



Perancangan Alat Otomasi Leakage Oil untuk Mengatasi Akibat Kebocoran Oli Hidrolik Actuator Governor PLTA

Dimas Indra Pradikta^{1*}, Alvian Wicaksono², Nuzulia Khoiriyah³

¹⁻³Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Indonesia

*Email: dimasindrapradikta@gmail.com¹, 31602300076@std.unissulla.ac.id², nuzulia@unissulla.ac.id³

*Penulis Korespondensi: dimasindrapradikta@gmail.com

Abstract. *This study discusses the design of an Oil Leakage automation tool to overcome hydraulic oil leaks in the Actuator Governor of the X Hydroelectric Power Plant. The main problem faced is the emergence of an Actuator Level Oil Drip Tray alarm due to oil leaks, which results in operational disruptions and potential start failures. The research method is carried out through identifying the root cause using a fishbone diagram, analyzing alternative solutions with Decision Matrix Analysis, and implementing an automation system based on a float level switch. The results of the study indicate that the Oil Leakage automation tool is effective in automatically returning leaked oil to the governor sump tank, increasing unit reliability, reducing the number of Service Requests related to oil disturbances, and saving costs of up to IDR 63 million per year. Economically, the analysis results show a positive Net Present Value (NPV) of IDR 233 million, a Benefit-Cost Ratio (BCR) of 26.49, and an Internal Rate of Return (IRR) of 699%, which indicates that the project is very financially feasible. In addition to providing cost-efficiency benefits, this tool also contributes to reducing hazardous waste, improving occupational safety, and supporting zero-accident programs and environmental sustainability in the power generation sector.*

Keywords: *Actuator Governor; Hydraulic Oil Leakage; Hydroelectric Power Plant; Leakage Oil Automation; Financial Analysis.*

Abstrak. Penelitian ini membahas perancangan alat otomasi Leakage Oil untuk mengatasi kebocoran oli hidrolik pada Actuator Governor Pembangkit Listrik Tenaga Air X. Permasalahan utama yang dihadapi adalah munculnya alarm Actuator Level Oil Drip Tray akibat kebocoran oli, yang mengakibatkan gangguan operasional dan potensi start failure. Metode penelitian dilakukan melalui identifikasi akar masalah menggunakan fishbone diagram, analisis alternatif solusi dengan Decision Matrix Analysis, serta implementasi sistem otomasi berbasis float level switch. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat otomasi Leakage Oil efektif mengembalikan oli bocor secara otomatis ke sumptank governor, meningkatkan keandalan unit, menekan jumlah Service Request terkait gangguan oli, dan menghemat biaya hingga Rp 63 juta per tahun. Secara ekonomi, hasil analisis menunjukkan nilai Net Present Value (NPV) positif sebesar Rp 233 juta, Benefit-Cost Ratio (BCR) sebesar 26,49, serta Internal Rate of Return (IRR) mencapai 699%, yang menandakan proyek sangat layak secara finansial. Selain memberikan manfaat efisiensi biaya, alat ini juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah B3, peningkatan keselamatan kerja, dan mendukung program zero accident serta keberlanjutan lingkungan di sektor pembangkitan listrik.

Kata kunci: *Actuator Governor; Analisis Keuangan; Kebocoran Oli Hidrolik; Otomasi Leakage Oil; Pembangkit Listrik Tenaga Air.*

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan sektor industri. Salah satu sumber energi yang andal dan ramah lingkungan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air yang memanfaatkan energi potensial air untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi Listrik (J.Windarta, 2020). Keandalan sistem pembangkitan menjadi kunci utama dalam menjamin kontinuitas suplai listrik ke masyarakat dan industri. Pembangkit Listrik Tenaga Air sangat mengandalkan keandalan sistem mekanik dan hidrolik khususnya pada sistem *governor* yang berfungsi mengatur

kecepatan turbin untuk menyesuaikan daya output terhadap permintaan beban listrik (B.Simanjorang, 2021). Salah satu komponen vital dalam sistem ini adalah actuator *governor* yang dikendalikan melalui tekanan oli hidrolik dari servo dan sumptank *governor*. Ketika terjadi kebocoran oli pada sistem ini, maka fungsi *governor* terganggu dan dapat menyebabkan unit pembangkit gagal beroperasi atau bahkan trip secara mendadak (M.Riduwan, 2019).

PT X merupakan salah satu perusahaan yang berperan strategis dalam mendukung pasokan energi listrik nasional. Sebagai unit pembangkit utama Pembangkit listrik tenaga air tidak hanya mendukung keberlanjutan pasokan listrik nasional tetapi juga menjadi bagian dari upaya perusahaan dalam mengembangkan energi ramah lingkungan dan efisien. Pembangkit Listrik Tenaga Air ini memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas sistem kelistrikan dan memberikan kontribusi signifikan terhadap bauran energi nasional yang lebih bersih.

Keandalan dan kesiapan unit pada Pembangkit Listrik Tenaga Air sangat dipengaruhi oleh performa komponen utama, salah satunya adalah sistem *governor* yang mengatur kecepatan turbin melalui pengendalian tekanan oli hidrolik pada actuator. *Governor* adalah pengontrol utama turbin hidrolik dan mengontrol kecepatan atau output daya turbin dengan menggerakkan posisi *wicket gate* untuk mengubah aliran air melalui turbin. Dalam literatur, *governor* sering disebut sebagai sistem kontrol dan terdiri dari kontrol elektronik dan aktuator (perintah silinder hidrolik oleh penguat hidrolik). *Governor* berperan dalam mengendalikan aliran air yang masuk ke turbin agar kecepatan dan daya keluaran generator sesuai dengan kebutuhan pembangkitan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan beban pada pembangkit hidro dapat dilakukan melalui pengendalian sistem kontrol pada *governor* (T.Rathnayaka, 2018).

Saat unit beroperasi di *Event list Human Machine Interface* Pembangkit Listrik Tenaga Air X muncul alarm *Actuator Level Oil Drip tray*. Hal ini menyebabkan Pembangkit Listrik Tenaga Air X tidak bisa dioperasikan karna muncul nya indikasi *startblocked* pada *secuence start up* unit. Setelah dilakukan pengecekan ditemukan adanya bocoran oli pada *actuator governor*. Penyebab bocoran oli berasal dari kerusakan pada *stopper actuator governor*. Untuk mengatasi *start blocked* unit akibat aktifnya alarm *Actuator Level Oil Drip tray* dilakukan pengurusan bocoran *oil actuator governor* secara manual oleh operator agar *secuence start* bisa dilanjutkan. Pengurusan bocoran *oil actuator governor secara manual* dianggap kurang efektif karna beresiko unit gagal start (*Start Failure*).

Setelah unit beroperasi *interval bocoran oil actuator governor* menjadi lebih tinggi karena adanya perubahan beban unit yang menyebabkan respon dari *actuator governor* juga lebih cepat, tinggi interval bocoran *oil actuator governor* menyebabkan *level oil drip high*

sehingga bocoran oli tidak kembali ke *sumptank oil governor*. untuk mengembalikan bocoran oli yang tertampung pada *drip tray governor* maka dilakukan pengurasan bocoran oli secara manual oleh operator.

Pengurasan oli secara manual oleh operator terbukti kurang efektif dan berisiko terhadap gangguan operasional. Selain itu, kebocoran oli berulang meningkatkan potensi pencemaran lingkungan serta membebani biaya pemeliharaan. Berdasarkan evaluasi, dilakukan Perancangan berupa desain alat Otomasi *Leakage Oil* melalui modifikasi sistem hidrolik dengan menambahkan *leakage oil pump* otomatis sebagai solusi untuk menjaga keandalan unit dan mendukung program *zero accident*.

2. KAJIAN TEORITIS

Peralatan Pembangkit

Keandalan dan kesiapan unit pembangkit listrik sangat bergantung kepada peralatan utama dan peralatan bantu pada suatu pembangkit. Keduanya harus dalam keadaan prima, sehingga unit dapat siap beroperasi kapanpun ketika dikehendaki. *Governor* didesain agar putaran turbin-generator konstan dalam *range* yang dikehendaki dengan menambah atau mengurangi debit air yang masuk ke runner turbin untuk mempertahankan keseimbangan daya antara masukan daya (*power input*) dan permintaan daya (*power demand*). Pembangkit listrik tenaga air menggunakan turbin hidrolik untuk mengubah energi potensial air yang mengalir menjadi listrik. Pembangkit listrik ini terdiri dari reservoir, terowongan air, tangki gelombang, *penstock*, turbin hidrolik, *Governor*, generator dan jaringan.

Governor

Governor adalah pengontrol utama turbin hidrolik dan mengontrol kecepatan atau output daya turbin dengan memodifikasi posisi *wicket gate* untuk mengubah aliran air melalui turbin. *Governor* sering disebut sebagai sistem kontrol dan terdiri dari kontrol elektronik dan aktuator (perintah silinder hidrolik oleh penguat hidrolik). Pengatur turbin hidrolik dirancang untuk menanggapi permintaan dasar berikut dari sistem tenaga: untuk memulai, mempertahankan, dan menyesuaikan kecepatan unit untuk sinkronisasi dengan unit/jaringan yang berjalan; untuk mempertahankan frekuensi sistem setelah sinkronisasi dengan menyesuaikan keluaran turbin dengan perubahan beban; untuk berbagi perubahan beban dengan unit lain secara terencana dalam menanggapi kesalahan frekuensi sistem; untuk menyesuaikan *output* unit dalam menanggapi operator atau perintah pengawasan lainnya; untuk melakukan *shutdown* normal atau *emergency over speed shut down* untuk perlindungan.

Sistem Governor Pembangkit listrik tenaga air

Proses pengaturan pada putaran turbin-generator Pembangkit listrik tenaga air agar konstan, otomatis *governor* perlu menjaga tekanan pada actuator agar posisi katup bukaan air sesuai dengan set-point yang diinginkan oleh sistem. Untuk menjaga tekanan pada *actuator*, *governor* dilengkapi dengan beberapa komponen diantaranya adalah sebagai berikut (Muthukumar, 2010) :

Tank A/O receiver governor: berfungsi sebagai penampung minyak dan udara yang selanjutnya akan disalurkan pada servo.

Sump tank Governor: Berfungsi sebagai penampung minyak utama, tempat kembalinya minyak dari servo dan sumber minyak utama pada Tank A/O Receiver.

Leakage Oil Pump

Leakage oil pump merupakan salah satu komponen penting dalam sistem sirkulasi oli pada pembangkit listrik tenaga air khususnya yang menggunakan sistem kendali hidrolik seperti pada actuator *governor*. Fungsi utama dari pompa ini adalah untuk mengembalikan oli bocor yang berasal dari beberapa komponen hidrolik seperti *servo valve*, *runner*, dan *guide vane* kembali ke dalam sumptank *governor* yang berperan sebagai reservoir utama sistem.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode perancangan rekayasa dengan pendekatan praktis dan sistematis yang menggabungkan analisis teknis dan penerapan langsung di lapangan. Penelitian dilaksanakan di Pembangkit listrik tenaga air X pada periode Maret–Juni 2025, dengan penyusunan laporan pada Juli 2025. Populasi penelitian mencakup seluruh sistem actuator governor, sedangkan sampel difokuskan pada komponen yang mengalami kebocoran oli. Instrumen penelitian berupa data katalog material, data aset unit, serta dokumen teknis sistem hidrolik. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung (*data primer*) serta studi dokumentasi (*data sekunder*) seperti histori *service request*, data *top-up* oli, dan dokumen teknis. Teknik analisis data menggunakan analisis kualitatif melalui *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi akar masalah, analisis kuantitatif terhadap tren gangguan dan kinerja pembangkit, serta analisis finansial untuk menghitung efisiensi biaya sebelum dan sesudah implementasi perancangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyebab Utama Munculnya Alarm Actuator Level Oil *Drip tray*

Identifikasi permasalahan diawali dengan pengamatan terhadap kondisi sistem *governor* pada Pembangkit listrik tenaga air X. Dalam mengetahui akar permasalahan dari munculnya *alarm Actuator Level Oil Drip tray* pada unit Pembangkit listrik tenaga air X, dilakukan serangkaian identifikasi masalah yang diawali dengan pengumpulan data lapangan, observasi operasional unit, serta evaluasi riwayat gangguan pada sistem *governor*. Permasalahan ini pertama kali terdeteksi melalui alarm yang muncul pada sistem *Human Machine Interface* (HMI) dan menyebabkan unit tidak dapat dilakukan start-up karena status start blocked.

Pada tanggal 24 september 2017 di HMI Pembangkit listrik tenaga air X pertama kali muncul *alarm actuator oil level drip tray* kemudian dilakukan pemantauan dengan operasi selama 5 jam bocoran oli yang tertampung sudah 2.5 liter, dan pencegahan sementara bocoran dengan pemindahan mode *control governor* ke mode manual. Kemudian pada bulan oktober 2017 muncul lagi alarm yang sama dengan kondisi di lokal level oli bocoran lebih tinggi.

Pada akhir bulan november 2017, muncul lagi alarm yang sama dan tidak bisa release saat di reset pada *unit control panel* setelah dilakukan pengecekan ditemukan terdapat bocoran *actuator oil governor* sehingga penampungan *drip tray oil governor* tinggi serta mengaktifkan *relay Mechanical Fault*, Pembangkit listrik tenaga air X *Not Ready*. Untuk penormalan dilakukan pengurasan oli pada penampungan sebanyak 45 liter.



Gambar 1. *Relay Mechanical Fault* Aktif.

Kejadian yang sama terulang lagi keesokan harinya pada bulan yang sama, dengan total pengurasan oli bocoran sebanyak 90 liter. Puncak nya adalah pada bulan desember 2017, sering muncul alarm berulang dengan kejadian yang sama hal tersebut terlihat dari banyaknya blanko *Service Request* (SR) yang muncul terkait gangguan pada bocoran oli pada *drip tray governor*



Gambar 2. Grafik Jumlah *Service Request* Sebelum Penerapan Perancangan.

Dari garfik dapat dilihat jumlah pengajuan SR dari tahun 2017 s/d 2019 dengan judul pengurasan oil *governor actuator drip tray* dan *top up* oli untuk *sumptank governor* X. Terbitnya SR FLM terkait pengurasan bocoran oli *governor* dibarengi dengan terbitnya SR FLM *top up oil sumptank oil governor*. SR mengenai *top up oil sumptank governor* yang terbit tidak sebanyak SR pengurasan oli *governor* karena saat dilakukan pengurasan, oli yang dikuras sementara diendapkan dulu dengan beberapa ember kemudian baru dimasukan lagi ke *sumptank oil governor* (bukan oli baru), namun saat oli endapan kosong dan level oli *sumptank governor* low, yang dimasukan adalah oli yang baru dengan terbitnya SR *Top up Oil Sumptank governor*.



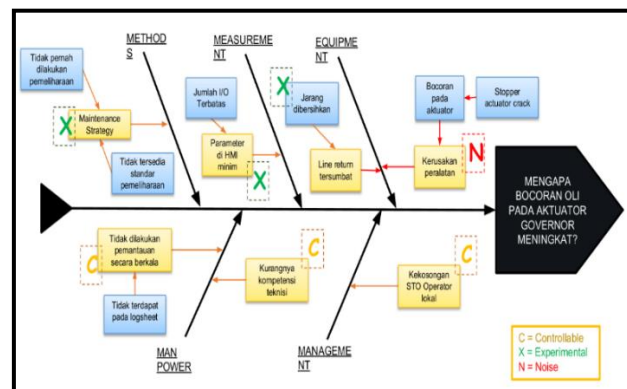
Gambar 3. Plat crack/retak dan kondisi *drip tray oil* penuh.

Setelah dilakukan pengecekan bocoran pada aktuator *governor*, ditemukan adanya *crack*/retak pada bagian plat bagian dalam *actuator governor* yang menyebabkan bocoran oli lebih cepat memenuhi penampungan oli *drip tray*.



Gambar 4. Pengurasan Oli Pada *Drip*tray.

Diagram fishbone digunakan untuk melihat bahwa hal hal yang menjadi penyebab meningkatnya bocoran oli aktuator govenor , akar masalah digolongkan kedalam *controllable*, *experimental* dan *noise*.



Gambar 5. Fishbone Diagram Bocoran Oli Pada *Actuator Governor*.

Dari akar masalah yang ada, maka ditentukan solusi dari masalah utama yaitu perlu adanya *improvement* atau perbaikan pada peralatan, perbaikan tersebut mengacu kepada 3 opsi yaitu mengatasi solusi bocoran oil dengan cara manual yaitu modifikasi pada sistem hidrolik *governor* berupa penambahan pompa *leakage* untuk menguras oli pada tampungan *drip tray* secara otomatis, melakukan pemindahan dan pembersihan oli bocoran oleh operator secara berkala dan yang terakhir penggantian part *actuator governor*.

Penelitian oleh Xu (2015) menunjukkan bahwa sistem hidrolik pembangkit air sangat sensitif terhadap kerusakan minor seperti seal bocor, *crack* pada aktuator, atau malfungsi *servo valve* yang dapat menyebabkan penurunan performa dan ketidakstabilan beban. Studi tersebut merekomendasikan pentingnya deteksi dini dan solusi otomatis untuk memitigasi kebocoran. Penelitian oleh Siregar (2020) pada sistem Pembangkit listrik tenaga air juga menunjukkan

bahwa *alarm drip tray oil level* merupakan indikator kritis kerusakan mekanik internal actuator yang perlu segera direspons dengan solusi jangka panjang, bukan hanya perbaikan manual.

Dari data yang diperoleh selama 2017–2019, ditemukan bahwa gangguan akibat bocoran oli ini bukanlah kejadian insidental melainkan bersifat sistemik. SR (*Service Request*) terkait pengurusan oli dan *top up* menunjukkan peningkatan signifikan selama periode tersebut. Hal ini menandakan bahwa solusi manual bersifat reaktif dan tidak menyelesaikan akar masalah. Situasi ini menunjukkan bahwa sistem monitoring oli yang ada belum dilengkapi dengan mekanisme pengendalian otomatis. Kondisi lapangan memperlihatkan bahwa operator masih harus mengandalkan metode manual seperti pengurusan dengan ember, yang tidak hanya berisiko tinggi terhadap keselamatan kerja, tetapi juga mencemari lingkungan karena potensi tumpahan oli.

Solusi jangka panjang seperti modifikasi sistem *governor* dengan penambahan *leakage pump* otomatis adalah langkah yang tepat dan relevan dengan pendekatan berbasis reliabilitas dan efisiensi. Hal ini sejalan dengan prinsip *preventive maintenance* dalam manajemen pembangkit dan mendukung capaian zero accident serta pengurangan limbah B3.

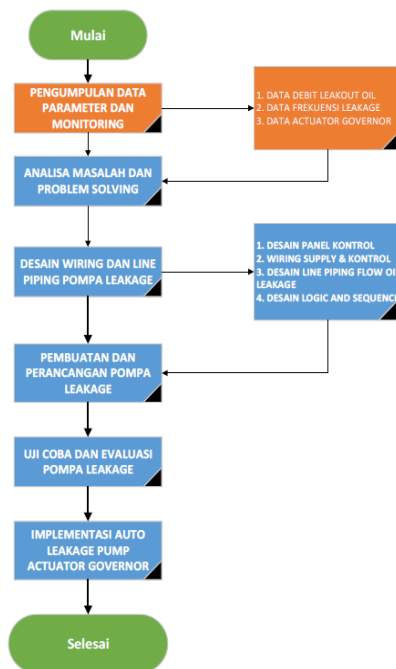
Dapat disimpulkan bahwa akar masalah dari *alarm Actuator Level Oil Drip tray* adalah kegagalan mekanis internal actuator yang menyebabkan kebocoran oli. Ketidaktercukupannya sistem deteksi dan penanganan bocoran menyebabkan gangguan berulang. Penanganan manual terbukti tidak efektif. Oleh karena itu, perlu diterapkan solusi teknik otomatis untuk menjaga keandalan sistem dan keselamatan kerja.

Solusi yang Diterapkan dan Efektivitasnya

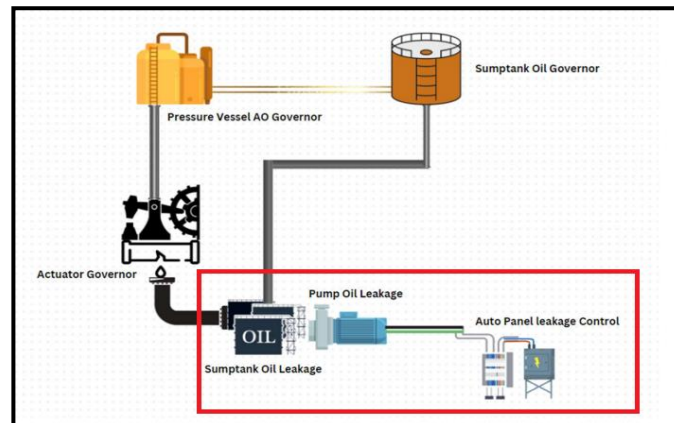
Hasil evaluasi menunjukkan bahwa modifikasi sistem perancangan alat Otomasi *Leakage Oil* dengan penambahan *leakage pump* otomatis merupakan solusi paling efektif dan efisien.

Desain

Solusi untuk mengatasi kebocoran pada *actuator oil governor drip tray* Pembangkit listrik tenaga air X yaitu dengan modifikasi sistem perancangan alat Otomasi *Leakage Oil*. Untuk Pembuatan perancangan alat Otomasi *Leakage Oil* untuk mengatasi kebocoran oli hidrolik *actuator governor*.



Gambar 6. Alur perancangan alat Otomasi *Leakage Oil*.



Gambar 7. Desain perancangan alat Otomasi *Leakage Oil* untuk mengatasi kebocoran oli hidrolik governor.

Berikut adalah diagram *ladder* atau kontrol *running* otomatis pompa *leakage* untuk memompakan oli yang sudah tertampung pada *sumptank oil leakage* menuju ke *sumptank oil governor*.

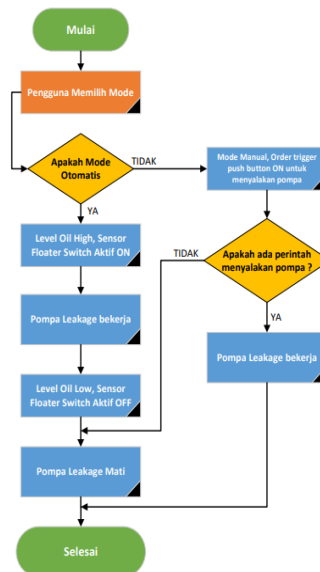
Modifikasi sistem kontrol pompa *leakage* Pembangkit listrik tenaga air X dengan dua mode pengoperasian:

Mode *Auto* dengan menggunakan *level switch*. Ketika oli pada *sumptank Leaked* penuh, pompa akan bekerja secara otomatis memompakan oli dari *sumptank leaked* menuju *sumptank governor* (*eksisting*).

Mode *Manual* dengan menggunakan *push button*. Mode digunakan untuk pemeliharaan atau ketika *level switch* tidak bekerja secara otomatis.

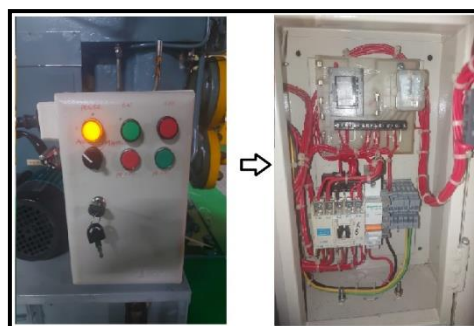
Implementasi Perancangan

Prinsip kerja dari *leakage oil pump* yaitu berdasarkan sensor *float switch* yang terpasang didalam *sumptank oil leakage*, sensor untuk pembacaan *level oil high* dan *level oil low*. Saat *level oil* didalam *sumptank oil leakage high*, maka *leakage oil pump* akan beroperasi secara otomatis untuk memompa oli menuju kedalam *sumptank oil governor*. Dan sebaliknya, saat oli didalam *sumptank leakage* sudah dilevel *low*, *leakage oil pump* akan berhenti beroperasi.



Gambar 8. Flowchart Cara Kerja Leakage Oil Pump.

Panel kontrol pengoperasian dari *leakage oil pump*, pada *panel* terdapat indikator lampu power, serta ditambah dengan 2 buah tombol *push button* untuk pengoperasian pompa *leakage* secara manual dari lokal, saat pompa tidak bisa beroperasi secara otomatis.

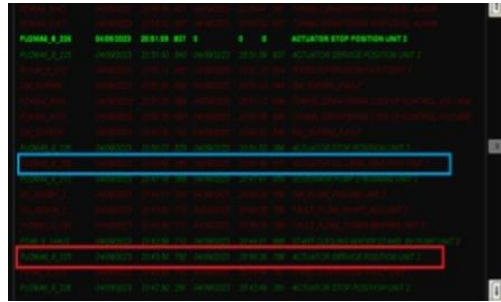


Gambar 9. Panel Kontrol & Pengoperasian Leakage Oil Pump.

Leakage Pump beserta *sumptank oil* berada disebalah *governor* dengan tujuan mengurangi resiko ceceran oli saat oli sisa bocoran yang berada di dalam *drip tray actuator governor* dialirkan kedalam *sumptank oil leakage*.



Gambar 10. Governor Sistem dan Leakage Oil Pump.



Gambar 11. Event dan Alarm Governor Aktif - Muncul Drip tray Oil.

Dari pengambilan saat pengujian dari *governor* aktif sampai dengan muncul nya *event* dan *alarm* muncul nya *actuator drip tray oil actuator governor*. Dari *event* dapat dilihat bahwa lama durasi saat *governor* aktif pada pukul 20.43 wib sampai dengan penuh nya tampungan *oil drip tray actuator governor* sehingga memunculkan *alarm actuator oil level* di HMI PLTA X pada pukul 20.49 wib adalah sekitar 7 menit.

Berdasarkan data empiris di lapangan, solusi manual berupa pengurasan dan pemantauan berkala ternyata tidak hanya memakan waktu dan tenaga, tetapi juga tidak menjamin keselamatan personel maupun kelestarian lingkungan. Banyak operator mengeluhkan volume oli yang bocor sangat cepat memenuhi *drip tray* terutama saat beban unit berfluktuasi. Solusi yang diterapkan, yaitu penambahan *leakage oil pump* dengan sistem kontrol otomatis berbasis *float level switch* sangat tepat guna karena terbukti mengurangi jumlah SR, menekan volume *top-up* oli, serta meningkatkan keandalan sistem. Selain itu, sistem ini lebih mendukung prinsip keberlanjutan dan tanggap terhadap kebutuhan kerja operator yang lebih efisien dan aman.

Disimpulkan bahwa solusi paling efektif untuk mengatasi kebocoran oli pada *actuator governor* Pembangkit listrik tenaga air X adalah dengan melakukan modifikasi sistem hidrolik melalui Perancangan alat Otomasi *Leakage Oil* untuk mengatasi kebocoran oli hidrolik *actuator governor* dengan penambahan *leakage oil pump* otomatis. Solusi ini dipilih setelah melalui evaluasi menggunakan metode *Decision Matrix Analysis* yang mempertimbangkan biaya, waktu pengerjaan, kemudahan perawatan, dan tingkat keandalan. Sistem ini bekerja secara otomatis berdasarkan level oli yang terdeteksi oleh sensor, sehingga dapat memompa

oli dari *drip tray* menuju *sumptank governor* tanpa intervensi manual. Implementasi sistem ini terbukti meningkatkan keandalan unit, mengurangi jumlah gangguan, serta menurunkan kebutuhan pengurusan dan *top-up* oli secara signifikan dibandingkan sebelum penerapan. Solusi ini tidak hanya efisien secara teknis dan operasional, tetapi juga mendukung keselamatan kerja dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

Manfaat Finansial dan Non-Finansial dari Desain Perancangan

Manfaat Finansial

a. Biaya Perancangan

Adapun biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan leakage pump berupa biaya pembelian material yaitu :

Tabel 5. Harga Komponen dan Total Harga.

No.	Nama Komponen	Jumlah	Harga Per/Buah	Harga Total
1	Float Level Switch	2	2,400,000	4,800,000
2	Relay + Socket 220 VAC	1	140,000	140,000
3	Kontaktor 220 VAC	1	290,000	290,000
4	Thermal Overload	1	195,000	195,000
5	Pilot Lamp 220 VAC	3	67,000	201,000
6	Selector Switch	1	75,000	75,000
7	Push Button	2	32,000	64,000
8	Panel	1	125,000	125,000
9	Pompa Oli 1 Phasa	1	2,200,000	2,200,000
10	Kabel NYHY 3x2.50	1/2 Roll	1,825,000	912,500
11	Kabel NYHY 1x0.75	1/2 Roll	300,000	150,000
Total Harga				9,152,500

b. Potensi Pendapatan

Perancangan ini memberikan dampak penghematan atau penurunan biaya pelumas pada tahun 2020 sebesar :

Penghematan Biaya Oli Pelumas :

Tabel 6. Perhitungan Biaya Oli Pelumas.

Keterangan	Nilai
Total Top Up Oli (Liter)	376
Harga Pelumas/Ltr	Rp. 49.950
Total Biaya Pelumas	Rp. 18.781.200

Loss Of production :

Tabel 7. Perhitungan *Loss Of Production*.

Keterangan	Nilai
Durasi 1 kali Gangguan (Jam)	1.50
Loss Of Production (kW) (Beban Max) x (Durasi Gangguan)	90,000
Harga per/kWh	Rp. 563.67
Total Kerugian Produksi	Rp. 50,730,300

Maintenance Cost :

Tabel 8. Perhitungan *Maintenance Cost*.

Tahun	Jumlah SR	Durasi (dalam Jam)	Jenis Labor	Rate Labor	Total Biaya
2015	1	1	TEKNISI	Rp 87,928	Rp 87,928
2017	21	1	TEKNISI	Rp 87,928	Rp 1,846,488
2018	5	1	TEKNISI	Rp 87,928	Rp 439,640
2019	15	1	TEKNISI	Rp 87,928	Rp 1,318,920
TOTAL					Rp 3,605,048

Adanya modifikasi pada sistem hidrolik *governor* Pembangkit listrik tenaga air Y, Maka, manfaat finansial yang didapatkan yaitu :

(Biaya Pelumas + *Loss Of Production* + *Maintanance Cost*) - (Biaya Perancangan)

(Rp. 18.781.200 + 50.730.300 + 3.605.408) - (Rp. 9.152.500)

(Rp. 73.116.548) - (Rp. 9.152.500)

Rp. 63.964.048,-

Manfaat Non Finansial

Manfaat non finansial yang didapat dari penerapan Perancangan ini adalah sebagai berikut:

- Mengurangi potensi pencemaran limbah B3 (Oli bekas) sesuai dengan prinsip Manajemement Lingkungan yaitu 3R (*Reduce , Reuse, Recycle*).
- Penambahan *leakage pump* memberikan nilai tambah Rantai nilai reduksi energi loss melalui peremajaan komponen *actuator governor* Pembangkit listrik tenaga air X.
- Membantu perusahaan dalam program perbaikan lingkungan yang dilakukan pada proses produksi melalui upaya minimisasi atau efisiensi energy (*Energy Minimized*).
- Menjadikan lingkungan kerja disekitar area turbin dan *governor* bersih dan terhindar dari ceceran oli sehingga mendukung program perusahaan dalam mencapai *zero accident* dengan mencegah terjadinya *accident* berupa resiko terpeleset saat melakukan *patrol check* disekitar area *governor*.

Berdasarkan data perhitungan yang telah disajikan, desain perancangan alat Otomasi Leakage Oil kebocoran oli untuk mengatasi kebocoran oli *hidrolik actuator governor* berupa penambahan *leakage oil pump* otomatis pada sistem *hidrolik actuator governor* di Pembangkit listrik tenaga air X menunjukkan manfaat yang signifikan, baik secara finansial maupun non-finansial. Dari sisi finansial, total penghematan tahunan mencapai Rp 63.964.048, yang berasal dari efisiensi biaya pelumas, pengurangan potensi *loss of production*, serta penghematan biaya perawatan (*maintenance cost*). Sementara itu, manfaat non-finansial meliputi pengurangan risiko pencemaran limbah B3, efisiensi energi, peningkatan nilai rantai pasok, dan peningkatan keselamatan kerja di area pembangkit.

Dari hasil pengamatan dan implementasi di lapangan, diketahui bahwa desain Perancangan alat Otomasi Leakage Oil untuk mengatasi kebocoran oli hidrolik *actuator governor* ini tidak hanya berhasil menekan biaya, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap kinerja sistem secara menyeluruh. Sebelumnya, kondisi sekitar *governor* rentan tercemar oleh oli bocor, meningkatkan risiko kecelakaan seperti terpelesetnya operator saat patrol check. Adanya sistem *leakage pump*, kondisi lingkungan kerja menjadi lebih bersih dan aman. Selain itu, oli yang bocor kini bisa digunakan kembali setelah dipompa ke *sumptank governor*, sehingga mendukung efisiensi energi dan konservasi sumber daya. Hal ini sejalan dengan prinsip *zero accident* dan target ISO 45001 serta ISO 14001 yang diupayakan oleh perusahaan.

Secara keseluruhan, desain Perancangan alat Otomasi Leakage Oil untuk mengatasi kebocoran oli hidrolik *actuator governor* dengan penambahan *leakage oil pump* memberikan dampak positif yang nyata dalam hal efisiensi biaya operasional, pengurangan limbah B3, dan peningkatan keselamatan kerja. Desain Perancangan alat Otomasi Leakage Oil untuk mengatasi kebocoran oli hidrolik *actuator governor* ini juga menunjukkan sinergi antara pencapaian target kinerja teknis dan komitmen perusahaan terhadap tanggung jawab lingkungan.

Analisis Kelayakan Ekonomi Teknik

Analisis kelayakan ekonomi dilakukan untuk menilai apakah perancangan alat otomasi leakage oil ini layak diimplementasikan dari sisi biaya dan manfaat finansial. Dalam pendekatan ekonomi teknik, penilaian investasi tidak hanya dilihat dari biaya awal (*capital cost*), melainkan juga manfaat finansial selama umur ekonomis alat dengan mempertimbangkan faktor nilai waktu uang (*time value of money*). Berdasarkan analisis ini, jika manfaat turun 20% (Rp 51,17 juta per tahun), maka NPV masih sebesar Rp 183 juta, BCR = 21,2, dan PP $\approx$ 2 bulan, yang menunjukkan bahwa proyek tetap layak. Bahkan, jika MARR naik menjadi 15%, NPV masih positif sebesar Rp 214 juta dan BCR tetap

jauh di atas 1, sehingga proyek tetap layak. Jika umur alat hanya 3 tahun, NPV masih positif sebesar Rp 146 juta. Hasil ini menunjukkan bahwa kelayakan ekonomi proyek tetap sangat kuat, bahkan dalam kondisi pesimis sekalipun. Kebocoran oli hidrolik pada governor Pembangkit listrik tenaga air tidak hanya menimbulkan pemborosan material tetapi juga mengakibatkan downtime mesin yang berdampak pada hilangnya produksi listrik. Dengan adanya alat otomasi *leakage oil* risiko gangguan produksi dapat ditekan sehingga kontinuitas operasional terjaga. Selain manfaat finansial penerapan alat ini juga mendukung prinsip efisiensi energi dan keberlanjutan. Oli hidrolik yang biasanya terbuang dapat diminimalisasi, sehingga berdampak pada pengurangan limbah dan pencemaran lingkungan. Hal ini selaras dengan tujuan ISO 50001 tentang manajemen energi dan prinsip Green Industry yang mendorong perusahaan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya.

Dari sisi manajemen, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan investasi oleh perusahaan karena secara nyata menunjukkan bahwa alat otomasi *leakage oil* merupakan solusi yang ekonomis, ramah lingkungan dan mendukung keandalan sistem pembangkit listrik.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perancangan alat otomasi leakage oil untuk mengatasi akibat kebocoran oli hidrolik actuator governor dapat diimplementasikan dengan baik dan efektif dalam meningkatkan kehandalan peralatan governor. Implementasi alat otomasi tersebut pada pembangkit listrik tenaga air terbukti dapat meningkatkan kinerja pembangkit, dengan peningkatan indikator EFFOR sebesar 0,05% dan EAF sebesar 0,10%.

Secara finansial, desain perancangan alat otomasi ini memberikan manfaat yang signifikan, dengan potensi pendapatan tambahan sebesar Rp. 63.964.048 untuk perusahaan. Keuntungan lainnya adalah pengembalian modal yang sangat cepat ($PP < 2$ bulan), mencapai BEP hanya dengan mencegah satu kali kejadian gangguan produksi, memiliki NPV yang sangat positif (Rp 233 juta), memberikan BCR yang sangat tinggi (26,49), dan IRR yang jauh di atas MARR (699%).

Manfaat non-finansialnya juga tidak kalah penting, yaitu membantu mendukung program perusahaan dalam mencapai zero accident dan mengurangi pencemaran potensi limbah B3 di lingkungan pembangkitan X. Secara keseluruhan, perancangan alat otomasi leakage oil ini terbukti sangat layak dan menguntungkan apabila dilihat dari perspektif ekonomi teknik.

DAFTAR REFERENSI

- Al-Shemmeri, T. (2015). *Engineering sustainability: Fundamentals and applications*. CRC Press.
- Bhushan, B., & A. (2018). Design and implementation of leakage detection and recovery in hydraulic systems of hydro turbines. *Journal of Renewable Energy Systems*, 7(4), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jres.2018.04.003>
- Simanjorang, B. (2021). Studi analisis eksitasi dan governor untuk mengatur tegangan dan frekuensi keluaran generator pada PLTMH Aek Raisan I. *Electric Power, Telecommunications & Control System*, 4(2).
- Xu, C. (2015). *Hydro power control and stability in large electrical power systems*. Wiley.
- Halanay, A. (2017). *Modeling and simulation of hydraulic turbine governor systems*. Springer.
- Windarta, J., & A. (2020). Overview potensi dan perkembangan pemanfaatan energi air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 1(3), 124–132.
- Rahman, M., & M. (2020). Impact of hydraulic oil leakage and mitigation strategy in hydro turbine governors. *International Journal of Power and Energy Systems*, 41(1), 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijpes.2020.03.001>
- Riduwan, M. (2019). Sistem kontrol governor menggunakan PID yang dioptimasi dengan metode cuckoo search algorithm (CSA). *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 3(1).
- Samavati, M., & A. (2017). Improved lubricant oil recovery in hydraulic systems: Environmental and economic evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 148, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.001>
- Muthukumar, S. (2010). Frequency regulation by free governor mode of operation in power stations. In *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research* (Vol. 1, pp. 28–29). <https://doi.org/10.1109/ICCIC.2010.5773851>
- Young, S. M., & A. A. (2012). *Management accounting: Information for decision-making and strategy execution*. Pearson.
- Rathnayaka, T. (2018). Implementation of electronic governor & control system of a minihydro power plant. *University of Moratuwa: Department of Electrical Engineering, Sri Lanka*.
- Ma, Y., & C. (2019). Failure mechanisms of hydraulic servo systems in energy generation facilities. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 11(3), 95–104. <https://doi.org/10.5897/JMER2019.0610>
- Zhai, Y., & W. (2020). Modeling and control of hydraulic actuator systems with leakage considerations. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(5), 3421–3431. <https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2925261>
- Ye, Z. (2007). *Hydraulic governor system design in hydro power stations*. China Electric Power Press.