

ANALISIS ALIRAN UAP PADA NOZZLE TIP SAMPLING PROBE PLTP MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Bayu Yoga Prawira Chandrasa Soekardi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650
Email: bayuprawiro9@gmail.com, chandrasa.soekardi@mercubuana.ac.id

Abstrak -- Tulisan ini berisi gambaran tentang hasil analisis aliran uap pada Nozzle Tip Sampling Probe di lapangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi dengan menggunakan perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD). Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari mengapa sering terjadi perbedaan hasil pengukuran temperatur dari diameter lubang nozzle tip dengan ukuran 0,125 inch dan 0,25 inch. Simulasi dengan menggunakan perangkat lunak CFD diterapkan terhadap aliran fluida uap panas yang mengalir di dalam sebuah saluran berdiameter 0,5 inch dengan laju aliran massa 23,15 kg/s, tekanan aliran 18,48 bar, dan temperatur fluida 212,97°C. Proses ini dilakukan dengan memasang dua buah sampling probe berukuran berbeda untuk mempelajari vektor kecepatan, vektor tekanan, dan vektor temperturnya. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa kecepatan rata-rata dan temperatur rata-rata aliran uap panas yang bersirkulasi di sekitar nozzle tip sampling probe dengan tip berdiameter 0,125 inch lebih tinggi daripada nozzle tip berdiameter 0,250 inch.

Kata kunci: Nozzle tip, Sampling probe, Panas bumi, CFD, Aliran uap

Abstract -- This paper presents flow analysis of the steam circulated around the Nozzle Tip Sampling Probe at Geothermal Power Plant by using Computational Fluid Dynamics (CFD) software. The objective of this study is to investigate why there are differences in temperature measurement results from hole diameters of 0,125 inches and of 0,25 inches at the side of the sampling probe nozzle tips. The numerical simulation using CFD have been applied to a 23,15 kg/s steam flowing in a 0,5 inch diameter pipeline at the pressure of 18,48 bar and temperature of 212,97 °C equipped by 2 different sampling probes for studying the velocity, pressure and temperature profiles around the sampling probes tips. The numerical results show that the higher relative speed occurs at hole diameter of 0,125 inch nozzle tip sampling probe which has the effect of temperature reading which tend to be high when compared to hole diameter of 0,25 inch nozzle tip of the sampling probes.

Keywords: Nozzle tip, Sampling probe, Geothermal, CFD, Steam flow

PENDAHULUAN

Sampling probe yang dipasang pada saluran uap panas bumi di sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dimaksudkan untuk memperkirakan besarnya energi panas yang terkandung di dalam uap panas tersebut, yaitu melalui pengukuran temperatur dan tekanan dari sampel aliran uap. Sebagai objek studi pada penelitian ini adalah *sampling probe* yang dipasang pada saluran aliran uap panas bumi yang mengalir menuju saluran masuk ke turbin uap dengan laju aliran 21,33 kg/s, di mana saluran berdiameter luar 406 mm dan berdiameter dalam 381 mm terbuat dari bahan *cast carbon-steel*.

Sementara itu *nozzle tip sampling probe* yang dipergunakan untuk mengukur temperatur dan tekanan uap berjenis *multi-port*, terbuat dari bahan *stainless steel*. Salah satu *probe* memiliki lubang sensor berdiameter 0,125 inch dan probe kedua memiliki lubang sensor berdiameter 0,25 inch. Pengukuran temperatur uap panas

menggunakan kedua probe tersebut memberikan hasil yang berbeda. *Sampling probe* dengan *nozzle tip* berdiameter 0,125 inch memberikan hasil pengukuran temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan *sampling probe* dengan *nozzle tip* berdiameter lubang 0,25 inch.

Perbedaan hasil pengukuran temperatur tersebut dapat menyebabkan interpretasi yang kurang tepat terhadap sifat termodinamika fluida uap panas bumi yang mengalir di dalam saluran pemipaan PLTP. Perbedaan hasil pengukuran tersebut kemungkinan besar terutama disebabkan oleh perbedaan karakteristik aliran fluida uap yang bersirkulasi di sekitar *nozzle tip* pada masing-masing *sampling probe*.

Beberapa peneliti telah melakukan studi terhadap karakteristik aliran fluida uap di dalam sistem pemipaan menggunakan metode numerik. Taler & Koczmarski (2016) mengembangkan model numerik terhadap aliran uap di dalam sistem saluran tertentu menggunakan metode volume hingga untuk menghitung temperatur

aliran uap, temperatur dinding saluran dan tegangan termalnya. Kong et al. (2013) menggunakan metode CFD untuk mensimulasikan pola aliran fluida uap yang bersirkulasi di dalam saluran sistem diffuser-ejector. Hasil simulasi divalidasi menggunakan data-data eksperimental.

Purnanto et al. (2012) telah melakukan pemodelan dari perangkat pemisah atau separator fluida uap dan air. Hasil pemodelan menunjukkan adanya pergerakan di dalam *cyclone* separator yang menyebabkan terjadinya turbulensi.

Selanjutnya, Karvounis & Jenny (2011) membuat model CFD untuk aliran pada *Enhanced Geothermal Systems* (EGS) untuk memperoleh gambaran *modeling framework* bagi cadangan panas bumi (*reservoir*). Hasil simulasi memberikan gambaran distribusi tekanan dan temperatur pada area reservoir dan batuan dengan skala fracture tertentu.

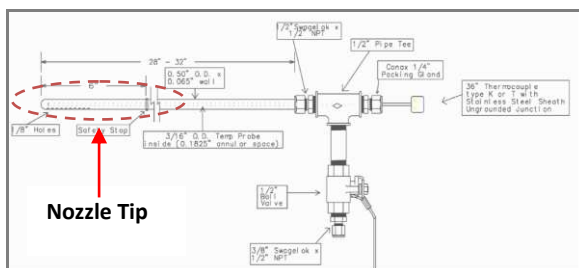
Federico et al. (2017) mengembangkan pemodelan CFD atas pergerakan aliran fluida uap basah di dalam *supersonic nozzle*. Hasil analisis memperlihatkan adanya penurunan profil tekanan sepanjang sumbu *axis* terhadap model *nozzle* selaras dengan baik itu dilakukan melalui simulasi maupun percobaan hasil eksperimen.

Chien N.B. et al. (2015) melakukan eksperimen menggunakan CFD untuk mempelajari kondisi perpindahan panas fluida air yang mendidih pada suatu media *horizontal multiport mini-channel*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengaruh faktor gesekan (*friction*) yang tinggi terjadi pada *heat flux* yang lebih rendah, tetapi sebaliknya *Nusselt Number* justru cenderung lebih tinggi terjadi pada *heat flux* yang lebih tinggi.

Pada studi ini dilakukan simulasi numerik menggunakan metode CFD *Solidworks Flow Simulation 2013* terhadap aliran fluida uap yang bersirkulasi di sekitar model *nozzle tip sampling probe* yang berukuran sama dengan yang dipergunakan untuk mengukur temperatur dan tekanan aliran uap pada saluran utama PLTP. Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh gambaran karakteristik kecepatan, tekanan dan temperatur lokal aliran fluida uap yang bersirkulasi di sekitar model *nozzle tip sampling probe*.

METODOLOGI PENELITIAN

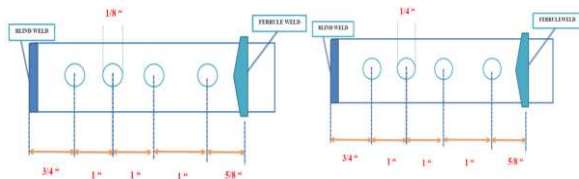
Pada tahap pertama dilakukan eksperimen langsung di fasilitas lapangan panas bumi, yaitu pengukuran uap pada jalur pipa sumur produksi. *Sampling probe* yang dipergunakan untuk melakukan pengukuran sample uap, sesuai dengan rekomendasi dari *Thermochem, Inc*, sketsanya diberikan seperti yang tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi sampling probe untuk pengukuran superheat

Dua buah *sampling probe* yang terbuat dari bahan *stainless steel* dengan dua ukuran diameter lubang *nozzle tip* yang berbeda, yaitu berdiameter 0,125 inch dan 0,25 inch, ditunjukkan Gambar 2. Dalam hal ini, tube utama berdiameter luar 0,5 inch dan memiliki ketebalan 0,083 inch.

Untuk mengukur temperatur uap dipergunakan sensor termokopel tipe-K yang dipasang pada *sampling probe*, sementara itu untuk mengukur tekanan uap dipergunakan *digital pressure indicator* (Gambar 3).

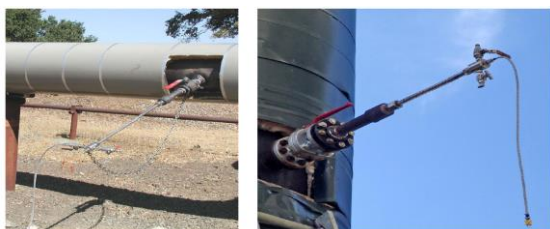


Gambar 2. *Nozzle tip sampling probe* dengan ukuran diameter lubang 0,125 inch (kiri) dan ukuran diameter lubang 0,25 inch (kanan)



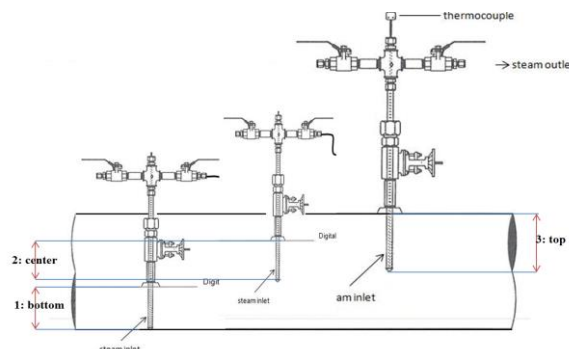
Gambar 3. Konfigurasi alat ukur temperatur dan tekanan pada sampling probe

Pengukuran temperatur dan tekanan uap dilakukan secara bergantian pada jalur pipa sumur produksi melalui *sampling port* (Gambar 4).



Gambar 4. Posisi sampling probe setelah dipasang dalam saluran pipa

Pengukuran temperatur dan tekanan (Gambar 5) dilakukan dengan menempatkan *sampling probe* pada 3 titik yang berbeda, yaitu di bawah (1), di tengah (2) dan di atas (3).



Gambar 5. Konfigurasi titik pengukuran

Hasil pengukuran temperatur dan tekanan sampel uap dari saluran utama PLTP pada ketiga konfigurasi titik pengukuran diberikan pada Tabel 1. Dari data temperatur uap panas yang terukur dari kedua sample probe, kemudian apabila dibandingkan dengan temperatur jenuhnya, maka memberikan gambaran tentang harga temperatur uap superpanas (nilai *superheat*). Perbedaan sedikit saja pada harga temperatur uap superpanas akan berdampak pada perubahan yang cukup signifikan pada harga enthalpi yang dikandung oleh uap panas bumi yang diukur.

Tabel 1. Data hasil pengukuran *superheat*

Diameter Lubang Nozzle Tip (inci)	Posisi Titik	Parameter yang diukur di Lapangan			Nilai Superheat (°C)
		Tekanan Absolut (bar)	Temperatur terbaca (°C)	Temperatur Saturasi (°C)	
0,125	1	18.695	213.20	208.998	4.20
0,125	2	18.735	213.90	209.105	4.80
0,125	3	18.715	213.60	209.052	4.55
0,25	1	18.495	213.10	208.463	4.64
0,25	2	18.535	213.60	208.571	5.03
0,25	3	18.495	213.30	208.463	4.84

Pada tahap selanjutnya, untuk mempelajari seberapa jauh faktor karakteristik aliran uap berpengaruh terhadap temperatur dan tekanan uap yang tertangkap oleh *sample probe*, maka dilakukan simulasi numerik menggunakan CFD *Solidworks Flow Simulation 2013* terhadap aliran fluida uap yang bersirkulasi di sekitar model *nozzle tip sampling probe* yang berukuran sama dengan yang dipergunakan untuk

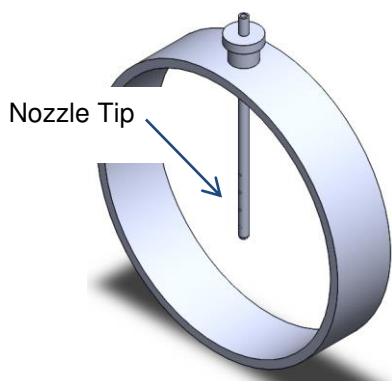
mengukur temperatur dan tekanan aliran uap pada saluran utama PLTP.

Simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics Solidworks Flow Simulation 2013* dilakukan dengan memasukan parameter-parameter nilai rata-rata hasil pengukuran tekanan, temperatur dan laju aliran massa sebagai kondisi batas. Setelah itu dilakukan menggambarkan geometri 3D (tiga dimensi)

nozzle tip sampling probe dan penampang pipa produksi dengan ukuran yang menyerupai kondisi di lapangan (Gambar 6 & 7).



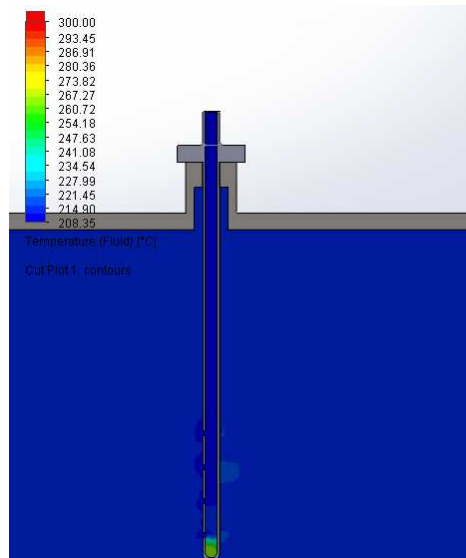
Gambar 6. Model 3D *nozzle tip sampling probe*



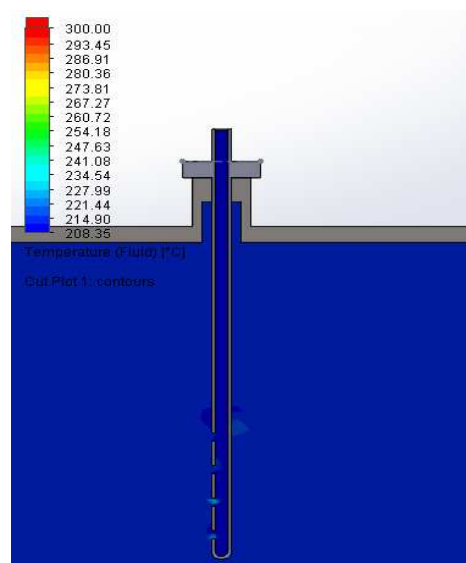
Gambar 7. Konstruksi *nozzle tip sampling probe* yang terpasang pada pipa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi parameter temperatur fluida uap panas bumi yang mengalir pada *nozzle tip sampling probe* yang memiliki diameter lubang 0,125 inch di bagian ujungnya diberikan pada Gambar 8, di mana memberikan hasil nilai temperatur maksimum sebesar $\pm 267^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, pada Gambar 9, temperatur fluida uap panas yang mengalir pada *nozzle tip sampling probe* dengan diameter lubang 0,25 inch menunjukkan nilai temperatur maksimum $\pm 241^{\circ}\text{C}$.

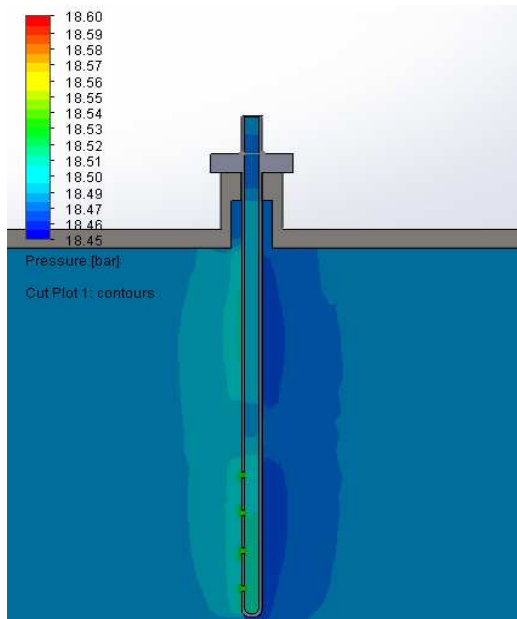


Gambar 8. Profil simulasi temperatur fluida uap *nozzle tip probe* diameter 0,125 inch

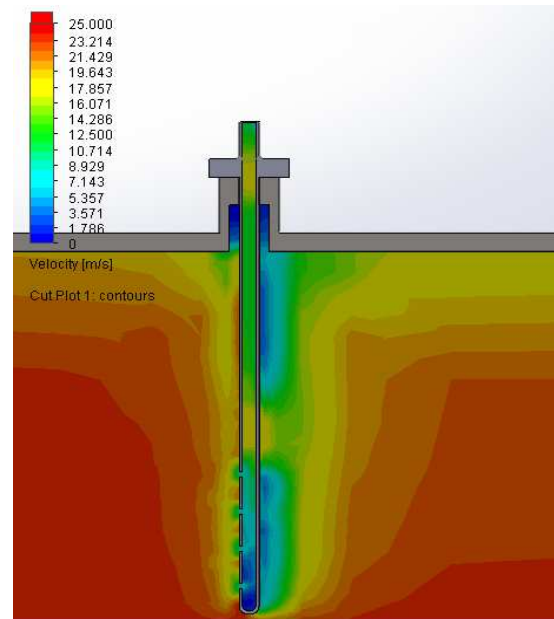


Gambar 9. Profil simulasi temperatur fluida uap *nozzle tip probe* diameter 0,25 inch

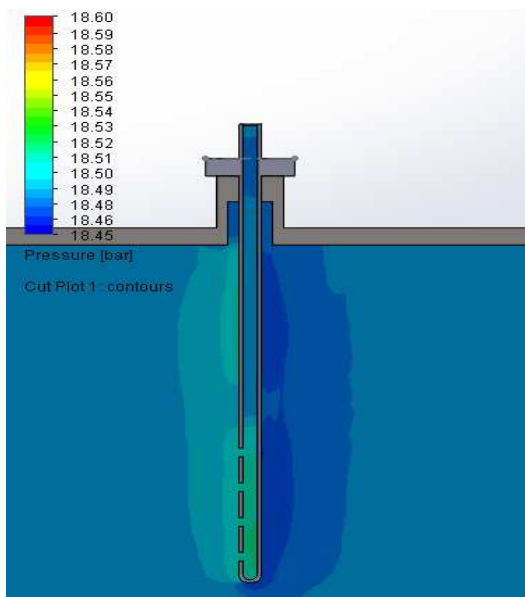
Selanjutnya, karakteristik tekanan statik uap panas yang bersirkulasi di sekitar nozzle tip yang memiliki diameter lubang 0,125 inch diberikan pada Gambar 10. dimana tekanan rata-rata di sekitar lubang tip berkisar $\pm 18,51$ bar. Sedangkan tekanan statik uap panas yang bersirkulasi di sekitar nozzle tip yang memiliki diameter lubang 0,250 inch diberikan pada Gambar 11 dan tekanan rata-ratanya juga berkisar $\pm 18,51$ bar.



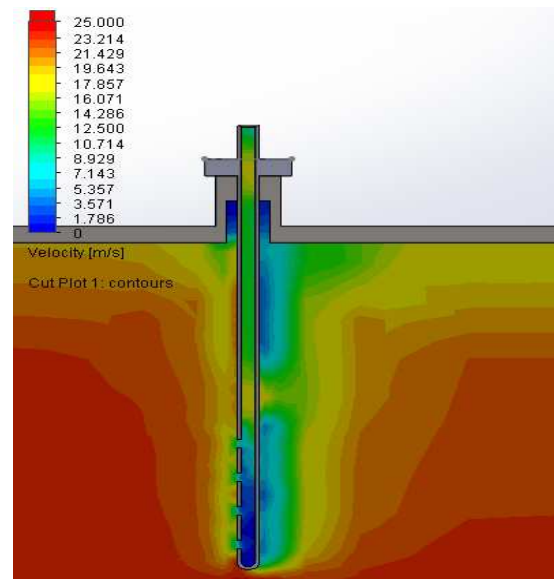
Gambar 10. Profil simulasi tekanan fluida uap *nozzle tip probe* diameter 0,125 inch



Gambar 12. Profil simulasi kecepatan fluida uap *nozzle tip sampling probe* diameter 0,125 inci



Gambar 11. Profil simulasi tekanan fluida uap *nozzle tip probe* diameter 0,25 inch



Gambar 13. Profil simulasi kecepatan fluida uap *nozzle tip sampling probe* diameter 0,25 inci

Gambar 12 adalah karakteristik kecepatan aliran fluida panas bumi yang bersirkulasi di sekitar *nozzle tip sampling probe* dengan tip berdiameter 0,125 inch. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kecepatan rata-rata di sekitar lubang tip adalah sekitar $\pm 8,9$ m/s (porsi kontur warna biru muda).

Sementara itu, pada Gambar 13 untuk diameter lubang (*hole*) dengan ukuran 0,25 inch kecepatan rata-rata di sekitar lubang tip adalah sekitar ± 2 m/s.

KESIMPULAN

Simulasi numerik menggunakan metode CFD *Solidworks Flow Simulation 2013* terhadap aliran fluida uap yang bersirkulasi di sekitar dua buah model *nozzle tip sampling probe* dengan lubang *nozzle tip* berdiameter 0,125 inch dan

0,25 inch telah dilakukan. Pengaruh profil kecepatan terhadap karakteristik temperatur lokal aliran fluida uap yang bersirkulasi di sekitar model *nozzle tip sampling probe* telah dipelajari.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata aliran fluida panas bumi yang bersirkulasi di sekitar *nozzle tip sampling probe* dengan tip berdiameter 0,125 inch lebih tinggi daripada *nozzle tip* berdiameter 0,250 inch. Hal tersebut berdampak kepada karakteristik temperatur aliran uapnya di mana temperatur fluida uap yang bersirkulasi di sekitar *nozzle tip* berdiameter 0,125 inch lebih tinggi daripada *nozzle tip* berdiameter 0,250 inch. Sementara itu, sesuai dengan prinsipnya, kecepatan lokal fluida tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tekanan statis aliran fluida.

Penelitian tahap selanjutnya yang akan dilakukan adalah melakukan eksperimen numerik untuk mempelajari diameter lubang *nozzle tip* yang paling optimal yang memberikan perbedaan hasil pengukuran temperatur yang paling minimum, kemudian membandingkan hasilnya dengan pengujian eksperimental di lapangan.

REFERENSI

- American Standard Testing and Material (ASTM) International. *Standard Practice for Sampling Steam, Designation: D 1066-97* (Reapproved 2001). United States: ASTM International. 2001.
- Chien, N.B., Vu, P.Q., Ghazali, N.M., dan Taek O.J. *Convective Heat Transfer Characteristics of Single-Phase Liquid in Multiport Minichannel Tube: Experiment and CFD Simulation*. The 7th International Conference on Applied Energy-ICAE2015. Energy Procedia 75 (2015) 3180-3185. 2015.
- Dennis, R., Samples, R.W., Anderson, D.M., dan Silverman, L. *Isokinetic Sampling Probes. Industrial and Engineering Chemistry* Vol.49, No.2 (pp. 294-302). Boston: Harvard School of Public Health, Department of Industrial Hygiene, Boston 15, Mass. 1957.
- Federico, M., Francesco, G., dan Adriano, M. *CFD Modelling of the Condensation Inside a Supersonic Nozzle: Implementing Customized Wet-Steam Model in Commercial Codes*. 72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2017, 6-8 September 2017. Lecce, Italia. 2017.
- Jung, D.B. *Geothermal Steam Quality Testing*. Geothermal Resources Council Transaction, 19. 1995.
- Karvounis, D. dan Jenny, P. *Modelling of Flow and Transport in Enhanced Geothermal Systems*. Proceedings, Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, California. 2011.
- Kong, F.S., Kim, H.D., Jin, Y. dan Setoguchi, T. *Application of Chevron Nozzle to a Supersonic Ejector-Diffuser System*. 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. Procedia Engineering 56: 183-200. 2013.
- Purnanto, M.H., Zarrouk, S.J., dan Cater, J.E. *CFD Modelling of Two-Phase Flow Inside Geothermal Steam-Water Separators*. New Zealand Geothermal Workshop 2012 Proceedings. Aucland, New Zealand. 2012.
- Solidworks Education. *An Introduction to Flow Analysis Applications with Solidworks Simulation, Student Guide*. Engineering Design and Technology Series. USA: Dassault Systems Solidworks Corporation. 2010.
- Taler, D dan Kaczmariski, K. *A Numerical Model of Steam Pipeline*. IX International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, ICCHMT 2016. Procedia Engineering 157: 158-162. 2016.
- Thermochem Indonesia. *Exploration Drilling and Early Stage Geothermal Reservoir Characterization: Geothermal Well Flow Testing Hardware, Instrumentation and Measurement Techniques*. 2nd ITB Workshop 2013, Bandung, Indonesia. 2013.