam akan mendapatkan tambahan kalor sehingga memiliki temperature rata-rata 175 °C atau telah memasuki fasa *superheat*. Adapun debit aliran uap *superheat* rata-rata 5.4 ml/menit. Adanya pemasangan sirip dalam telah meningkatkan penambahan kalor pada uap *superheat* hingga 60%. Dalam percobaan pemanasan sampel makanan yang sama antara direbus secara konvensional dan menggunakan uap *superheat* maka setelah diamati selama 15 menit hasil dengan menggunakan uap *superheat* menunjukkan kondisi yang lebih matang.

Kata kunci: Sirip dalam, uap *superheat*, pembangkit uap *superheat*.

ABSTRACT

The energy problem has been already a serious attention therefore exploring non fossil energy and attempting to increase the efficiency is really important. One to increase the energy efficiency is designing and building a Superheat Steam (SHS) generator with internal fins. Internal fins in SHS generator are used to provide additional heat in order to increase SHS temperatures until 150°C or more. SHS is expected to provide better heating than using boiling water. Internal fins have been attached around internal kettle as generator. The kettle has been made of stainless steel with a thickness of 2 mm and diameter of 20 cm. Internal fins has been made of same as the kettle with a thickness of 0.52 mm and adimension of 3 X 10 cm² as much as 10 pieces. In the kettle, water has been heated until reach 100 °C saturated steam and flows up between internal fins. In the internal fins, saturated steam has addition heat by conduction, convection and radiation process so that saturated steam able to reach average temperature of 175 °C as superheated steam phase with flow rate reach 5.4 ml/minutes. In this research, utilization of internal fins able to increase 60% of SHS temperature rather than without fins. Sample of food has been heated using SHS. In 15 minutes heating, sample of food is good enough cooked than sample of food using conventional boiling water

Keywords: *Internal fin, superheated steam, superheated generator*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan uap jenuh terus berkembang baik dari skala rumah tangga, industri, transportasi misal pada kereta api sampai pembangkit tenaga

listrik. Air yang dipanaskan pada temperatur 100 °C dan pada tekanan 1 atm akan memasuki fasa cair jenuh hingga penambahan kalor meskipun sedikit akan menyebabkan air masuk ke fasa uap. [1]

Penambahan kalor lebih lanjut pada tekanan tetap akan membawa uap ke fasa selanjutnya yaitu fasa *superheat* uap. Zat pada fase *superheat* selain memiliki temperatur yang tinggi juga bersifat kering. Dengan demikian *superheat* uap juga banyak digunakan di industri-industri untuk mengeringkan produk. Pengeringan produk-produk dengan *superheat* memiliki keunggulan antara lain energi uap panas akan dapat digunakan lagi. Sebagai contoh konsumsi energy sekitar 750 KWh/ton air yang diuapkan maka 70-90% dari energi tersebut dapat dimanfaatkan lagi untuk keperluan pemanasan lainnya atau bahkan dengan menghubungkannya ke turbin *condensing* akan menghasilkan listrik 200 kWh/ton air yang diuapkan [2]. Selain itu pemanasan dengan uap mengurangi resiko yang ditimbulkan oleh api atau ledakan karena tidak menggunakan oksigen di dalamnya. Pengeringan dengan *superheat* uap juga menjaga kualitas produk misal pada industri makanan yaitu tetap menjaga kandungan gizi dan protein di dalamnya.

Pembangkitan uap *superheat* hingga saat ini seperti yang telah dikembangkan oleh Arun Mujundar [3] dan Amatsubo et all [4] adalah dengan membangkitkan terlebih dahulu uap jenuh pada suatu ketel. Uap jenuh tersebut kemudian ditarik dengan menggunakan blower ke suatu kamar (*chamber*). Di sepanjang pipa penyaluran diberikan pemanasan tambahan (*external heater*) sehingga temperatur uap jenuh akan bertambah menjadi 120°C, dengan demikian Uap jenuh telah berganti fasa menjadi uap *superheat*. Kapasitas yang berhasil diberikan oleh Amatsubo et all [4], yaitu aliran uap *superheat*: 10 g/min – 30 g/min dengan temperatur uap *superheat* berkisar antara 130 °C–180 °C.

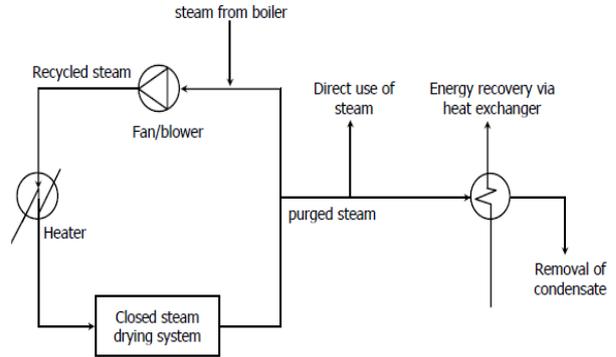
Dalam penelitian ini uap *superheat* diperoleh dari uap jenuh akan tetapi tidak menggunakan pemanas tambahan eksternal. Kalor tambahan diperoleh dari pelepasan kalor dari sirip sirip yang dipasang di dalam ketel. Dengan demikian diharapkan pemakaian energi yang lebih efisien dibandingkan dengan pemakaian pemanas eksternal.

METODE PENELITIAN

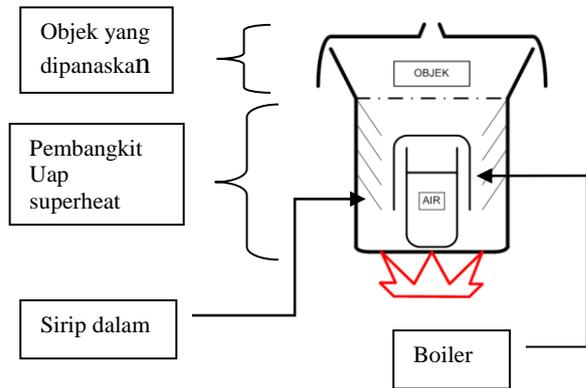
Metodologi dilakukan dengan membangun objek penelitian yaitu ketel uap *superheat*. Dimana ketel uap ini akan dibuat mudah dijinjing karena memiliki tujuan jangka panjang yaitu dapat digunakan oleh masyarakat luas. Oleh karena itu modifikasi sistem pemanasan atau pengeringan uap *superheat* konvensional menjadi sistem pemanasan/pengeringan uap *superheat portable* akan dilakukan. Adapun skema pemanasan dengan uap *superheat* konvensional [3] seperti pada Gambar 1.

Untuk sistem pembangkit uap *superheat* yang *portable* maka ketel pemanas tambahan untuk

menaikkan temperatur uap jenuh menjadi uap *superheat* yaitu berupa sirip–sirip yang dilas di dinding-dinding ketel dan ruang (*chamber*) untuk memanaskan/mengeringkan objek berada di dalam satu kesatuan yang kompak. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Skema Pengeringan Menggunakan Uap *Superheat*



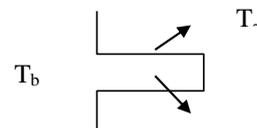
Gambar 2. Skema Pembangkitan Uap *Superheat* dan Sistem Pemanasan yang Kompak

Uap yang berasal dari air yang dipanaskan hingga 100 °C maka ketika uap air tersebut diarahkan untuk menyentuh sisi–sisi sirip yang memiliki temperature lebih tinggi, maka akan terjadi perpindahan kalor dari sirip ke uap air. Kalor tersebut meningkatkan temperatur uap air hingga memasuki fasa *superheat*. Dari sistem ini diperoleh karakteristik uap *superheat* sebagai berikut:

1. Laju aliran uap *superheat*: 5.4 mg/menit
2. Temperatur uap *superheat*: 137 °C – 200 °C
3. Kapasitas ketel: 1 liter

Perancangan Sirip

Sirip sebagai salah satu bagian penting dari pembangkit uap *superheat* ini dirancang terlebih dahulu guna mendapatkan perpindahan kalor yang baik [5].



Karena pada ujung sirip akan terjadi konveksi, maka diambil laju aliran kalor (q_f) [6] adalah:

$$q_f = M \tanh mL_c \quad (1)$$

Dengan

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}} \text{ dan } M = \sqrt{hPkA_c} (T_b - T_\infty)$$

Sedangkan efektifitas sirip adalah perbandingan laju kalor sirip dan laju kalor konveksi maksimum adalah:

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{\sqrt{hPkA_c} (T_b - T_\infty) \tanh \sqrt{\frac{hP}{kA_c}} L_c}{hA_f (T_b - T_\infty)}$$

$$= \frac{\sqrt{hPkA_c} (T_b - T_\infty) \tanh \sqrt{\frac{hP}{kA_c}} L_c}{hPL(T_b - T_\infty)} \quad (2)$$

$$\eta_f = \frac{\tanh \sqrt{\frac{hP}{kA_c}} L_c}{\sqrt{\frac{hP}{kA_c}} L_c} \quad (3)$$

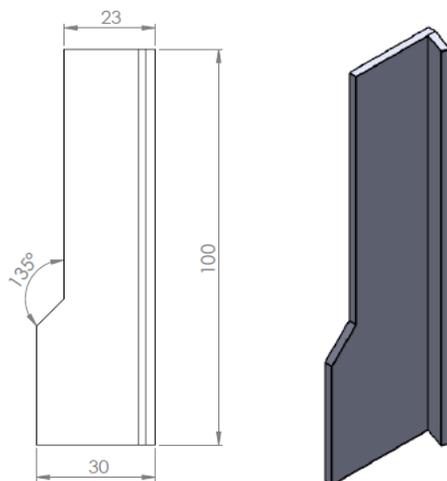
Atau dengan parameter

$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad (4)$$

Dengan $m = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}}$

Sirip pada penelitian dipilih yang berbentuk persegi. Dengan panjang $L = 30$ mm dan ketebalan $t = 0.52$ mm, maka $L_c = 30 + t/2 = 30.26$ mm, sedangkan m merupakan parameter berupa:

$$m = \left(\frac{hP}{kA_c} \right)^{1/2}$$



Gambar 3. Sirip Dalam pada Ketel Pembangkit Uap *Superheat*

Jika koefisien konveksi *superheat* (h) yang didekatkan dengan koefisien konveksi gas pada konveksi bebas yaitu $2-25$ W/m²K [5]. Sedangkan karena uap *superheat* memiliki sifat-sifat yang tinggi terhadap udara maka h -nya juga tinggi, dengan demikian dipilih $h = 25$ W/m²K dan P adalah perimeter dengan besar $P = 2(w+t)$ dengan t jauh lebih kecil dari pada w maka $P = 2w = 200$ mm = 0.2 m dan $A_c = wt = 0.1 \times 0.52 \times 10^{-3} = 52 \times 10^{-6}$ m² maka m , adalah,

$$m = \left(\frac{25 \times 0.2}{15.1 \times 0.52 \times 10^{-4}} \right)^{1/2} = 79.8$$

Sehingga efisiensi sirip nya dari Persamaan (4)

$$\eta_f = \frac{\tanh(79.8 \times 30.26 \times 10^{-3})}{79.8 \times 30.26 \times 10^{-3}}$$

$$\eta_f = \frac{\tanh 2.41}{2.41} = 0.408$$

Didapatkan bahwa efisiensi siripnya sebesar 40.8%. Jumlah sirip yang dibuat berjumlah 10 buah.

Perancangan dan Pembuatan Ketel Pembangkit Uap *Superheat*

Setelah melakukan perancangan sirip dilanjutkan dengan perancangan dan pembuatan ketel Pembangkit Uap *superheat* dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Ketel Pembangkit Uap *Superheat*

Material : *Stainless Steel*

Ketebalan : 0.2 mm

Diameter : 200 mm

Ketinggian : 130 mm

2. Ketel

Material : *Stainless steel*

Ketebalan : 1.22 mm

Diameter : 120 mm

Persiapan Percobaan

Percobaan dilakukan dengan mengukur temperatur di 4 titik dengan termokopel tipe K yang memiliki ketahanan kabel hingga 500 °C yaitu:

T1 : Temperatur air yang dipanaskan

T2 : Temperatur ruang antar sirip

T3 : Temperatur ruang antar sirip

T4 : Temperatur ketel bagian atas

Pengukuran dilakukan dengan interval waktu 3 menit. Volume air sebelum dan sesudah percobaan diukur untuk mendapatkan informasi banyaknya air yang berubah menjadi uap. Sumber kalor yang digunakan adalah *gas stove* yang memiliki katup untuk mengatur besarnya aliran gas sebagai bahan bakar.



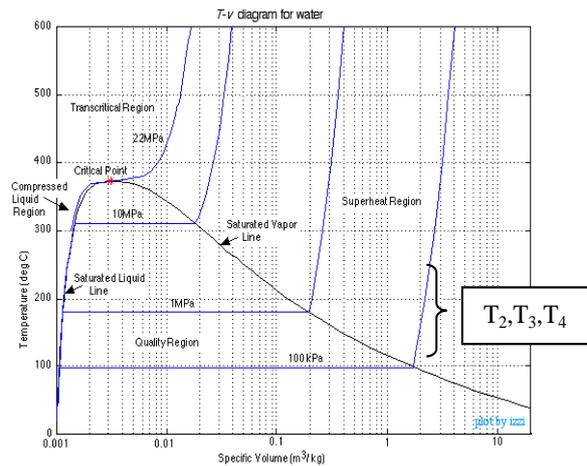
Gambar 4. Pembangkit Uap *Superheat* dan Titik Pengukuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

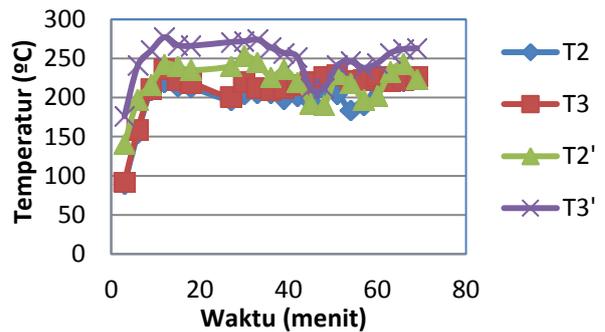
Jika dilihat dari fenomena perubahan fasa air pada system pembangkit uap *superheat* ini, dapat diamati dari perubahan T1 atau temperatur air yang dipanaskan. Pada selang waktu antara 12 menit hingga 15 menit dari saat mulai dipanaskan air telah melalui fasa mendidih yaitu pada temperature 95–96 °C (Tekanan aktual di tempat percobaan kurang dari 1 atm). Kemudian pemanasan yang makin berlanjut memberikan kalor terus menerus sehingga diperoleh Temperatur di sekitar sirip atau pun di bagian ketel atas berkisar antara 140–330 °C. Pada temperatur tersebut maka uap air yang dihasilkan telah memasuki fasa *superheat*. Data distribusi temperatur berdasarkan waktu, dapat dilihat pada Gambar 6.

Data diambil pada titik-titik di dalam ketel pembangkit uap. Untuk T₂ dan T₃ adalah temperatur untuk ketel yang tidak menggunakan sirip sedangkan T_{2'} dan T_{3'} adalah yang menggunakan sirip. Di sini terlihat bahwa secara rata-rata temperatur uap di daerah ini telah tinggi yaitu di atas 100 °C. Hal ini karena masih kuatnya pengaruh perpindahan kalor dari dinding ke uap jenuh secara konveksi Pengaruh panas dari dinding-dinding ketel, sisi boiler, dan pelat-pelat sirip memberikan kontribusi kalor sehingga pengukuran temperatur di daerah ini masih relatif tinggi dan perbedaan penggunaan sirip maupun tidak perbedaannya tidak terlampau jauh. Temperatur rata-rata sebelum memakai sirip adalah 199 °C (T₂) dan 211 °C (T₃) sedangkan yang telah memakai sirip 220 °C (T_{2'}) dan 250 °C (T_{3'}). Namun terlihat bahwa penggunaan sirip mampu menaikkan temperatur di daerah itu hingga 14%.

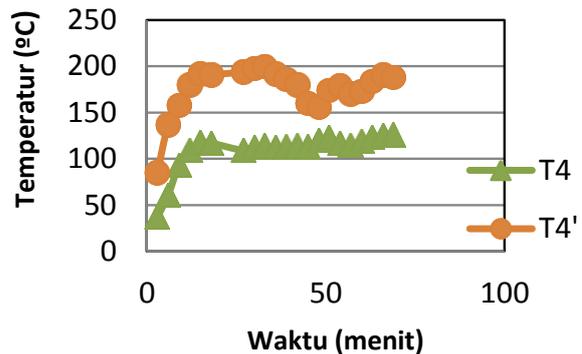
Ketika uap *superheat* mengalir ke ketel atas, temperatur kembali diukur. Terlihat yang menggunakan sirip dan tidak terdapat perbedaan temperatur yang cukup signifikan. Rata-rata temperatur *superheat* yang memakai sirip mencapai 174.7 °C (T_{4'}) dan rata-rata temperatur yang tidak menggunakan sirip yaitu 109.1 °C (T₄). Terlihat ada kenaikan temperatur sebesar 60%.



Gambar 5. Diagram Mollier Hasil Eksperimen

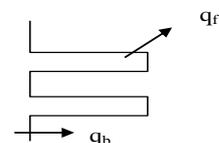


Gambar 6. Perbandingan Menggunakan Sirip dan Tidak Menggunakan Sirip Titik Ukur di Ruang antar Sirip



Gambar 7. Perbandingan Temperatur Uap *Superheat* Menggunakan Sirip dan Tidak Menggunakan Sirip di Ruang Pemanasan

Laju Aliran Kalor Melalui Sirip



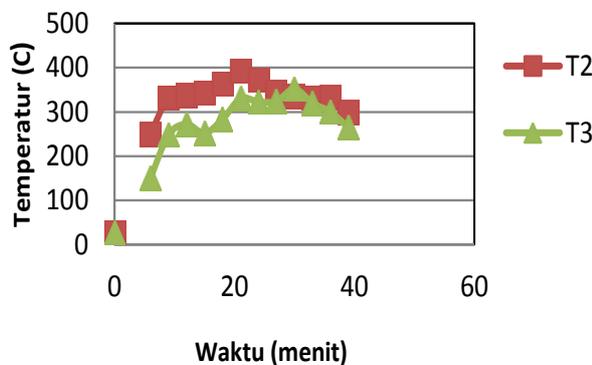
Jika A_b adalah permukaan dinding, A_f adalah luas permukaan sirip tunggal dan A_t adalah luas

total, $A_t = A_b + NA_f$ dan N adalah jumlah sirip. Untuk itu maka laju aliran kalor total pada sistem pembangkit uap *superheat* ini dimana jumlah sirip, $N = 10$, Luas sirip = $3 \times 100 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, Luas dinding yang berbentuk silinder adalah $2\pi \times 110 \times 130 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ dan temperatur dinding, $T_b = 385 \text{ }^\circ\text{C}$ dan temperatur uap *superheat* di sekitar sirip, $T_\infty = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ adalah [7]

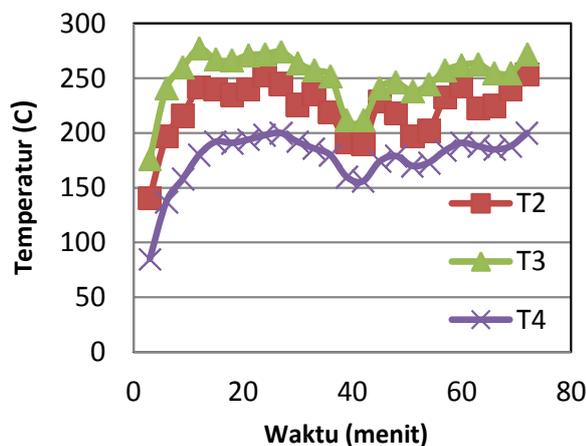
$$\begin{aligned} q_t &= q_b + Nq_f \\ &= hA_b(T_b - T_\infty) + N\eta_f hA_f(T_b - T_\infty) \\ &= 25 \times 2\pi \times 110 \times 130 \times 10^{-6} \times (385 - 250) + \\ &\quad 10 \times 0.408 \times 25 \times 30 \times 100 \times 10^{-6} \times (385 - 250) \\ &= 344.55 \text{ W} \end{aligned}$$

Distribusi Temperatur

Pengujian pertama adalah melihat fenomena ketika uap *superheat* tidak dialirkan ke bagian atas dengan meniadakan lubang ketel atas. Dengan demikian uap *superheat* kembali tersirkulasi di dalam ketel pembangkit uap *superheat*. Adapun secara grafik perubahan temperatur T , T_2 , T_3 dan T_4 terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Distribusi Temperatur Tanpa Aliran Uap *Superheat*



Gambar 9. Distribusi Temperatur dengan Aliran Uap *Superheat*

Dari Gambar 8 dan 9 terlihat bahwa uap *superheat* yang tidak dialirkan temperaturnya akan lebih tinggi di bagian ruang antar Sirip (T_2) dibandingkan dengan yang dialirkan. Hal ini dikarenakan kalor dari *superheat* terus disirkulasikan pada ruang yang sama sehingga temperatur menjadi naik. Sedangkan pada *superheat* yang dialirkan ke bagian atas terlihat bahwa temperatur pada ketel atas (T_4) lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak dialirkan dan hanya melakukan konduksi terhadap bagian bawah ketel. Jika dirata-ratakan maka perbedaan uap *superheat* yang dialirkan dan yang tidak di ruang antar sirip sebesar $89.9 \text{ }^\circ\text{C}$ atau jika dipresentasikan bahwa penurunan temperatur uap *superheat* akibat pengaliran uap ke atas sekitar 30.2% , sedangkan untuk temperatur di bagian ketel atas perbedaannya sekitar $43.1 \text{ }^\circ\text{C}$ atau terjadi peningkatan uap *superheat* pada ketel bagian atas sekitar 26.5% .

KESIMPULAN

Uap *superheat* berhasil dibangkitkan yaitu dengan indikasi temperatur uap yang dihasilkan berkisar $140^\circ\text{-}330^\circ \text{ C}$. Penerapan sirip dalam pada generator *superheat* dapat meningkatkan temperatur uap hingga 60.2% dengan efisiensi design sirip 40.8% dan laju aliran kalor dari 10 buah sirip ke uap jenuh 344.55 W .

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan kepada Kementerian Pendidikan Nasional Indonesia atas Hibah Bersaing yang diberikan sebagai sumber pendanaan penelitian, sehingga penelitian dapat berlangsung dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel Yunus, Bols Michael, *Thermodynamic an Engineering Approach*, (1994) Mc Graw Hill, Inc.
- [2] <http://www.barr-rosin.com/products/superheated-steam-drying.asp>, diakses tgl 18-9-2012.
- [3] Arun Mujumundar, Sakamon Devahastin, *Drying Technology*, 22, pp. 1845-1867, 2004.
- [4] Tomone Amatsubo, Yoshio Hagura, Kanichi Suzuki, Heat Transfer Characteristic of *Superheat Steam Combined with Far Infra red*, *Food Science Technology*, Res, 11(4), pp. 363-368, 2005
- [5] Incropera, F.P and DeWitt, D.P, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 4th Ed (1996), John Wiley & Son, Canada.
- [6] *Fin Tutorial*, Fluent Inc (Flow Lab), April 12, 2007.
- [7] Fin design ppt, www.engr.iupui.edu/thermal/, diakses tanggal 15-9-2012.
- [8] http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Intro/Chapter1_6/Chapter2a.html#6.