

## PENGARUH KONSENTRASI SILIKON OKSIDA ( $\text{SiO}_2$ ) DALAM AIR TERHADAP EFEKTIVITAS GENERATOR AIR COOLER PADA SISTEM PLTA

Abdul Rahman<sup>1)</sup>, Firman<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

Generator Air Cooler is a main component in system of PLTA with the water is used as working fluid for cooling the hot air. Cooling water containt of sediment or soluted particle risk to influence heat transfer. The main purpose of this research is to determine the influence of soluted particle ( $\text{SiO}_2$ ) in water on the effectiveness of generator air cooler in system of PLTA. The research on the effectiveness of generator air cooler (GAC) with 5 varies of concentration  $\text{SiO}_2$  in water and 5 varies of volume rate for each concentration is held in Laboratorium of Power Plant System II of Machine Department of State Polytechnic of Ujung Pandang. The temperature of air to GAC is kept constant with the value of  $95^\circ\text{C}$ . Then recording the temperature of water in and out GAC, the temperature of air in and out GAC. As a result, it was founded that the maximum value of effectiveness was 6% at concentration  $\text{SiO}_2$  of 4% and at the lowest volume flow rate of 0,54 l/min, then the value of effectiveness decreases along the increasing value of volume flow rate and concentration  $\text{SiO}_2$ .

**Keywords:** Generator Air Cooler, effectiveness,  $\text{SiO}_2$ , volume flow rate.

### 1. PENDAHULUAN

Berbagai jenis pembangkit tenaga listrik telah diaplikasikan, namun pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang paling efisien dan efektif. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak dioperasikan di Indonesia. Saat ini PLTA merupakan pembangkit listrik yang memiliki potensi yang tinggi untuk dikembangkan di Indonesia karena memiliki sumber daya air yang memadai. Menurut Ministry of Energy and Mineral Resources (2013), PLTA di Indonesia memiliki kapasitas terpasang 6.654 GW dari kapasitas potensi hingga 75.670 GW.

Dalam suatu proses pembangkitan energi listrik tentunya setiap komponen diharapkan dapat bekerja secara optimal, handal, dan efisien sehingga mampu menghasilkan listrik sesuai dengan standar dari pembangkit tersebut. Generator merupakan salah satu dari komponen pembangkit energi listrik. Generator berfungsi mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik, apabila poros turbin telah berputar maka generator juga demikian sehingga menghasilkan energi listrik. Dengan berputarnya poros turbin maka menyebabkan pula generator mengalami panas. Panas yang terjadi pada generator disebabkan dengan adanya rugi tembaga, rugi besi, gesekan, dan angin. Berdasarkan uraian sebelumnya panas yang berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi penghantar, sebab itu diperlukan pendingin untuk menjaga suhu pada generator.

Untuk menjaga suhu pada generator tetap stabil maka digunakan sebuah alat penukar kalor. Alat penukar kalor digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem yang lain, selain itu untuk mengontrol temperatur dengan menambah atau mengurangi energi termal pada fluida-fluida di dalam alat penukar kalor tersebut. Pada proses pendinginan generator, fluida yang didinginkan adalah udara panas, sedangkan yang digunakan untuk mendinginkan udara panas adalah fluida cair yang mengalir dalam tube penukar kalor. Temperatur udara yang melewati cooler terus menurun seiring dengan pergerakan generator yang mendorong udara melewati cooler. Temperatur air pendingin terus meningkat dari temperatur awal sebesar  $28^\circ\text{C}$  menjadi  $34^\circ\text{C}$  (Adzima, 2015). Efektivitas penukar panas, memiliki peningkatan karena decreasing suhu udara beredar di dalam generator sebesar 37% (Anwar, 2011).

Dalam proses penukaran kalor pada generator menggunakan air sebagai pendingin udara panas. Dalam proses laju aliran massa biasanya terdapat partikel-partikel yang larut dalam air. Partikel-partikel tersebut sangat berpengaruh terhadap proses perpindahan panas baik dari jenis partikelnya maupun dari segi ukuran partikelnya. Maka dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut khususnya pengaruh partikel terlarut terhadap efektivitas pendingin generator pada sistem PLTA.

Jika dalam air pendingin terdapat sedimen yang terlarut maka hal ini akan berpengaruh terhadap perpindahan panas. Menurut Pragoyo (2009) pasir kuarsa mengandung  $\text{SiO}_2$  55,30 – 99,37%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,01 – 9,14%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,01 – 18%,  $\text{TiO}_2$  0,01 – 0,49%,  $\text{CaO}$  0,01 – 3,24%,  $\text{MgO}$  0,01 – 0,26%,  $\text{K}_2\text{O}$  0,01 – 17%.

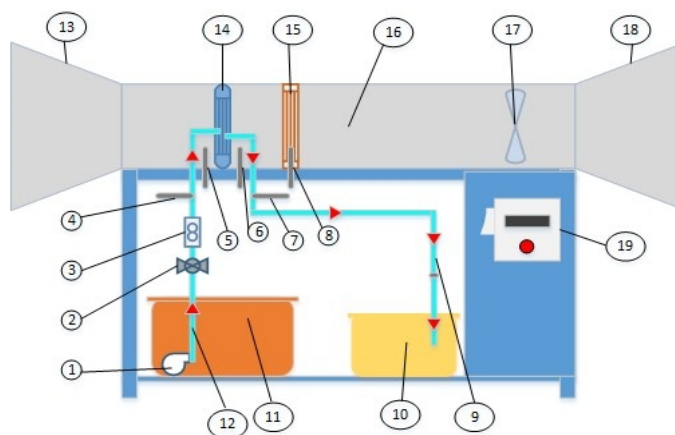
<sup>1</sup> Korespondensi: abdulrahman.pnup@gmail.com

Penelitian lain menunjukkan bahwa sedimen di DAM PLTA Bakaru terdiri atas 47% pasir kuarsa dan 53% pasir halus. Pasir kuarsa mengandung SiO<sub>2</sub> sebanyak 53,64%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 22,93%, MgO 4%, K<sub>2</sub>O 3,84%, Na<sub>2</sub>O 2,4%, CaO 1,71%, dan TiO sebesar 1,06% (Firman, 2016). Dari data di atas terlihat bahwa silikon oksida (SiO<sub>2</sub>) memiliki komposisi terbesar dalam pasir kuarsa.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pertanyaan yang timbul ialah bagaimana pengaruh partikel terlarut (SiO<sub>2</sub>) terhadap efektivitas pendingin generator pada sistem PLTA.

## 2. METODE PENELITIAN / PELAKSANAAN PENGABDIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Pembangkit Tenaga II Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Skema alat pengujian heat transfer pada generator air cooler ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Skema Alat Pengujian Generator Air Cooler

Keterangan Gambar 1: 1. Pompa air, 2. Katup air, 3. Flowmeter, 4. Sensor suhu air masuk, 5. Sensor suhu udara keluar, 6. Sensor suhu udara masuk, 7. Sensor suhu air keluar, 8. Sensor suhu air heater, 9. Pipa saluran air keluar, 10. Bak penampung air keluar, 11. Bak penampung air masuk, 12. Pipa saluran air masuk, 13. Diffuser, 14. Heat exchanger, 15. Air heater, 16. Test chamber, 17. Fan, 18. Contraction, 19. Panel kontrol

Langkah-langkah pengujian generator air cooler sebagai berikut:

1. Mengisi bak penampung air dengan konsentrasi air murni sebanyak 300 liter dicampur dengan konsentrasi silikon oksida 1%.
2. Meng-on-kan heater dengan menekan tombol on berwarna merah pada panel kontrol.
3. Meng-on-kan fan dengan kecepatan penuh.
4. Meng-on-kan pompa air pada keadaan *steady state*, yaitu pada saat temperatur heater sudah mencapai 95<sup>o</sup>C.
5. Mengatur laju aliran air yang bercampur silikon oksida dari bak penampungan ke heat exchanger dengan membuka putaran katup.
6. Pembukaan katup divariasikan sebanyak 5 kali untuk tiap konsentrasi silikon oksida.
7. Mencatat suhu udara masuk dan keluar heat exchanger, suhu air masuk dan keluar heat exchanger, dan laju aliran air pada sisi masukan.
8. Meng-off-kan pompa air.
9. Mengulangi langkah nomor 1 dengan konsentrasi silikon oksida 2%.
10. Meng-on-kan kembali pompa air.
11. Mengulangi langkah nomor 5 sampai nomor 7.
12. Meng-off-kan pompa air.
13. Mengulangi langkah nomor 9 sampai nomor 11 untuk konsentrasi silikon oksida 3%,4%, dan 5%.
14. Meng-off-kan pompa air, heater, dan fan.
15. Pengujian selesai.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian

Data dari hasil pengujian pengaruh konsentrasi silikon oksida dalam air terhadap efektivitas generator air cooler pada sistem PLTA ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian untuk konsentrasi silika 1%

Bukaan katup	Parameter ukur						
	V <sub>udara</sub> (m/s)	T <sub>heater</sub> (°C)	Q <sub>air</sub> (ltr/mnt)	T <sub>h in</sub> (°C)	T <sub>h out</sub> (°C)	T <sub>c in</sub> (°C)	T <sub>c out</sub> (°C)
1	1,1	95	0,54	52,50	29,75	27,50	28,75
2			1,08	52,25	29,25	28,25	29,00
3			1,49	53,25	32,25	27,25	28,25
4			2,03	51,75	29,50	28,50	29,00
5			2,57	52,00	29,50	28,50	29,00

Tabel 2. Hasil Pengujian untuk konsentrasi silika 2%

Bukaan katup	Parameter ukur						
	V <sub>udara</sub> (m/s)	T <sub>heater</sub> (°C)	Q <sub>air</sub> (ltr/mnt)	T <sub>h in</sub> (°C)	T <sub>h out</sub> (°C)	T <sub>c in</sub> (°C)	T <sub>c out</sub> (°C)
1	1,1	95	0,54	52,25	33,50	29,00	29,25
2			1,08	52,75	30,50	29,00	29,75
3			1,49	52,00	31,25	29,00	29,50
4			2,03	52,50	30,75	29,50	30,00
5			2,57	52,25	31,25	30,00	30,50

Tabel 3. Hasil Pengujian untuk konsentrasi silika 3%

Bukaan katup	Parameter ukur						
	V <sub>udara</sub> (m/s)	T <sub>heater</sub> (°C)	Q <sub>air</sub> (ltr/mnt)	T <sub>h in</sub> (°C)	T <sub>h out</sub> (°C)	T <sub>c in</sub> (°C)	T <sub>c out</sub> (°C)
1	1,1	95	0,54	50,25	33,00	30,00	31,00
2			1,08	52,00	31,50	30,00	30,75
3			1,49	52,75	40,25	31,00	31,75
4			2,03	52,25	31,25	30,00	30,50
5			2,57	52,50	31,25	30,50	30,75

Tabel 4. Hasil Pengujian untuk konsentrasi silika 4%

Bukaan katup	Parameter ukur						
	V <sub>udara</sub> (m/s)	T <sub>heater</sub> (°C)	Q <sub>air</sub> (ltr/mnt)	T <sub>h in</sub> (°C)	T <sub>h out</sub> (°C)	T <sub>c in</sub> (°C)	T <sub>c out</sub> (°C)
1	1,1	95	0,54	52,50	32,75	29,50	30,75
2			1,08	54	31,75	29,75	30,75
3			1,49	53,50	33,50	30	30,75
4			2,03	54,50	33,50	30	30,75
5			2,57	54	31,75	30,25	30,75

Tabel 5. Hasil Pengujian untuk konsentrasi silika 5%

Bukaan katup	Parameter ukur						
	V <sub>udara</sub> (m/s)	T <sub>heater</sub> (°C)	Q <sub>air</sub> (ltr/mnt)	T <sub>h in</sub> (°C)	T <sub>h out</sub> (°C)	T <sub>c in</sub> (°C)	T <sub>c out</sub> (°C)
1	1,1	95	0,54	52	29,50	27	28,50
2			1,08	53,25	29,75	28,25	29,25
3			1,49	52,50	31,75	27,50	28,50
4			2,03	53,75	31	29	29,50
5			2,57	53	31	28,50	29,25

#### Perhitungan data Hasil Pengujian

Untuk contoh perhitungan diambil dari data hasil pengujian pada konsentrasi silikon oksida 1% pada bukaan katup 1:

$$v_{udara} = 1,1 \text{ m/s (kecepatan udara)}$$

$$T_{heater} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{air} = 0,54 \text{ ltr/mnt} = 0,00009 \text{ m}^3/\text{s (laju aliran air konsentrat)}$$

$$T_{h in} = 52,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{h out} = 29,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c in} = 27,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c out} = 28,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Z = 0,3 \text{ m (tinggi saluran udara test chamber)}$$

$$L = 0,4 \text{ m (lebar saluran udara test chamber)}$$

Perhitungan perpindahan panas aktual( $q_{act}$ )

$$q_{act} = C_c (T_{c out} - T_{c in})$$

$$q_{act} = 37,48 (28,75 - 27,50) = 46,85 \text{ W}$$

Perhitungan perpindahan panas maksimum( $q_{max}$ )

$$q_{max} = C_{min} (T_{h in} - T_{c in})$$

$$q_{max} = 37,48 (52,50 - 27,50) = 937 \text{ W}$$

Perhitungan efektivitas generator air cooler

$$\varepsilon = \frac{q_a}{q_m} = \frac{4,8}{9} = 5\%$$

Perhitungan LMTD ( $\Delta T_{li}$ )

Alat penukar panas yang digunakan adalah alat penukar panas aliran melintang

$$\Delta T_{li} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad \text{dimana; } \Delta T_2 = T_{h\text{ out}} - T_{c\text{ in}} ; \Delta T_1 = T_{h\text{ in}} - T_{c\text{ out}}$$

$$\Delta T_{li} = \frac{2,25 - 23,75}{\ln\left(\frac{2,25}{23,75}\right)} = 9,12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas

$$U \cdot A = \frac{q_m}{\Delta T_{li}} ; U \cdot A = \frac{937}{9,12} = 102,74 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Perhitungan NTU

$$N = \frac{U \cdot A}{C_m} = 2,74$$

**Hasil Perhitungan**

Tabel 6. Hasil perhitungan untuk konsentrasi silikon oksida 1%

Q (ltr/mnt)	v <sub>udara</sub> (m/s)	Udara (°C)	Air (°C)	q <sub>act</sub> (W)	q <sub>max</sub> (W)	ε (%)	ΔT <sub>lm</sub> (°C)	U.A (W/°C)	NTU
		Δ T <sub>h</sub>	Δ T <sub>c</sub>						
0,54	1,1	22,75	1,25	46,85	937	5	9,12	102,74	2,74
1,08	1,1	23	0,75	56,19	1798,08	3,12	7,07	254,32	3,39
1,49	1,1	21	1	103,43	2689,18	3,85	12,43	216,35	2,09
2,03	1,1	22,25	0,5	70,43	3274,99	2,15	6,96	470,54	3,34
2,57	1,1	22,5	0,5	70,43	3310,21	2,13	7,02	471,54	3,35

Tabel 7. Hasil perhitungan untuk konsentrasi silikon oksida 2%

Q (ltr/mnt)	v <sub>udara</sub> (m/s)	Udara (°C)	Air (°C)	q <sub>act</sub> (W)	q <sub>max</sub> (W)	ε (%)	ΔT <sub>lm</sub> (°C)	U.A (W/°C)	NTU
		Δ T <sub>h</sub>	Δ T <sub>c</sub>						
0,54	1,1	18,75	0,25	9,37	871,41	1,07	11,34	76,84	2,05
1,08	1,1	22,25	0,75	56,19	1779,35	3,16	7,88	225,81	3,01
1,49	1,1	20,75	0,5	51,69	2377,51	2,17	8,79	270,48	2,62
2,03	1,1	21,75	0,5	70,38	3237,48	2,17	7,35	440,47	3,13
2,57	1,1	21	0,5	74,49	3314,58	2,25	7,18	461,64	3,09

Tabel 8. Hasil perhitungan untuk konsentrasi silikon oksida 3%

Q (ltr/mnt)	v <sub>udara</sub> (m/s)	Udara (°C)	Air (°C)	q <sub>act</sub> (W)	q <sub>max</sub> (W)	ε (%)	ΔT <sub>lm</sub> (°C)	U.A (W/°C)	NTU
		Δ T <sub>h</sub>	Δ T <sub>c</sub>						
0,54	1,1	17,25	1	37,43	757,96	4,94	8,74	86,72	2,32
1,08	1,1	20,5	0,75	56,15	1647,14	3,41	7,45	221,09	2,95
1,49	1,1	12,5	0,75	77,46	2246,34	3,45	14,33	156,76	1,52
2,03	1,1	21	0,5	70,39	3132,36	2,25	7,18	436,26	3,09
2,57	1,1	21,25	0,25	37,23	3276,02	1,14	6,24	525	3,53

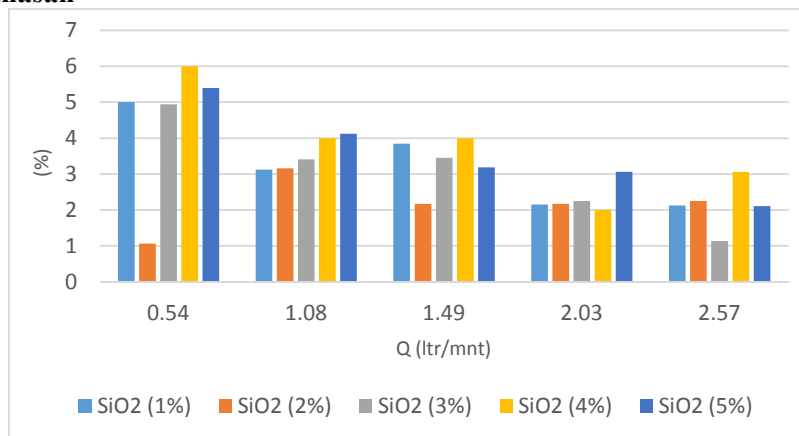
Tabel 9. Hasil perhitungan untuk konsentrasi silikon oksida 4%

Q (ltr/mnt)	v <sub>udara</sub> (m/s)	Udara (°C)	Air (°C)	q <sub>act</sub> (W)	q <sub>max</sub> (W)	ε (%)	ΔT <sub>lm</sub> (°C)	U.A (W/°C)	NTU
		Δ T <sub>h</sub>	Δ T <sub>c</sub>						
0,54	1,1	22,5	1,5	56,25	937	6	9,37	100	2,67
1,08	1,1	23,5	1	74,92	1873	4	8,11	230,95	3,08
1,49	1,1	20,75	1	103,38	2584,5	4	11,41	226,51	2,19
2,03	1,1	22,75	0,5	70,41	3485,05	2	8,92	390,7	2,77
2,57	1,1	22	0,75	111,64	3646,83	3,06	9,44	386,32	2,59

Tabel 10. Hasil perhitungan untuk konsentrasi silikon oksida 5%

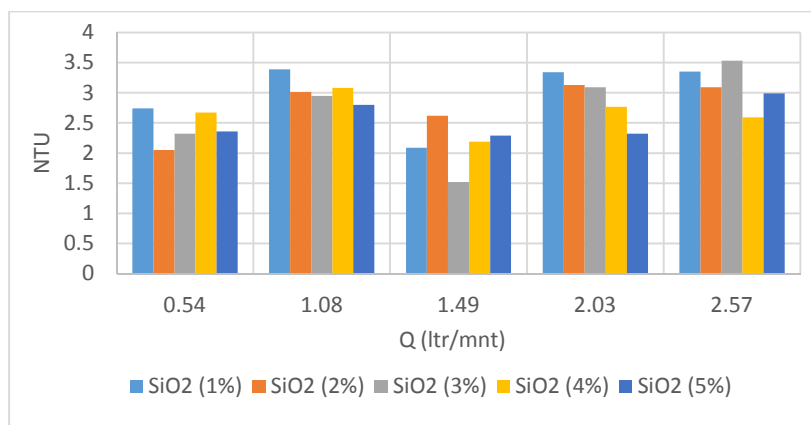
Q (ltr/mnt)	v <sub>udara</sub> (m/s)	Udara (°C)	Air (°C)	q <sub>act</sub> (W)	q <sub>max</sub> (W)	ε (%)	ΔT <sub>lm</sub> (°C)	U.A (W/°C)	NTU
		Δ T <sub>h</sub>	Δ T <sub>c</sub>						
0,54	1,1	19,75	1,25	46,8	861,12	5,4	9,73	88,5	2,36
1,08	1,1	22,25	1	74,91	1816,57	4,12	8,66	209,77	2,8
1,49	1,1	20	0,75	77,49	2428,02	3,19	10,28	236,19	2,29
2,03	1,1	21	0,75	105,57	3448,62	3,06	10,58	325,96	2,32
2,57	1,1	22,25	0,5	74,22	3525,21	2,11	7,94	443,98	2,99

**Grafik dan Pembahasan**



Gambar 2. Grafik hubungan antara variasi laju aliran air (Q) terhadap efektivitas generator air cooler untuk konsentrasi silikon oksida 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%

Dari Gambar 2, dapat dianalisa pengaruh konsentrasi silikon oksida dalam air dengan variasi laju aliran terhadap efektivitas generator air cooler. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa secara keseluruhan, efektivitas generator air cooler mengalami penurunan seiring bertambahnya laju aliran air. Dari lima konsentrasi silikon oksida yang diuji, efektivitas silikon oksida tertinggi terjadi pada konsentrasi silikon oksida 4% Hal ini dapat dilihat pada laju aliran air terendah 0,54 ltr/mnt dengan konsentrasi silikon oksida 4% diperoleh efektivitas tertinggi yaitu sebesar 6%.



Gambar 3. Grafik hubungan antara variasi laju aliran air (Q) terhadap NTU untuk konsentrasi silikon oksida 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara variasi laju aliran air terhadap NTU pada konsentrasi silikon oksida yang berbeda-beda. Dari grafik diketahui bahwa NTU cenderung meningkat seiring dengan kenaikan laju aliran air. Hal ini dikarenakan semakin besar laju aliran air maka penyerapan panas oleh air pendingin terhadap udara panas terjadi dengan sangat singkat sehingga perubahan temperatur  $\Delta T_i$  semakin kecil yang mengakibatkan meningkatnya nilai NTU. Dari grafik, NTU maksimum yaitu 3,5 terjadi pada laju aliran air terbesar 2,57 ltr/mnt dan pada konsentrasi silikon oksida 3%.

#### 4. KESIMPULAN

- Konsentrasi silikon oksida dalam air dan laju aliran berpengaruh terhadap NTU (*Number of Transfer Unit*) dan efektivitas generator air cooler. Laju aliran air dan konsentrasi silikon oksida yang tinggi menyebabkan NTU mengalami peningkatan, sedangkan laju aliran yang rendah dan konsentrasi silikon oksida yang tinggi menghasilkan efektivitas yang tinggi.
- NTU (*Number of Transfer Unit*) terbesar yaitu 3,5 diperoleh pada laju aliran 2,57 ltr/mnt dan konsentrasi silikon oksida 3%, sedangkan efektivitas generator air cooler tertinggi yaitu 6% terjadi pada laju aliran air 0,54 ltr/mnt dan konsentrasi silikon oksida 4%.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Khaeril. 2015. Efektivitas Alat Penukar Kalor Pada Sistem Pendingin Generator PLTA. Dalam *Mektek*, XIII (3):185-193.
- Adzima, M.F. 2015. Pemeliharaan Sistem Air Pendingin (Cooling Water System). Laporan Praktek Kerja Lapangan Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Cengel, Yunus A., 2002, "Heat Transfer : A Practical Approach ". *Second Edition. Mc. Graw Hill*.
- Firman., A.M. Shiddiq Yunus, M. Yusuf Yunus 2016. Sediment Characteristic on Hydropower Plant Bakaru, South Sulawesi. International Conference on Engineering Science and Nanotechnology 2016. 3-5 Agustus 2016 Hotel The Alana di Solo.
- Kahoul, A, H.M. Shafey, A.K. Abdel-Rahman. (2013). Performance STUDY of Generator Air Coolers for The Hydro-Power Plant at Aswan High Dam. *Journal of Engineering Sciences*, Assiut University, Faculty of Engineering, Vol. 41. No.3, May, 2013.
- Long, Ch, and S. Naser. 2009. "Heat Transfer". BookBoon, ISBN-13: 9788776814328.(online), (<http://www.ebooksdirectory.com/details.php?ebook=2152>), diakses 16 Nopember 2016.
- Prayogo, T., B. Budiman. 2009. Survei Potensi Pasir Kuarsa di Daerah Ketapang Propinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. Vol. II (126-132).
- Ranesh K. Shah and Dusan P. Sekulic, 2003, "Fundamentals of Heat Exchanger Design". John Wiley & Sons, Inc.
- Rasta, I Made. 2007. Pengaruh Laju Aliran Volume Chilled Water Terhadap NTU pada FCU Sistem AC Jenis Water Chiller. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. IX (72-79).