

Pelatihan Pemanfaatan Teknologi *Green Supersonic separation* Untuk Pengolahan Gas Bagi Civitas Akademika Dan Kalangan Industri

Totok Ruki Biyanto, Mohammad Okky Maburri, Muhammad Andro Purnomo,
Nanda Erzhiavica Tama, Gideon Saputra Nainggolan
Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, Indonesia

Email:
trb@ep.its.ac.id

Abstrak – Produksi migas di Indonesia masih didominasi oleh produksi gas. Indonesia memiliki cadangan gas terbukti (*proven gas reserves*) terbesar ketiga belas di dunia dan terbesar kedua di Asia Pasifik, atau diperkirakan 1,4% dari cadangan dunia. Gas alam yang dihasilkan dari sumur tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar. Proses pemisahan adalah salah satu bagian penting dalam industri gas alam. *supersonic separation* merupakan teknologi pemisahan gas yang baru dengan menggabungkan teknologi *JT-valve* dan *turbo expander*. *Plant* yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu *supersonic separation plant* dalam ekstraksi hidrokarbon berat dari metana atau liquefied petroleum gases (*LPG*) recovery. Adanya integrasi panas serta laju umpan gas alam yang tidak selalu stabil membutuhkan perancangan *plantwide control*. Perancangan desain *plantwide control* (*PWC*) pada *supersonic separation* ini berhasil menyelesaikan permasalahan tersebut, terbukti dengan adanya analisis dampak dari kestabilan *plant*. Metode *PWC* yang digunakan menurunkan metode milik Luyben dan Skogestad. Hasil perancangan *PWC* pada uji gangguan berupa penurunan set point sebesar 8.42%, pada respons kualitas metana sales gas menghasilkan respons rise time 302 detik, *maximum overshoot* 1.590309%, *error steady state* 0.185195 %, settling time 2115 detik, dengan analisis secara kualitatif yaitu dengan menggunakan *IAE* juga menunjukkan bahwa perancangan *PWC* menghasilkan nilai *IAE* sebesar 0.690005 yang lebih kecil daripada *PID*. Penerapan *PWC* juga dapat menghasilkan respons sistem yang stabil saat dilakukan uji gangguan.

Kata Kunci: *Plantwide Control, Supersonic Separation, Liquefied Petroleum Gases Recovery*

PENDAHULUAN

Produksi migas di Indonesia masih didominasi oleh produksi gas yang terus meningkat di atas produksi minyak bumi dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir ini. Dominasi produksi gas alam diperkirakan akan terus berlangsung dalam beberapa tahun mendatang dengan semakin bertambahnya penemuan cadangan gas alam di Indonesia (SKK Migas, 2018). Indonesia memiliki cadangan gas terbukti (*proven gas reserves*) terbesar ketiga belas di dunia dan terbesar kedua di Asia Pasifik, atau diperkirakan 1,4% dari cadangan gas terbukti di seluruh dunia (British Petroleum, 2019). Pada 2018, berdasarkan data dari Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas alam, Indonesia memiliki cadangan terbukti 99,77 triliun standar kaki kubik (TCF) dan cadangan potensial 51 triliun standar kaki kubik (TCF) (SKK Migas, 2018).

Gas alam mengandung banyak komposisi yang berbeda dan bervariasi dari berbagai sumber. Gas alam mengandung metana (sekitar 75-90% dari total) dan hidrokarbon lainnya, seperti etana, propana dan butana. Selain itu, gas mengandung beberapa zat pengotor yang tidak diinginkan, seperti air, nitrogen, karbon dioksida,

dan hidrogen sulfida (Kidnay & Parrish, 2006). Gas alam yang dihasilkan dari sumur tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar. Hal ini dikarenakan zat pengotor dapat menurunkan nilai kalor dan menyebabkan korosi pada pipa dan peralatan. Zat pengotor ini harus dihilangkan dari gas alam untuk memenuhi persyaratan kualitas pipa dan spesifikasi gas penjualan. Proses pemisahan dan pemurnian adalah salah satu bagian penting dalam industri gas alam.

Ada banyak metode untuk melakukan proses pemisahan gas antara lain absorpsi, adsorpsi, kriogenik, membran dan yang terbaru yaitu pemisahan supersonik (Cao & Bian, 2019). Metode absorpsi dan adsorpsi membutuhkan proses yang kompleks dan menggunakan bahan kimia yang bisa berdampak pada lingkungan. Metode kriogenik menggunakan kolom distilasi dengan fasilitas yang relatif besar, investasi modal dan operasional yang tinggi. Metode membran mempunyai kekurangan pada material dan kehilangan hidrokarbon sangat besar.

Supersonic separation (3S) merupakan teknologi pemisahan gas yang baru dengan menggabungkan teknologi Joule-Thomson *valve* (*JT-valve*) dan *turbo expander* yang didasarkan pada pendinginan gas alam di

sebuah aliran gas supersonik yang berputar (Biyanto et al., 2018). *Supersonic separation* terdiri dari *laval nozzle*, *vortex generator*, *diffuser*, dan bagian lainnya (Haghighi, Hawboldt, & Abedinzadegan Abdi, 2015). Teknik unik ini memiliki sebuah struktur turbular yang mudah dan tersusun rapat tanpa ada bagian yang bergerak sehingga memiliki reliabilitas tinggi. *Supersonic separation* juga tidak menggunakan bahan kimia dan energi panas sehingga mengurangi emisi dan melindungi lingkungan sekitar. *Supersonic separation* telah sesuai dengan kebutuhan dalam pembangunan pengolahan gas seperti keamanan, pelestarian lingkungan, dan hemat energi (Hammer, Wahl, Anantharaman, Berstad, & Lervåg, 2014). *Supersonic separation* (3S) dapat diaplikasikan di industri minyak dan gas seperti dalam ekstraksi hidrokarbon berat dari metana (*ethane* atau *liquefied petroleum gases recovery*), pemisahan karbon dioksida dan hidrogen sulfida dari gas alam, produksi *liquefied natural gas* (LNG), *hydrocarbon dew pointing* dan gas dehidrasi yang dapat digunakan untuk kondensasi dan memisahkan air (Rajaei Shooshtari & Shahsavand, 2013).

Supersonic separation (3S) *plant* pada LPG *recovery* digunakan untuk mengekstraksi C3+ dari gas alam. Dalam fasilitas ini, gas alam disuplai ke *supersonic separation* (3S) setelah didinginkan dalam *heat exchanger* dan diuapkan evaporator. Gas dari *supersonic separation* mengalir ke *heat exchanger* rekuperatif, yang mendinginkan gas umpan. Aliran dua fase dari 3S Separation mengalir ke pemisah sekunder, fase gas yang bercampur dengan aliran murni dari pemisah *supersonic separation* (Alfyorov et al., 2005). Fasilitas uji coba di Alberta, Kanada, telah menunjukkan bahwa *supersonic separation* (3S) menggunakan daya kompresor 10-20% lebih sedikit daripada JT-valve atau turbo expander. *Supersonic separation* (3S) memberikan proses ekstraksi yang hemat biaya dan sangat efisien (Alfyorov et al., 2005). Penelitian yang dilakukan oleh Priscilla B. Machado yang membandingkan dari sisi ekonomi pada *onshore dew pointing system* menggunakan *supersonic separation* (3S) dibandingkan teknologi konvensional menunjukkan bahwa keuntungan yang didapatkan *plant* yang menggunakan *supersonic separation* (3S) *plant* lebih banyak (Machado et al., 2012).

Pada *supersonic separation* (3S) *plant* di Yaha, China menunjukkan pengaruh perubahan temperatur dan tekanan yang masuk ke peralatan *supersonic separation* (3S) akan mempengaruhi kuantitas dan kualitas produk (LINNTER Ltd, n.d.). Ketika pengendalian tekanan dan integrasi panas yang tidak tepat akan mempengaruhi produk serta laju umpan gas alam yang tidak selalu stabil akan mempengaruhi kestabilan *plant*. Oleh karena itu pengoperasian *plant* yang optimal sangat penting untuk meminimalkan kesalahan dapat terjadi dan memaksimalkan kualitas yang dihasilkan. Penerapan *Plantwide Control* (PWC) pada *supersonic separation* (3S) *plant* untuk mengendalikan *plant* agar berjalan sesuai parameter-parameternya diperlukan.

PWC merupakan sistem pengendalian *plant* secara keseluruhan. Sistem ini telah banyak dikembangkan

secara sistematis, antara lain oleh Luyben dan Skogestad. Metode yang dimiliki Luyben terdiri dari sembilan langkah (Rajaei Shooshtari & Shahsavand, 2013), namun dalam langkah-langkah tersebut belum ada yang mengevaluasi dari segi ekonomis. Sehingga Skogestad hadir untuk menyempurnakan metode desain PWC milik Luyben dengan membaginya menjadi langkah top-down dan bottom-up (Minasidis, Jäschke, & Skogestad, 2013). Prosedur desain PWC saat ini sudah banyak digunakan di dunia industri, seperti pada proses CO2 capture oleh Yu-Jeng Lin (Lin et al., 2011), dimana hasil yang didapat adalah dapat menurunkan penggunaan konsumsi energi dan menjaga kestabilan *plant*.

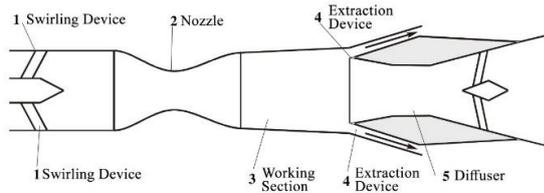
Dengan mempertimbangkan tingkat pentingnya kualitas produksi dan energy yang dihasilkan, maka perlu adanya perbaikan pada *Supersonic separation plant*. Dimotivasi oleh tujuan tersebut, artikel ini dibuat agar metode desain PWC dapat diaplikasikan pada proyek sejenis.

SUPERSONIC SEPARATION PLANT

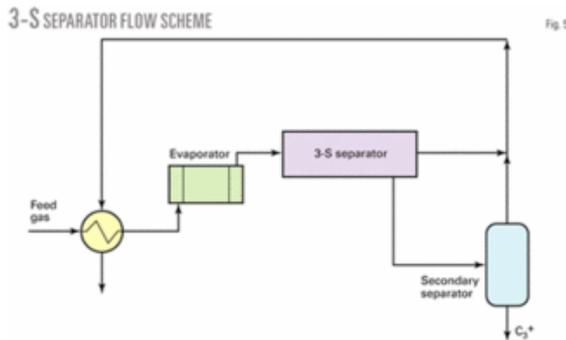
Supersonic separation merupakan teknologi yang digunakan untuk memisahkan satu atau beberapa komponen gas yang keluar dari campuran gas alam. Teknologi ini berdasarkan pada pendinginan gas alam di sebuah aliran gas supersonik. Pemisah yang dibangun menggunakan teknologi ini tidak hanya untuk memisahkan fluida cair dari gas. Akan tetapi juga untuk memisahkan beberapa fraksi uap hidrokarbon (Mahmoodzadeh Vaziri & Shahsavand, 2013). Gas dipercepat hingga melebihi kecepatan suara di fluida gas pada *nozzle*. Proses ini melakukan kondensasi komponen gas dengan pendinginan gas melalui ekspansi di *laval nozzle* dan kemudian memisahkan kondensasi dari gas kering melewati sebuah integrasi *cyclonic gas* atau *liquid separator* (Machado et al., 2012). Pemisah ini hanya menggunakan sebagian dari tekanan lingkungan sebagai energi dan memiliki banyak keuntungan ketika dibandingkan dengan teknologi konvensional. Prinsip kerja dari *supersonic separation* yaitu gas yang masuk ke dalam separator akan melewati turbin statis sehingga gas akan membentuk pusaran yang kencang (Machado et al., 2012). Pusaran gas tersebut akan melewati *laval nozzle* dimana aliran gas tersebut dapat dipercepat sehingga mencapai kecepatan supersonik. Gas yang memiliki massa jenis yang tinggi akan mengalami pergeseran hingga ke tepi pemisah, sehingga gas yang memiliki massa jenis ringan dapat diteruskan ke proses selanjutnya. Kemampuan kinerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan peralatan pemisah yang konvensional.

Gambar 1 menunjukkan bagian-bagian penting dari *Supersonic separation* (Alfyorov et al., 2005). *Supersonic separation* terdiri dari beberapa bagian penting dalam proses pemisahan gas alam seperti *static vanes*, *laval nozzle*, *cyclonic separator*, dan *diffuser* (Bian et al., 2016).

Teknologi 3S Separation digunakan untuk mengekstraksi C3+ dari gas alam. Gambar 2 menunjukkan *Supersonic Separation Plan* (Alfyorov et al., 2005). Dalam fasilitas ini, gas alam disuplai ke 3S Separation setelah



Gambar 1. Supersonic separation.



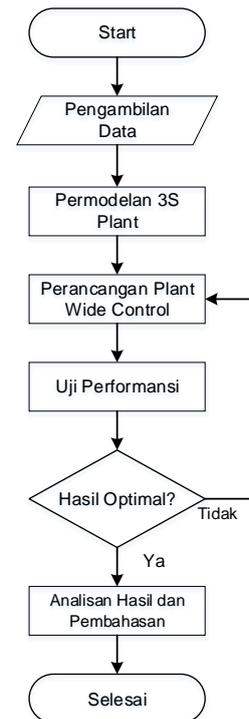
Gambar 2. Supersonic separation plant.

didinginkan dalam heat exchanger dan diuapkan evaporator. Gas dari pemisah 3S Separation mengalir ke heat exchanger rekuperatif, yang mendinginkan gas umpan. Aliran dua fase dari 3S Separation mengalir ke pemisah sekunder, fase gas yang bercampur dengan aliran murni dari pemisah 3-S

Teknologi 3S Separation berukuran kecil, tidak memerlukan personel pemeliharaan, dan menggunakan energi formasi gas, modal dan biaya operasi lebih rendah dibandingkan pabrik pemrosesan gas konvensional. Faktor-faktor ini membuat teknologi 3S Separation sangat menjanjikan untuk bidang lepas pantai. Kebanyakan platform produksi gas membatasi tekanan gas hingga 100 atm untuk alasan keamanan. Tekanan gas kepala sumur sering kali melebihi 100 atm, yang mengakibatkan perlunya katup Joule-Thomson untuk mengurangi tekanan gas. Mengganti katup Joule-Thomson dengan pemisah 3-S memecahkan beberapa masalah: pengurangan tekanan, dehidrasi gas, ekstraksi LPG, dan kontrol titik embun. (Alfyorov et al., 2005)

PLANTWIDE CONTROL

PWC merupakan suatu metode pengendalian *plant* secara luas. Metode ini membahas mengenai bagaimana meletakkan sensor dan aktuator serta cara menggabungkannya dengan tepat. Sehingga metode ini akan melibatkan satu atau beberapa strategi kontrol baik pada sistem tunggal hingga sistem yang kompleks, dimana sistem tersebut saling berhubungan. Hal itu bertujuan untuk mengendalikan *plant* agar tetap pada kondisi yang diinginkan. Namun tidak semua sistem perlu menggunakan metode PWC. Terdapat beberapa kondisi pada *plant* yang membuat *plant* tersebut membutuhkan metode desain PWC, diantara adanya efek bola salju pada *plant*, atau bisa dikatakan dengan adanya *material recycle*, adanya integrasi panas dan beberapa komponen kimia yang beragam. Jika suatu *plant* memenuhi tiga kondisi



Gambar 3 Diagram alir metodologi penelitian.

tersebut, maka *plant* tersebut membutuhkan metode desain PWC.

Tujuan dari metode PWC ini adalah untuk menghasilkan pengendalian *plant* yang efektif dan efisien, mencapai kondisi operasi yang stabil dan aman, mampu mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan, tetap stabil dari adanya gangguan yang terjadi pada *plant*, mampu beroperasi secara otomatis dengan tetap memenuhi batasan-batasan lingkungan agar tetap terjaga dari kandungan berbahaya, serta mampu beroperasi secara optimal sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

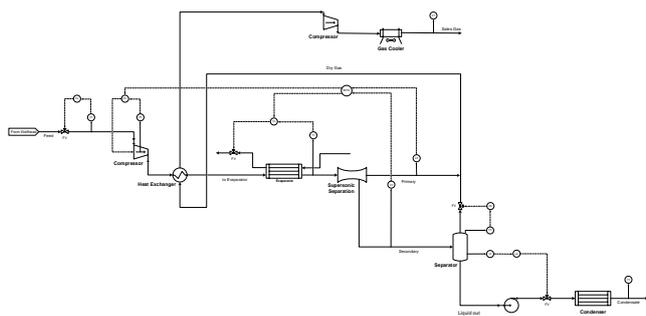
Pada penelitian ini, perancangan PWC pada *Supersonic separation plant* menggabungkan metode milik Luyben dan Skogestad dengan tujuan memaksimalkan profit dan menjaga kestabilan *plant* menjadi tujuh langkah sebagaimana berikut: (1) menentukan Fungsi Objektif, (2) mengidentifikasi *Degrees of Freedom*, (3) menentukan Laju Produksi (*Throughput Manipulator*), (4) menentukan Variabel Ekonomi (*Economical Controlled Variable*), (5) mengintegrasikan Proses (*Process Integration*), (6) lapisan pengendalian supervisory, dan (7) mengoptimasi.

METODOLOGI

Penelitian ini dirancang dengan lima tahapan yang digambarkan pada diagram alir seperti pada gambar 3.

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa dokumen desain konseptual dari *plant* yang akan dibangun berupa *process*



Gambar 4 Process flow diagram supersonic separation plant

flow diagram (PFD), serta *datasheet* peralatan *supersonic separation* (3S). Data tersebut digunakan untuk memodelkan *plant* agar dapat diketahui gambaran proses secara umum dengan menggunakan *software* Aspen HYSYS V11.

Process flow diagram (PFD) dari desain *supersonic separation* (3S) *plant* dapat dilihat pada Gambar 4 yang merupakan desain *supersonic separation* (3S) *plant* yang dikembangkan oleh TransLang Technologies Ltd.

Supersonic separation (3S) *plant* ini digunakan untuk mengekstraksi *liquefied petroleum gas* (LPG) atau memisahkan kandungan C3+. *plant* ini menggunakan sumur yang ada di PT Saka Energi Indonesia. Sumber masukan/umpan dari *plant* berupa *natural gas* yang berasal dari Sumur PT Saka Energi Indonesia dengan temperatur 45 °C dan tekanan 61.29 atm dengan laju massa 150667.00 kg/h. Umpan masukan *plant* ini diberi tekanan oleh *feed compressor* dan diatur suhunya oleh *heat exchanger* agar sesuai dengan masukan peralatan *supersonic separation*.

Pemodelan Steady State Supersonic Separation (3S) Plant

Permodelan atau simulasi *supersonic separation* (3S) *plant* dibuat dengan menggunakan proses kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi yang telah ada pada *software* Aspen HYSYS V11. Permodelan atau simulasi ini berdasarkan data mengenai *supersonic separation* (3S) *plant* yang telah didapat dari langkah pertama selanjutnya. Permodelan atau simulasi bertujuan agar gambaran proses yang terjadi pada *supersonic separation plant* dapat diketahui secara tepat.

Model *steady state supersonic separation* (3S) *plant* atau pada kondisi tidak bergerak terhadap waktu menggunakan Aspen HYSYS.

Desain peralatan *supersonic separation* (3S) oleh Linnter Group Ltd. dapat dilihat dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. *Swirl device* memiliki pressure umpan masuk berkisar 105-150 atm dengan temperature 14/20 °C.
2. *Working section* memiliki pressure 30-55 atm dengan temperature -80/-40 °C.
3. *Diffucers* memiliki pressure 75 atm dengan

Tabel 1 Nilai CDOF pada *Supersonic Separation*

$N_{streams}$	$N_{restraining}$	$N_{redundant}$	CDOF
27	20	0	7

temperature -10/10 °C.

4. Kemampuan peralatan *supersonic separation* yang dapat mengekstrak sekitar 70-85% *sales gas* dan 15-30% *condensate*

Pemodelan Dinamik Supersonic Separation (3S) Plant

Secara umum sebuah proses akan berubah seiring berjalan waktu maka langkah selanjutnya adalah mengubah proses ke dalam kondisi dinamik. Prosedur untuk mengubah proses menjadi keadaan dinamik.

Permodelan yang telah dibuat divalidasi dengan kondisi desain pada PFD. Hasil permodelan yang dibandingkan dengan kondisi desain tersebut kemudian dihitung nilai deviasinya. Hasil validasi proses *supersonic separation* (3S) *plant* menunjukkan bahwa selisih deviasi di bawah 5%.

Perancangan Plantwide Control

Perancangan *plantwide control* (PWC) pada 3S Separation menggabungkan metode milik Luyben dan Skogestad dengan tujuan memaksimalkan profit dan menjaga kestabilan *plant* menjadi tujuh langkah sebagaimana berikut.

Langkah pertama adalah penentuan fungsi obyektif. Fungsi obyektif pada perancangan PWC ini adalah profit yang maksimal. Alasan pemilihan profit sebagai fungsi obyektif dikarenakan setiap perusahaan pasti menginginkan profit yang maksimal dengan tetap menjaga performansi sistem agar bekerja dengan stabil dan optimum. Dimana profit yang maksimal didapatkan dari penjualan produk *supersonic separation* yang berupa gas etana dikurangi dengan biaya operasional yang digunakan pada *compressor* dan *evaporator*. Persamaan (1) berikut merupakan fungsi obyektif pada perancangan PWC ini.

$$J_{max} = \text{Hasil Jual Produk} - \text{Biaya Operasional} \quad (1)$$

Langkah kedua adalah mengidentifikasi *degrees of freedom* (DOF). Jumlah DOF digunakan untuk menentukan jumlah variabel yang bisa dimanipulasi atau dikontrol, sehingga untuk menghitungnya menggunakan persamaan CDOF milik Skogestad dan Luyben. Perhitungan nilai CDOF disajikan pada Tabel 1

Langkah ketiga adalah penentuan laju produksi (*throughput manipulator*). Lokasi *Throughput Manipulator* (TPM) pada *supersonic separation* (3S) *plant* ini terdapat pada laju aliran umpan 3S Separation. Penentuan laju produksi ini sama dengan milik Skogestad dan Luyben.

Langkah keempat adalah penentuan variabel ekonomi (*Economical Controlled Variable*). Penentuan variabel

Tabel 2 Parameter Permodelan Pengendali *Feedforward*.

Parameter Permodelan	FF Temperatur Evaporator
K_{ff}	0.212980771
θ_{ff}	1.936442659
τ_1	1.004366027
τ_2	7.710489396

Tabel 3 Parameter Permodelan FOPDT pada MPC

Plant	Gain	K	Time Constant (detik)	Dead Time (detik)
3S Separation	G11	0.00064	331.185	3.545
	G12	0.000672	440.4457	5.55522
	G21	0.0011	345.2229	2.277143
	G22	0.0012	667.4086	48.5879

ekonomi ini sama dengan variabel kendali utama (*primary variable*) pada PWC milik skogestad yang mempertimbangkan sisi ekonomi. Pemilihan variabel ekonomi (*economical controlled variable*) yaitu laju aliran *sales gas* dan *condensate*, temperature dan pressure pada masukan *supersonic separation* serta energi yang digunakan compressor, evaporator dan pompa.

Penentuan variabel ekonomi ini mengacu pada variabel yang berpengaruh langsung terhadap fungsi objektif yang berorientasi pada profit. Untuk laju aliran *sales gas* dan *condensate* merupakan produk. Sedangkan penggunaan energi pada compressor, evaporator dan pompa akan mempengaruhi biaya operasional. Hal ini akan sesuai hasil optimisasi yang diharapkan, yakni penurunan penggunaan energi pada *supersonic separation* (3S) *plant*.

Langkah kelima adalah Integrasi Proses (*Process Integration*). Pada proses ini, ditentukan struktur pengendalian variabel yang berhubungan dengan *inventory control* dan variabel yang akan menjadi gangguan (*disturbance*). Penentuan struktur pengendalian variabel sama dengan PWC milik Luyben yang disertai penentuan gangguan. Maka ditentukan struktur pengendalian PID pada setiap pengendali yang terdapat pada *supersonic separation* (3S) *plant* serta gangguan yang terjadi adalah laju aliran umpan.

Untuk pengendali temperatur evaporator ditambahkan pengendali *feedforward* untuk menjaga kestabilan respon akibat adanya gangguan yang terjadi pada umpan. Tabel 2 menunjukkan parameter pemodelan pengendali *feedforward*.

Langkah keenam adalah Lapisan Pengendalian Supervisory. Pengendali *supervisory* yang dipilih adalah MPC (*Model Predictive Control*) yang akan memberikan perubahan *set point* yang optimal pada lapisan pengendalian *regulatory* (PI/PID). Lapisan pengendalian *supervisory* sama dengan PWC milik Skogestad dan pengendalian setiap *loop* pada PWC milik Luyben.

Perancangan *supervisory control* yang pada tugas akhir ini yang dipakai adalah menggunakan MPC (*Model Predictive Control*) yang sudah tersedia pada HYSYS dengan menggunakan data permodelan *first order* (FOPDT) yang telah divalidasi. Pemasangan MPC

diletakkan pada peralatan *supersonic separation*. Tabel 3 menunjukkan parameter permodelan FOPDT yang selanjutnya digunakan untuk melakukan perancangan pada MPC.

Input dari permodelan MPC adalah komposisi *sales gas* dan *condensate* pada peralatan *supersonic separation*. Sedangkan outputnya adalah temperatur dan pressure masukan dari peralatan *supersonic separation*. Dari hasil permodelan yang telah didapatkan, selanjutnya MPC akan memberikan *set point* pada pengendali temperatur maupun tekanan pada inputan peralatan *supersonic separation*.

Langkah ketujuh adalah optimisasi. Dilakukan optimisasi dengan menggunakan *Real Time Optimizer* (RTO). Pada tugas akhir ini dilakukan optimisasi menggunakan RTO yang ada pada HYSYS dengan tujuan utama untuk mencapai nilai optimal dari fungsi objektif yang telah ditentukan. Lapisan optimisasi ini sama dengan optimisasi pada PWC Skogestad dan Luyben.

Pengujian Performansi Sistem dan Analisis

Pengujian performansi sistem dalam perancangan PWC pada *plant* 3S Separation ini dengan memberikan gangguan pada umpan yaitu dengan menaikkan serta menurunkan laju aliran pada umpan sebesar 5%. Dari yang awalnya 150667 kg/h, dinaikkan 5% atau menjadi 158200.35 kg/h dan menurunkan sebesar 5% hingga menjadi 143133.65 kg/h.

Analisis yang akan dilakukan dari hasil uji gangguan adalah dengan melihat respon pada variabel primer yang berpengaruh pada sisi ekonomi yaitu pada temperature dan pressure pada masukan *supersonic separation* serta energi yang digunakan compressor, evaporator dan pompa. Hasil respon pengujian performansi sistem pada perancangan PWC ini akan dibandingkan dengan sistem yang dirancang tanpa menggunakan PWC

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

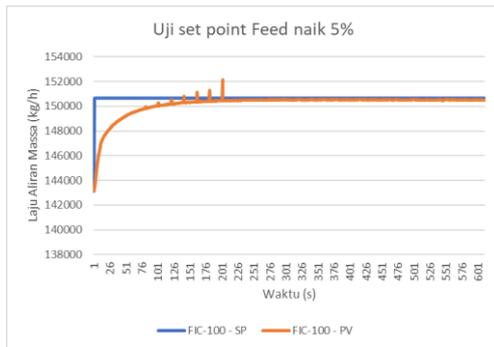
Perancangan PWC pada *supersonic* telah berhasil dilakukan. Untuk mengetahui pengaruh kontrol terhadap *plant*, maka dilakukan uji *set point*. Uji *set point* dilakukan pada FIC *feed* dengan menaikkan dan menurunkan *set point* sebesar 5%.

Pada *set point* laju aliran umpan yang awalnya sebesar 143133.65 kg/h, dilakukan dua uji, yaitu dinaikkan menjadi 150667 kg/h dan diturunkan menjadi 135600.3 kg/h.

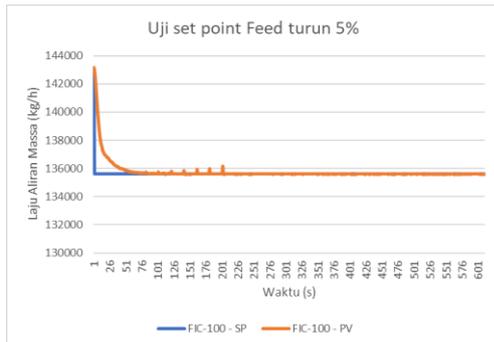
Dari uji *set point* yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa pada saat *set point* dinaikkan akan terjadi overshoot di sistem. Namun semuanya dapat mencapai *set point*. Berbeda dengan pada saat uji *set point* diturunkan 5%, maka sistem akan mencapai *setpoint* tanpa adanya overshoot dan dapat tetap mencapai *set point*.

Analisis Pengujian Performansi Sistem

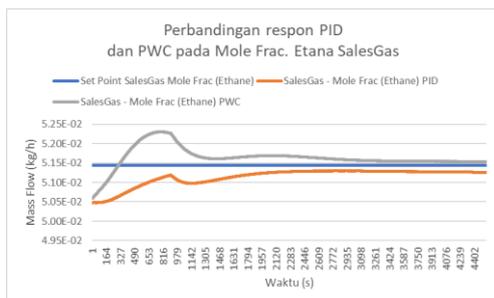
Pengujian performansi sistem pada *supersonic separation plant* ini dengan memberikan sinyal *step* sebesar 8.42% pada umpan pada waktu $t=900$ detik atau



Gambar 5. Uji set point naik 5% pada FIC Feed.



Gambar 6. Uji set point turun 5% pada FIC Feed.



Gambar 7. Perbandingan respon fraksi mol metana sales gas struktur kontrol PID dan PWC pada turun 8.42%.

dengan menurunkan set point laju aliran umpan yang awalnya sebesar 143133.65 kg/h diturunkan menjadi 131080.29 kg/. Performansi sistem dapat dilihat dari respons yang dimiliki oleh sistem terhadap gangguan yang diberikan.

Gambar 7 menunjukkan respon komposisi fraksi mol etana pada sales gas. Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa kedua pengendalian tidak mencapai set point nya. Hasil karakteristik respon tersebut dijelaskan pada Tabel berikut.

Dari uji gangguan yang diberikan, maka didapatkan hasil bahwa karakteristik respon yang dihasilkan oleh struktur pengendali PWC mampu menurunkan overshoot, menghilangkan eror steady state serta mampu mempercepat settling time.

Dari uji gangguan yang diberikan, maka didapatkan hasil bahwa karakteristik respon yang dihasilkan oleh struktur pengendali PWC mampu menurunkan overshoot, menghilangkan eror steady state serta mampu mempercepat settling time.

Sedangkan perbandingan nilai Integral Absolute Error

Tabel 4 Perbandingan Karakteristik Respon Fraksi Mol Etana Sales Gas Struktur Kontrol PID dan PWC pada Turun 8.42%

Karakteristik Respon	PID	PWC
Rise Time (detik)	-	302
Maximum Overshoot (%)	-	1.590309
Error Steady State (%)	0.3495385	0.185195
Settling Time (detik)	2406	2115

Tabel 5 Nilai IAE pada Uji Gangguan Turun 8.42%

Variabel	IAE	
	PID	PWC
SalesGas - Mole Frac (Ethane)	0.768123	0.690005

(IAE) yang menggambarkan karakteristik respon secara kualitatif adalah pada Tabel sebagai berikut.

Dari nilai IAE yang ditunjukkan pada tabel, dapat disimpulkan bahwa perancangan desain kontrol *supersonic separation* menggunakan metode PWC mampu memberikan nilai IAE yang lebih kecil.

KESIMPULAN

Dari pelaksanaan kegiatan perancangan PWC pada *supersonic separation* (3S) ini, ada dua kesimpulan yang dapat ditarik. Pertama, penerapan PWC pada *supersonic separation* (3S) telah berhasil dilakukan dengan menggabungkan metode PWC yang dikembangkan oleh Luyben dan Skogestad menjadi tujuh langkah. Kedua, penerapan PWC pada *supersonic separation* (3S) mampu menghasilkan respon sistem yang stabil ketika diberi gangguan berupa perubahan laju aliran umpan. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan settling time, maximum overshoot dan hilangnya eror steady state serta menurunnya nilai IAE.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat ITS (LPPM ITS) atas fasilitas selama pengabdian ini berupa akses ke perusahaan, fasilitas ruangan pelatihan, dan lain-lain.

REFERENSI/DAFTAR PUSTAKA

- Alfyorov, V., Bagirov, L., Dmitriev, L., Feygin, V., Imayev, S., & Lacey, J. R. (2005). Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components. *Oil and Gas Journal*, 103(20), 53–58.
- Bian, J., Jiang, W., Teng, L., Liu, Y., Wang, S., & Deng, Z. (2016). Structure improvements and numerical simulation of supersonic separators. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 110, 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2016.10.012>
- Biyanto, T. R., Dienanta, G. P., Angrea, T. O., Utami, I. T., Ayurani, L., Khalil, M., ... Bethiana, T. N. (2018). Optimization of *supersonic separation* (3S) design using rain water algorithm. *AIP Conference Proceedings*, 2001. <https://doi.org/10.1063/1.5049999>
- British Petroleum. (2019). *BP Statistical Review of World Energy*. London.

- Cao, X., & Bian, J. (2019). *Supersonic separation technology for natural gas processing: A review*. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 136(January), 138–151. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.01.007>
- Haghighi, M., Hawboldt, K. A., & Abedinzadegan Abdi, M. (2015). *Supersonic gas separators: Review of latest developments*. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 27, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.08.049>
- Hammer, M., Wahl, P. E., Anantharaman, R., Berstad, D., & Lervåg, K. Y. (2014). *CO₂ capture from off-shore gas turbines using supersonic gas separation*. *Energy Procedia*, 63(1876), 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.026>
- Kidnay, A. J., & Parrish, W. R. (2006). *Fundamentals of Natural Gas Processing*. Taylor & Francis Group. New Jersey: Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b14397>
- Lin, Y. J., Pan, T. H., Wong, D. S. H., Jang, S. S., Chi, Y. W., & Yeh, C. H. (2011). *Plantwide control of CO₂ capture by absorption and stripping using monoethanolamine solution*. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 50(3), 1338–1345. <https://doi.org/10.1021/ie100771x>
- LINNTER Ltd. (n.d.). *3S- technology : Developments, projects and applications*.
- Machado, P. B., Monteiro, J. G. M., Medeiros, J. L., Epsom, H. D., Araujo, O. Q. F., Fujimura, K., ... Fujimoto, T. T. (2012). *Supersonic separation in onshore natural gas dew point plant*. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 6, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2012.03.001>
- Mahmoodzadeh Vaziri, B., & Shahsavand, A. (2013). *Analysis of supersonic separators geometry using generalized radial basis function (GRBF) artificial neural networks*. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 13, 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2013.03.004>
- Minasidis, V., Jäschke, J., & Skogestad, S. (2013). *Economic plantwide control: Automated controlled variable selection for a reactor-separator-recycle process*. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 10, pp. 87–92). <https://doi.org/10.3182/20131218-3-IN-2045.00182>
- Rajaei Shoostari, S. H., & Shahsavand, A. (2013). *Reliable prediction of condensation rates for purification of natural gas via supersonic separators*. *Separation and Purification Technology*, 116, 458–470. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.06.009>
- SKK Migas. (2018). *Laporan Tahunan 2018 SKK Migas*. Jakarta.