

## EVALUASI KINERJA CONVECTION SECTION PADA PRIMARY REFORMER (101-B) PADA PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI-IV)

E. Nurisman<sup>1\*</sup> dan N. Aurelia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang  
Corresponding author: nurisman9908@gmail.com

**ABSTRAK:** Pemanfaatan kembali panas dari *flue gas* keluaran dari *radiant section primary reformer* (101-B) pada unit *reforming* amonia PT. Pupuk Sriwidjajaja IV dilakukan pada *convection section*. *Convection section* terletak di atas *radiant section*, di mana lebih dingin untuk memulihkan panas tambahan. Pada bagian ini, terdapat *coil-coil* yang berjumlah 8 *coil* yakni *mixed feed coil*, *steam air coil*, *high temperature (HT) coil*, *low temperature (LT) coil*, *feed gas preheat coil*, *boiler feed water (BFW) coil*, *fuel gas preheat coil*, dan *saturator coil*. Perpindahan panas terjadi secara konveksi untuk memanaskan *coil-coil* tersebut. Sehubungan akan dilaksanakannya *turn around (TA)* PUSRI IV perlu dilakukan evaluasi kinerja untuk menentukan langkah dalam upaya meningkatkan kinerja *convection section*. Evaluasi kinerja dari *convection section* dapat ditinjau melalui nilai *duty* dari masing-masing *coil* yang dilakukan dengan simulator. Berdasarkan hasil evaluasi, nilai kinerja unit *convection section* yang perlu mendapat perhatian dan membutuhkan proses pembersihan saat jadwal pelaksanaan TA ialah *mixed feed coil*, *HT dan LT coil* karena kinerja *coil-coil* ini dibawah 80%. Sedangkan untuk *steam air coil*, *feed gas preheat coil*, *BFW coil*, *fuel gas preheat coil* dan *saturator coil* selama 4 bulan terakhir masih baik dengan kinerja di atas 80% sehingga belum diperlukan proses pembersihan saat TA.

**Kata Kunci:** *convection section*, konservasi energi, konveksi

**ABSTRACT:** Heat recovery from *flue gas* output from the *radiant section* of the *primary reformer* (101-B) in the *ammonia reforming unit* of PT. Pupuk Sriwidjajaja IV is carried out in the *convection section*. The *convection section* is located above the *radiant section*, where it is cooler to recover additional heat. In this section, there are 8 coils, namely *mixed feed coil*, *steam air coil*, *high temperature (HT) coil*, *low temperature (LT) coil*, *feed gas preheat coil*, *boiler feed water (BFW) coil*, *fuel gas preheat coil*, and *saturator coil*. Heat transfer occurs by convection to heat the coils. In connection with the implementation of the PUSRI IV *turnaround (TA)*, it is necessary to conduct a performance evaluation to determine steps to improve the performance of the *convection section*. Evaluation of the performance of the *convection section* can be reviewed through the *duty* value of each coil which is carried out with a simulator. Based on the evaluation results, the performance values of the *convection section* units that need attention and require a cleaning process during the TA implementation schedule are *mixed feed coils*, *HT*, and *LT coils* because the performance of these coils is below 80%. Meanwhile, *steam air coil*, *feed gas preheat coil*, *BFW coil*, *fuel gas preheat coil* and *saturator coil* for the last 4 months are still good with performance above 80% so that no cleaning process is needed during TA.

**Keywords:** *convection section*, energy conservation, convection

### PENDAHULUAN

Pabrik amoniak pada unit PUSRI IV terdiri dari lima unit utama yaitu *feed treating unit*, *reforming unit*, *purification unit*, *synloop*, dan *refrigeration & storage unit* serta satu unit tambahan yakni *purge gas recovery unit (PGRU)*. Unit *synloop* sendiri terintegrasi dengan unit PGRU dan *refrigeration & storage* karena itu unit ini disebut *synloop* atau *loop* sintesis amonia. Pada unit

*reforming*, terjadi reaksi kesetimbangan antara gas alam ( $\text{CH}_4$ ) dengan steam ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dengan perbandingan tertentu yang terjadi dalam *primary reformer* (101-B) untuk menghasilkan produk berupa syngas ( $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2$ ). Karena reaksi di *primary reformer* bersifat endotermis atau membutuhkan panas sehingga diperlukan panas pembakaran dari *fuel gas* atau *flue gas*. Setelah digunakan untuk menyuplai panas bagi *primary reformer*, panas *flue gas* keluaran *radiant* dialirkan menuju *convection section*.

*Convection section* merupakan upaya pemanfaatan panas kembali dari keluaran *radiant section* pada *primary reformer* yang terdiri dari *coil-coil* yang berfungsi untuk menyerap panas. *Coil-coil* ini secara berurutan terdiri dari 8 *coil* yakni *mixed feed coil*, *steam air coil*, *high temperature superheat coil*, *low temperature superheated coil*, *feed gas preheat coil*, *boiler feed water coil*, *fuel gas preheat coil*, dan *saturator coil*.

*Primary reformer* sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan efisiensi di pabrik amoniak dan urea PUSRI karena *syngas* merupakan bahan baku utama untuk membuat *ammonia*. Penggunaan energi yang sangat besar pada *primary reformer* mengakibatkan diperlukannya upaya konservasi energi melalui *convection section*. Oleh karena itu, pada tugas khusus ini, secara spesifik akan dievaluasi performa *convection section* pada *primary reformer* PUSRI IV. Hal ini dikarenakan usia pabrik PUSRI IV yang telah berdiri sejak 1977 (44 tahun), serta mendekati saat PUSRI IV akan *turn around* sehingga diperlukan evaluasi kinerja *coil-coil* pada *convection section*. Performa *convection section* dapat dilihat dengan melakukan simulasi komputasi dengan simulator. Evaluasi performa *convection section* ini perlu dilakukan untuk menganalisa apakah alat ini memerlukan perbaikan atau pengaturan kondisi operasi tertentu agar kinerja *convection section* lebih optimum setelah dilaksanakannya TA.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Konservasi Energi

Energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan suatu kerja atau usaha. Energi merupakan salah satu besaran yang bersifat kekal. Kekekalan energi ini dirumuskan oleh hukum termodinamika yang pertama berbunyi “energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, namun dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk yang lain (Smith dkk, 2021). Energi dapat berasal dari sumber-sumber energi misalnya gas alam, batubara, minyak bumi, angin, surya, dan masih banyak jenis-jenis sumber energi lainnya. Di dunia industri kimia, energi digunakan untuk menunjang terjadinya proses produksi suatu produk tertentu. Untuk meningkatkan efisiensi serta menghemat biaya pengeluaran untuk energi umumnya dilakukan suatu upaya manajemen energi.

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 tahun 2012 dikatakan bahwa manajemen energi adalah kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi konsumsi bahan baku dan bahan pendukung. Terdapat dua strategi pokok dalam manajemen energi yaitu konservasi energi dan efisiensi energi. Efisiensi energi dilakukan dengan menggunakan teknologi yang membutuhkan lebih sedikit energi untuk melakukan fungsi yang sama. Contoh konkret dari efisiensi energi yaitu penggunaan bola lampu *light-*

*emitting diode (LED)* atau *compact fluorescent light (CFL)* yang membutuhkan energi lebih sedikit daripada bola lampu pijar untuk menghasilkan cahaya dalam jumlah yang sama.

Sedangkan, konservasi energi memiliki arti yang lebih luas dibandingkan dengan efisiensi energi. Konservasi energi merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi konsumsi energi dengan menggunakan lebih sedikit energi, memanfaatkan kembali panas atau membuat aliran *recycle* untuk merestorasi energi. Suatu konservasi energi dikatakan dapat dicapai dengan baik ketika penggunaan energi dilakukan dengan lebih efisien. Konservasi energi merupakan bagian dari konsep *eco-sufficiency*. Suatu perilaku konservasi energi dapat tergolong sebagai efisiensi energi karena penghematan energi dapat dilakukan dengan hanya mengurangi jumlah penggunaan energinya. Namun, penghematan energi dapat menurunkan produktivitas dari suatu peralatan. Sementara konservasi energi adalah penerapan kaidah-kaidah dalam pengelolaan energi tidak hanya mengurangi pemakaian energinya tapi juga menerapkan pola operasi yang efisien, pemasangan alat tambahan yang meningkatkan performa sistem sehingga pemakaian energinya lebih rendah tapi tidak mengurangi produktivitas. Pada intinya konservasi energi merupakan tata cara penghematan yang berisi metode-metode atau alat-alat yang dapat digunakan untuk penghematan energi tanpa mengurangi produktivitas (Sangwan, 2017). Upaya konservasi energi diterapkan pada seluruh tahap pemanfaatan, mulai dari pemanfaatan sumber daya energi sampai pada pemanfaatan terakhir, dengan menggunakan teknologi yang efisien, dan membudayakan pola hidup hemat energi.

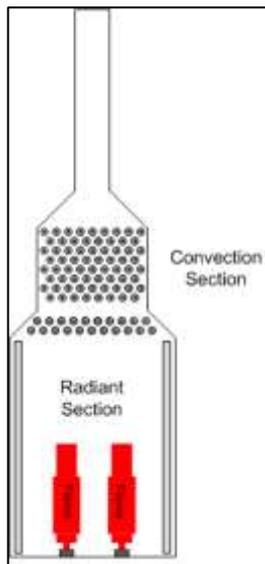
Keuntungan melakukan konservasi energi dapat dapat menghemat konsumsi bahan bakar energi sekitar 10% (Nugroho, 2005). Industri dapat menurunkan biaya produksi bila upaya konservasi energi terus dipraktekkan. Selain menekan biaya, keuntungan lain dari upaya konservasi energi yakni mengurangi berbagai polutan ( $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) dan debu. Dengan demikian, kemampuan melakukan konservasi energi memperkokoh daya saing industri dan produktivitas nasional. Potensi “*energy saving*” dari melakukan konservasi energi di Indonesia sesungguhnya sangat besar. Sebuah studi yang dilakukan Dewan Energi Nasional (DEN) (2020) memperkirakan potensi konservasi energi sektor industri mencapai 15-30%. Pemerintah telah mewajibkan industri untuk melakukan konservasi energi tepatnya dalam Peraturan Presiden (Perpres) No. 22/2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) (Batih&Damitri, 2019). Pemanfaatan energi dengan lebih efisien dapat dicapai melalui penggunaan teknologi hemat energi dan penerapan budaya hemat energi. Penerapan konversi energi meliputi perencanaan, pengoperasian, dan pengawasan pemanfaatan energi.

Penghematan ini bergantung pada proses-proses industri kimia seperti sisa reaksi pembakaran, peleburan, pemanasan/uap. Kemudian dari utilitas seperti panas langsung, mekanis, panas uap. Optimasi kinerja peralatan industry seperti *burner*, listrik-diesel, *boiler-burner*.

Upaya konservasi energi dapat juga dilakukan melalui teknik konservasi energi seperti *waste heat recovery*, perbaikan isolasi panas, *co-generation*, aliran umpan balik (*recycle*) dari sisa bahan kimia proses industri (*reuse* dan *recovery*). Pada umumnya, penghematan melalui cara teknis lebih memberikan hasil yang memadai. Konservasi energi telah menjadi kewajiban bagi industri kimia untuk menekan biaya produksinya.

### Convection Section

*Furnace* adalah alat yang menghasilkan panas berupa ruang tertutup (Flynn et.al, 2019). Panas dalam *furnace* biasanya dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar seperti minyak, kayu, atau gas alam. Panas juga dapat dihasilkan oleh listrik, seperti dalam *electric arc furnace* atau dengan pemanasan induksi dalam *induction furnace*. *Furnace* skala industri, atau *direct-fired heater* merupakan peralatan yang menyediakan panas untuk menunjang terjadinya suatu proses atau reaksi kimia misalnya di *reformer*. Desain *furnace* bervariasi sesuai dengan fungsinya, *heating duty*-nya, jenis bahan bakar, dan metode memasukkan udara ke dalam ruang bakar. Namun, sebagian besar *process furnace* memiliki kesamaan. Gambar 1. menunjukkan gambar *radiant section* dan *convection section* secara umum.



Gambar 1. *Furnace*  
(Sumber: Davidy, 2020)

Bahan bakar (*fuel*) mengalir ke *burner* dan dibakar dengan udara yang disediakan dari *blower*. *Furnace* tertentu mungkin memiliki lebih dari satu *burner*, diatur dalam sel yang memanaskan satu set *tube*. *Burner* dapat dipasang di lantai, dipasang di dinding, atau dipasang di atap, tergantung pada desain peralatan. Api memanaskan *tube*, kemudian memanaskan fluida di dalam bagian pertama *furnace* yang dikenal sebagai *radiant section* atau *firebox*. Di *chamber* terjadi reaksi pembakaran, panas berpindah secara radiasi ke *tube* di sekitar api di dalam *chamber* (Gray et al, 2016). Fluida pemanas melewati

*tube* untuk memanaskan fluida didalamnya sampai temperatur yang diinginkan.

Gas hasil pembakaran disebut *flue gas*. Setelah *flue gas* meninggalkan *radiant section*, sebagian besar desain *furnace* mencakup *convection section*. Pada *convection section* ini panas dimanfaatkan kembali (*reuse*) sebagai salah satu upaya konservasi energi di industri sebelum dibuang ke atmosfer melalui *flue gas stack* (Picard, 2020). *Radiant section* adalah tempat *tube* menerima hampir semua panasnya secara radiasi dari pancaran nyala api. *Tube* dapat berupa vertikal ataupun horizontal, ditempatkan di sepanjang dinding tahan api atau di sekitar tengah, atau diatur dalam sel. Di PUSRI, panas di *radiant section* dimanfaatkan untuk menunjang reaksi *reforming* di *primary reformer* karena reaksinya yang bersifat endotermis. *Flue gas* keluaran *radiant section* kemudian masuk ke *convection section* untuk memanaskan *coil-coil*.

*Convection section* terletak di atas *radiant section*, di mana lebih dingin untuk memulihkan panas tambahan. Pada bagian ini, perpindahan panas terjadi secara konveksi, dan *finned tube* digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas. Dua baris *tube* pertama di bagian bawah *convection section* dan bagian atas *radiant section* membentuk area *tube* kosong (tanpa *fin*) dan dikenal sebagai "*shield section*", karena terkena banyak radiasi dari *furnace*. Bagian ini yang melindungi *tube convection section*, yang biasanya bahannya kurang tahan dari suhu tinggi di *furnace*. Area *radiant section* tepat sebelum *flue gas* memasuki *shield section* dan kemudian *convection section* disebut "*bridge zone*". Istilah "*crossover*" digunakan untuk menggambarkan *tube* yang menghubungkan dari *outlet convection section* ke *inlet radiant section*. Pipa-pipa *crossover* biasanya terletak di luar, sehingga suhu dapat dipantau dan efisiensi *convection section* dapat dihitung.

### Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas adalah proses dinamis di mana panas dipindahkan secara spontan dari benda panas ke benda lain yang lebih dingin. Laju perpindahan panas tergantung pada perbedaan suhu antara benda, semakin besar perbedaan suhu, semakin besar laju perpindahan panas. Perbedaan suhu antara sumber panas dan penerima panas oleh karena itu merupakan *driving force* dalam perpindahan panas. Peningkatan perbedaan suhu meningkatkan *driving force* sehingga laju perpindahan panas bertambah. Panas yang berpindah dari satu benda ke benda lain bergerak melalui beberapa media yang secara umum menawarkan resistensi terhadap aliran panas. Perbedaan suhu dan hambatan aliran panas, mempengaruhi laju perpindahan panas secara umum.

Kalor atau panas dapat berpindah dengan tiga cara yaitu konduksi, radiasi dan konveksi. Dalam konduksi, energi molekuler secara langsung dipertukarkan, dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin, molekul dengan energi yang lebih besar mengkomunikasikan sebagian energi ini ke molekul tetangga dengan energi yang lebih sedikit. Contoh konduksi adalah perpindahan panas dari nyala api di kompor ke panci. Sedangkan, radiasi adalah perpindahan

energi panas oleh gelombang elektromagnetik, yang mentransfer panas dari satu benda ke benda lain, dengan cara yang sama seperti gelombang cahaya elektromagnetik mentransfer energi cahaya. Contoh perpindahan panas dari matahari yang menyinari bumi dengan gelombang ultra-violet (UV).

Konveksi (atau perpindahan panas secara konveksi) terjadi ketika energi panas berpindah antara permukaan dan fluida yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Dalam *convection section* panas berpindah dari *flue gas* yang mengalir untuk memanaskan permukaan *tube*. Perpindahan panas secara konveksi melibatkan proses gabungan konduksi (*heat diffusion*) dan (*heat transfer by bulk fluid flow*). Pada kenyataannya ini adalah kombinasi dari difusi dan *bulk motion* molekul. Di dekat permukaan benda padat kecepatan fluida rendah, dan proses difusi mendominasi. Pada jarak dari permukaan, *bulk motion* meningkatkan pengaruh dan mendominasi. Konveksi biasanya merupakan bentuk dominan perpindahan panas dalam fluida.

Konveksi dapat "dipaksa" oleh pergerakan fluida dengan cara selain *buoyancy forces* (misalnya, pompa air di mesin mobil). Ekspansi termal fluida juga dapat memaksa konveksi (*forced convection*). Dalam kasus lain, gaya apung alami dapat sepenuhnya bertanggung jawab untuk gerakan fluida ketika fluida dipanaskan, dan proses ini disebut "*natural convection (natural convection)*". Contohnya adalah angin di cerobong asap atau di sekitar api apa pun. Dalam *natural convection*, peningkatan suhu menghasilkan pengurangan kepadatan, yang pada gilirannya menyebabkan gerakan fluida karena tekanan dan gaya ketika fluida dengan kepadatan berbeda dipengaruhi oleh gravitasi (atau gaya apapun). Misalnya, ketika air dipanaskan di atas kompor, air panas dari dasar panci dipindahkan (atau dipaksa naik) oleh fluida yang lebih dingin dan lebih padat, yang jatuh. Setelah pemanasan berhenti, pencampuran dan konduksi dari *natural convection* ini akhirnya menghasilkan kerapatan yang hampir homogen, dan bahkan suhu. Tanpa adanya gravitasi, *natural convection* tidak terjadi, dan hanya *forced convection* yang terjadi.

Model perpindahan panas konveksi terdiri dari satu mekanisme. Selain transfer energi karena gerakan molekul tertentu (difusi), energi ditransfer oleh *bulk*, atau gerakan fluida (*fluid motion*). *Fluid motion* ini terjadi karena sejumlah besar molekul bergerak secara kolektif atau sebagai agregat. Gerakan seperti itu terjadi dengan adanya *driving force* berupa gradien suhu, berkontribusi pada perpindahan panas. Karena molekul-molekul dalam agregat mempertahankan gerakan acaknya, perpindahan panas total kemudian disebabkan oleh superposisi transfer energi oleh gerakan acak molekul dan oleh gerakan *bulk* fluida. Biasanya istilah konveksi digunakan untuk transfer ini dan istilah adveksi bila mengacu pada perpindahan karena gerakan *bulk fluid*.

Dua jenis perpindahan panas konveksi dapat dibedakan menjadi *natural convection* dan *forced convection*. *Natural convection* terjadi ketika gerakan fluida disebabkan oleh gaya apung yang dihasilkan dari

variasi densitas karena variasi suhu termal dalam fluida. Dengan tidak adanya sumber internal, ketika fluida bersentuhan dengan permukaan yang panas, molekulnya terpisah dan menyebar, menyebabkan fluida menjadi kurang padat. Akibatnya, fluida dipindahkan sementara fluida yang lebih dingin menjadi lebih padat dan fluida tenggelam. Dengan demikian, volume yang lebih panas memindahkan panas ke volume yang lebih dingin dari fluida tersebut. Contoh dari *natural convection* adalah aliran udara ke atas karena api atau benda panas dan sirkulasi air dalam panci yang dipanaskan dari bawah.

Sedangkan, *forced convection* terjadi ketika fluida dipaksa mengalir di atas permukaan oleh sumber internal seperti kipas, dengan pengadukan, dan pompa, menciptakan arus konveksi yang diinduksi secara artifisial. Dalam banyak aplikasi industri misalnya pemanasan dengan pengadukan. *Natural convection* dan *forced convection* dapat terjadi pada saat yang sama atau disebut juga konveksi campuran. Aliran internal dan eksternal juga dapat mengklasifikasikan konveksi. Aliran internal terjadi ketika fluida tertutup oleh batas padat seperti ketika mengalir melalui pipa. Aliran eksternal terjadi ketika fluida meluas tanpa batas tanpa bertemu permukaan padat. Kedua jenis konveksi, baik *natural* atau *forced*, dapat berupa aliran internal atau eksternal karena independen satu sama lain. Suhu *bulk*, atau suhu fluida rata-rata, adalah titik referensi untuk mengevaluasi sifat yang berhubungan dengan konveksi. perpindahan panas, terutama dalam aplikasi yang berhubungan dengan aliran dalam pipa.

Perpindahan panas secara konveksi dipengaruhi oleh beberapa faktor (Bergman, 2017). Pertama densitas dan gravitasi, laju perubahan densitas yang diiringi dengan perubahan suhu merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan ketika memprediksi kecepatan perpindahan panas secara konveksi. Kedua, koefisien ekspansi termal, fluida yang memiliki koefisien muai panas yang tinggi, akibatnya akan memiliki perubahan densitas yang tinggi dengan perubahan suhu. Hal ini akan cenderung mempercepat pembentukan dan pergerakan arus konveksi. Ketiga viskositas, arus konveksi akan bergerak lambat di dalam cairan dengan viskositas tinggi dan dengan cepat di dalam cairan dengan viskositas rendah. Sehingga, laju perpindahan panas secara konveksi akan tergantung pada viskositas fluida yang dipanaskan.

Keempat konduktivitas termal, kebanyakan fluida memiliki nilai konduktivitas termal yang sangat rendah. Dengan demikian, perpindahan panas dengan konduksi lambat. Karena konveksi dipengaruhi oleh konduksi, fluida harus memiliki konduktivitas termal tinggi agar perpindahan panas secara konveksi dapat berlangsung dengan lebih cepat dan baik. Kemudian, *specific heat capacity* ( $C_p$ ), fluida dengan  $C_p$  akan lebih cepat memanaskan. Dengan demikian kapasitas panas spesifik merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan ketika mengevaluasi perpindahan panas secara konveksi.

Selanjutnya, dimensi peralatan karena jarak yang ditempuh arus konveksi dan luas *vessel* yang dipanaskan akan mempengaruhi laju perpindahan panas secara konveksi. Sehingga, fluida dalam *vessel* sempit namun

tinggi akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk memanaskan fluida pada massa yang sama ketimbang dalam *vessel* yang lebih pendek namun lebar. Terakhir, distribusi temperatur akan mempengaruhi laju perpindahan panas akan tergantung pada perbedaan suhu antara bagian terpanas dan terdingin dari sistem. Untuk *vessel*, bagian terpanas akan berada di dasar dan bagian terdingin di dekat permukaan fluida. Saat pemanasan berlangsung, perbedaan suhu ini semakin kecil bahkan mencapai minimum ketika fluida mulai mendidih.

#### Simulator Proses

Munculnya dan perkembangan informatika digital menentukan kemajuan berbagai bidang pengetahuan manusia. Teknik kimia merupakan bagian dari pengembangan tersebut, khususnya dalam penerapannya pada simulasi proses. Upaya pertama pemodelan matematika merujuk kembali ke tahun 1950-an dengan debut bahasa FORTRAN (*FORmula TRANslating*). Setelah itu, pada tahun 1970-an, muncul simulator proses pertama, yang dikenal sebagai FLOWTRAN, yang akan menjadi awal dari pengembangan *software* simulasi proses. Simulator proses dibangun di perpustakaan subrutin atau model, umumnya dikembangkan di FORTRAN, C++, atau Visual Basic, yang menyesuaikan algoritma untuk solusi persamaan.

*Process engineer* harus mengetahui pedoman dan asumsi model yang disediakan oleh masing-masing simulator agar penggunaannya efektif. Selain itu, penting untuk mempertimbangkan kriteria yang digunakan dalam spesifikasi kesetimbangan fase dan model yang digunakan untuk tujuan itu, karena keakuratan hasil simulasi yang diperoleh dipengaruhi olehnya. Simulasi proses kimia bertujuan untuk merepresentasikan suatu proses transformasi kimia atau fisika melalui model matematika yang melibatkan perhitungan neraca massa dan energi yang digabungkan dengan kesetimbangan fasa dan dengan persamaan transpor dan kinetika kimia (Chaves dkk, 2016).

Model matematika yang digunakan dalam simulasi proses dapat berupa persamaan aljabar linier, nonlinier, dan diferensial, yang mewakili peralatan atau operasi proses, sifat fisik-kimia, hubungan antara peralatan dan operasi dan spesifikasinya. Hubungan ini diringkas dalam diagram alir proses yang menjadi bahasa proses kimia. Dengan demikian, simulator proses digunakan untuk interpretasi dan analisis informasi yang terkandung dalam diagram aliran proses untuk memprediksi kegagalan dan mengevaluasi kinerja proses. Analisis proses didasarkan pada model matematika yang terintegrasi oleh sekelompok persamaan yang mengaitkan variabel proses seperti suhu, tekanan, aliran, dan komposisi, dengan luas permukaan, konfigurasi geometris, dan *set point valve*. Kebanyakan simulator menggunakan sistem persamaan linier untuk menyelesaikan setiap unit secara terpisah dan bergerak maju dalam sistem setelah variabel yang diperlukan untuk perhitungan unit berikutnya diketahui (Haydary, 2019).

Namun, proses itu tidak berguna ketika ada daur ulang aliran dalam sistem karena beberapa variabel untuk

menghitung diperlukan untuk inisialisasi proses. Solusi alternatif untuk jenis masalah itu terdiri dari mengambil satu aliran sebagai aliran *tear*. Hal itu berarti mengasumsikan nilai awal aliran itu untuk memulai perhitungan; kemudian, berdasarkan informasi yang diasumsikan, masing-masing unit berikut diselesaikan dengan memperoleh nilai baru untuk parameter aliran *tear*. Selanjutnya, nilai-nilai baru membantu untuk mengulangi perhitungan ini lagi dan lagi, sampai perbedaan antara nilai awal dan nilai yang dihitung memenuhi toleransi yang diberikan atau konvergen.

Simulator proses adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan perilaku proses kimia dalam keadaan *steady-state*, dengan cara menentukan tekanan, suhu, dan aliran. Saat ini, program komputer yang digunakan dalam simulasi proses telah luas dalam studi tentang perilaku proses yang dinamis, serta sistem kontrol dan responsnya terhadap gangguan yang melekat pada operasi. Dengan cara yang sama, perangkat lunak untuk melakukan ukuran peralatan, estimasi biaya, estimasi dan analisis properti, analisis operabilitas dan optimasi proses, sekarang tersedia secara komersial. Semua karakteristik tersebut dapat diamati di simulator, salah satu simulator yang paling umum digunakan untuk simulasi proses yakni *Aspen Engineering Suite*. Simulator proses memungkinkan untuk memprediksi perilaku suatu proses, menganalisis secara simultan kasus yang berbeda, mengubah nilai-nilai variabel operasi utama, mengoptimalkan kondisi operasi pabrik baru atau yang sudah ada, dan mengevaluasi pabrik kimia selama *lifetime*-nya, untuk memperkirakan kemungkinan adanya perbaikan proses.

#### METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tugas khusus ini berupa studi literatur, observasi, pengumpulan data dan simulasi proses. Evaluasi dilakukan selama 4 bulan untuk mendapatkan hasil perbandingan yang lebih komprehensif yakni pada bulan April, Mei, Juni dan Juli. Karena proses dan kondisi operasi yang cukup kompleks maka dipilih metode simulasi proses dengan simulator ketimbang metode perhitungan untuk mengefisienkan proses pengolahan data. Studi literatur sebagai petunjuk dalam mengetahui parameter-parameter yang digunakan untuk evaluasi kinerja *convection section*. Data desain yang dimaksudkan pada evaluasi ini merupakan data kondisi saat *rate* operasi 100% bukan kemampuan maksimal dari peralatan. Simulasi dilakukan dengan aplikasi simulator karena kerumitan proses yang terjadi dalam *convection section* ini. Hal ini juga dapat menghemat waktu melakukan perhitungan-perhitungan dalam mendesain proses yang rumit dan kompleks dibandingkan apabila dikerjakan dengan perhitungan manual dengan akurasi yang sama. Pada tugas khusus ini, pertama-tama akan dilakukan pemasukan data semua unsur senyawa yang akan digunakan yakni: metana ( $\text{CH}_4$ ), etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propane ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), n-butana ( $\text{n-C}_4\text{H}_{10}$ ), i-butana ( $\text{i-C}_4\text{H}_{10}$ ), n-pentana ( $\text{n-C}_5\text{H}_{12}$ ), i-pentana ( $\text{i-C}_5\text{H}_{12}$ ), n-heksana ( $\text{n-}$

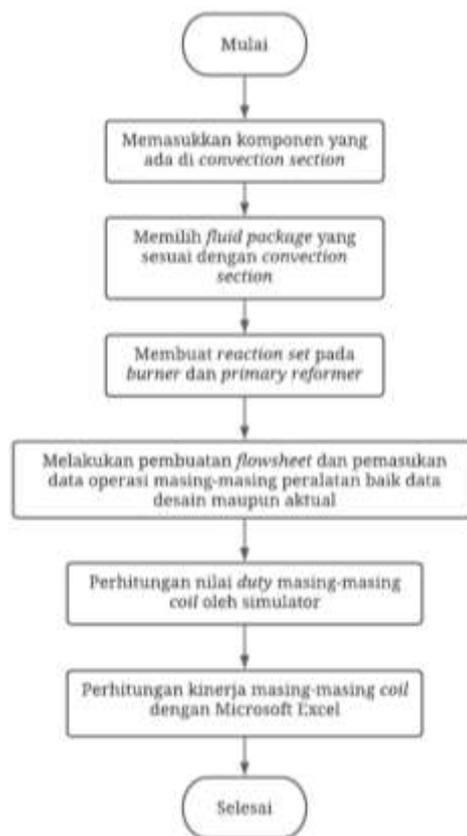
$C_6H_{14}$ ), air ( $H_2O$ ), karbon monoksida ( $CO$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), oksigen ( $O_2$ ), hidrogen ( $H_2$ ), nitrogen ( $N_2$ ), dan argon ( $Ar$ ). Semua komponen ini perlu dimasukkan di *component list* agar dapat digunakan pada data komposisi neraca massa simulator.

Selanjutnya dilakukan pemilihan model matematis atau *fluid package* untuk membantu simulator mengetahui pendekatan proses yang dipilih. Dalam tugas khusus ini dipilih 2 buah *fluid package* yakni Peng-Robinson dan ASME-*Steam*. *Fluid package* Peng-Robinson digunakan pada *coil-coil* yang memiliki komposisi gas alam dan udara yakni *mixed feed coil*, *steam air coil*, *feed gas preheat coil* dan *fuel gas preheat coil*. Pemilihan ini didasarkan karena pendekatan dengan persamaan Peng-Robinson telah teruji di dunia industri dan dijadikan standar untuk mensimulasikan proses dengan aliran gas hidrokarbon. Peng-Robinson juga memiliki jarak temperatur dan tekanan yang lebih lebar ketimbang *fluid package* lainnya. Karena *fluid package* Peng-Robinson hanya dapat digunakan untuk *saturated water*, digunakan *fluid package* ASME *Steam* digunakan secara spesifik untuk aliran air dan *steam* (Haydary, 2019).

Setelah selesai memasukkan komponen dan memilih *fluid package* agar mendekati kondisi sebenarnya. Selanjutnya, *user* perlu memasukkan data reaksi kimia (*reaction set*). Dalam tugas khusus ini terdapat 2 *reaction set* yakni reaksi *reforming* di *primary reformer* (101-B) dan reaksi pembakaran di *burner* dan *auxiliary boiler*. Reaksi pembakaran berguna untuk mengetahui komposisi dan kondisi operasi dari *flue gas* keluaran *burner* dan *auxiliary boiler*. Sedangkan reaksi *reforming* dimasukkan untuk mengetahui berapa *duty* yang diperlukan untuk menunjang reaksi tersebut.

Setelah selesai memasukan *reaction set*, kemudian dilanjutkan ke proses pembuatan *flowsheet* dan *input data* operasi masing-masing peralatan. *Flowsheet* disesuaikan dengan *process flow diagram* (PFD) dari data AOP di P&ID PUSRI IV untuk data desain. Dari hasil observasi dengan pembimbing lapangan bahwa simulasi *convection section* perlu ditinjau dari 2 sisi yakni dari sisi *flue gas* dan sisi proses. Untuk simulasi kondisi desain, semua data komposisi dan kondisi operasi dari kedua sisi tersedia. Namun, untuk data aktual atau lapangan data kondisi operasi *flue gas* baik aliran masuk maupun aliran keluar tidak diketahui sehingga hanya dapat ditinjau dari sisi prosesnya saja. Sehingga, pada aplikasi simulator, *user* mengasumsikan bahwa perpindahan panas dari *flue gas* ke masing-masing *coil* terjadi secara sempurna atau tanpa adanya *losses*. Karena, diperlukan data kondisi operasi *flue gas* untuk menghitung *losses* yang terjadi selama perpindahan panas tersebut. Pembuatan *flowsheet* sendiri memerlukan ketelitian dan *sense of engineering* untuk memperkirakan alat yang cocok menggambarkan kondisinya. Setelah selesai semua, simulator akan menghitung *duty* masing-masing *coil* secara otomatis. Perhitungan yang digunakan oleh simulator antara lain neraca massa dan neraca panas yang menjadi fokus yang dilihat pada tugas khusus ini. Pada *convection section* tidak terjadi reaksi sama sekali, hanya murni perpindahan panas dari *flue gas* ke masing-masing *coil*. Selain itu,

panas yang dihitung hanya berupa panas sensibel karena tidak terjadi perubahan fasa pada *convection section*. Gambar 3 menunjukkan diagram alir simulasi.



Gambar 3. Diagram Alir Simulasi

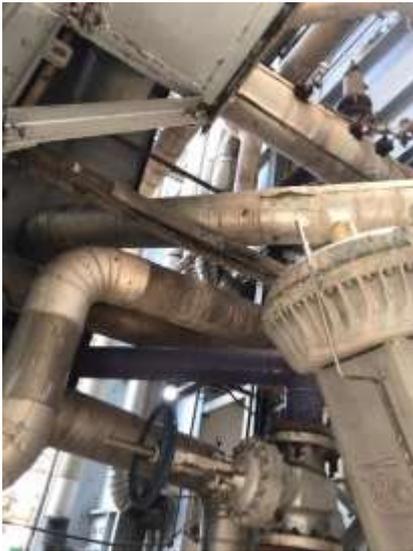
## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Convection section* merupakan sebuah bagian dari *primary reformer* (101-B) pada unit *reforming ammonia* yang digunakan untuk memanfaatkan kembali panas *flue gas* keluaran *radiant section*. *Flue gas* dihasilkan dari hasil pembakaran gas alam di *burner* dan di *auxiliary boiler*. Setelah keluar dari *burner*, panas *flue gas* dimanfaatkan untuk menunjang reaksi *reforming* di *primary reformer* atau *radiant section*. Setelah *radiant section*, *flue gas* dimanfaatkan untuk memanaskan *mixed feed coil* yang berisi gas alam proses dan *steam* sebelum masuk ke *primary reformer*. Kemudian, *flue gas* digunakan untuk memanaskan *steam air coil* yang berisi *steam* dan udara proses. Selanjutnya, *flue gas* dimanfaatkan untuk memanaskan *high temperature steam* di *high temperature* (HT) *coil* untuk kebutuhan proses. Sebelum ke *low temperature* (LT) *coil*, *flue gas* mendapatkan tambahan panas dari *auxiliary boiler*. Namun, panas *flue gas* keluaran *auxiliary boiler* terlebih dahulu digunakan untuk memanaskan *boiler feed water* (BFW).

Panas *flue gas* keluaran HT *coil* ditambah dengan panas *flue gas* keluaran *auxiliary boiler* masuk ke LT *coil* untuk memanaskan *low temperature steam*. *Flue gas*

EVALUASI KINERJA CONVECTION SECTION PADA PRIMARY REFORMER (101-B) PADA PT. PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI-IV)

keluaran LT coil kemudian digunakan untuk memanaskan gas proses pada *feed gas preheat coil*. Dari *feed gas preheat coil*, *flue gas* selanjutnya memanaskan *boiler feed water (BFW)* di *BFW coil*, berikutnya gas alam untuk bahan bakar di *fuel gas preheat* dan *saturator coil* sebelum ke *stack*. Terdapat delapan buah *coil* yang memanfaatkan panas keluaran *radiant section* pada *convection section*. Sebelum adanya *ammonia optimization project (AOP)* pada tahun 1992 hanya berjumlah 6 *coil* saja. *Convection section* berkerja dengan prinsip perpindahan panas secara konveksi dan konduksi. Aliran *flue gas* akan memanaskan masing-masing *coil* yang terdapat dalam *convection section*. Gambar 3 mengilustrasikan *convection section*.



Gambar 3. *Convection Section* PUSRI IV

Pemanfaatan energi ini sangat penting dalam industri kimia karena energi merupakan salah satu kontributor terbesar bagi biaya produksi pabrik sehingga dengan adanya konservasi energi diharapkan dapat meminimalisir biaya tersebut. Selain itu, konservasi energi juga menjadi kewajiban yang wajib dilakukan oleh industri kimia. Pemanfaatan panas *flue gas* untuk memanaskan *coil-coil* yang berisi komposisi yang berbeda untuk menunjang proses di unit amonia. Sehingga, jika kinerja *convection section* buruk berarti konservasi energi ini tidak berjalan dengan baik. Pada *convection section* ini tidak terjadi reaksi kimia sama sekali dan hanya terjadi perpindahan panas saja keluaran dari *radiant section*. Jika diibaratkan, *coil-coil* seperti *tube* di *heat exchanger* sedangkan *flue gas* mengalir di dalam *shell* untuk memanaskan fluida di dalam *tube*.

Evaluasi kinerja *convection section* dapat diketahui dari nilai *duty* dan kinerja dari masing-masing *coil*. Nilai *duty* masing-masing *coil* didapatkan dari hasil simulasi dengan menggunakan *software* simulator, sedangkan untuk kinerja didapat dengan membandingkan *duty* aktual dan *duty* desain. Simulator digunakan untuk menyederhanakan proses yang rumit dan panjang dari *convection section* ini. Simulasi ini memerlukan

memerlukan data aktual dan data desain alat serta komposisi senyawa masing-masing aliran baik aliran masuk maupun keluar masing-masing *coil*, *burner*, *auxiliary boiler* dan *primary reformer (101-B)*. Data desain yang digunakan sebagai basis simulasi diperoleh dari P&ID PUSRI-IV setelah adanya AOP pada tahun 1992. Sedangkan, data kondisi operasi aktual digunakan sebagai dasar simulasi yang diperoleh dari *e-log sheet* bagian operasi amonia PUSRI-IV pada 4 bulan terakhir saat *rate* operasi pabrik lebih dari 84%. Komposisi senyawa gas alam didapatkan dari laporan bulanan *gas metering station (GMS)* dan *inlet primary reformer* Laboratorium Kimia Analisis pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021.

Simulasi dilakukan dengan simulator dengan memperhatikan pemilihan *fluid package* yang dapat mendekati kondisi yang terjadi di *convection section*. Simulasi dilakukan untuk mengetahui nilai *duty* dari masing-masing *coil*. Karena tidak tersedianya data kondisi operasi aliran masuk dan aliran keluar *flue gas* pada masing-masing *coil* sehingga diasumsikan bahwa tidak terjadi *losses* panas dari *flue gas* ke proses. Seharusnya dilakukan peninjauan dari sisi *flue gas* dan sisi proses, namun karena ketidakterediaan data ini maka hanya dapat dilakukan evaluasi dari sisi proses. Nilai *duty convection section* ditunjukkan oleh tabel 1. Kinerja masing-masing *coil* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Nilai *duty convection section*

Stream	11 April 2021 (MW)	31 Mei 2021 (MW)	28 Juni 2021 (MW)	28 Juli 2021 (MW)
Mixed Feed Coil	10.7700	9.5210	9.5670	9.4980
Steam Air Coil	4.1810	3.7610	3.8710	4.2130
HT Coil	14.6000	9.7810	14.2300	15.2700
LT Coil	13.5200	14.4700	12.5100	9.8370
Feed Gas Preheat Coil	1.1420	1.1000	1.0420	1.1140
BFW Coil	30.7300	15.2200	15.2200	27.7300
Fuel Gas Preheat Coil	0.8591	1.0990	1.0670	1.0690
Saturator Coil	8.5100	7.6200	7.8660	7.6570
Total	84.3121	62.5720	65.3730	76.3880

Tabel 2. Nilai kinerja masing-masing *coil*

Stream	11 April 2021	31 Mei 2021	28 Juni 2021	28 Juli 2021
Mixed Feed Coil	80.4933%	71.1584%	71.5022%	70.9865%

Steam Air Coil	100.8199%	90.6921%	93.3446%	101.5915%
HT Coil	74.1870%	49.7002%	72.3069%	77.5915%
LT Coil	83.1488%	88.9914%	76.9373%	60.4982%
Feed Gas Preheat Coil	111.7417%	107.6321%	101.9569%	109.0020%
BFW Coil	235.4789%	116.6284%	116.6284%	212.4904%
Fuel Gas Preheat Coil	64.4486%	82.4456%	80.0450%	80.1950%
Saturator Coil	139.7832%	125.1643%	129.2050%	125.7720%

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty mixed coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 10,77 MW, 9,521 MW, 9,567 MW dan 9,498 MW. Terjadi penurunan kinerja dari *mixed coil* ini masing-masing 80,54933%, 71,1584%, 71,5022%, dan 70,9865% karena menumpuknya *scaling* pada *coil-coil* ini sehingga perlu dilakukan pembersihan saat *turn around* (TA) nanti. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty steam air coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 4,181 MW, 3,761 MW, 3,871 MW dan 4,213 MW. Kinerja *steam air coil* ini masih sangat baik sehingga tidak perlu dilakukan *action* apapun yakni masing-masing 100,8199%, 90,6921%, 93,3446%, dan 101,5915%.

Presentase kinerja yang melebihi 100% memungkinkan saja karena beberapa faktor mulai dari *flow feed*, selisih temperatur dan tekanan yang biasanya dapat lebih dari 20% dari angka desain. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty high temperature coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 14,6 MW, 9,781 MW, 14,23 MW dan 15,27 MW. Kinerja *high temperature coil* ini masih baik walaupun cenderung fluktuatif sehingga tidak perlu dilakukan *action* apapun yakni masing-masing 74,187%, 49,7002%, 72,3069%, dan 77,5915%. Fluktuasi kinerja *high temperature coil* ini dipengaruhi oleh *flow feed*-nya yang menurun pada bulan Mei yakni 207,05 ton/jam sehingga secara data *overall coil* ini masih dapat beroperasi dengan baik tanpa diadakannya pembersihan.

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty low temperature coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 13,52 MW, 14,47 MW, 12,51 MW dan 9,837 MW. Terjadi penurunan kinerja secara signifikan dari *low temperature coil* ini masing-masing 83,1488%, 88,9914%, 76,9373%, dan 60,4982% karena menumpuknya *scaling* pada *coil-coil* ini sehingga perlu dilakukan pembersihan saat *turn around* (TA) nanti. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty feed gas preheat coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 1,142 MW, 1,1 MW, 1,042 MW dan 1,114 MW. Kinerja dari *feed gas preheat coil* ini sudah

cukup baik dengan angka masing-masing 111,7417%, 107,6321%, 101,9569%, dan 109,002%. Kinerja melebihi angka desain karena rentang selisih temperatur yang cukup jauh antara aliran masuk dan aliran keluar dari *coil* ini ketimbang desain dengan *flow* yang tidak jauh berbeda dengan desain. Hal ini mengakibatkan *coil* memiliki *duty* yang lebih tinggi untuk memanaskan fluida di dalam *coil*.

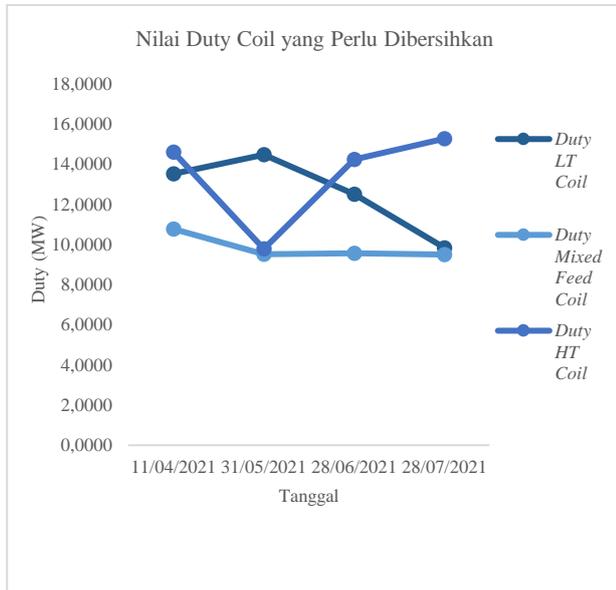
Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty boiler feed water* (BFW) *coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 30,73 MW, 15,22 MW, 15,22 MW dan 27,73 MW. Kinerja dari *feed gas preheat coil* ini sudah cukup baik dengan angka masing-masing 235,4789%, 116,6284%, 116,6284%, dan 212,4904%. Kinerja melebihi angka desain karena rentang selisih temperatur yang cukup jauh antara aliran masuk dan aliran keluar dari *coil* ini ketimbang desain dengan *flow* yang tidak jauh berbeda dengan desain. Hal ini mengakibatkan *coil* memiliki *duty* yang lebih tinggi untuk memanaskan fluida di dalam *coil*. Selain itu, alasan utama dari tingginya *duty coil* ini karena tingginya aliran masuk ke BFW *coil* bahkan lebih dari 20 ton dari angka desain. Hal ini diakibatkan oleh banyaknya kebocoran yang terjadi serta *blow-down* yang dilakukan juga sebanyak angka selisih tersebut sehingga saat *turn around* nanti perlu dilakukan langkah perbaikan untuk meminimalisir ini.

*Duty* yang tinggi ini juga didukung dengan penambahan *fuel gas* di *auxiliary boiler* sekitar 30% pada masing-masing *coil*. Sehingga, perbaikan ini sangat diperlukan untuk meminimalisir pengeluaran biaya dari *fuel gas*. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty fuel gas preheat coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 0,8591 MW, 1,099 MW, 1,067 MW dan 1,069 MW. Kinerja dari *fuel gas preheat coil* ini sudah cukup baik dengan angka masing-masing 64,4486%, 82,4456%, 80,0450%, dan 80,195%. *Duty coil* pada bulan April tidak terlalu tinggi karena selisih temperatur pada hari itu lebih kecil dari hari-hari lainnya sehingga bukan karena faktor *scaling* yang memerlukan pembersihan.

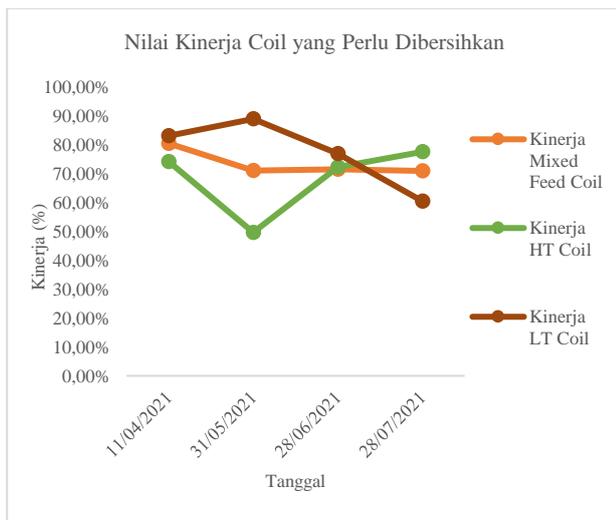
Berdasarkan hasil simulasi didapatkan, *duty saturator coil* pada tanggal 26 April 2021, 24 Mei 2021, 28 Juni 2021 dan 26 Juli 2021 masing-masing 8,51 MW, 7,62 MW, 7,866 MW dan 7,657 MW. Kinerja dari *saturator coil* ini sudah cukup baik dengan angka masing-masing 139,7832%, 125,1643%, 129,205%, dan 125,772%. *Duty coil* ini sebenarnya kurang akurat karena tidak terdapatnya data hasil pemantauan temperatur dari *coil* ini sehingga menggunakan data desain. Sehingga diperlukannya pemantauan secara kontinyu terhadap *coil* ini di *e-log sheet*. *Duty*-nya yang lebih dari 100% dikarenakan *flow* dari *saturator coil* ini lebih dari 30-40 ton dari desain sehingga kinerja *coil* ini masih baik. Gambar 4 menunjukkan grafik nilai *duty* dari *coil-coil* yang perlu dibersihkan pada waktu tertentu. Gambar 5 menunjukkan grafik kinerja dari *coil-coil* yang perlu dibersihkan pada waktu tertentu.

Evaluasi kinerja *convection section* terhadap masing-masing *coil* selama 4 bulan terakhir menjadi alasan kuat untuk membersihkan *coil-coil* saat dilaksanakannya TA

PUSRI-IV. Optimasi kinerja *convection section* ini sangat penting dalam upaya penghematan energi dan bahan bakar gas alam yang digunakan.



Gambar 4. Nilai Duty dari Coil yang Perlu Pembersihan



Gambar 5. Nilai Kinerja dari Coil yang Perlu Pembersihan

## KESIMPULAN

Evaluasi kinerja dari *convection section* dapat ditinjau melalui nilai *duty* dari masing-masing *coil* yang dilakukan dengan simulator. Berdasarkan hasil evaluasi, nilai kinerja unit *convection section* yang perlu mendapat perhatian dan membutuhkan proses pembersihan saat jadwal pelaksanaan TA ialah *mixed feed coil*, *HT* dan *LT coil* karena kinerja *coil-coil* ini dibawah 80%. Sedangkan untuk *steam air coil*, *feed gas preheat coil*, *BFW coil*, *fuel gas preheat coil* dan *saturator coil* selama 4 bulan terakhir

masih baik dengan kinerja di atas 80% sehingga belum diperlukan proses pembersihan saat TA. Kinerja masing-masing *coil* dihitung dengan membandingkan nilai *duty* aktual dengan desain. Faktor yang mempengaruhi besarnya *duty coil* antara lain komposisi *flue gas*, kondisi operasi *flue gas*, komposisi *feed* masing-masing *coil*, dan kondisi operasi masing-masing *coil*.

## REKOMENDASI

Penulis menyarankan perlunya dilakukan pembersihan saat *turn around* pada *mixed feed coil*, *feed gas preheat coil* dan *fuel gas preheat coil*. Ke depannya agar diperoleh data yang lebih akurat, perlu dilakukan pengecekan terhadap *flow* dan temperatur setiap aliran baik masuk maupun keluar pada *high temperature coil*, *low temperature coil* dan *boiler feed water coil*. Kemudian, perlu dilakukan monitor secara kontinyu terhadap alat pengendalian proses berupa indikator temperatur dan tekanan pada aliran masuk maupun keluar pada *saturator coil* agar dapat dimasukkan kedalam *e-log sheet*. Besarnya *flow boiler feed water* yang diakibatkan *blow down* perlu diminimalisir dengan menutup kebocoran yang terjadi sehingga dapat menghemat pemakaian *fuel* di *auxiliary boiler*. Besarnya nilai *duty* pada *high temperature coil*, *low temperature coil*, *boiler feed water coil* dan *saturator coil* perlu ditinjau lebih lanjut selama beberapa bulan kedepan agar diperoleh data dan hasil simulasi yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Batih, H., dan Damiri, D.J. 2019. Estimasi Dampak Implementasi Kebijakan Terhadap Potensi Konservasi Energi Di Sektor Industri. *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*. 11(1): 27-36.
- Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera F. P., DeWitt, D. P. 2017. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley and Sons, New York.
- Chaves, I. D. G., López, J. R. G., Zapata, J. L. G., Robayo, A. L., dan Niño, G. R. 2016. *Process Analysis and Simulation in Chemical Engineering*. Springer Publishing, Switzerland.
- Davidy, A. 2020. CFD Simulation of Forced Recirculating Fired Heated Reboilers. *Processes*. 8(145): 1-27.
- Flynn, A. M., Akashige, T., Theodore, L. 2019. *Kern's Process Heat Transfer 2<sup>nd</sup> edition*. John Wiley and Sons, New York.
- Picard, M. 2020. *Waste Heat: Sources and Uses*. Nova Science Publishers, Inc., New York.
- Gray, W.A., Hopkins, D.W. dan Muller, R. 2016. *Engineering Calculations in Radiative Heat Transfer: International Series on Materials Science and Technology*. Pergamon Press Ltd, Oxford.
- Haydary, J. 2019. *Chemical Process Design and Simulation: Aspen Plus and Aspen Hysys Applications*. Wiley, New Jersey.

- Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 14 Tahun 2012 Tentang Manajemen Energi.
- Sangwan, V. 2017. Energy Conservation Technology in Industries. *Indian Journal of Applied Research*. 7(4): 400-402.
- Smith, J.M., Van Ness, H.C., dan Abbott, M.M. 2021. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 9<sup>th</sup> ed.* McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.