

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan bahan bakar batu bara masih merupakan sumber energi mayoritas yang mensuplai kebutuhan energi listrik di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh karena potensi sumber daya alam batubara di Indonesia yang melimpah, di samping itu biaya konversi yang relatif murah, proses yang mudah dan relatif aman karena teknologi yang semakin baik (ESDM, 2018). Pembangkit listrik memiliki beberapa komponen utama, yaitu boiler, turbin uap, dan generator serta peralatan pendukung yang terkait. Sedangkan Fluida kerja yang berupa uap air pada konteks pembangkit secara umum terdiri dari 2 tipe yaitu uap air superkritis dan uap air subkritis yang tergantung pada tekanan dan temperature kerjanya. Gambar I.1 menunjukkan diagram PLTU dengan peralatan utama yang dimilikinya.

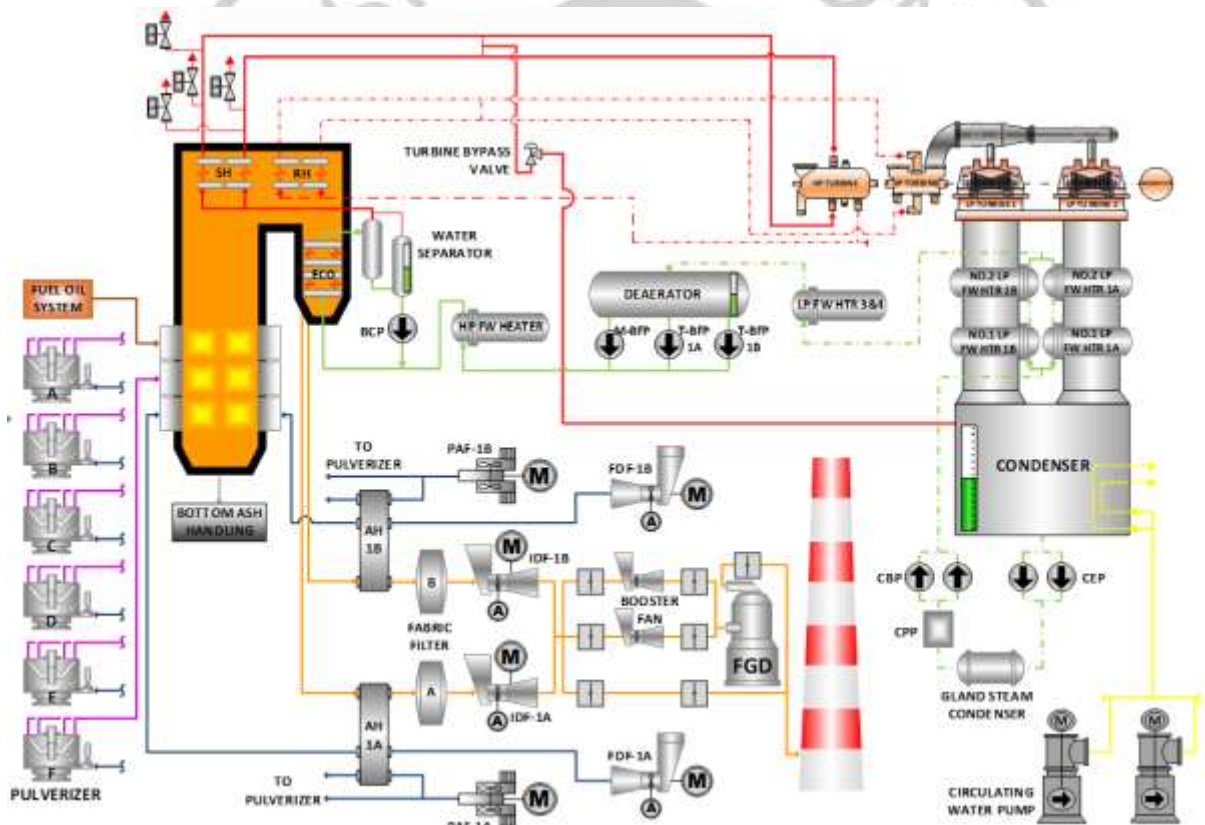
Batu bara sebagai sumber energi tak terbarukan akan membuat Pembangkit Listrik Tenaga Uap tidak bisa terus-menerus diandalkan namun mesin konversi energi panas menjadi energi listrik dalam hal ini turbin uap sepertinya masih akan berpotensi tetap digunakan dengan memanfaatkan variasi sumber energi panas selain dari pembakaran batubara, yaitu diantaranya pembangkit energi nuklir, energi panas bumi, energi surya. Dengan demikian maka turbin uap akan masih memegang peranan penting di masa depan dan usaha-usaha untuk peningkatan efisiensinya masih relevan untuk terus dilakukan.

Pada pembangkit yang telah beroperasi dan terkoneksi jaringan, maka upaya peningkatan efisiensi bisa dilakukan dengan memanfaatkan konfigurasi peralatan yang sudah ada. Yaitu melalui penerapan prinsip peningkatan efisiensi dengan cara menekan rugi-rugi melalui baik pada perbaikan seting kerja peralatan (tuning), atau mengurangi hingga menghilangkan sumber rugi-ruginya.

Turbin berkapasitas besar dengan peralatan yang kompleks biasanya telah memiliki metode yang baik dalam kontrol dan efisiensinya, namun karena karakteristik komponennya beberapa rugi-rugi tidak dapat dihindari salah satunya adalah rugi-rugi pada jalur masukan uap dalam hal ini terutama pada kombinasi *Mainsteam Stop Valve* (MSV) dan *Governor Valve* (GV). Pada MSVGV, rugi-rugi terbesar umumnya terjadi pada restriksi pada jalur uap yaitu bukaan katup yang

akan memunculkan efek *throttling* sebagai tuntutan pengaturan jumlah uap yang masuk (Mrózek et al., 2021a).

Praktisnya, pada katup terjadi perubahan geometri area secara dinamis pada lintasan fluida uap saat melewati katup sehingga menyebabkan terjadinya perubahan parameter berupa penurunan tekanan uap hingga akhirnya uap masuk dan sampai pada sudu-sudu turbin. Tipikal dari katup pengatur adalah semakin kecil bukaan katup maka *drop pressure* (tekanan jatuh, yaitu turunnya tekanan keluaran dibandingkan dengan tekanan masuk) akan semakin besar yang akan mempengaruhi besar rugi-rugi yang sangat ireversibel (Diaconescu, 2009).



Gambar I.1 Lay Out Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Turbin pada unit pembangkit dapat memiliki konfigurasi MSV dan GV yang berbeda-beda sesuai dengan kapasitas dan kebutuhan prosesnya. Pada pembangkit ini memiliki konfigurasi 4 set MSVGV yang mensuplai sebuah HP turbin dengan individual jalur aliran uap. Berdasarkan pengumpulan data awal yang dilakukan untuk katup kontrol, GV, di peroleh rata-rata operasional pada bukaan yang rendah meskipun pembangkit sedang melayani pembebanan yang tinggi bahkan saat pembebanan penuh (*full load*), sebagaimana ditunjukkan pada tabel I.1. di bawah.

Sebuah sistem turbin dengan kontrol yang terintegrasi dapat dilayani oleh beberapa katup GV dengan kontrol urutan (*sequential*) untuk meminimalisasi rugi-rugi energi yang disebabkan oleh aktivitas *throttling* (Stern et al., n.d.). Sistem sekuensial ini sebenarnya sudah cukup lama dikenal, namun pada umumnya dilakukan pada konfigurasi sebuah katup MSV melayani beberapa katup GV yang terbuka atau menutup sesuai urutan sebelum menyalurkan uap masuk ke turbin. Pengurutan bukaan ini dimaksudkan untuk memaksimalkan bukaan katup sebelum membuka katup yang lain sehingga diperoleh rugi-rugi yang rendah.

Tabel I.1. Hubungan antara beban, parameter termodinamika utama, dan pembukaan GV

Load	400	500	600	700	800	900	950
	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
GV Open Demand (%)	22,3	34,6	27,5	26,7	24,6	26,7	25,7
GV Lifting (mm)	21,45	33,56	26,57	25,78	17,77	15,48	19,80
Mass Flow (Kg/s)	346	407	481	569	637	735	774
Pressure (Mpa)	11,28	12,09	15,10	19,69	19,69	22,06	23,09

Analisa konfigurasi MSVGV ini diharapkan bisa meningkatkan efisiensi melalui pengurangan rugi-rugi energi dengan cara meningkatkan bukaan katup dengan kontrol sekuensial pada jumlah set katup yang operasional, yaitu dari empat set katup MSVGV (4MSVGV) pada beban normal menjadi dua set MSVGV (2MSVGV) dengan penggeseran operasional 2 set katup sisanya . Secara umum ide dasar penelitian ini mirip pola *sequential valve* pada berbagai pembangkit subkritikal yang sudah cukup banyak diterapkan meskipun dengan konfigurasi MSVGV yang berbeda sehingga ide ini bukan hal yang sangat baru, dan membuat penelitian ini memiliki peluang dalam penerapannya. Namun demikian untuk pembangkit superkritikal, terutama di Indonesia, dengan kapasitas cukup besar masih sangat jarang, sehingga masih sedikit data dari pembangkit lain yang bisa didapatkan (Mrzljak et al., 2019).

Penerapan inovasi yang berupa modifikasi pada peralatan yang bernilai tinggi yaitu turbin utama yang terkopel dalam satu poros dengan generator, *tandem compound turbogenerator*, akan sangat beresiko tanpa ada penelitian terkait kedapatan diaplikasikannya (*applicability*) dan keefektifannya untuk mencapai target yang diinginkan. Sementara itu untuk memperoleh data dan menghitung seberapa besar efektifitas modifikasi dengan cara melakukan percobaan secara

langsung pada peralatan paling penting dan mahal secara umum tidak mudah dipersuasikan tanpa tahap studi dengan data yang cukup, karena nantinya akan terkait kepentingan berbagai *stakeholder* yang berkepentingan baik internal maupun eksternal agar unit tetap berjalan tanpa gangguan untuk memenuhi kebutuhan jaringan listrik nasional.

Tesis ini memiliki tujuan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan untuk menghitung kedapatan modifikasi ini dilakukan dan bisa memprediksi dengan lebih baik beberapa parameter penting sebelum aplikasi aktual pada peralatan. Metode yang dilakukan diharapkan bisa mengetahui dimana rugi-rugi terjadi dengan mendapatkan parameter-parameter yang bisa diprediksikan sehingga kalkulasi dapat dilakukan

Metode yang digunakan adalah dengan kalkulasi secara fisis dan perbandingan dengan analisa numerik melalui software simulasi Komputasi Fluida Dinamis, *Computational Fluid Dynamics* (CFD), dengan menggunakan perangkat lunak komersial Ansys CFX. Metode penelitian dengan metodologi komputasi fluida dinamis ini dilakukan untuk memperoleh koleksi data parameter termal pada jalur MSVGW menuju *casing* turbin dengan beberapa variasi pelayanan beban. Dari analisa numerik akan diketahui perubahan properti uap pada setiap titik yang ditentukan.

Studi mengenai kontrol valve sebenarnya masih belum banyak dilakukan (Mrzljak et al., 2019). sehingga tidak cukup mudah untuk mendapatkan referensi. Namun terdapat beberapa metode untuk menyatakan dan mengkuantifikasikan rugi-rugi energi pada katup. Diantaranya kalkulasi *drop pressure* (Sors & Holm, n.d.), entropi generation dan kalkulasi eksergi (Adibhatla & Kaushik, 2014). Analisis eksergi pada kontrol valve berfungsi untuk mengidentifikasi dan mengukur kehilangan energi yang tidak dapat diubah menjadi kerja berguna akibat proses seperti *throttling*. Dengan menguantifikasi inefisiensi ini, analisis eksergi memungkinkan optimasi desain dan operasi valve untuk meningkatkan efisiensi termodinamika sistem secara keseluruhan.

Perubahan konfigurasi yang diusulkan merupakan pengaturan set point kontrol dari masing-masing set katup MSVGW. Dan diharapkan dengan didapatkan parameter yang bisa diambil dari setiap titik yang diinginkan maka dapat dilakukan studi lebih lanjut, seperti potensi efek getaran, uap *passing*, termasuk bagaimana studi termal yang menjaga agar katup yang standby tetap dapat di gunakan disaat emergency, dan juga termasuk aspek perawatan yang mungkin bisa timbul akibat modifikasi ini.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data yang diperlukan untuk menganalisa penerapan ide mengurangi rugi-rugi akibat efek *throttling* (pencekikan) pada modifikasi kontrol *Mainsteam Stop Valve* (MSV) dan *Governor Valve* (GV) melalui analisa numerik. Sebagaimana dijelaskan dalam latar belakang di atas, bahwa alat bantu software akan dapat membantu mengurangi resiko karena dapat memberi data parameter sehingga data mempetakan potensi resiko yang mungkin timbul, mengingat sistem Turbine terutama yang berkapasitas besar adalah kompleks dan mahal. Dengan demikian perumusan masalah dapat kami susun adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan analisa numerik melalui pemodelan MSV dan GV yang tervalidasi terhadap data operational aktual dengan fasilitas pengukuran yang telah ada pada peralatan?
2. Bagaimana memperoleh kelayakan penerapan konfigurasi baru MSV dan GV katup turbin melalui analisa numerik pemodelan MSV dan GV?
3. Bagaimana menghitung besar rugi-rugi energi sebagai hasil modifikasi konfigurasi sistem MSVGV yang baru dan dibandingkan dengan sistem sebelum modifikasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan validasi pemodelan numerik sistem *Mainsteam Stop Valve* (MSV) dan *Governor Valve* (GV), sebagai pengatur jumlah energi yang masuk pada Turbin Uap, dengan mensimulasikan beberapa posisi dari GV untuk konfigurasi 4 set MSVGV yang relevan untuk beberapa data tingkat beban dan dibandingkan dengan data yang didapat operasional PLTU
2. Menganalisis pemodelan numerik yang telah tervalidasi untuk konfigurasi dua set MSVGV pada beberapa tingkat beban operasional dalam rentang ditetapkan, dengan dasar beban minimum hingga beban maksimum dari normal operasional sehingga didapat kesimpulan apakah konfigurasi baru dapat melayani kebutuhan beban pada semua rentang yang ditentukan.
3. Mendapatkan hasil perhitungan besar rugi-rugi yang berhasil di tekan dengan metode eksergi untuk menilai hasil dari modifikasi konfigurasi MSVGV pada beberapa tingkat beban yang menjadi area operasional normal pembangkit.

1.4 Manfaat Penelitian

Turbogenerator uap superkritikal berskala besar dapat dikatakan belum banyak beroperasi di Indonesia dan tidak mudah untuk diakses karena merupakan peralatan paling penting di pembangkit dan cukup mahal. Dengan menjalankan simulasi ini, kita dapat memperoleh wawasan tentang kinerja turbin dalam berbagai kondisi operasi. Misalnya, dapat mengidentifikasi area dengan tekanan atau suhu tinggi atau rendah yang dapat menyebabkan inefisiensi atau potensi kegagalan. Informasi ini memungkinkan modifikasi desain untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi keausan, dan meningkatkan kinerja secara keseluruhan. Kemampuan analisis terperinci perangkat lunak yang digunakan menjadikannya alat yang sangat berharga dalam proses modifikasi iteratif turbin uap. Penelitian dengan metode pemodelan dan tervalidasi ini diharapkan dapat memberikan hasil yang mendekati aktual sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan memiliki keyakinan tinggi untuk diputuskan diterapkan pada sebuah pembangkit.

Dengan demikian diharapkan dari hasil penelitian ini dapat di manfaatkan oleh banyak kalangan diantaranya kalangan akademisi, profesional, pemangku kepentingan (*stakeholder*) dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Bagi Akademisi, penelitian ini diharapkan dapat menambah khasanah pengetahuan terkait turbin superkritikal tekanan tinggi berskala besar dan termasuk sistem pengontrolannya, yang dapat menjadi peluang penelitian lebih lanjut yang masih bisa dilakukan. Untuk kasus sejenis pada PLTU ini misalnya peluang menekan rugi-rugi *throtling* untuk *Stop valve* dan *Governor valve* yang mensuplai *Intermediate Turbine*.
2. Bagi pemangku kepentingan (*stake holder*) di perusahaan pembangkit, penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan apakah optimasi ini layak untuk dilakukan atau tidak, dan dalam analisa lebih lanjut dapat memperkirakan resiko dalam sudut pandang lain yang mungkin timbul akibat dari aplikasi modifikasi ini.
3. Bagi profesional yang menangani pembangkit dengan data yang diperoleh dari penelitian ini akan bisa melakukan tinjauan teknis lain, misalnya terkait analisa potensi getaran yang mungkin timbul, dan perkiraan mode operasional dari data dan parameter yang di peroleh dari pemodelan.
4. Dengan semakin efisiennya pembangkit, secara lebih khusus semakin efisiensinya turbin, maka akan lebih besar energi yang berhasil diekstrak dengan sumber energi asal yang sama sehingga secara jangka panjang dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan.

1.5 Orignilitas Penelitian

Tabel I.2. Gap Penelitian

	Penelitian/ Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
1	(Yoo & Suh, 2011)	Engineering analysis of mass flow rate for turbine system control and design	Metode berbasis laju aliran massa dimanfaatkan tidak hanya untuk mempermudah prosedur pemrograman dan eksperimen, tetapi juga membantu dalam mengekspresikan karakteristik setiap perangkat dalam sistem turbin.	- Turbine uap subkritikal - Analisa Numerik (CFD) experimental - Analisa Fisik - Analisa eksperimental - Kalkulasi rugi-rugi
2	(Mrózek et al., 2021b)	Analysis of losses in steam turbine control Valves	Penelitian menggunakan CFD membahas tentang aliran dalam katup, dengan simpulan untuk faktor yang mempengaruhi aliran bergantung pada rasio tekanan dan koefisien <i>total loss</i>, dan juga rasio area dan koefisien aliran katup. Diteliti juga variasi penggunaan <i>strainer</i> dan tanpa <i>strainer</i> yang dapat mengurangi laju aliran maksimum melalui katup. Perbandingan katup variasi <i>strainer</i> dan pengaruhnya terhadap medan kecepatan dan kalkulasi <i>total loss</i>.	- Turbine uap subkritikal - Kalkulasi rugi-rugi pada beberapa titik sepanjang katup - Analisa Numerik (CFD) - Analisa Fisik
3	(Sláma et al., 2019)	Creation and validation of pressure loss model for steam	Penelitian bertujuan untuk mengukur kehilangan tekanan (<i>pressure loss</i>) berdasarkan pengukuran eksperimental dan perhitungan CFD untuk katup L (L-	- Turbine uap subkritikal

		turbine control valves	valve) yang umum digunakan pada inlet turbine HP. Validasi dilakukan dengan eksperimental pada model katup dengan udara sebagai medium. Model kalkulasi <i>pressure loss</i> kehilangan tekanan ini dapat digunakan untuk membuat prosedur dan evaluasi awal turbine di pembangkit. Dibahas pula unifikasi desain katup yang dapat memudahkan proses desain dan evaluasi.	- Kalkulasi berdasar <i>pressure loss</i> - Analisa Numerik (CFD) - Analisa eksperimental dengan udara sebagai medium
4.	(Mrzljak et al., 2019)	Exergy Analysis Of Steam Turbine Governing Valve From A Super Critical Thermal Power Plant	Analisis eksergi pada katup pengatur turbin uap superkritik menunjukkan bahwa efisiensi katup tertinggi dan destruksi eksergi terendah terjadi pada beban puncak, sementara penurunan beban meningkatkan destruksi eksergi dan menurunkan efisiensi, dengan pengaruh temperatur lingkungan yang minimal terutama pada beban tinggi.	- Analisa eksergi <i>control valve</i> Dengan data pengukuran aktual (tidak ada inovasi) - Turbin uap superkritikal

Pada beberapa penelitian yang di rujuk sebelumnya secara umum dilakukan pada turbin subkritikal dengan validasi yang bervariasi yaitu melakukan perbandingan analisa numerik CFD dengan analisa eksperimental dan analisa teoritis dengan kalkulasi secara fisika dan matematis. Analisa fisika-matematis umumnya dipakai pada sistem yang tidak kompleks, karena effort yang diperlukan cukup besar untuk dapat melakukan analisa matematis secara akurat pada setiap bagian komponen yang diteliti dengan geometri yang berubah-ubah pada desain katup kombinasi (Yang et al., 2011). Sedangkan analisa eksperimental umumnya dilakukan dengan skala tertentu yang lebih kecil dan fluida yang dipakai tidak selalu sama dengan fluida aktual yang diterapkan. Pada sebagian besar literatur yang ditemukan analisa dilakukan pada turbin uap subkritikal yang

memiliki operasinal tekanan dan temperatur lebih rendah dari pada turbin uap superkritikal menjadi gap pada penelitian ini.

