

Pengembangan *Evacuated Tube Solar Water Heaters* Pada Proses *Collecting* dan *Circulating* pada Sistem *Therapeutic Pool* untuk Terapi Penderita Stroke

Munadi^{1*}, Ismoyo Haryanto², M. Tauviqirrahman³, Rudy Setiawan⁴

^{1,2,4}Lab. Komputasi, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP Semarang

³Lab. Tribology, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP Semarang

munadi@undip.ac.id, ismoyo2001@yahoo.de, mtauviq99@gmail.com

Abstrak

Jumlah penderita stroke di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Data tahun 2014 menunjukkan bahwa prevalensi stroke di Indonesia mencapai 12,1 per 1000 orang. Penyakit mematikan ini tidak hanya menyerang orang-orang yang berusia tua, tetapi juga orang-orang muda pada usia produktif. Salah satu usaha untuk pemulihan penyakit stroke adalah dengan cara terapi menggunakan air hangat 31-34⁰ C. Dasar utama penggunaan air hangat adalah efek *hydrostatic* dan *hydrodynamic*. Bentuk terapi latihan dengan menggunakan modalitas air hangat ini disebut *hydrotherapy*. Untuk melakukan terapi ini membutuhkan *therapeutic pool* yang merupakan kolam terapi latihan bagi si penderita stroke. Akan tetapi, jumlah *therapeutic pool* yang tersedia jumlahnya sedikit sekaligus biaya operasional dan biaya investasi yang besar menjadi kendala terbatasnya jumlah kolam terapi. Penelitian ini memberikan solusi penggunaan energi panas matahari sebagai sumber panas air dengan menggunakan *evacuated glass tube*. Metode langsung (*direct method*) yang menggunakan media air akan digunakan dalam penelitian ini. Data acquisition temperatur yang dilakukan menunjukkan bahwa temperatur maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 78⁰ C dengan sudut kemiringan *evacuated glass tube* sebesar 30⁰. Waktu optimum untuk menghasilkan air panas antara jam 11.00-15.00, dan kapasitas sementara yang dihasilkan sebesar 0,125 lt/detik. Aplikasi kontrol otomatis digunakan untuk menjaga kestabilan temperatur dan displai panel berbasis HMI akan memudahkan pengguna mengoperasikan *therapeutic pool* dengan tiga tahap proses yaitu *collecting*, *circulating*, dan *mixing*.

Kata kunci : *evacuated tube solar collectors*, stroke, *therapeutic pool*

Pendahuluan

Stroke merupakan suatu penyakit yang merusak sebagian dari otak. Walaupun di era moderisasi saat ini, jumlah penderita stroke terus meningkat setiap tahunnya. Stroke merupakan kehilangan fungsi otak yang disebabkan oleh terhentinya aliran darah ke area otak dimana jika aliran darah berhenti selama lebih dari beberapa detik maka sel-sel jaringan otak yang tidak mendapatkan nutrisi dan oksigen dapat mati dan menyebabkan kerusakan fungsi otak permanen [1]. Menurut data WHO, ada 15 juta populasi terserang stroke setiap tahun di seluruh dunia dan terbanyak adalah usia tua dengan kematian rata-rata setiap 10 tahun antara 55 dan 85 tahun [2]. Demikian pula jumlah penderita

stroke di Indonesia yang semakin meningkat. Penyakit mematikan ini tidak hanya menyerang orang-orang yang berusia tua, tetapi juga orang-orang muda pada usia produktif. Menurut riset kesehatan dasar 2014, prevalensi stroke di Indonesia mencapai 12,1 per 1000 orang. Jumlah penderita stroke diperkirakan terus meningkat, sehingga keadaan tersebut menempatkan stroke sebagai masalah kesehatan yang serius.

Stroke ada dua macam, yaitu *ischemic stroke* dan *hemorrhagic stroke* [3]. *Ischemic stroke* merupakan jenis stroke yang lebih banyak terjadi. *Ischemic stroke* terjadi jika aliran darah ke otak terhambat atau tersumbat. Penyebab utama *ischemic stroke* adalah terjadinya kekakuan dan penyempitan pembuluh darah karena zat-zat lemak

bertumpuk di dinding pembuluh darah. Penyempitan pembuluh darah menuju sel-sel otak menyebabkan aliran darah dan pasokan nutrisi ke otak berkurang. Sementara itu, *hemorrhagic stroke* adalah stroke yang disebabkan oleh pecahnya pembuluh darah di otak, sehingga terjadi pendarahan otak. Umumnya, *hemorrhagic stroke* terjadi karena tekanan darah yang terlalu tinggi. Hampir 70% kasus *hemorrhagic stroke* terjadi pada penderita hipertensi (tekanan darah tinggi). Hipertensi menyebabkan tekanan yang lebih besar pada dinding pembuluh darah, sehingga dinding pembuluh darah menjadi lemah, dan pembuluh darah rentan pecah.

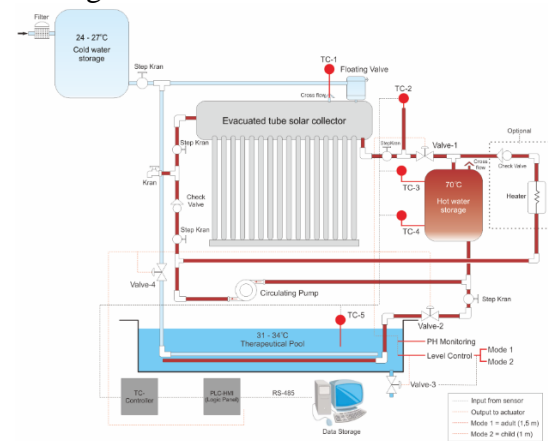
Untuk menghindari serangan stroke, seseorang bisa melakukan berbagai tindakan pencegahan, termasuk membiasakan diri menjalani gaya hidup yang sehat. Tetapi, bagi penderita stroke, terdapat salah satu cara untuk mengobatinya dengan cara melakukan terapi dengan air hangat untuk mendapatkan efek-efek terapi [4]. Dasar utama penggunaan air hangat untuk pengobatan adalah efek *hydrostatic* dan *hydrodynamic*. *Hydrotherapy* merupakan salah satu bentuk terapi latihan dengan menggunakan modalitas air hangat. *Therapeutic pool* adalah terapi latihan di kolam bagi si penderita. Terapi ini merupakan salah satu metode terapi penyembuhan terhadap penyakit persendian yang kaku akibat stroke [5].

Oleh sebab itu, pada penelitian ini menemukan ide untuk membantu mengurangi penderita penyakit stroke dengan cara membuat pemodelan sistem kolam terapi yang menggunakan air hangat bersuhu rata-rata 31^0-34^0 C dimana *therapeutic pool* yang dirancang akan menggunakan *evacuated glass tube* dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber panasnya. Tentunya energi sinar matahari akan dapat menghemat konsumsi daya listrik yang biasanya menggunakan *heater* untuk memanaskan air. Heater digunakan hanya pada saat musim penghujan. Dalam perancangan pemanas air menggunakan *evacuated glass tube* yang merupakan salah satu alat pemanas air dengan kolektor penyerap panas menggunakan sistem tabung vakum yang sangat sensitif (cepat) menyerap panas dan sangat efisien

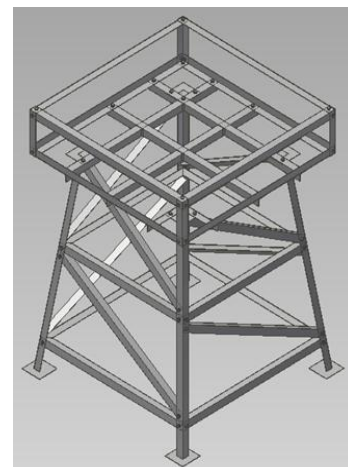
menyimpan panas [6,7]. Untuk mengontrol tiga proses pada kolam terapi, dikategorikan menjadi tiga tahapan yaitu *collecting*, *circulating*, dan *mixing*, dan sistem kontrol otomatis akan digunakan untuk memudahkan dalam pengoperasian.

Desain Sistem *Therapeutic Pool*

Desain sistem *therapeutic pool* menggunakan metode langsung (*direct method*) pada awalnya telah kami lakukan berdasarkan referensi-referensi yang ada. Untuk metode langsung, air dipanaskan langsung oleh sinar matahari dalam *evacuated glass tube* dan dikumpulkan pada *evacuated solar collector*. Gambar 1 menunjukkan pemodelan sistem *therapeuti pool* yang akan dibangun.



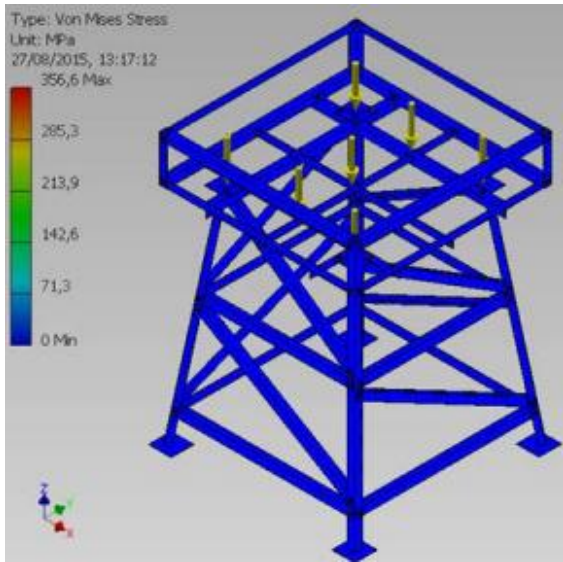
Gambar 1. Pemodelan sistem *therapeutic pool* dengan metode langsung.



Gambar 2. Rangka tandon air dingin

Agar investasi pengadaan alat ini terjangkau, maka peneliti berusaha semaksimal menggunakan bahan yang ada di

Indonesia, diantara sistem air yang akan digunakan. Air yang mulanya bertemperatur sekitar 27°C ditempatkan pada tandon frame yang ditunjukkan pada Gambar 2 dimana memiliki ketinggian agar air dapat mengalir baik dalam sistem *evacuated tube solar water heaters* berdasarkan prinsip gravitasi. Adapun analisa tegangan *von mises* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Analisa tegangan *von mises* pada frame tandon air dingin

Frame hasil desain dan dianalisa dimana hasilnya menunjukkan bahwa frame tandon air dingin tahan pembebanan akibat baban maksimum air dalam tandon air dingin yaitu 1000 lt.

Selanjutnya air secara kontiyu akan masuk dalam *evacuated tube solar collector*, yang akan turun pada *evacuated glass tube*. Air pada *evacuated glass tube* akan dipanaskan menggunakan sinar matahari. Air yang panas akan berada pada permukaan bagian atas dan masuk kembali ke *evacuated tube solar collector*. Ketika temperatur air mencapai 70°C , maka sistem kontrol yang didesain akan memerintahkan *solenoid valve* membuka sehingga air panas mengalir pada storage air panas. Proses ini disebut dengan proses mengumpulkan air panas atau *collecting*.

Pada malam hari, tentunya sudah tidak ada sinar matahari. Bila kebutuhan air panas besar khususnya pada malam hari dan musim penghujan, maka *heater* merupakan alat untuk memanaskan air sebagai alternatif setelah

tidak ada panas matahari. Air hasil pemanasan proses *collecting* akan disirkulasikan dalam sistem *evacuated tube solar water heaters*, dan proses ini disebut proses sirkulasi atau *circulating*. Air panas yang telah dihasilkan selanjutnya akan dicampur dengan air dingin di kolam terapi agar temperaturnya berkisar pada $31-34^{\circ}\text{C}$ dan digunakan untuk terapi. Proses percampuran ini disebut proses *mixing*.

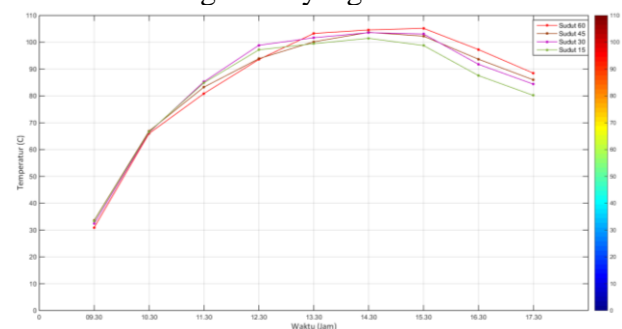
Variasi Kemiringan *Evacuated Glass Tube*

Pada eksperimen awal, peneliti melakukan kajian eksperimen panas air yang dihasilkan oleh variasi sudut atau kemiringan *evacuated glass tube* pada sudut 15° , 30° , 45° , dan 60° . Gambar 4 menunjukkan setup eksperimen variasi sudut kemiringan *evacuated glass tube*. Pada saat eksperimen, air pada *evacuated glass tube* dijaga tetap penuh terus secara kontiyu, dan *thermocouple* diletakkan pada bagian tengah *evacuated glass tube*.



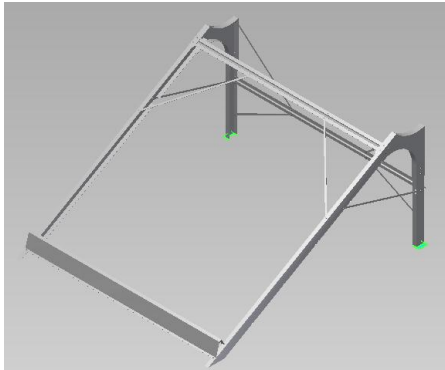
Gambar 4. Setup eksperimen variasi sudut

Hasil data acquisition temperatur variasi sudut ditunjukkan pada Gambar 5, dimana sudut 30° menunjukkan proses penghasilan panas yang lebih awal. Sedangkan untuk nilai maksimal dan minimal temperatur tidak terlalu jauh berbeda, dimana temperatur yang dikehendaki sistem adalah 70°C . Hal ini menunjukkan bahwa pada sudut 30° akan menghasilkan volume air panas yang lebih besar dibanding sudut yang lain.



Gambar 5. DAQ temperatur variasi sudut

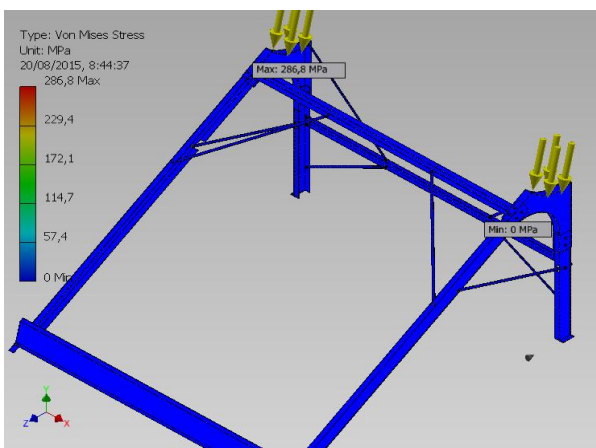
Berdasarkan data acquisition temperatur yang dihasilkan maka frame untuk *evacuated glass tube* didesain memiliki kemiringan 30⁰ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Frame *evacuated glass tube*

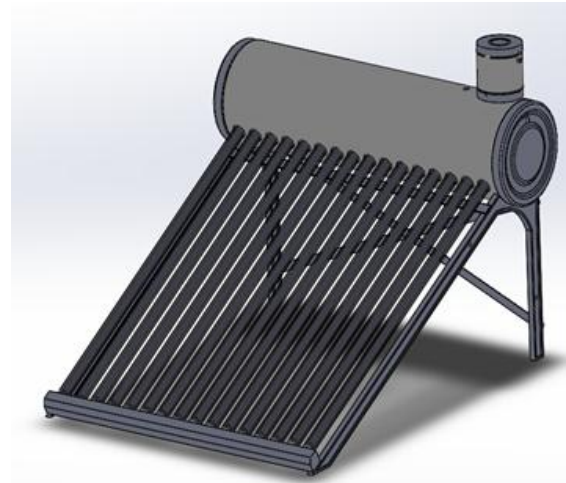
Evacuated Tube Solar Water Heaters

Sistem utama *evacuated tube solar water heaters* terdiri dari 16 buah *evacuated glass tube* dan satu buah *evacuated tube solar collector* dengan kapasitas 200 lt. Agar mampu menahan beban 200 lt, frame *evacuated glass tube* telah dianalisa tegangan *von mises* yang ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan hasil analisa diperoleh tegangan maksimal sebesar 286,778 MPa terjadi pada baut penyambung antara lengan kanan dengan penyangga kanan. Sedangkan tegangan minimal sebesar $2,344 \times 10^{-4}$ MPa terjadi pada batang penyangga-hub. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa konstruksi frame tersebut aman karena tegangan maksimal yang terjadi lebih kecil dari tegangan luluh material baut sebesar 689 MPa.



Gambar 7. Analisa tegangan *von mises* pada frame dengan kemiringan 30⁰

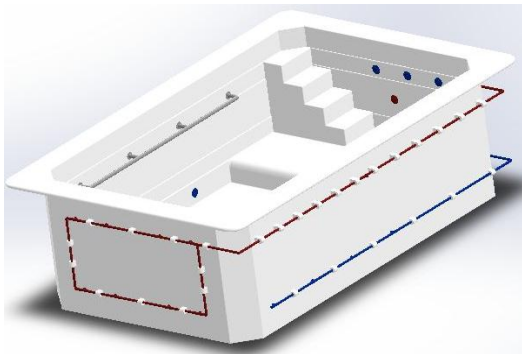
Air panas yang dihasilkan oleh *evacuated glass tube* akan dikumpulkan pada *evacuated tube solar collector* berkapasitas 200 lt, dan desainnya ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. *Evacuated tube solar collectors*

Kolam terapi merupakan kolam khusus terapi yang didesain untuk terapi penderita stroke. Kolam dijaga agar temperatur air 31⁰ C-34⁰ C dimana berasal dari campuran air panas 70⁰ C yang dihasilkan oleh *evacuated tube solar water heater* dan air dingin dimana level air pada saat proses terapi dikelompokkan menjadi tiga level, yaitu level kaki, level dada, dan level leher. Pengaturan level ini akan memudahkan pengaturan level secara otomatis dengan memasang sensor level yang feedbacknya akan diumpungkan pada *solenoid valve* untuk membuka atau menutup air panas atau air dingin. Selanjutnya Gambar 9 menunjukkan desain kolam terapi dengan dimensi 3 m x 5 m. Material yang digunakan adalah fiberglass (jenis epoxy). Secara umum, sifat-sifat fiberglass dipengaruhi oleh bahan resin dan katalis yang digunakan. Resin disini adalah merupakan material cair sebagai pengikat serat penguat yang mempunyai kekuatan tarik serta kekakuan lebih rendah dibandingkan serat penguatnya. Disamping itu juga diberikan cairan tambahan berupa gel coat sebagai pengikat lapisan dasar. Epoxy resin type ini mampu menahan resapan air (adhesive) sangat baik dan memiliki kekuatan mekanik yang paling tinggi. Adapun spesifikasi teknisnya adalah sebagai berikut: - Massa jenis : 1,20 gr/cm³, modulus young : 3,2 GPa,

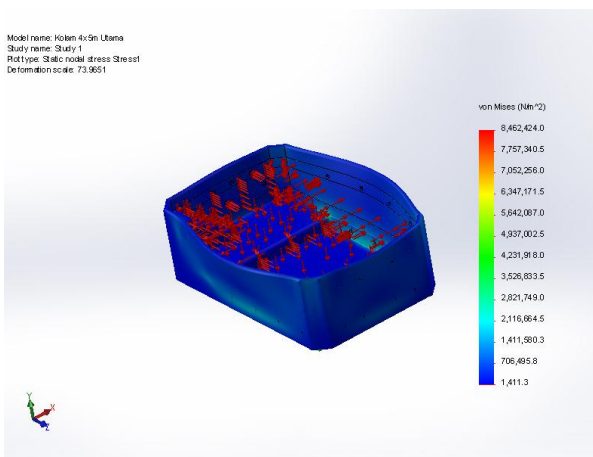
angka poisson : 0.37, dan kekuatan tarik : 85 MPa.



Gambar 9. Kolam terapi

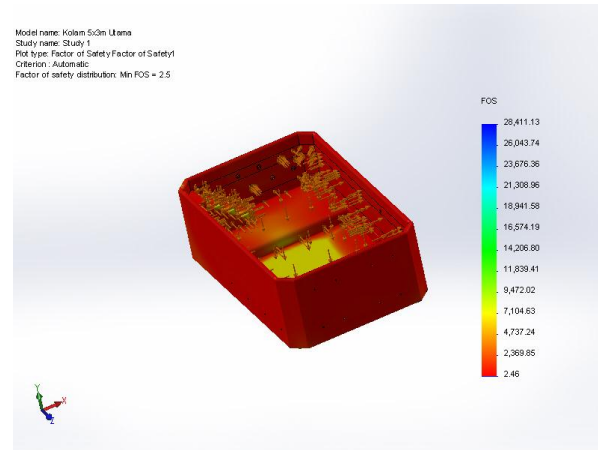
Selanjutnya asumsi untuk analisa *von mises* dan faktor keamanan ditentukan sebagai berikut :

- Luas alas kolam : 17,15 m²
- Tinggi air (asumsi) dada dan leher : 125 cm dan 150 cm
- Massa jenis air : 1000 kg/m³
- Volume : 25.718.041,22 cm³
: 25.718,04 dm³
- Massa air : 25.718 kg
- Gaya yang diberikan : 25718 kg x 9,8 m/s²
air : 252.036,4 N
- Tekanan yang diterima dasar : 252.036,4 / 17,15
kolam (P) : 14.696 N/m²
- Tekanan pada dinding dan dasar kolam dianggap sama : 14696 N/m²
- Material : epoxy



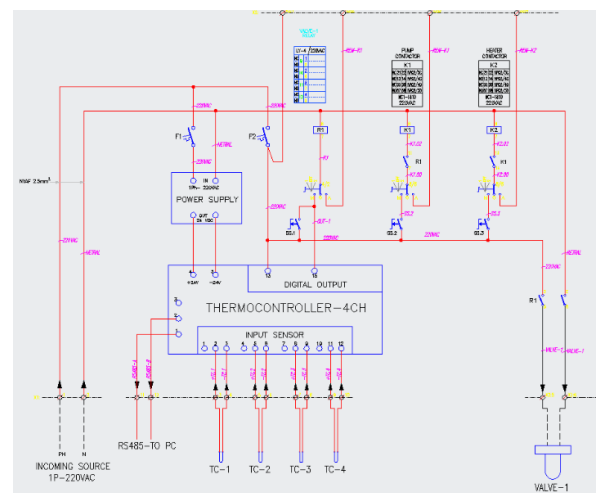
Gambar 10. Analisa tegangan *von mises* pada kolam terapi

Berdasarkan analisa tegangan *von mises* yang ditunjukkan Gambar 10 diperoleh nilai tegangan yang dialami kolam terapi setelah dilakukan pembebanan sebesar 3.526.833,5 N/m² dimana kekuatan tarik material epoxy adalah 85 MPa, sehingga stress tidak melebihi kekuatan tarik material. Sedangkan analisa faktor keamanan yang ditunjukkan Gambar 11, nilai faktor keamanan 2,46 -7,1.



Gambar 11. Analisa faktor keamanan

Agar pemodelan sistem dapat bekerja maksimal, maka perlu sistem data acquisition yang valid. Gambar 12 menunjukkan hardware elektrik untuk data acquisition.



Gambar 12. Panel data acquisition

Pengujian

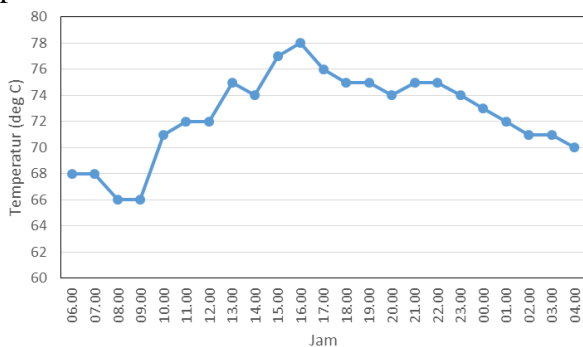
Selanjutnya sebagian sistem *evacuated tube solar water heater* telah selesai dibuat, diassembly, dan komponen pendukungnya baik hardware elektronik maupun mekanik dapat digunakan untuk mengambil data, maka peneliti melakukan pengujian dengan cara

pengambilan data. Pengambilan data dilakukan pada proses *collecting* dan *circulating* belum sampai tahap *mixing*. Setup sudut kemiringan *evacuated glass tube* ditentukan sebesar 30° C berdasarkan hasil analisa temperatur. Hal ini dilakukan karena pada eksperimen sebelumnya telah dilakukan bahwa sudut 30° menghasilkan volume air panas terbanyak. Gambar 13 menunjukkan model *evacuated tube solar water heater* yang telah terinstal.

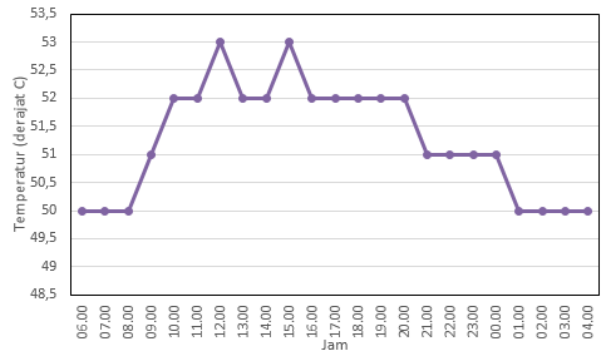


Gambar 13. Instalasi model sistem *evacuated tube solar water heater*

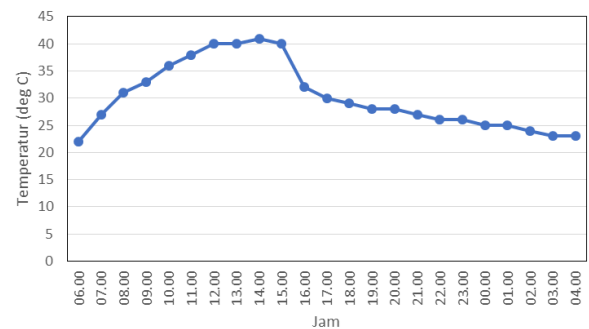
Untuk mendapatkan data acquisition dan mengetahui apakah sistem sudah dapat bekerja secara otomatis sesuai yang dirancang, desain software data acquisition menggunakan DAQMaster untuk memonitor 3 buah sensor thermocouple sekaligus yaitu thermocouple 1 untuk temperatur air panas yang dikumpulkan dalam *evacuated solar collector* yang diproduksi oleh *evacuated glass tube*, thermocouple 2 untuk temperatur air panas pada tangki air panas, dan thermocouple 3 pada lingkungan atau udara bebas. Hasil detail temperatur ditunjukkan pada Gambar 14-16.



Gambar 14. Data temperatur air dalam *evacuated tube solar collector*



Gambar 15. Data temperatur air pada tangki air panas



Gambar 16. Data temperatur lingkungan

Berdasarkan Gambar 14, data temperatur pada thermocouple 1 menunjukkan pada bahwa temperatur air mulai naik jam 10.00 dan setelah mengalami proses pemanasan dapat stabil. Temperatur maksimal adalah 78° C dan minimal adalah 66° C. Untuk Gambar 15, grafik menunjukkan hasil monitoring thermocouple 2 pada tangki air panas yang dimana air panas dapat stabil pada range temperatur 50° C – 53° C. Ini menunjukkan bahwa kinerja tangki air panas sudah cukup maksimal yaitu ditandai dengan penurunan temperatur maksimal 280 C.

Kesimpulan

Telah berhasil dibuat model sistem *therapeutic pool* sampai dengan tahap *collecting* dan *circulating* dengan menggunakan *evacuated tube solar water heater* berkapasitas 200 lt. Berdasarkan hasil desain, analisa dan data acquisition eksperimen menunjukkan keterkaitan yaitu sudut kemiringan *evacuated glass tube* yang paling optimum adalah 30° dilihat dari sisi temperatur dan volume air panas yang dihasilkan. Produksi air panas dengan batas

maksimal 78⁰ C berdasarkan data eksperimen dihasilkan pada rentang jam 11.00 – 15.00 dengan kapasitas 0,125 lt/detik. Hasil desain dan pembuatan hardware khususnya tangki air panas telah optimum.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat dilaksanakan atas biaya Program Hibah Kompetitif Nasional Dikti skema Pengembangan IPTEK Tahun Anggaran 2015.

Referensi

- [1] Salma, N. K, Ejaz, AV., 2007, *Risk factors for stroke: A hospital based study*, Pakistan Journal of Medical sciences, Vol 23 (1), 17-22.
- [2] Goldstein, L.B., et al., 2006, *Primary Prevention of Ischemic Stroke*, Stroke, 37: 1583-1633.
- [3] Kelompok Studi Serebravaskular dan Neurogeriatri PERDOSSI, 1999, *Konsensus Nasional Pengelolaan Stroke di Indonesia*, Jakarta : Balai Penerbit FKUI, 1-9.
- [4] Chaiton, Leo, 2002, *Terapi Air untuk Kesehatan dan Kecantikan*, Prestasi Pustaka Publisher. Jakarta-Indonesia.
- [5] Kusumaastuti, P., 2008, *Hidroterapi, Pulihkan Otot dan Sendi yang Kaku*, <http://www.gayahidupsehat.com>. Diakses Rabu, 09 Januari 2015.
- [6] Morrison, G.L., Budihardjo, I., Behnia, M., 2004, *Water in Glass Evacuated Tube Solar Water Heaters*, Solar Energy (Elsavier), Vol. 76, 135-140.
- [7] Morrison, G.L., Budihardjo, I., Behnia, M., 2005, *Mesurement and Simulation of Flow-rate in a Water in Glass Evacuated Tube Solar Water Heater*, Solar Energy (Elsavier), Vol. 78, 257-267.