

# OPTIMASI POLYTROPIC EFFICIENCY *MAIN AIR COMPRESSOR* (MAC) *MULTISTAGE* DI ASU PLANT PT. XYZ MENGGUNAKAN ASPEN HYSYS

Daffa Yoganza Arrunata<sup>1</sup>, Muhammad Alvin Faiz Asshidqi<sup>1</sup>, Annasit<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No. 38, Cepu, 58315

\*E-mail: annasit@esdm.go.id

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan politropik efisiensi alat proses *Main Air Compressor* (MAC) *multistage* di ASU Plant PT. XYZ menggunakan perangkat lunak Aspen Hysys V.14. MAC merupakan alat proses utama yang menentukan keberhasilan proses udara pada unit kriogenik, dimana penurunan efisiensi dapat mempengaruhi kinerja dan konsumsi pabrik, metode penelitian ini meliputi observasi lapangan, pengumpulan data (kondisi operasi). Kemudian dilakukan perhitungan politropik efisiensi dan dibandingkan dengan data desain. Hasil evaluasi dengan perhitungan excel politropik efisiensi sebesar 78,42%, 80,299% dan 83,05% sedangkan pada Aspen Hysys V.14 sebesar 77%, 77% dan 83,05 perbedaan tersebut diakibatkan oleh kondisi termodinamika yang ada, yang lebih rendah dibandingkan politropik efisiensi desain yaitu sebesar 89,3%, 90,4% dan 87,7%. Melalui optimasi menggunakan Aspen Hysys V.14 dengan penyesuaian beberapa variabel, politropik efisiensi meningkat menjadi 82%, 78% dan 86%, serta konsumsi daya total menurun dari 10.666 kW menjadi 10.182 kW atau sekitar 4,5%. Hasil ini membuktikan bahwa optimasi kondisi operasi pada MAC dapat meningkatkan efisiensi termodinamika sistem tanpa memerlukan tambahan *Capital Expenditure* (CAPEX), sekaligus dapat memperpanjang umur dari operasi peralatan

**Kata kunci:** politropik efisiensi, *Main Air Compressor*, optimasi, Aspen Hysys V.14, ASU Plant

## 1. PENDAHULUAN

Udara merupakan campuran berbagai komponen gas, yaitu oksigen (O<sub>2</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>), argon (Ar), dan sebagainya, memiliki berbagai aplikasi yang luas di berbagai industri seperti produksi baja, petrokimia, produksi semikonduktor, dirgantara, farmasi, makanan, dan kilang minyak. Baik oksigen gas maupun cair digunakan dalam produksi logam, pengelasan, keramik, pembuatan kaca, produksi beton dan semen, kilang minyak dan gas, serta industri kimia [1]. PT. XYZ merupakan salah satu Pabrik *Air Separation Unit* (ASU) Plant yang memproduksi produk Kimia berupa O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>, untuk mendapatkan product O<sub>2</sub> menggunakan metode distilasi kriogenik dan adsorpsi ayunan tekanan, yang mampu menghasilkan 20 – 300 ton O<sub>2</sub> dengan kemurnian lebih dari 95 % [2]. *Air Separation Unit* (ASU) sangat penting dalam industri migas dan petrokimia, dengan turbin ekspansi yang dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produk [3]. Pemilihan produksi bergantung pada faktor-faktor biaya, persyaratan kemurnian, dan kemampuan produk samping, pemeliharaan yang tepat pada sistem kriogenik, terutama yaitu MAC (*Main Air Compressor*) sangatlah penting untuk produksi oksigen dan nitrogen yang efisien, dengan pemeliharaan preventif dan berdasarkan waktu yang direkomendasikan berdasarkan analisis mode kegagalan [4].

Kompresor adalah pesawat atau mesin yang berfungsi untuk memampatkan atau menaikkan tekanan udara atau fluida gas atau memindahkan fluida gas dari suatu tekanan statis rendah ke

suatu keadaan yang lebih tinggi. Udara atau fluida gas yang dihisap kompresor biasanya adalah udara atau fluida gas dari atmosfer walaupun banyak pula yang menghisap udara atau fluida gas spesifik dan bertekanan lebih tinggi dari atmosfer, dalam hal ini kompresor berfungsi sebagai penguat atau *booster*. Kompresor ada pula yang menghisap udara atau fluida gas yang bertekanan lebih rendah daripada tekanan atmosfer yang bisa disebut pompa vakum [4].

Secara umum, kompresor terdapat dalam berbagai jenis dan model tergantung pada volume dan tekanannya. Kompresor dapat dibagi dalam dua jenis utama, yaitu kompresor positif, dimana gas dihisap masuk kedalam silinder dikompresikan; dan kompresor nonpositif, dimana gas yang dihisap masuk kedalam dipercepat alirannya oleh sebuah *impeller* yang kemudian mengubah energi kinetik untuk dapat menaikkan tekanan [4].

Berdasarkan klasifikasi tersebut, kompresor dibagi atas 2 tipe dasar yaitu kompresor perpindahan positif dan dinamik. Kompresor perpindahan positif dibagi atas kompresor torak dan kompresor *rotary*. Kompresor dinamik juga dibagi atas kompresor sentrifugal dan *axial* [5]. Kompresor dinamik adalah mesin yang mengalirkan udara secara berkelanjutan, dengan menggunakan sebuah komponen yang berputar cepat sehingga meniptakan gaya sentrifugal yang bergerak ke arah luar, membuat udara terkompresi dan tekanan meningkat. Terdapat dua kategori utama dari kompresor dinamik, yaitu kompresor sentrifugal dan kompresor *axial* [6].

Kompresor sentrifugal menghasilkan tekanan yang besar melalui rotasi *impeller* dengan kecepatan tinggi, ekspansi udara yang masuk menimbulkan pertambahan massa yang nantinya memunculkan gaya sentrifugal yang mementalkan udara tersebut ke luar, ditambah dengan terdapatnya pelebaran penampang pada difuser yang menimbulkan tekanan menjadi lebih besar [5].

*Main Air Compressor* (MAC) merupakan komponen vital dalam pabrik ASU, yang mengompres udara atmosfer ke tekanan tinggi untuk proses lebih lanjut [7]. Perawatan yang tepat pada MAC sangat penting untuk kinerja optimal, karena masalah seperti ring piston yang aus, perawatan filter udara yang tidak memadai, kebocoran katup dapat menyebabkan tekanan operasi berkurang dan vibrasi yang menyebabkan pengaturan *flow* tidak stabil sehingga dapat menyebabkan adanya *trip plant* [8].

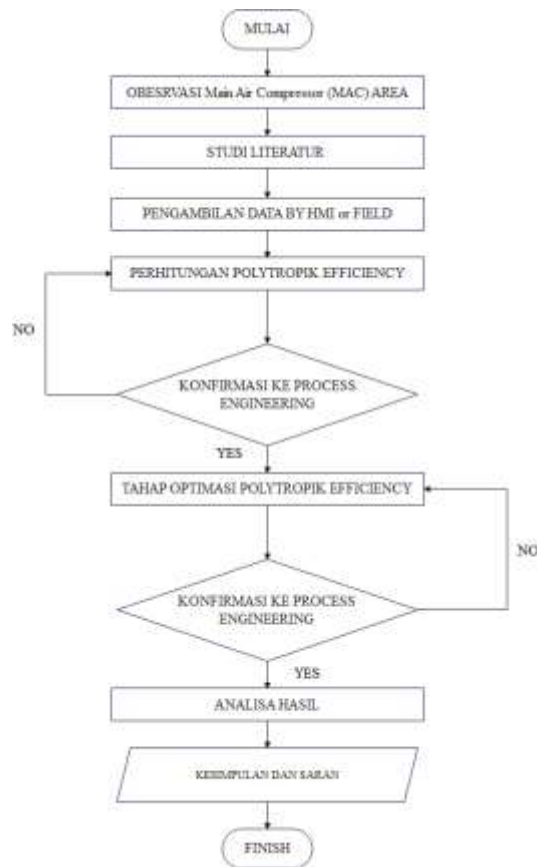
Kompresor yang digunakan pada ASU *plant* yang digunakan adalah tipe kompresor sentrifugal dengan jenis *multistage* kompresor. Kompresi gas ke tekanan yang lebih tinggi menghasilkan suhu yang lebih tinggi. Semua elemen dasar kompresor apapun jenis nya memiliki design tertentu yang membatasi kondisi operasi. Ketika kondisi batasan operasi yang terpenuhi, maka dibutuhkan lebih dari satu langkah proses kompresi. Hal ini disebut *multistage* kompresor.

Berdasarkan beberapa pernyataan diatas mengenai pentingnya peran MAC terhadap berjalanya proses pada ASU *plant*, efisiensi politropik ( $\eta_{\text{polytropik}}$ ) merupakan salah satu parameter dalam mengevaluasi kinerja MAC pada ASU *plant*, menurut [9] analisis efisiensi politropik mempunyai keakuratan yang tinggi dalam mewakili proses kompresi sebenarnya. Proses politropik merupakan proses kerja secara aktual yang dihasilkan oleh kompresor itu sendiri, sedangkan efisiensi proses politropik merupakan perbandingan antara *head* politropik dengan *head* isentropik [10]. Studi menunjukkan bahwa efisiensi politropik dapat berkisar antara 73 % - 86 % dalam aplikasi industri [11].

Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada analisis efisiensi isentropik, konsumsi energi, atau kinerja kompresor secara umum, sementara studi yang secara khusus menyoroti optimasi efisiensi politropik pada kompresor MAC *multistage* di industri masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada optimalisasi efisiensi politropik MAC ASU *Plant* PT. XYZ. Dalam pengoptimalan efisiensi politropik kompresor digunakan bantuan perangkat lunak berupa Aspen Hysys. Aspen Hysys merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan oleh seorang *engineer* untuk merancang, menganalisis, dan mengoptimalkan, kelebihan dari

perangkat lunak Aspen Hysys yaitu kemampuannya untuk dapat memodelkan berbagai kondisi operasi dan parameter proses secara akurat [12].

## 2. METODE



**Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan observasi lapangan, studi literatur, pengumpulan data, serta analisis perhitungan politropik efisiensi pada MAC di ASU Plant PT. XYZ, tahapan penelitian dilakukan secara sistematis seperti ditunjukkan pada *flowchart* diatas dengan penjelasan sebagai berikut:

### 1. Observasi lapangan

Tahap pertama dalam penelitian ini dilakukan observasi secara langsung ke lapangan untuk mengetahui kondisi aktual MAC, observasi ini meliputi kondisi fisik kompresor, operasi kompresor, serta peninjauan potensi masalah yang dapat mempengaruhi performa kompresor, hasil observasi awal merupakan langkah awal untuk menentukan parameter apa saja yang perlu difokuskan dalam studi literatur.

### 2. Studi literatur

Literatur yang dikaji mencakup prinsip kerja dari kompresor *multistage*, konsep efisiensi politropik, hingga penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas mengenai optimasi kinerja kompresor.

### 3. Pengambilan data

Data operasional dikumpulkan baik melalui sistem *Human Machine Interface* (HMI) maupun pengukuran langsung di lapangan, data yang dibutuhkan antara lain meliputi

pressure inlet dan outlet, temperatur inlet dan outlet, flowrate air, serta data-data pendukung lainnya.

#### 4. Perhitungan efisiensi politropik

Perhitungan politropik efisiensi dilakukan dengan menggunakan excel dan Aspen Hysys V.14, data hasil pengukuran kemudian dikalkulasikan menggunakan rumus efisiensi politropik kompresor dengan menggunakan rumus dibawah ini:

✚ *Head Politropik*

$$H_p = \frac{n}{n-1} Z_0 R T_{00} \left[ \left( \frac{P_{04}}{P_{00}} \right)^{\left( n - \frac{1}{n} \right)} - 1 \right] \quad (1)$$

✚ *Effective Head*

$$H_r = (h_{04} - h_{00}) \quad (2)$$

✚  $\eta_{politropik}$

$$\eta_{politropik} = \frac{H_p}{H_R} = \frac{\frac{n}{n-1} Z_0 R T_{00} \left[ \left( \frac{P_{04}}{P_{01}} \right)^{\left( 1 - \frac{1}{n} \right)} - 1 \right]}{(h_{04} - h_{00})} \quad (3)$$

$$\eta_{politropik} = \frac{n\gamma - 1}{(n-1)\gamma} \quad (4)$$

$$\eta_{politropik} = \frac{(\gamma - 1) \ln \left( \frac{P_{04}}{P_{01}} \right)}{\gamma \ln \left( \frac{T_{04}}{T_{01}} \right)} \quad (5)$$

#### 5. Validasi ke Process Engineering

Validasi bertujuan untuk memastikan bahwa perhitungan telah sesuai dengan kondisi operasi secara aktual, apabila terdapat perbedaan secara signifikan, maka diperlukan evaluasi ulang terhadap data atau perhitungan yang dilakukan.

#### 6. Tahap optimasi efisiensi politropik

Pada tahap optimasi, Aspen Hysys diperlukan untuk mensimulasikan proses MAC untuk menganalisis pengaruh perubahan kondisi operasi terhadap efisiensi politropik dan konsumsi daya pada MAC, yang dimana dapat ditetapkan variabel bebas berupa kondisi operasi dari MAC dan variabel terikat berupa Politropik Efisiensi (%) dan Power MAC kemudian hasil simulasi dibandingkan dengan data desain MAC untuk menentukan kondisi operasi yang paling efisien, berikut merupakan data desain dari MAC di ASU Plant:

**Tabel 1. Data Desain MAC**

| DATA DESIGN MAC          |                    |        |        |        |
|--------------------------|--------------------|--------|--------|--------|
| Stage / Impeller         | Unit               | 1      | 2      | 3      |
| Thermodinamika           |                    |        |        |        |
| Standard Flow            | Nm <sup>3</sup> /h | 162956 | 162937 | 162889 |
| Inlet Volume Flow (Wet)  | M <sup>3</sup> /h  | 191044 | 97010  | 57163  |
| Mass Flow (Wet)          | Kg/h               | 214768 | 214584 | 212861 |
| Stage Inlet Pressure abs | Bar                | 0,99   | 1,98   | 3,32   |

|                          |       |       |      |      |
|--------------------------|-------|-------|------|------|
| Stage Inlet Temperature  | °C    | 30    | 36   | 36   |
| Stage Outlet Pressure    | Bar   | 2,03  | 3,37 | 5,84 |
| Stage Outlet Temperature | °C    | 107,6 | 92   | 98,2 |
| Politropik Head          | kJ/kg | 70,9  | 51,7 | 55,3 |
| Politropik Effisiensi    | %     | 89,3  | 90,4 | 87,7 |
| Stage Gas Power          | kW    | 4737  | 3410 | 3730 |
| Axial Thrust             | N     | -     | -    | -    |

#### 7. Konfirmasi ke *process engineering*

Setelah mendapatkan kondisi operasi yang sudah optimum, dengan konsumsi energi yang lebih rendah dan efisiensi politropik mendekati data desain yang dimana sudah menandakan kinerja kompresor telah efisien maka perlu dilakukan konfirmasi kepada *process engineering*.

#### 8. Analisa hasil

Setelah mendapatkan hasil yang optimum, kemudian hasil optimasi dianalisis untuk efektivitas perbaikan yang dilakukan, analisis ini tidak hanya melihat peningkatan nilai dari efisiensi politropik ( $\eta_{\text{politropik}}$ ), tetapi mempertimbangkan aspek konsumsi energi, stabilitas operasi, dan reabilitas kompresor dalam jangka panjang.

#### 9. Kesimpulan dan saran

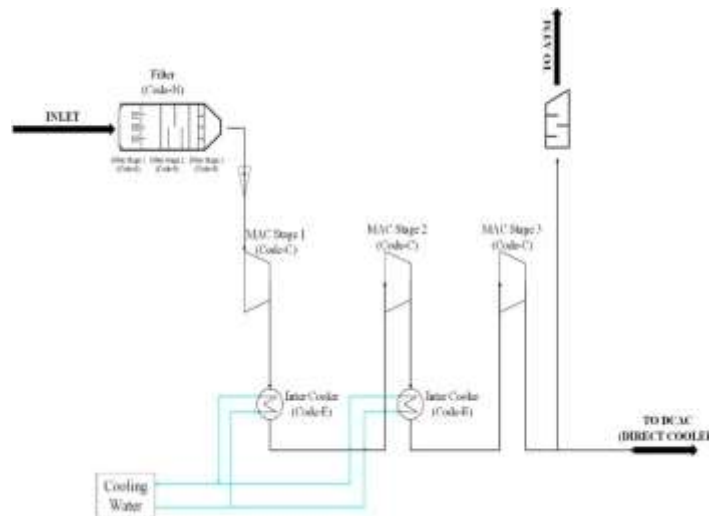
Tahapan akhir dari sebuah penelitian adalah menyusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

### 3. PEMBAHASAN

#### A. Unit MAC

##### a. Prinsip Kerja MAC

Kompresor *multistage* adalah jenis kompresor dinamis yang memiliki lebih dari satu tahapan kompresi, dimana setiap tahap berfungsi untuk secara bertahap meningkatkan tekanan udara. Prinsip utamanya adalah mengompres udara melalui beberapa *impeller* dan difuser secara berurutan untuk mencapai tekanan akhir yang tinggi dengan efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan kompresor satu tahap.



Gambar 1. Ilustrasi Proses MAC

MAC pada ASU plant bekerja dengan menghisap udara dari atmosfer (1 atm) melalui filter udara, kemudian mengompres udara secara bertahap melalui tiga tahap kompresor sentrifugal. Pada setiap tahap, udara mengalami peningkatan dan suhu akibat proses kompresi tekanan dan suhu dikarenakan proses politropik kompresor itu sendiri, yang merupakan proses sebenarnya yang pasti terjadi pada setiap tahap kompresor saat udara dikompres oleh *impeller* dan difuser. Proses politropik ini mewakili sistem kerja termodinamika sebenarnya dari kompresor. Untuk menjaga agar kompresor dalam melakukan proses kompresi tidak terlalu berat dalam bekerja dan tetap efisien dilengkapi dengan *intercooler*.

b. Kondisi Operasi MAC

Pada tabel 2 dibawah merupakan data kondisi operasi MAC yang memuat data tekanan, temperatur, dan laju alir pada setiap tahapnya kompresi serta setelah melewati *intercooler*, dari data dibawah ini sebagaimana digunakan untuk menghitung efisiensi politropik pada MAC.

**Tabel 2. Rata- rata Kondisi Operasi MAC Bulan Agustus**

| KONDISI OPERASI MAC         |                    |           |              |           |              |           |
|-----------------------------|--------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| Keterangan                  | Unit               | C1611     | Inter cooler | C1611     | Inter cooler | Stage 3   |
|                             |                    | Stage 1   | Stage 1      | Stage 2   | Stage 2      |           |
| Mass flow inlet intercooler | Kg/h               | -         | 2969,12      | -         | 2969,12      | -         |
| P Inlet                     | Bar                | -         | 3,599        | -         | 3,599        | -         |
| P outlet                    | Bar                | -         | 3,09         | -         | 3,09         | -         |
| T inlet                     | Bar                | -         | 32,66        | -         | 32,6         | -         |
| T outlet                    | °C                 | -         | 42,6         | -         | 42,6         | -         |
| Y                           |                    | 1,4       | -            | 1,4       | -            | 1,4       |
| Mass flow C1611             | Nm <sup>3</sup> /h | 140294    |              | 140294    |              | 140294    |
| Mass flow C1611             | Kg/h               | 181262,43 | -            | 181262,43 | -            | 181262,43 |
| P inlet                     | Bar                | -0,00572  | -            | 0,91736   | -            | 2,19182   |
|                             | Bar A              | 1,00771   | -            | 1,90102   | -            | 3,13437   |
| P outlet                    | Bar                | 0,91736   | -            | 2,19182   | -            | 4,65436   |
|                             | Bar A              | 1,90102   | -            | 3,13437   | -            | 5,51747   |
| T inlet                     | °C                 | 30,4212   | -            | 35,5233   | -            | 36,3289   |
|                             | K                  | 302,59    | -            | 307,527   | -            | 308,307   |
| T outlet                    | °C                 | 111,586   | -            | 96,542    | -            | 103,346   |
|                             | K                  | 381,137   | -            | 366,579   | -            | 373,162   |

Berdasarkan Tabel 2, kondisi operasi MAC menunjukkan peningkatan tekanan dan suhu udara pada setiap tahap kompresi sesuai dengan karakteristik proses politropik. Tekanan keluaran (*Pout*) meningkat secara bertahap dari sekitar 1,9 bar pada tahap pertama menjadi 5,5 bar pada tahap ketiga, sementara suhu keluaran (*Tout*) naik dari sekitar 111°C menjadi lebih dari 103°C setelah tahap akhir, dikarenakan pada proses selanjutnya proses membutuhkan sifat udara bebas yang memiliki klasifikasi kondisi operasi suhu tinggi dan tekanan tinggi, maka proses kompresi

sudah sesuai dengan adanya tekanan gas ideal. Peningkatan tekanan dan ini sejalan dengan peningkatan suhu sebagaimana dijelaskan dalam persamaan gas ideal ( $PV = nRT$ ), di mana udara terkompresi mengalami penurunan volume ( $V$ ) sehingga tekanan ( $P$ ) dan suhu ( $T$ ) meningkat secara proporsional.

Selain itu, *intercooler* antara setiap tahap berfungsi untuk menurunkan suhu udara dari sekitar  $111^{\circ}\text{C}$  menjadi  $\pm 42^{\circ}\text{C}$  sebelum masuk ke tahap berikutnya. Pendinginan ini menjaga kepadatan udara yang tinggi dan mengurangi kerja kompresi total. Dengan demikian, proses kompresi *multistage* pada MAC tidak hanya meningkatkan tekanan secara bertahap, tetapi juga menjaga efisiensi politropik agar tetap mendekati kondisi ideal.

## B. Evaluasi Efisiensi Politropik MAC

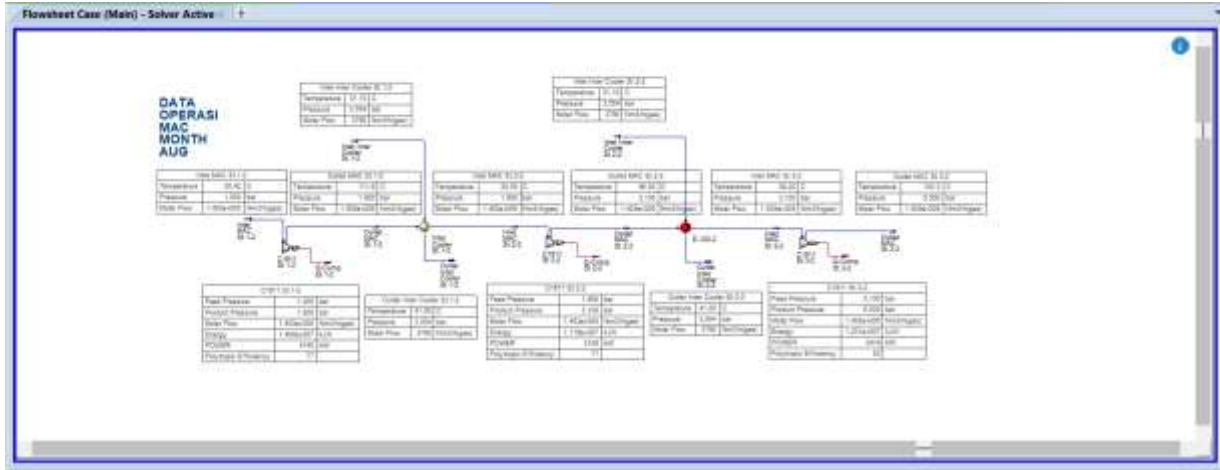
Evaluasi efisiensi politropik dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kerja aktual MAC dapat mendekati kondisi ideal dalam proses kompresi. Dengan melakukan evaluasi ini, dapat diketahui tingkat kesesuaian performa MAC terhadap data desain baik secara kondisi operasi dan penggunaan energi secara aktual. Hasil evaluasi efisiensi politropik menjadi dasar dalam menentukan efektivitas sistem kompresi bertahap serta menjadi acuan untuk optimalisasi politropik efisiensi pada MAC.

**Tabel 3. Evaluasi Politropik Efisiensi Aktual MAC Bulan Agustus**

| KONDISI OPERASI MAC         |                    |           |              |           |              |           |
|-----------------------------|--------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| Keterangan                  | Unit               | C1611     | Inter cooler | C1611     | Inter cooler | Stage 3   |
|                             |                    | Stage 1   | Stage 1      | Stage 2   | Stage 2      |           |
| Mass flow inlet intercooler | Kg/h               | -         | 2969,12      | -         | 2969,12      | -         |
| P Inlet                     | Bar                | -         | 3,599        | -         | 3,599        | -         |
| P outlet                    | Bar                | -         | 3,09         | -         | 3,09         | -         |
| T inlet                     | Bar                | -         | 32,66        | -         | 32,6         | -         |
| T outlet                    | $^{\circ}\text{C}$ | -         | 42,6         | -         | 42,6         | -         |
| $\gamma$                    |                    | 1,4       | -            | 1,4       | -            | 1,4       |
| Mass flow C1611             | Kg/h               | 181262,43 | -            | 181262,43 | -            | 181262,43 |
| P inlet                     | Bar                | -0,00572  | -            | 0,91736   | -            | 2,19182   |
|                             | Bar A              | 1,00771   | -            | 1,90102   | -            | 3,13437   |
| P outlet                    | Bar                | 0,91736   | -            | 2,19182   | -            | 4,65436   |
|                             | Bar A              | 1,90102   | -            | 3,13437   | -            | 5,51747   |
| T inlet                     | $^{\circ}\text{C}$ | 30,4212   | -            | 35,5233   | -            | 36,3289   |
|                             | K                  | 302,59    | -            | 307,527   | -            | 308,307   |
| T outlet                    | $^{\circ}\text{C}$ | 111,586   | -            | 96,542    | -            | 103,346   |
|                             | K                  | 381,137   | -            | 366,579   | -            | 373,162   |
| Power MAC                   | kW                 | 4140      | -            | 3108      | -            | 3418      |
| $\eta$ politropik           | %                  | 78,42     | -            | 80,29     | -            | 83,05     |

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan perhitunagn excel diketahui bahwa terjadi penurunan politropik efisiensi di *stage 1* ke *stage 2* dan mengalami kenaikan di *stage 3*, nilai politropik efisiensi berturut-turut sebesar 78,42%, 80,29% dan 83,05%. Fenomena penurunan politropik efisiensi pada *stage 1* ke *stage 2* diakibatkan karena perubahan kondisi operasi,

seperti kenaikan tekanan *outlet* dan suhu operasi yang lebih tinggi akibat ketidak sempurnaan pendinginan di *intercooler*, sehingga proses kompresi di dalam MAC *stage* berikutnya memerlukan kerja kompresi yang lebih besar. Namun, pada *stage* 3 politropik efisiensi mengalami kenaikan kembali, yang disebabkan oleh kondisi operasi yang lebih stabil, rasio tekanan yang lebih optimal, serta efektivitas pendinginan udara setelah *intercooling stage* ke 2 lebih baik. Peningkatan efisiensi ini mengindikasikan bahwa proses kompresi di dalam MAC pada *stage* ke 3 berlangsung lebih mendekati proses politropik ideal, dimana rasio tekanan, suhu, dan laju alir massa udara berada kondisi yang sesuai dengan desain yang optimal.



Gambar 2. Simulasi Evaluasi Politropik Efisiensi MAC

Dalam Aspen Hysys V.14 Efisiensi Politropik tidak mengalami penurunan tetapi hasil politropik efisiensi antara perhitungan excel dengan Aspen Hysys V.14 pada *stage* 1 dan *stage* 3 tidak mengalami perbedaan yang secara signifikan, perbedaan signifikan hanya terjadi pada *stage* 3. politropik efisiensi pada Aspen Hysys V.14 mendapatkan nilai secara berturut-berturut baik *stage* 1 sampai dengan *stage* 3 sebesar 77%, 77% dan 83,05%.

Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan model termodinamika dan asumsi gas yang digunakan. Perhitungan excel umumnya mendekati persamaan gas ideal ( $PV=nRT$ ) dengan nilai ( $\gamma$ ) yang konstan, sedangkan dalam Aspen Hysys V.14 menggunakan model real gas yang memperhitungkan perubahan  $C_p$  dan  $\gamma$  terhadap tekanan dan temperatur aktual. Selain itu, perbedaan penggunaan tekanan absolut dan pengaruh pendinginan *intercooler* juga dapat menyebabkan selisih hasil. Perbedaan signifikan *stage* 1 dan *stage* 3, dikarenakan pada tekanan rendah dan tinggi sifat gas menyimpang lebih jauh dari kondisi ideal.

Sedangkan pada politropik desain sebesar 89,3%, 90,4% dan 87,7%. Kinerja MAC mengalami degradasi dibandingkan dengan kondisi desainya, yang dapat disebabkan oleh beberapa penyebab seperti faktor *fouling* pada *intercooler*, kehilangan tekanan pada sistem perpipaan, serta perbedaan kondisi operasi dan densitas yang lebih tinggi.

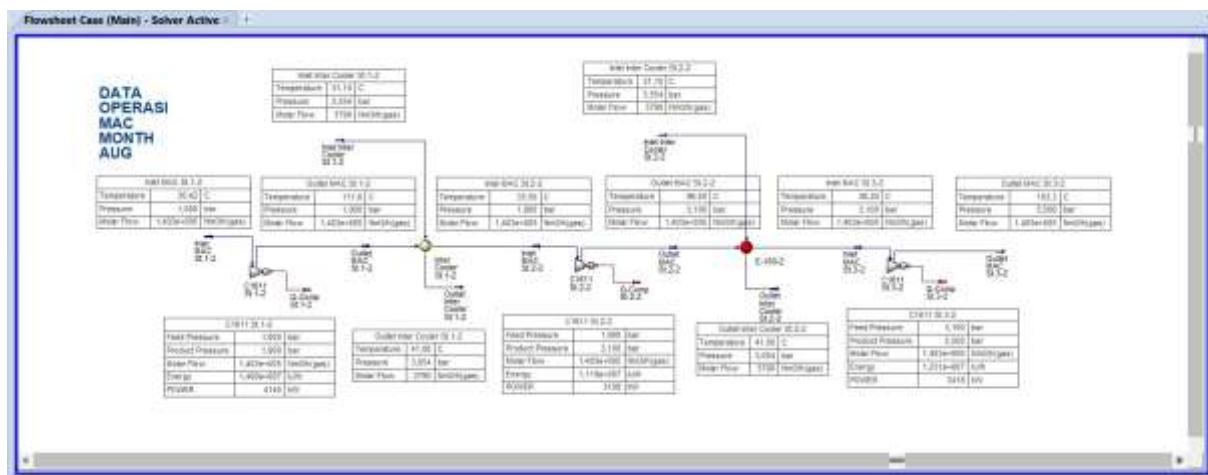
Perbedaan tekanan keluaran yang dihasilkan aktual pada tahap 1-tahap 3 berturut-turut sebesar 1,90102 barA, 3,13437 barA dan 5,51747 barA, yang dimana sedikit lebih rendah dari data desain. Perbedaan ini berkaitan langsung dengan politropik *head* dan politropik efisiensi yang dihasilkan. Suhu pada sisi keluaran menunjukkan kenaikan yang wajar sesuai dengan kompresi adiabatik, sebesar 111,586°C, 96,542°C dan 103,3°C, suhu tersebut akan turun sekitar 32-33°C yang dimana *intercooler* sudah bekerja secara efektif dalam menurunkan beban thermal. Perbedaan kondisi operasi yang tidak secara signifikan baik aktual dan desain menunjukkan bahwa MAC beroperasi dalam kasus *partial load* yang juga dapat menyebabkan politropik efisiensi aktual sedikit mengalami penurunan.

Dari ke 3 tahap politropik efisiensi yang dihasilkan oleh MAC masih berada dalam batas efisiensi operasi industri yang umum, yaitu berkisar diantara 73% - 86%, sehingga sistem MAC dapat dikategorikan masih layak beroperasi dengan performa yang stabil dan sesuai dengan kondisi lapangan.

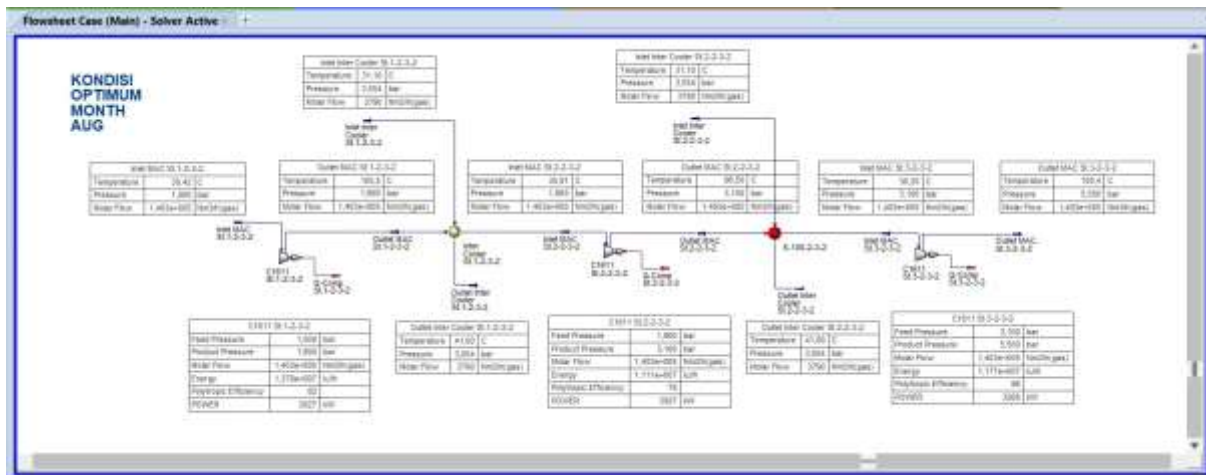
### C. Optimasi Efisiensi Politropik MAC

Setelah mengetahui berbagai permasalahan yang dapat menyebabkan politropik efisiensi MAC pada ASU *plant* menurun tentunya *all team plant* pada PT. XYZ tentunya harus melakukan sebuah tindakan yang dapat memulihkan MAC agar dapat beroperasi lebih efisien meskipun menurut beberapa ahli sudah beroperasi di kondisi yang aman, didalam sebuah industri banyak cara untuk memulihkan sebuah peralatan proses agar dapat beroperasi lebih efisien dengan meminimalisir pengeluaran CAPEX (*Capital Expendature*) yang tinggi dengan keuntungan yang dapat diraup dalam jangka panjang, PM (*Preventive Maintenance*) merupakan kegiatan perawatan peralatan secara berkala untuk menjaga kerusakan dan menjaga kondisi optimum sebuah peralatan proses tanpa mengeluarkan CAPEX terlalu tinggi. PM yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan kembali MAC yaitu dengan cara mengatur ulang kembali kondisi operasi MAC yang ada di dalam sebuah *logic*.

Untuk memudahkan pengaturan ulan sebuah kondisi operasi Aspen Hysys merupakan sebuah solusi sebelum tindakan eksptetasi direalisasikan kedalam sebuah sistem *logic* yang ada di *plant* PT. XYZ. Untuk mengoptimasikan MAC menggunakan fitur *study case* yang ada di dalam Aspen Hysys, terdapat beberapa variabel yang ditetapkan yaitu variabel bebas (*independent variabel*) dan variabel terikat (*dependent variabel*). Data desain merupakan sebuah batasan-batasan dalam melaukan pengoptimalan sebuah MAC, berikut merupakan hasil optimasi yang telah dilakukan:



dan 100,4°C terutama pada tahap ketiga agar proses DC-AC (*Direct Cooler-After Cooler*) setelah MAC tidak terlalu bekerja secara maksimal dalam menurunkan suhu setelah unit kompresi, serta peningkatan politropik efisiensi pada setiap tahap menjadi 82%, 78% dan 86%. Selain itu, konsumsi daya total berkurang dari 10.666 kW menjadi 10.182 kW atau sekitar 4,5 %, tanpa mengubah kapasitas aliran gas. Kondisi ini dapat terealisasi secara nyata dalam peningkatan kinerja thermodinamika MAC agar tetap mendekati data desain, sambil mengurangi kebutuhan energi dan memperpanjang umur operasional peralatan tanpa memerlukan tambahan CAPEX sama sekali.



Gambar 4. Optimum Kondisi MAC

#### 4. SIMPULAN

Studi penelitian ini menunjukkan politropik efisiensi MAC pada ASU *plant* PT. XYZ mengalami *off design equipment* sehingga menyebabkan penurunan politropik efisiensi. Nilai politropik efisiensi aktual sebesar 78,42%, 80,29% dan 83,05%, yang masih berada dalam rata-rata rentang politropik efisiensi didalam indsutri (73-86%) tetapi lebih rendah dari data dedesain (87-90%).

Melalui optimasi dengan menggunakan Aspen Hysys V.14, dengan penyesuaian pada beberapa variabel seperti suhu masuk atau suhu keluaran di setiap tahapnya, telah berhasil menaikkan peningkatan politropik efisiensi menjadi 82%, 78%, dan 86%, serta penurunan pada konsumsi energi total pada MAC dari 10.666 kW menjadi 10.182 kW atay sekitar 45%. Optimasi ini berhasil meningkatkan politropik efisiensi MAC pada ASU *plant* PT. XYZ mendekati data desain dan mengurangi kebutuhan energi total pada MAC tanpa tambahan CAPEX, dan berpotensi memperpanjang umur dari peralatan proses PT.XYZ

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afshar. Alihosseini, "ASU Simulation in Separating Air Components by Refrigeration Distillation (Oxygen and Nitrogen) Using ASPEN HYSYS (Case Study: SIAD Company)", *Chemical Product and Process Modeling*, vol. 15, no. 6, pp. 1-11, Oct. 2020.
- [2] K.C. Chong, "Recent Progress of Oxygen/Nitrogen Separation Using Membrane Technology", *Journal of Engineering Science and Tchnology*, vol. 11, no. 7, 1016-1030, 2016.
- [3] Afdal, "Analisis Perawatan Preventif Sistem Kriogenik pada Main Air Compresso di Pabrik ASU", *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Energi*, vol. 8, no. 2, pp. 45-52, Nov. 2020.
- [4] Heris, Syamsuri, "PERANCANGAN SIMULATOR KOMPRESOR TORAK UNTUK

- MEDIA PEMBELAJARAN”, *Jurnal Mesin Galuh*, vol. 1, no. 1, 26-34, 2023
- [5] Awalul, Zikri, “PERENCANAAN PERAWATAN KOMPRESOR MULTISTAGE K-680 DI PT. PERTA ARUN GAS”, *VOCATECH: Vocational and Technology Journal*, vol. 3, no. 2, 73-80, 2022.
- [6] Prabowo, “Sistem Perawatan dan Pemecahan Masalah pad Kompresor Udara Menggunakan Reliability Centered Maintenance Berbasis IOT”, *Eproceedings of Engineering*, vol. 4, no. 2, 1-5, 2020.
- [7] I. Wardana, R. Pratama, dan S. Nugroho, “Analisis Kinerja Main Air Compressor (MAC) pada Air Separation Unit (ASU) Plant Industri Gas,” *Jurnal Energi dan Proses Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 12–20, Jan. 2025.
- [8] S. Salihima dan H. Hermina, “Evaluasi Kinerja dan Pemeliharaan Main Air Compressor pada Air Separation Unit (ASU) Plant,” *Jurnal Teknologi Proses dan Pemeliharaan*, vol. 7, no. 2, pp. 55–63, Jun. 2022.
- [9] J. Oldrich, “Analysis of Polytropic Efficiency in Multistage Centrifugal Compressors,” *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 301–308, May 2020.
- [10] J. Jamaludin, “Kajian Efisiensi Politropik pada Kompresor Gas Industri,” *Jurnal Energi dan Mesin Fluida*, vol. 4, no. 1, pp. 22–29, Mar. 2016.
- [11] F. Hapsari, “Studi Analisis Efisiensi Politropik pada Kompresor Industri Multistage,” *Jurnal Teknik Termodinamika dan Energi*, vol. 9, no. 1, pp. 18–25, Apr. 2023.
- [12] Aspen Technology, *Aspen HYSYS® User Guide*, ver. 12, Bedford, MA, USA, 2022.

#### Daftar Simbol

|          |   |                                  |
|----------|---|----------------------------------|
| $H_p$    | = | Head Politropik                  |
| $n$      | = | Eksponen Politropik              |
| $Z_0$    | = | Faktor Kompresibilitas Gas Inlet |
| $R$      | = | Konstanta Gas Universal          |
| $T_{00}$ | = | Temperature Inlet                |
| $P_{04}$ | = | Pressure Outlet                  |
| $P_{00}$ | = | Pressure Inlet                   |
| $H_r$    | = | Head Efektif                     |
| $h_{04}$ | = | Enthalpy Total                   |
| $h_{01}$ | = | Potensial                        |
| $\eta_p$ | = | Politropik Efisiensi             |
| $\gamma$ | = | Spesifik Heat Ratio              |