

Analisa Water Hammer Pada Pipa Sirkulasi Condensate Extraction PUMP PT PJB UBJOM PLTU Indramayu

Harun Al Rosyid

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN
Email : harunalrosyid@yahoo.com

Indah Handayasari

Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN
Email : ind_hdys@yahoo.com

Sugeng Tri Hariyanto

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Abstract

System piping network is very important in supporting indramayu production plant with an installed capacity of 3 x 330 MW. Where the water from the condenser flowed into deaerator located on the 3rd floor requires a pump called condensate extraction pump (CEP). Problems arising from design errors and material cause water hammer in the pipes CEP circulation. Water hammer can interfere with the performance of condensate extraction pump (CEP) because it can damage the pump circulation pipe structure with specified intervals. For that this research was conducted in order to minimize the impact of water hammer condensate circulation pipe extraction pump (CEP) by installing gas accumulator. Then will be used as a more detailed analysis of section Enjiniring SO Indramayu power plant turbines in order to make the system more reliable water condensate in operation. The research is focused on solving the problem of water hammer in the pipes condensate circulation extraction pump (CEP). This study was conducted based on a guidebook, P & ID (picture), field surveys and other supporting literature. In order to get the research is real and can be applied in the future.

Keywords: condensate water system, condensate extraction pump (CEP) CEP sirkulasi pipe, and water hammer

1. PENDAHULUAN

Dalam siklus PLTU air kondensasi steam dari *low pressure* turbin ditampung di *hotwell* kondensor. Dibutuhkan sebuah pompa untuk mengalirkan air kondensasi tersebut menuju deaerator. Dalam hal ini penulis akan membahas tentang sistem air kondensat pada PLTU Indramayu, dimana sistem air kondensat sangat penting dalam menunjang kelancaran operasi pada PLTU indramayu.

Jika salah satu bagian sistem air kondensat rusak dapat menyebabkan unit derating atau bahkan dapat menyebabkan unit trip. Untuk kehandalan sistem air kondensat maka perlu diperhitungkan efisiensi dan membuat *Failure mode and effect analysis* (FMEA) untuk mengenali modus/model kerusakan dan pengaruh dari kerusakan tersebut terhadap sebuah peralatan/aset yang kritikal untuk didapatkan task pengendalian dan pencegahannya sehingga dapat mengurangi *corrective maintenance* dan memperbesar jumlah *predictive maintenance*.

Pada PLTU indramayu ditemukan permasalahan pada pipa sirkulasi *condensate extraction pump* (CEP) yang mengalami *water hammer* yang

dapat mengganggu kinerja sistem air kondensat. Akibat *water hammer* dapat merusak struktur pipa sirkulasi dalam waktu tertentu. Hal ini dapat mengganggu sistem air kondensat yang berpengaruh pada proses start up unit. Hal ini disebabkan apabila struktur pipa sirkulasi CEP rusak membutuhkan waktu pemeliharaan yang lama.

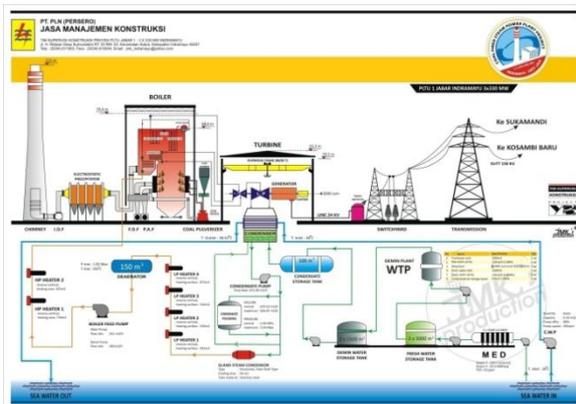
Penelitian ini bertujuan sebagai bahan analisa maupun modifikasi dari pihak enjiniring SO Turbin dikemudian hari pada pipa sirkulasi *condensate extraction pump* (CEP) PLTU Indramayu. Sehingga dapat menjadikan PLTU Indramayu yang handal dalam beroperasi dan meningkatkan *predictive maintenance*.

2. KAJIAN LITERATUR

2.1. Siklus Air dan Uap PLTU Indramayu

PLTU Indramayu menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama

secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Siklus Air dan Uap PLTU Indramayu
Sumber : Data PLTU Indramayu

Air laut dipompa menggunakan *circulating water pump* (CWP) menuju kondensor. Air laut sebagai media pendingin uap bekas turbin yang menuju ke kondensor. Di dalam kondensor, uap terkondensasi menjadi air kondensat, yang ditampung pada *hotwell*. Air kondensat dipompa oleh pompa kondensat ke pemanas tekanan rendah (*Low Pressure Heater*). Disini air dipanasi kemudian dimasukkan ke deaerator untuk menghilangkan gas udara oksigen, kemudian air ini dipompa oleh *boiler feedwater pump* menuju ke pemanas tekanan tinggi (*High Pressure Heater*) kemudian masuk ke *economizer*. Dari *economizer* air dimasukkan kedalam steam drum yang selanjutnya dialirkan ke pipa *down comer* untuk dipanaskan pada *wall tubes* oleh boiler.

Pada *wall tubes* air dipanasi hingga terbentuk uap air. Uap air ini dikumpulkan kembali pada *steam drum*, kemudian dipanaskan lebih lanjut pada *superheater*. Keluar dari *superheater* sudah berubah menjadi uap kering yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi dan selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin serta menggerakkan poros turbin. Hasil dari putaran poros turbin kemudian memutar rotor generator yang dihubungkan dengan kopling. Dari putaran generator ini kemudian dihasilkan energi listrik.

Uap bekas dari turbin selanjutnya dikondensasikan di kondensor dan bersama dengan air dari *make up water pump* dipompa lagi oleh *condensate extraction pump* masuk ke pemanas tekanan rendah, deaerator, *boiler feedwater pump*, *superheater*, *economizer*, dan

akhirnya menuju boiler untuk dipanaskan menjadi uap lagi. Demikian proses ini terus dilakukan berulang kali. Dalam menjalankan proses ini akan terjadi pengurangan jumlah air. Pengurangan air ini disebabkan oleh kebocoran kebocoran baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja. Untuk mengganti air yang hilang, maka perlu adanya penambahan air kedalam siklus. Kriteria air penambah (*make up water*) ini harus sama dengan air yang ada dalam siklus. (buku manual PT. PJB Service PLTU Indramayu, 2009)

2.2. Kondensor

Uap bekas (*exhaust steam*) dari turbin dikondensasikan di kondensor dengan cara mengalirkan air pendingin untuk menyerap panas laten uap dan air kondensatnya ditampung didalam *hotwell* kondensor. Proses kondensasi dari uap menjadi air menyebabkan volume berkurang sehingga timbul vakum. Vakum ini memungkinkan air penambah (*make up*) dan drain-drain dapat mengalir dengan sendirinya ke *hotwell*.

Hotwell menjadi tempat persediaan air dalam sistem pengaturan aliran dan sekaligus memberi tekanan pada sisi hisap pompa kondensat. Level *hotwell* dikontrol agar tetap pada level normal dengan memasukkan air penambah dari tangki air penambah (*Condensate Storage Tank*). Jika air kondensat ke *hotwell* naik melebihi batas normal, maka katup kontrol (CV) dari air penambah akan menutup.

Bila level *hotwell* naik terus, maka kelebihan air di *hotwell* dibuang kembali ke *Condensate Storage Tank* dengan membuka katup kontrol yang terpasang di sisi discharge pompa kondensat. Bila level *hotwell* turun sangat rendah, emergency sistem *make up* yang kapasitasnya 25 % MCR dapat dijalankan untuk mengatasi kekurangan dalam sistem ini

2.3. Gland Seal Condenser

Selanjutnya air kondensat dialirkan ke deaerator dengan melalui beberapa pemanas tekanan rendah menggunakan *condensate extraction pump*. Diantara peralatan penukar kalor sebagaimana kondensor utama adalah GSC (*gland steam condenser*). GSC berfungsi untuk mendinginkan uap dari sistem perapat poros turbin. Uap tersebut didinginkan dengan menggunakan air dari sistem air kondensat sehingga temperatur air kondensat naik sedang

uapnya terkondensasi. Air kondensasi tersebut kemudian dialirkan ke kondensor utama, sedangkan gas-gas yang tidak terkondensasi dibuang ke atmosfer dengan exhaust fan.

2.4 Mekanisme Terjadinya Water Hammer

Water hammer adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang diakibatkan oleh penutupan valve yang cepat ataupun matinya pompa secara tiba-tiba. Hal ini akan berdampak buruk terhadap instalasi perpipaan terutama pipa sebagai jalur utama fluida dialirkan. Perubahan tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya dampak yang buruk bagi sistem perpipaan, diantaranya adalah rusaknya atau pecahnya pipa system dengan konsekuensi seluruh system peralatan harus mati total. Pemilihan material pipa mempengaruhi ketahanan system terhadap dampak *water hammer* dengan memperhitungkan biaya yang dikeluarkan.

Material yang terlalu tipis akan mengakibatkan pipa tersebut kurang mampu untuk menerima dampak yang ditimbulkan oleh *water hammer*. Sebaliknya apabila terlalu tebal maka biaya yang akan timbul akan membengkak. Perbedaan karakter dari tiap-tiap material melandasi divariasikannya material pipa pada penelitian kali ini, untuk mencoba mengetahui ketahanan dari masing-masing pipa terhadap pengaruh *water hammer*.

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya fenomena *water hammer*, antara lain:

- Penutupan katup tiba-tiba
- Pada waktu pertama kali pompa dinyalakan
- Terblokirnya jalur pipa
- Perubahan kecepatan dan temperatur

Fenomena *water hammer* dipengaruhi oleh waktu penutupan katup. Penutupan katup yang cepat mengakibatkan gelombang tekanan yang terjadi akan semakin besar. Hal ini mengakibatkan perubahan deformasi pada dinding pipa akan semakin besar. Pada percobaan ini divariasikannya waktu penutupan katup agar dapat mengetahui efek *water hammer* terhadap deformasi pada dinding pipa.

Pada suatu instalasi pompa sentrifugal yang digunakan untuk mendistribusikan fluida dari satu tempat ke tempat lain sering ditemukan terjadinya kegagalan beroperasi pada instalasi tersebut. Kegagalan tersebut nantinya akan

menyebabkan kenaikan tekanan yang sangat tajam sehingga menyerupai suatu pukulan yang disebut gejala pukulan air (*water hammer*).

Water hammer dapat terjadi pada pompa apabila pompa sedang bekerja tiba – tiba mati mendadak (karena dimatikan atau listrik padam), maka aliran air akan terhalang impeller atau valve sehingga mengalami perlambatan secara cepat. Disini terjadi lonjakan tekanan pada pompa dan pipa seperti penutupan katup secara tiba – tiba. Lonjakan tekanan dapat terjadi jika pompa dijalankan dengan tiba- tiba atau katup dibuka secara cepat. Besarnya lonjakan atau besarnya tekanan karena benturan air (momentum dari fluida), tergantung pada laju perubahan kecepatan aliran. Dalam hal ini, kondisi katup tergantung pada kecepatan penutupan atau pembukaan, sedangkan pada pompa tergantung pola menjalankan dan menghentikan pompa.

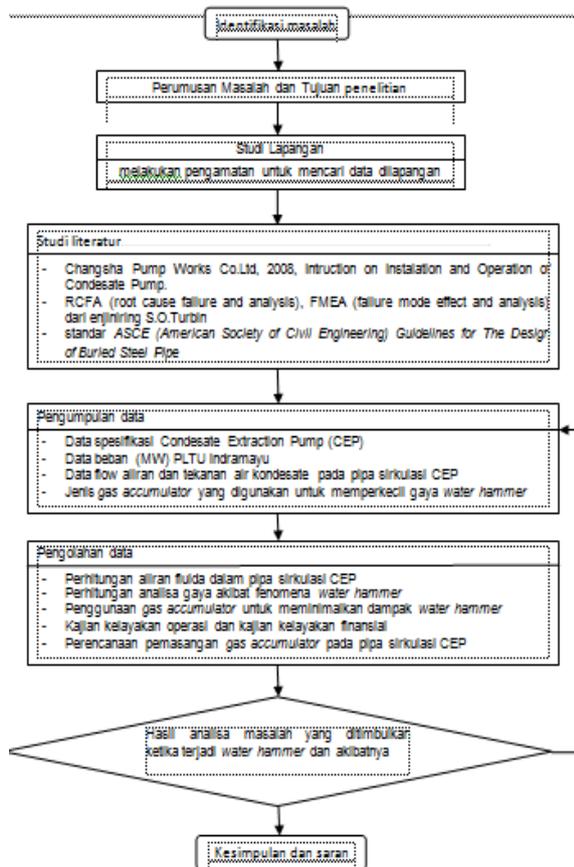
Selain hal tersebut ada beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi besarnya tekanan karena *water hammer* antara lain :

- panjang pipa
- kecepatan aliran
- karakteristik pompa.

Didalam membahas proses terjadinya *water hammer* berarti harus membahas mengenai perjalanan gelombang tekanan melalui medium air di dalam saluran pipa. Pada gambar akan dijelaskan proses penjalaran gelombang tekanan tersebut untuk kasus penutupan katup secara tiba-tiba.

3. METODE PENELITIAN

Pada dasarnya, metodologi penelitian yang dilakukan peneliti dapat dibedakan menjadi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data dan pengolahan data, serta tahap analisa dan kesimpulan. Secara skematis, metodologi penelitian ini ditunjukkan dalam gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.1 Teknik Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh dari dokumen perusahaan, dari pengamatan, maupun dari hasil wawancara dengan karyawan perusahaan. Pengambilan data dilakukan di perusahaan sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan, meliputi data-data : spesifikasi *Condensate Extraction Pump* (CEP), beban (MW) PLTU Indramayu, flow aliran dan tekanan air kondesate pada pipa sirkulasi CEP, jenis *gas accumulator* yang digunakan untuk memperkecil gaya *water hammer*.

3.2 Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan berdasarkan literatur yang digunakan dengan asumsi-asumsi yang telah ditetapkan sebelumnya. Pengolahan data dilakukan dengan melakukan perhitungan manual oleh peneliti.

Yang dilakukan meliputi:

- a. Perhitungan aliran fluida dalam pipa sirkulasi CEP. Merupakan perhitungan yang digunakan untuk mengetahui berapa besar

- bilangan reynold aliran fluida dalam pipa sirkulasi CEP (*condensate extraction pump*).
- b. Perhitungan analisis gaya akibat fenomena *water hammer* dari standar ASCE (*American Society of Civil Engineering Guidelines for The Design of Buried Steel Pipe*). Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui tebal pipa agar dapat menahan tekanan yang terjadi (tekanan operasi + kenaikan tekanan akibat *water hammer*) Perhitungan untuk mengetahui tegangan gabungan (*hoop stress*) akibat tekanan operasi dan kenaikan tekanan akibat *water hammer* tidak lebih besar SMYS (*Specified Minimum Yield strength*).
- c. Penggunaan *gas accumulator* untuk meminimalkan dampak terjadinya *water hammer*. Pemilihan metode atau cara memecahkan masalah *water hammer* yang terjadi pada pipa sirkulasi CEP dengan menggunakan *gas accumulator*
- d. Kajian kelayakan operasi dan kajian kelayakan financial. Perhitungan ini untuk mengetahui kerugian apabila terjadi kerusakan akibat *water hammer* dan mengetahui berapa biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan *gas accumulator*.
- e. Perencanaan pemasangan *gas accumulator* pada pipa sirkulasi CEP. Untuk menentukan lokasi pemasangan *gas accumulator* pada pipa sirkulasi CEP.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Aliran Fluida Dalam Pipa Sirkulasi CEP

Condensate extraction pump pada PLTU Indramayu memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Tipe : Vertical, drum like, 6-stage guide vane, centrifugal Pump.
- Kapasitas : 872.5 m³/h
- Power : 827 kW
- Head : 288 mH₂O
- Minimum flow : 200 m³/h
- Berat : 13500 kg
- Efisiensi : 83%
- Shaft power : 827 KW
- Kecepatan putaran : 1480 Rpm
- NPSHr : 2.8 m
- Tekanan inlet : 8.5 Kpa
- Arah putaran : Anticlockwise dari arah motor

Menentukan debit aliran dengan persamaan (4.1)

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{872}{3600} = 0,24222 \text{ m}^3/\text{s}$$

Menentukan nilai kecepatan fluida dengan persamaan (4.2)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,24222}{0,0333} = 7,2713 \text{ m/s}$$

Menentukan Nilai Reynolds dengan persamaan (4.3)

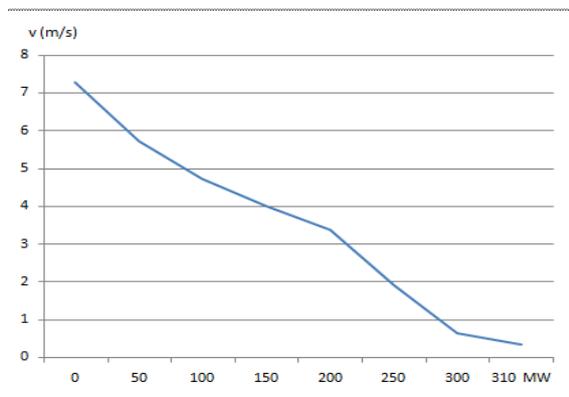
$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu} = \frac{7,2713 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,206 \text{ m}}{0,000629 \text{ kg/ms}} = 2381,1492$$

$Re = 2467,6776 > 2300$ maka jenis aliran kondensat adalah aliran turbulen.

Untuk melengkapi hasil penelitian ini penulis juga menghitung bilangan reynold dengan beban yang berbeda, berikut hasil perhitungannya :

Tabel 1. Hasil perhitungan bilangan reynold

beban(MW)	P (kg/m ²)	Q(m ³ /s)	T(°C)	v (m/s)	Re
0	303875.4306	0.2422	42.08	7.2706	2381.1492
50	302855.7144	0.1905	42.56	5.7196	1873.1970
100	301835.9982	0.1575	42.98	4.7273	1575.7740
150	299796.5657	0.1330	43.43	3.9935	1331.1749
200	298776.8495	0.1116	43.83	3.3515	1137.3956
250	293678.2685	0.0628	44.10	1.8839	639.3322
300	278382.5253	0.0211	44.34	0.6331	214.8464
310	270224.7957	0.0111	44.47	0.3329	112.9698



Gambar 3. Grafik hubungan beban unit dengan kecepatan fluida dalam pipa sirkulasi CEP

Dari tabel perhitungan dan grafik dapat diketahui bahwa kecepatan aliran pada saat start up unit pada pipa sirkulasi *condensate extraction pump* (CEP) cenderung tinggi 7,27 m/s. Hal ini disebabkan sebagian besar aliran air kondensat yang dipompakan CEP kembali lagi menuju hotwell karena kebutuhan *make up water* ke unit masih sedikit.

Setelah unit menaikan beban maka kebutuhan *make up water* semakin tinggi yang mengakibatkan air kondensat yang kembali ke hotwell melalui pipa sirkulasi menjadi berkurang sehingga berkurang pula kecepatan aliran fluida dalam pipa sirkulasi tersebut. Kecepatan fluida yang tinggi pada saat start unit dapat menyebabkan *water hammer* pada pipa sirkulasi.

4.2 . Perhitungan Tebal Pipa Sirkulasi

Tebal pipa dihitung berdasarkan rumus yang ada, kemudian hasil dari perhitungan akan disesuaikan dengan tebal pipa yang telah distandartkan pada table API 5 L. Data-data yang diperlukan untuk perhitungan adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Data untuk memilih tebal pipa.

Parameter	Unit	Satuan
Tekanan (P)	1109061,4327	kg/m ²
Diameter (D)	0,219	m
SMYS	24958924,8714	kg/m ²
Joint Factor (E)	1	

4.3. Asumsi Kerugian

Pada saat struktur pipa sirkulasi mengalami kerusakan akibat *water hammer* yang dapat menyebabkan kegagalan start up unit. Untuk perbaikan pipa sirkulasi membutuhkan waktu perbaikan yang lama (± 3 hari). Sehingga dapat dihitung asumsi kerugian akibat kehilangan produksi listrik sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Total kerugian} &= \text{lama perbaikan per hari} \times \text{harga per kwh} \times \text{kapasitas netto produksi pembangkit} \\ &= 3 \times \text{Rp } 760 \times 290 \text{ MW} \\ &= \text{Rp } 15.868.800.000,- \end{aligned}$$

4.4. Kajian Kelayakan Finansial

- Pekerjaan pemasangan *gas accumulator* akan dilakukan pihak ke-3 selaku supplier *gas accumulator*.
- Kebutuhan material *gas accumulator* untuk satu unit dengan spesifikasi dapat menahan tekanan gabungan (tekanan desain dan akibat *water hammer*) sebesar $1109061,4327 \text{ kg/m}^2$ sesuai perhitungan di atas dengan harga Rp 30.000.000,-
- Jasa pemasangan *gas accumulator* oleh pihak supplier sebesar Rp 7.500.000,-
- Total biaya pemasangan = biaya material + biaya jasa pemasangan
= Rp 20.000.000 + Rp 7.500.000
= Rp 37.500.000,-

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka penulis dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut :

- Dari hasil perhitungan analisis gaya pada pipa sirkulasi CEP akibat *water hammer* tegangan yang terjadi pada pipa sirkulasi $19237950, 2372 \text{ kg/m}^2 > 0,72 \times \text{SMYS}$ ($24958924.8714 \text{ kg/m}^2$), lebih besar dari tegangan ijin. Sedangkan untuk tebal pipa sirkulasi yang dipilih (0.0065 m) kurang dari tebal minimal dari hasil perhitungan dengan standar ASCE sebesar 0,0082 m dan perhitungan dengan standar ASME B31.4 sebesar 0,0099 m. Sehingga kekuatan pipa sirkulasi CEP kurang dalam menahan gaya akibat terjadinya *water hammer*.
- Untuk meminimalkan dampak terjadinya *water hammer* pada pipa sirkulasi dengan cara menggunakan *gas accumulator*. Berdasarkan kajian kelayakan operasi dan finansial, kerugian jika terjadi kerusakan struktur pipa sirkulasi akan menyebabkan unit mati ± 3 hari dengan total kerugian sebesar Rp 15.868.800.000,-. Sedangkan biaya pemasangan *gas accumulator* sebesar Rp 37.500.000,-.

Daftar Pustaka

ASCE (American Society of Civil Engineering) *Guidelines for The Design of Buried Steel Pipe*. July 2001

ASME B31.4-1994 *Process Piping Code*.

Changsha Pump Works Co.Ltd, 2008, Intruccion on Instalation and Operation of Condesate Pump.

Enjiniring S.O. Turbin PLTU Indramayu, Data FMEA (*failure mode and effect analisys*), 2014.

Flow Diagram of Condesate Piping, PLTU Indramayu 3x330 MW Power Plant, Document No. F744S-J1002-03, 2008

Flow Diagram of Condesate System, PLTU Indramayu 3x330 MW Power Plant, Document No. F744S-J1001, 2008

<http://www.shockguard.co.uk/shockguard.html>
IKY17.1-01-35 IK Pengoperasian Condesate system, 2012

McAllister, W. E. *Pipeline Rules of Thumb Hanbook*. Fifth Edition. Boston : Gulf Professional Publishing. 2002

Pradana, Andika Bagus. & Djoni, I Made Arya. (2013). 'Studi Numerik Variasi Pemilihan Gas Accumulator Untuk Pencegahan Water Hammer Pada Sistem Perpipaan 1 Kilometer dan Aliran 800 GPM'. Jurnal teknik pomits vol. 2, no. 2.

PT PJB Services, 2009, Tubine dan Auxiliary, Management Trainee.

PT PLN (Persero) Unit Pendidikan Dan Pelatihan Suralaya, 2008, Mekanika Fluida, Kursus Prajabatan D1 Operasi & Teknisi Pemeliharaan Pembangkit Thermal.