

INTISARI

Operasi lapangan minyak bumi menghasilkan dua jenis gas produksi sendiri / *field gas*, yaitu gas asosiasi dan gas basah, yang berkualitas rendah dan murah. Selain gas produksi sendiri, sumber bahan bakar berasal dari gas alam komersial, dengan kualitas baik dan harga yang tinggi. Kedua sumber ini dicampur menjadi bahan bakar bagi turbin gas, *heat recovery steam generator - duct burner* (HRSG - DB) dan *gas boiler* (GB). Daya keluaran pembangkit dan produksi uap bergantung pada kualitas gas campuran tersebut.

Untuk itu, diperlukan model yang dapat melakukan optimisasi campuran bahan bakar dengan tetap memenuhi batasan operasi sistem tenaga listrik, uap dan gas. Keaslian penelitian ini terletak pada penggunaan persamaan termodinamika turbin gas, HRSG – DB dan GB dalam Optimisasi Aliran Daya Kombinasi Panas dan Tenaga Listrik (*Combined Heat & Power – Optimal Power Flow - CHPOPF*) dengan sumber bahan bakar gas alam dan gas produksi sendiri. Persamaan termodinamika diperlukan untuk merepresentasikan pengaruh campuran bahan bakar terhadap unjuk kerja turbin gas dan HRSG dalam menghasilkan daya listrik dan uap. Model optimisasi dalam penelitian ini mencakup optimisasi tujuan tunggal dan optimisasi multi tujuan.

- a. Optimisasi tujuan tunggal - *Combined Heat and Power Optimal Power Flow*: analisis penjadwalan / *unit commitment* berdasarkan ketersediaan gas asosiasi dan basah dengan biaya sebagai fungsi tujuan. Penjadwalan ini kemudian dilanjutkan dengan optimisasi aliran daya. Berbeda dengan penelitian CHP OPF sebelumnya di mana harga bahan bakar sudah diketahui, dalam penelitian ini harga bahan bakar merupakan fungsi dari campuran bahan bakar gas asosiasi, gas basah dan gas alam komersial. Hasil menunjukkan bahwa penjadwalan dan pengaturan beban tidak hanya ditentukan oleh efisiensi turbin gas, tapi juga ditentukan oleh ketersediaan gas produksi sendiri. Model optimisasi berhasil menghitung komposisi bahan bakar optimal. Komposisi optimal tidak selalu berarti bahwa semua gas produksi sendiri harus dikonsumsi.

- b. Optimisasi tujuan tunggal terintegrasi sistem tenaga listrik dan sistem distribusi gas dengan biaya sebagai fungsi tujuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model optimisasi mampu untuk menghitung tekanan saluran gas untuk mencapai komposisi bahan bakar optimal. Tekanan pada saluran gas ditentukan oleh berbagai faktor diantaranya: permintaan uap serta kualitas bahan bakar dari masing-masing produsen gas. Model optimisasi juga mampu mencegah produksi berlebih gas asosiasi dan basah dengan merekomendasikan batas maksimum produksi gas untuk mencapai kualitas bahan bakar yang cukup.
- c. Optimisasi multi tujuan, yang memperhitungkan dampak penggunaan gas asosiasi dan gas basah terhadap parameter MWI (*Modified Wobbe Index*) dan H₂S (hidrogen sulfida) yang menentukan keandalan turbin gas dan pipa gas. Hasil penelitian menunjukkan model optimisasi mampu melakukan optimisasi campuran bahan bakar sesuai skenario operasi yang diinginkan. Jika biaya yang ingin dioptimalkan, prioritas penggunaan bahan bakar terletak pada gas produksi sendiri. Jika optimisasi diarahkan untuk memaksimalkan nilai MWI dan meminimalkan kandungan H₂S, maka penggunaan gas produksi sendiri menjadi lebih kecil dibanding skenario sebelumnya.
- d. Optimisasi multi tujuan berbasis algoritme *chemical reaction optimization* (CRO) dengan teknik *indicator based* (IBCRO) dan *hypervolume* (HVCRO), dengan mempertimbangkan tiga fungsi yaitu biaya, produksi uap dan rugi-rugi tenaga listrik. Hasil menunjukkan bahwa IBCRO dan HVCRO mampu bersaing dengan algoritme optimisasi multi tujuan yang lain dalam hal *coverage*, *spacing* serta penentuan solusi kompromi dan ekstrem.

ABSTRACT

Oil field produces two types of field gas as by-product: associated and wet gas, which can be used as low-cost fuel with poor gas quality. Field gas is mixed with commercial natural gas, which has better quality and is more expensive compared to field gas. The mixture is used as a fuel source for gas turbines, heat recovery steam generator – duct burner (HRSG-DB) and gas boilers (GB). Gas turbine power output and HRSG – GB steam output would heavily depend on the fuel mixture quality.

Thus, an optimization model is needed to optimize fuel mixture while still meeting power system, steam and gas distribution constraints. The novelty of this research is the use of thermodynamic equations in a Combined Heat and Power – Optimal Power Flow (CHP-OPF) problem. Thermodynamic equations represent the effect of field gas and natural gas fuel mixture on gas turbine, HRSG and GB output in the following mono-objective and multi-objective optimization model:

- a. Mono-objective Combined Heat and Power Optimal Power Flow: a unit commitment and optimal power flow model based on associated and wet gas availability with cost as the objective function. In previous CHP OPF studies, fuel cost is a known and fixed variable. In this research, fuel cost, which depends on mixture between field and natural gas, is a variable to be optimized as well. Result shows that gas turbine, HRSG, GB scheduling and power-steam dispatch also depends on field gas availability. Furthermore, the proposed model is able to calculate optimal fuel mixture in multiple operation scenarios. Optimal fuel mixture does not always mean that all available field gas production must be consumed.
- b. Integrated mono-objective optimization between power system and gas distribution with cost as the objective function. The optimization model will calculate pressure at gas producers and consumers to achieve optimal fuel mixture. Result shows that the model is able to determine the optimal pressure to achieve lowest power and steam generation cost. Pressure profile is determined by multiple factors, such as: steam demand and fuel quality from

each gas producer. The model is also able to calculate optimal field gas production rate to avoid overproduction and maintain adequate fuel quality.

- c. Multi-objective optimization which exploits the downside of field gas utilizations. As mentioned before, field gas is a low-quality fuel type, indicated by poor MWI (*Modified Wobbe Index*) and high H₂S (hydrogen sulfide) content, which are known to have strong impacts on gas turbine and pipeline reliability. Result shows that optimization model is able to optimize fuel mixture based on desired operating scenarios. If cost is to be prioritized, field gas becomes the primary fuel source. On the other hand, when fuel quality becomes a concern, field gas utilization reduces and natural gas takes over. The proposed model is able to determine optimal operation point which considers cost, MWI and H₂S content.
- d. Multi-objective optimization using Indicator Based and Hypervolume Based Chemical Reaction Optimization (IBCRO and HVCRO) to handle combined heat and power optimal power flow problems by considering three factors: cost, steam production and power system loss. Result shows that IBCRO and HVCRO are able to compete with other multiobjective algorithms, in terms of: spacing, coverage, extreme and compromised solution calculation.