

Studi Banding Hasil Analisa Data Diagram Mengapa Harus Menggunakan Jet Burner TJ2000?

Berdasarkan kapasitas desain furnace sebesar 4.000.000 kcal/jam atau sekitar 4,65 MW, burner TJ1000 dengan kapasitas sekitar 2,9 MW terlalu kecil dan hanya mampu memenuhi sekitar 62% kebutuhan panas. Karena itu, TJ2000 lebih sesuai karena memiliki kapasitas yang cukup untuk mencapai temperatur proses hingga 400°C, menjaga kestabilan produksi, serta menyediakan margin saat terjadi heat loss, perubahan airflow, atau penurunan nilai kalor gas.

Burner sulit menyala baca di no 12. Mengapa burner sulit menyala setelah jet blower ditambah? Dan no 19

Burner sulit menyala setelah penambahan jet blower karena aliran udara dan tekanan negatif di dalam furnace menjadi terlalu besar saat proses ignition. Kondisi ini dapat menarik api menjauh dari burner head, mengencerkan campuran gas, serta menyebabkan UV scanner gagal mendeteksi flame. Solusinya adalah mengontrol jet blower dengan VFD dan motorized damper agar airflow saat ignition lebih rendah, kemudian dinaikkan secara bertahap setelah api terbukti stabil.

Berikut Argumentasi Teknis Pemilihan Eclipse ThermJet TJ2000

Untuk Furnace–Drying Jet NPK Plant Pupuk Kaltim

1. Pernyataan teknis Rekomendasi user

Pemilihan Eclipse ThermJet TJ2000 High Velocity bukan dilakukan dengan sekadar mengambil burner lebih besar. Pemilihan ini didasarkan pada tiga fakta engineering:

1. *kapasitas desain furnace existing adalah sekitar 4.000.000 kcal/jam atau 4,65 MW;*
2. *kebutuhan panas untuk memanaskan 25.000 Nm³/jam udara hingga 400°C berada pada kisaran 4,0–4,4 MW, belum termasuk kondisi terburuk;*
3. *burner sebaiknya tidak dipilih tepat pada 100% kapasitas maksimum karena perubahan LHV gas, heat loss, false air, kondisi refractory, dan perubahan produksi dapat membuat kapasitas aktual lebih rendah dari nameplate.*

ThermJet tersedia sampai kapasitas nominal 20.000.000 Btu/jam atau sekitar 5,86 MW pada basis tertentu. Model TJ2000 merupakan kelas kapasitas yang memberikan ruang untuk memenuhi duty furnace 4,65 MW tanpa mengoperasikan burner terus-menerus pada batas maksimum.

Rekomendasi yang diajukan:

Eclipse ThermJet TJ2000 High Velocity

dengan kapasitas nominal paket sekitar:

5,3 – 5,86 MW, tergantung basis HHV/LHV datasheet

dan firing rate maksimum saat commissioning dibatasi menjadi:

4,3 – 4,65 MW

Dengan demikian, TJ2000 tidak dioperasikan secara liar pada kapasitas penuh. Unit dipilih lebih besar untuk menyediakan operating reserve, kemudian output dibatasi sesuai kemampuan furnace dan kebutuhan proses.

2. Mengapa kapasitas furnace harus menjadi referensi utama?

Data proses mencantumkan furnace duty:

$$Q_{\text{furnace}} = 4.000.000 \text{ kcal/jam}$$

Konversi dari kcal/jam ke kW:

$$1 \text{ kcal/jam} = 1,163 \text{ W}$$

Maka:

$$Q_{\text{furnace}} = 4.000.000 \times 1,163$$

$$Q_{\text{furnace}} = 4.652.000 \text{ W}$$

$$Q_{\text{furnace}} = 4.652 \text{ kW} = 4,652 \text{ MW}$$

Nilai tersebut merupakan design duty existing yang tercantum pada sistem furnace NPK. Karena itu, burner pengganti idealnya mampu menyediakan duty mendekati:

$$4,65 \text{ MW}$$

dan tidak hanya dipilih berdasarkan kondisi operasi rata-rata.

Drawing furnace memperlihatkan bahwa burner memasok panas ke furnace yang terhubung ke drying jet dan rangkaian proses NPK. Dengan demikian, penurunan kapasitas burner langsung berpengaruh pada temperatur udara proses dan kemampuan pengeringan produk.

3. Heat balance udara proses

Data dasar

$$\dot{V}_N = 25.000 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Temperatur udara masuk diasumsikan:

$$T_1 = 30^\circ\text{C}$$

Target temperatur:

$$T_2 = 400^\circ\text{C}$$

Selisih temperatur:

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 400 - 30$$

$$\Delta T = 370 \text{ K}$$

Densitas udara normal:

$$\rho_N = 1,293 \text{ kg/Nm}^3$$

Massa udara:

$$\dot{m} = \dot{V}_N \rho_N$$

$$\dot{m} = 25.000 \times 1,293$$

$$\dot{m} = 32.325 \text{ kg/jam}$$

Untuk udara yang dipanaskan sampai 400°C, panas jenis rata-rata dapat digunakan:

$$C_{p, \text{avg}} \approx 1,02 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Panas bersih yang harus diterima udara:

$$Q_{\text{air}} = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$Q_{\text{air}} = 32.325 \times 1,02 \times 370$$

$$Q_{\text{air}} = 12.198.465 \text{ kJ/jam}$$

Konversi menjadi kW:

$$Q_{\text{air,kW}} = \frac{12.198.465}{3.600}$$

$$Q_{\text{air}} = 3.388,5 \text{ kW}$$

Nilai 3.388,5 kW adalah panas yang benar-benar diterima udara. Burner harus menghasilkan lebih besar karena tidak seluruh energi bahan bakar berpindah ke udara proses.

4. Koreksi efisiensi dan kehilangan panas

Rumus kapasitas burner:

$$Q_{\text{burner}} = \frac{Q_{\text{air}}}{\eta_{\text{effective}}}$$

Kondisi optimistis: efisiensi 90%

$$Q_{\text{burner}} = \frac{3.388,5}{0,90}$$

$$Q_{\text{burner}} = 3.765 \text{ kW}$$

Kondisi normal: efisiensi 85%

$$Q_{\text{burner}} = \frac{3.388,5}{0,85}$$

$$Q_{\text{burner}} = 3.986 \text{ kW}$$

Kondisi konservatif: efisiensi 80%

$$Q_{\text{burner}} = \frac{3.388,5}{0,80}$$

$$Q_{\text{burner}} = 4.236 \text{ kW}$$

Perbandingan:

Efisiensi efektif	Kebutuhan heat input
90%	3.765 kW
88%	3.851 kW
85%	3.986 kW
82%	4.132 kW
80%	4.236 kW
75%	4.518 kW

Efisiensi efektif dapat turun karena:

- panas keluar melalui shell dan refractory;
- false air melalui manhole atau flange;
- kehilangan panas pada ducting;
- temperatur lingkungan rendah;
- refractory sudah menurun;
- distribusi udara tidak merata;

- jet blower mengalirkan udara melebihi design flow.

Karena itu kapasitas sekitar 4 MW tidak boleh dianggap memiliki margin yang cukup.

5. Penambahan design margin

Burner industri sebaiknya tidak dipilih tepat sama dengan kebutuhan hitungan ideal.

Dengan kebutuhan pada efisiensi 85%:

$$Q_{\text{required}} = 3.986 \text{ kW}$$

Tambahkan margin 10%:

$$Q_{\text{design}} = 3.986 \times 1,10$$

$$Q_{\text{design}} = 4.385 \text{ kW}$$

Tambahkan allowance variasi LHV gas dan kondisi proses 5%:

$$Q_{\text{selected}} = 4.385 \times 1,05$$

$$Q_{\text{selected}} = 4.604 \text{ kW}$$

Nilai ini sangat dekat dengan kapasitas furnace existing:

$$4.604 \text{ kW} \approx 4.652 \text{ kW}$$

Ini memperkuat bahwa design duty existing 4.000.000 kcal/jam bukan angka yang berlebihan, melainkan konsisten dengan perhitungan fisika.

6. Mengapa TJ1000 ditolak secara teknis?

Kapasitas TJ1000 pada penawaran:

$$Q_{\text{TJ1000}} = 2.905 \text{ kW}$$

Penawaran juga mencantumkan turndown 30:1, combustion-air blower 15 kW, tekanan sekitar 8 kPa, gas line DN100, serta sistem UV flame detection.

Coverage terhadap design furnace:

$$\text{Coverage} = \frac{2.905}{4.652} \times 100\%$$

$$\text{Coverage} = 62,4\%$$

Defisit:

$$\text{Defisit} = 4.652 - 2.905$$

$$\text{Defisit} = 1.747 \text{ kW}$$

atau:

$$\text{Defisit} = 37,6\%$$

TJ1000 tidak mempunyai kemampuan untuk menggantikan full design duty furnace.

Temperatur yang dapat dicapai TJ1000

Panas efektif pada efisiensi 85%:

$$Q_{\text{effective}} = 2.905 \times 0,85$$

$$Q_{\text{effective}} = 2.469,25 \text{ kW}$$

Kenaikan temperatur:

$$\Delta T = \frac{Q_{\text{effective}} \times 3.600}{\dot{m} C_p}$$

$$\Delta T = \frac{2.469,25 \times 3.600}{32.325 \times 1,02}$$

$$\Delta T \approx 269,5^\circ\text{C}$$

Dengan inlet 30°C:

$$T_{\text{out}} = 30 + 269,5$$

$$T_{\text{out}} \approx 299,5^\circ\text{C}$$

Maka TJ1000 lebih sesuai untuk:

25.000 Nm³/jam pada sekitar 300°C

bukan 400°C.

7. Mengapa TJ1500 masih memiliki risiko?

Kapasitas TJ1500 berada di sekitar kelas 4 MW.

Bandingkan dengan kebutuhan pada efisiensi 85%:

$$Q_{\text{required}} = 3.986 \text{ kW}$$

Jika TJ1500 menghasilkan sekitar:

$$Q_{\text{TJ1500}} \approx 3.956 \text{ kW}$$

maka coverage:

$$\text{Coverage} = \frac{3.956}{3.986} \times 100\%$$

$$\text{Coverage} \approx 99,2\%$$

Secara teoritis hampir cukup, tetapi burner harus bekerja mendekati kapasitas maksimum terus-menerus.

Margin terhadap kebutuhan hanya:

$$3.986 - 3.956 = 30 \text{ kW}$$

$$\text{Defisit nominal sekitar } 0,8\%$$

Dalam praktik, penurunan kecil pada kondisi berikut dapat menyebabkan target gagal:

- LHV natural gas turun 5%;
- tekanan gas dinamis turun;
- heat loss naik;
- airflow naik;
- udara masuk lebih dingin;
- false air masuk;
- refractory rusak;
- moisture produk meningkat.

Contoh LHV turun 5%

Kapasitas efektif burner menjadi:

$$Q_{\text{actual}} = 3.956 \times 0,95$$

$$Q_{\text{actual}} = 3.758 \text{ kW}$$

Defisit terhadap kebutuhan:

$$3.986 - 3.758 = 228 \text{ kW}$$

$$\boxed{\text{Defisit} = 5,7\%}$$

Dengan demikian, TJ1500 dapat bekerja untuk kondisi normal yang terkendali, tetapi tidak memberikan cadangan yang memadai untuk menjamin full design duty.

8. Mengapa TJ2000 merupakan pilihan yang tepat?

TJ2000 adalah kelas terbesar dalam rentang ThermJet yang mencapai 20 juta Btu/jam. Honeywell menyebut ThermJet sebagai burner direct-fired berkecepatan tinggi, tersedia dalam 14 ukuran, dengan rentang kapasitas sampai 20.000.000 Btu/jam.

Menggunakan kapasitas sekitar:

$$Q_{\text{TJ2000}} \approx 5,33 \text{ MW LHV}$$

Coverage terhadap furnace:

$$\text{Coverage} = \frac{5.333}{4.652} \times 100\%$$

$$\boxed{\text{Coverage} = 114,6\%}$$

Margin:

$$5.333 - 4.652 = 681 \text{ kW}$$

$$\boxed{\text{Margin} = 14,6\%}$$

Margin 14,6% tersebut tidak berarti furnace harus menerima 5,33 MW terus-menerus. Pada commissioning, high-fire limit dikunci di:

$$\boxed{4,3 - 4,65 \text{ MW}}$$

Sehingga burner memiliki cadangan tetapi furnace tetap terlindungi.

Keuntungan operating reserve

Dengan TJ2000:

- burner tidak bekerja 100% terus-menerus;
- recovery temperatur lebih cepat;
- variasi LHV gas dapat dikompensasi;
- proses tidak langsung drop saat airflow naik;
- ada cadangan terhadap heat loss;
- tersedia kapasitas untuk cold start;
- throughput lebih stabil;
- moisture produk lebih mudah dijaga.

9. Perbandingan operating load

TJ1500

Apabila kebutuhan:

$$Q_{\text{required}} = 3.986 \text{ kW}$$

dan kapasitas TJ1500:

$$Q_{\text{max}} = 3.956 \text{ kW}$$

maka:

$$\text{Burner load} = \frac{3.986}{3.956} \times 100\%$$

$$\boxed{\text{Load} > 100\%}$$

Artinya TJ1500 secara praktis sudah berada di luar kapasitas nominal pada asumsi efisiensi 85%.

TJ2000

$$\text{Burner load} = \frac{3.986}{5.333} \times 100\%$$

$$\boxed{\text{Load TJ2000} = 74,8\%}$$

Jika duty naik menjadi 4,65 MW:

$$\text{Load} = \frac{4.652}{5.333} \times 100\%$$

$$\boxed{\text{Load TJ2000} = 87,2\%}$$

Ini merupakan operating range yang lebih sehat daripada burner yang dipaksa bekerja 100% terus-menerus.

10. Pengaruh jet blower baru

Jet blower mempunyai:

$$Q_1 = 813 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$Q_1 = 48.780 \text{ m}^3/\text{jam}$$

dengan:

$$\Delta P_1 = 1.877 \text{ Pa}$$

motor:

$$P_m = 45 \text{ kW}$$

dan shaft power:

$$P_{\text{shaft}} = 36,1 \text{ kW}$$

Data fan menunjukkan flow tersebut pada temperatur 40°C dengan densitas 1,1276 kg/m³ dan menggunakan inlet louver damper.

Flow proses 25.000 Nm³/jam dikonversi menjadi actual flow pada 40°C:

$$Q_{40} = 25.000 \left(\frac{313,15}{273,15} \right)$$

$$\boxed{Q_{40} = 28.661 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

Perbandingan:

$$\frac{48.780}{28.661} = 1,702$$

Kapasitas jet blower sekitar 170% dari design airflow

Artinya fan mempunyai potensi mengalirkan udara sekitar 70% lebih besar dari kebutuhan design.

Jika udara berlebih masuk ke furnace:

$$Q_{\text{heat}} \propto \dot{m}$$

Maka kebutuhan panas meningkat hampir sebanding dengan massa udara.

11. Kebutuhan panas jika jet blower bekerja full flow

Massa udara dari jet blower:

$$\dot{m} = 48.780 \times 1,1276$$

$$\dot{m} \approx 55.000 \text{ kg/jam}$$

Jika dipanaskan dari 40°C ke 400°C:

$$\Delta T = 360^\circ C$$

Panas bersih:

$$Q_{\text{air}} = 55.000 \times 1,02 \times 360$$

$$Q_{\text{air}} = 20.196.000 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{\text{air}} = \frac{20.196.000}{3.600}$$

$$Q_{\text{air}} = 5.610 \text{ kW}$$

Pada efisiensi 85%:

$$Q_{\text{burner}} = \frac{5.610}{0,85}$$

$$Q_{\text{burner}} = 6.600 \text{ kW}$$

Artinya bahkan TJ2000 tidak dimaksudkan untuk memanaskan full flow jet blower hingga 400°C.

Pesan penting kepada user:

Kapasitas fan 48.780 m³/jam adalah kemampuan maksimum fan, bukan airflow yang wajib dimasukkan ke furnace setiap saat.

Fan harus dikontrol mendekati airflow proses:

$$25.000 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Bila fan dibiarkan penuh, temperatur proses turun walaupun burner diganti lebih besar.

12. Mengapa burner sulit menyala setelah jet blower ditambah?

Saat ignition, burner bekerja pada low fire. Energi dan momentum flame masih rendah.

Jika jet blower langsung bekerja penuh:

- furnace mengalami suction atau cross-draft tinggi;
- gas ignition terdilusi;
- spark dan gas tidak bertemu secara stabil;
- flame root tertarik keluar dari combustor;
- UV scanner kehilangan flame;
- burner lockout.

Tekanan fan baru:

$$\Delta P_{\text{fan}} = 1.877 \text{ Pa}$$

Nilai tersebut adalah kemampuan total fan, bukan setpoint furnace. Bila sistem ducting memberikan tekanan negatif besar di area burner, flame dapat mengalami lift-off.

Burner lebih besar tidak otomatis menyelesaikan ignition failure. TJ2000 tetap membutuhkan:

- airflow ignition yang rendah;
- pressure furnace stabil;
- low-fire start;
- controlled ramp;
- flame proving sebelum fan dibuka lebih besar.

13. Solusi pengendalian jet blower

Solusi paling baik

Motor existing 45 kW + VFD + motorized inlet louver

Motor existing tetap digunakan. VFD mengatur kecepatan motor, sedangkan louver digunakan untuk:

- purge position;
- ignition position;
- trimming;
- isolation;
- emergency position.

Star–delta existing dipertahankan sebagai bypass darurat, bukan sebagai kontrol normal.

14. Mengapa star–delta saja tidak cukup?

Star–delta hanya mengurangi starting current.

Setelah transisi delta:

$$N \approx 1.478 \text{ rpm}$$

Fan kembali bekerja mendekati full speed.

Star–delta tidak dapat:

- menurunkan airflow saat ignition;
- menjaga pressure furnace;
- mengikuti perubahan produksi;
- menghemat energi;
- membuat ramp yang halus;
- mengatur flow 25.000 Nm³/jam.

Dengan star–delta saja, pengaturan harus sepenuhnya dilakukan dengan damper. Hal ini mungkin, tetapi lebih boros dan kontrolnya kurang presisi.

15. Perhitungan VFD untuk design airflow

Fan affinity law:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Target flow aktual:

$$Q_2 = 28.661 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Full flow:

$$Q_1 = 48.780 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Rasio speed:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{28.661}{48.780}$$

$$\boxed{\frac{N_2}{N_1} = 0,588}$$

Frekuensi:

$$f_2 = 0,588 \times 50$$

$$\boxed{f_2 = 29,4 \text{ Hz}}$$

Speed:

$$N_2 = 0,588 \times 1.478$$

$$\boxed{N_2 \approx 869 \text{ rpm}}$$

Jadi secara teoritis design airflow tercapai sekitar 29–30 Hz, bukan 50 Hz.

16. Perhitungan pressure dan daya fan pada 29,4 Hz

Tekanan mengikuti kuadrat kecepatan:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

$$\Delta P_2 = 1.877 \times 0,588^2$$

$$\boxed{\Delta P_2 \approx 649 \text{ Pa}}$$

Daya mengikuti pangkat tiga kecepatan:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

$$P_2 = 36,1 \times 0,588^3$$

$$\boxed{P_2 \approx 7,34 \text{ kW}}$$

Dibanding full-speed shaft power 36,1 kW:

$$\text{Pengurangan teoritis} = 36,1 - 7,34$$

$$\boxed{\text{Pengurangan} = 28,76 \text{ kW}}$$

Persentase:

$$\frac{28,76}{36,1} \times 100\%$$

$$\boxed{\text{Pengurangan teoritis} \approx 79,7\%}$$

Nilai aktual akan berbeda mengikuti kurva sistem, tetapi secara fisika VFD jauh lebih efisien daripada mencekik fan dengan damper.

17. Mengapa damper tetap perlu memakai actuator motorized?

Damper harus memakai:

$$\boxed{\text{modulating motorized actuator}}$$

bukan ON/OFF.

Actuator harus mempunyai:

- input 4–20 mA atau 0–10 V;
- position feedback;
- open/close limit switch;
- manual override;
- torque sesuai damper;
- continuous modulation duty;
- fail-safe philosophy sesuai HAZOP.

Fungsi damper:

Tahap	Fungsi damper
Shutdown	Safe position
Purge	Purge position
Ignition	Minimum stable airflow
Stabilization	Menjaga draft
Production	Trim airflow
VFD bypass	Membatasi full-speed flow

Posisi damper tidak boleh ditentukan hanya dari persentase mekanis. Harus dibuat hubungan:

$$Q = f(\theta_{\text{damper}})$$

karena bukaan 50% belum tentu menghasilkan flow 50%.

18. Differential-pressure transmitter dan switch

Transmitter

Differential-pressure transmitter digunakan untuk kontrol kontinu:

$$P_{\text{furnace}} \rightarrow 4 - 20 \text{ mA} \rightarrow \text{PID} \rightarrow \text{VFD/damper}$$

Fungsi:

- menunjukkan tekanan aktual;
- mempertahankan draft stabil;
- mencegah fan menarik flame;
- membuat ramp otomatis;
- memberikan trending.

Pressure switch

Differential-pressure switch digunakan sebagai safety:

- pressure terlalu positif;
- pressure terlalu negatif;
- purge airflow tidak terbukti;
- draft hilang;
- ignition condition tidak terpenuhi.

Kesimpulan:

Transmitter untuk control

Pressure switch untuk safety

Pressure switch saja tidak dapat menjalankan PID karena hanya memberikan kontak ON/OFF.

19. Startup sequence agar TJ2000 mudah menyala

Tahap A — Permissive

Burner hanya boleh start apabila:

- emergency stop normal;
- tekanan gas minimum dan maksimum normal;
- combustion-air fan tersedia;
- combustion-air pressure switch normal;
- jet blower available;
- VFD ready atau bypass valid;
- damper feedback sesuai;
- furnace-pressure transmitter sehat;
- tidak ada false flame;
- downstream process ready;
- valve proving selesai;
- sensor temperatur normal;
- no active burner trip.

Tujuan permissive adalah mencegah gas masuk sebelum seluruh jalur udara, pressure, flame detection dan valve berada pada kondisi aman.

Tahap B — Purge

Jet blower dijalankan pada purge condition.

Urutannya:

1. jet blower start;
2. damper bergerak menuju purge position;
3. airflow atau differential pressure harus terbukti;
4. purge timer baru mulai setelah airflow proven;
5. purge dilakukan sesuai volume furnace dan ducting;
6. gas valves tetap tertutup;
7. UV scanner harus menunjukkan no flame.

Purge position tidak sama dengan ignition position.

Purge memerlukan aliran cukup besar untuk membersihkan gas sisa, sedangkan ignition membutuhkan aliran yang lebih rendah dan stabil.

Tahap C — Turun ke ignition condition

Setelah purge:

1. VFD turun dari purge speed ke ignition speed;
2. damper menuju ignition position;
3. furnace pressure masuk ke ignition window;
4. combustion-air valve burner masuk ignition position;
5. sistem menunggu pressure stabil;
6. gas belum boleh membuka sebelum semua permissive kembali terbukti.

Perkiraan awal VFD:

20 – 35 Hz

Nilai tersebut bukan setpoint final. Commissioning menentukan nilai terbaik berdasarkan:

- furnace pressure;
- flame stability;

- UV signal;
- gas pressure;
- combustion-air pressure;
- O₂ dan CO.

Tahap D — Ignition

1. ignition transformer aktif;
2. spark terbentuk;
3. low-fire gas valve membuka;
4. flame terbentuk dalam safety time;
5. UV scanner membuktikan flame;
6. spark dimatikan sesuai sequence;
7. burner ditahan pada low fire;
8. jet blower tidak langsung dibuka penuh.

Tujuannya memastikan flame root stabil di burner combustor sebelum menerima cross-draft proses yang lebih besar.

Tahap E — Flame stabilization

Setelah flame proven, burner ditahan pada low atau intermediate fire.

Parameter yang dipantau:

- UV flame signal;
- gas pressure dinamis;
- combustion-air pressure;
- furnace draft;
- O₂;
- CO;
- flame appearance;
- outlet temperature;
- burner vibration atau pulsation.

TJ2000 memiliki cadangan kapasitas sehingga tidak perlu langsung melonjak ke high fire.

Tahap F — Ramp menuju produksi

Jet blower dinaikkan perlahan:

$$f(t) = f_{\text{ignition}} + R_f t$$

Keterangan:

- $f(t)$ = frekuensi VFD;
- f_{ignition} = frekuensi saat ignition;
- R_f = ramp rate;
- t = waktu.

Burner firing rate harus naik mengikuti temperature demand.

Prinsipnya:

$$\frac{dQ_{\text{fan}}}{dt} \leq \text{kemampuan burner mempertahankan temperatur}$$

Jika fan naik terlalu cepat:

$$\dot{m}_{\text{air}} \uparrow$$

sementara:

$$Q_{\text{burner}}$$

belum naik cukup cepat, maka:

$$\Delta T = \frac{Q}{\dot{m}C_p}$$

akan turun.

Akibatnya:

- temperatur hot gas jatuh;
- moisture produk naik;
- throughput turun;
- burner terus high fire;
- kualitas produk tidak stabil.

20. Interlock minimum

Kondisi abnormal

Furnace pressure terlalu positif

Furnace pressure terlalu negatif

Jet blower gagal

VFD fault

Damper feedback tidak sesuai

Low combustion-air pressure

Low gas pressure

High gas pressure

Flame failure

False flame sebelum ignition

High-high outlet temperature

Process airflow terlalu tinggi

Purge flow tidak cukup

Pressure transmitter failure

UV scanner failure

Gas valve proving failure

Tindakan otomatis

Load reduction atau burner trip

Ignition inhibit atau burner trip

Burner trip sesuai safety philosophy

Controlled shutdown atau bypass sequence

Start inhibit

Tutup double gas valves

Tutup double gas valves

Tutup double gas valves

Double block valves close

Start inhibit

Burner trip

Batasi VFD/damper

Reset purge timer

Safe shutdown atau controlled safe mode

Burner trip

Start inhibit

21. Konsumsi natural gas pada operating duty

Operating duty dibatasi:

$$Q_{\text{op}} = 4.650 \text{ kW}$$

Rumus:

$$\dot{V}_g = \frac{Q_{\text{op}}}{LHV}$$

LHV 9,5 kWh/Nm³

$$\dot{V}_g = \frac{4.650}{9,5}$$

$$\dot{V}_g = 489,5 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

LHV 10 kWh/Nm³

$$\dot{V}_g = \frac{4.650}{10}$$

$$\dot{V}_g = 465 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

LHV 9 kWh/Nm³

$$\dot{V}_g = \frac{4.650}{9}$$

$$\dot{V}_g = 516,7 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Maka gas train sebaiknya didesain untuk:

$$500 - 550 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

tergantung LHV minimum dan tekanan gas tersedia.

22. Udara pembakaran TJ2000

Untuk natural gas, kebutuhan udara stoikiometri awal:

$$V_{\text{air,stoich}} \approx 9,5 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$$

Dengan excess air 15%:

$$V_{\text{air}} = 9,5 \times 1,15$$

$$V_{\text{air}} = 10,925 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$$

Untuk konsumsi gas:

$$\dot{V}_g = 490 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

maka:

$$\dot{V}_{\text{comb.air}} = 490 \times 10,925$$

$$\dot{V}_{\text{comb.air}} \approx 5.353 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Actual flow pada 40°C:

$$Q_a = 5.353 \left(\frac{313,15}{273,15} \right)$$

$$Q_a \approx 6.136 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Konversi ke m³/detik:

$$Q_a = \frac{6.136}{3.600}$$

$$Q_a \approx 1,704 \text{ m}^3/\text{detik}$$

23. Estimasi combustion blower

Rumus daya fan:

$$P = \frac{Q\Delta P}{\eta_{\text{total}}}$$

Asumsi awal:

$$Q = 1,704 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\Delta P = 8.000 \text{ Pa}$$

$$\eta_{\text{total}} = 0,60$$

Maka:

$$P = \frac{1,704 \times 8.000}{0,60}$$

$$P = 22.720 \text{ W}$$

$$P \approx 22,7 \text{ kW}$$

Dengan margin motor 20%:

$$P_{\text{motor}} = 22,7 \times 1,20$$

$$P_{\text{motor}} = 27,24 \text{ kW}$$

Dipilih rating standar:

$$30 \text{ kW}$$

Namun angka final wajib mengikuti burner curve resmi TJ2000, pressure loss gas-air train, temperatur udara, pressure furnace dan konfigurasi combustor.

24. Argumen komersial yang kuat

Menggunakan TJ1000

Risikonya:

- target 400°C tidak tercapai;
- burner terus bekerja 100%;
- produk lebih basah;
- throughput harus diturunkan;
- konsumsi energi per ton produk naik;
- user berpotensi menganggap burner gagal;
- retrofit ulang diperlukan.

Menggunakan TJ1500

Risikonya:

- kapasitas hampir tanpa margin;
- penurunan LHV gas sedikit saja menyebabkan shortfall;
- recovery temperatur lambat;
- tetap bekerja mendekati high fire;
- kapasitas tidak sepenuhnya menggantikan furnace existing.

Menggunakan TJ2000

Keuntungannya:

- memenuhi duty existing;
- memiliki margin sekitar 14–15%;
- operating point sekitar 75–87% load;

- recovery temperatur lebih cepat;
- tidak harus full fire terus;
- dapat dibatasi secara software dan mechanical setting;
- mendukung kontinuitas produksi;
- lebih tahan terhadap perubahan process load;
- mengurangi risiko retrofit kedua.

Argumentasi kepada user:

Harga burner yang lebih kecil mungkin lebih rendah pada awal proyek, tetapi biaya produksi akibat temperatur tidak tercapai, moisture tinggi, throughput turun, dan retrofit ulang jauh lebih besar dibandingkan selisih investasi TJ2000.

25. Rumusan penawaran yang aman

Proposed burner:

Eclipse ThermJet TJ2000 High-Velocity Natural Gas Burner, nominal maximum capacity sesuai certified vendor datasheet, dengan maximum operating firing rate dibatasi sekitar 4,30–4,65 MW berdasarkan furnace design duty 4.000.000 kcal/jam.

Guaranteed performance diberikan dengan persyaratan:

- process airflow maksimum 25.000 Nm³/jam;
- inlet-air temperature sesuai design basis;
- LHV dan tekanan gas memenuhi data final;
- refractory dan furnace sealing dalam kondisi baik;
- jet blower dikontrol dengan VFD dan motorized louver;
- furnace pressure berada dalam operating window;
- flow dan temperature transmitter terkalibrasi;
- tidak ada tambahan evaporation load di luar design basis;
- commissioning dan combustion tuning selesai.

Kesimpulan yang disampaikan kepada user

TJ1000 terlalu kecil sekitar 37,6% terhadap furnace design

TJ1500 hampir cukup secara teoritis tetapi tidak memiliki margin

TJ2000 paling sesuai untuk menggantikan duty furnace 4,65 MW

TJ2000 dipilih bukan agar furnace menerima panas berlebihan, melainkan agar tersedia kapasitas cadangan. Maximum firing kemudian dibatasi sekitar:

4,3 – 4,65 MW

Jet blower existing 45 kW tetap dapat digunakan, tetapi pengaturan normal harus melalui:

VFD + motorized modulating inlet louver

dengan:

differential-pressure transmitter untuk PID

serta:

independent pressure switches untuk interlock

Star–delta dapat dipertahankan sebagai emergency bypass. Dengan sequence purge, ignition, flame stabilization, dan controlled ramp yang benar, TJ2000 dapat menyala lebih stabil tanpa membuat temperatur produksi drop ketika jet blower dinaikkan.

Apakah FD Fan TJ2000 Bisa Diganti Air Compressor?

Jawaban teknis

Tidak disarankan mengganti combustion-air blower/FD fan TJ2000 dengan plant air compressor secara langsung. TJ2000 membutuhkan debit udara sangat besar pada tekanan rendah, sekitar puluhan mbar. Sebaliknya, compressor menghasilkan debit lebih kecil pada tekanan sangat tinggi, biasanya 6–8 barg. Perbedaan karakter ini membuat penggunaan compressor:

- sangat boros listrik;
- sulit dimodulasikan secara stabil;
- berisiko menyebabkan campuran gas–udara terlalu kurus;
- dapat membuat flame lift-off atau gagal ignition;
- bergantung pada kestabilan header compressed air plant;
- berpotensi mengganggu kebutuhan instrument air lain.

Data resmi TJ2000 menyebut kapasitas maksimum sekitar 5.275 kW LHV, dengan kebutuhan tekanan udara di inlet burner sekitar 52,5 mbar atau 5,25 kPa untuk versi high velocity pada maximum input dan sekitar 15% excess air. Data tersebut diperoleh pada chamber netral; tekanan furnace aktual dapat mengubah kebutuhan tersebut.

1. Kebutuhan udara pembakaran TJ2000

Untuk operating duty furnace:

$$Q_{op} = 4.650 \text{ kW}$$

Misalkan nilai kalor bawah natural gas:

$$LHV = 9,5 \text{ kWh/Nm}^3$$

Konsumsi gas:

$$\begin{aligned}\dot{V}_g &= \frac{Q_{op}}{LHV} \\ \dot{V}_g &= \frac{4.650}{9,5} \\ \dot{V}_g &\approx 489,5 \text{ Nm}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Kebutuhan udara pembakaran natural gas dengan excess air 15% sekitar:

$$V_{air} \approx 10,9 \frac{\text{Nm}^3 \text{ udara}}{\text{Nm}^3 \text{ gas}}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{air} &= 489,5 \times 10,9 \\ \dot{V}_{air} &\approx 5.336 \text{ Nm}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Untuk desain aman dapat dibulatkan:

$$5.300 - 5.700 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

atau:

$$88 - 95 \text{ Nm}^3/\text{menit}$$

Ini merupakan kebutuhan free-air volume, bukan volume setelah udara dikompresi.

2. Kebutuhan tekanan udara TJ2000

Data TJ2000 high velocity menunjukkan tekanan udara inlet sekitar:

52,5 mbar

Konversinya:

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

$$52,5 \text{ mbar} = 5.250 \text{ Pa}$$

Tambahkan pressure loss pada:

- filter udara;
- butterfly valve;
- flexible connection;
- pipa combustion air;
- elbow;
- flow-control valve;
- tekanan furnace;
- allowance commissioning.

Maka total differential pressure awal dapat diperkirakan:

$$7 - 8 \text{ kPa}$$

Inilah tugas yang cocok untuk centrifugal combustion blower: debit besar, tekanan rendah.

3. Perbandingan blower dan compressor

Parameter	Combustion blower	Air compressor
Tekanan tipikal	5–10 kPa	600–800 kPa gauge
Debit yang dibutuhkan	±90 Nm ³ /menit	Harus mampu ±90 Nm ³ /menit FAD
Karakter udara	Volume besar, tekanan rendah	Tekanan tinggi
Daya estimasi	±25–30 kW	Dapat mencapai ±500–700 kW
Modulasi burner	Sesuai	Sulit dan boros
Risiko terhadap plant air	Tidak ada	Sangat besar
Kesesuaian TJ2000	Sesuai	Tidak direkomendasikan

4. Perhitungan daya combustion blower

Actual volume pada temperatur udara 40°C:

$$Q_a = Q_N \left(\frac{313,15}{273,15} \right)$$

$$Q_a = 5.336 \times 1,146$$

$$Q_a \approx 6.115 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Konversi menjadi m³/detik:

$$Q_a = \frac{6.115}{3.600}$$

$$Q_a \approx 1,70 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Rumus daya fan:

$$P = \frac{Q_a \Delta P}{\eta_{\text{total}}}$$

Dengan:

- $Q_a = 1,70 \text{ m}^3/\text{s};$
- $\Delta P = 8.000 \text{ Pa};$
- efisiensi total fan dan motor = 60%.

$$P = \frac{1,70 \times 8.000}{0,60}$$

$$P \approx 22.667 \text{ W}$$

$$P \approx 22,7 \text{ kW}$$

Tambahkan margin motor 20%:

$$P_{\text{motor}} = 22,7 \times 1,20$$

$$P_{\text{motor}} \approx 27,2 \text{ kW}$$

Dipilih rating standar:

Combustion blower sekitar 30 kW

Final selection wajib berdasarkan kurva resmi TJ2000 dan total pressure loss aktual.

5. Perhitungan bila menggunakan compressor 7 barg

Misalkan plant air tersedia pada:

$$P_2 = 7 \text{ barg} \approx 8 \text{ bar absolute}$$

dan udara masuk compressor sekitar:

$$P_1 = 1 \text{ bar absolute}$$

Kebutuhan massa udara:

$$\dot{m} = \frac{5.336 \times 1,293}{3.600}$$

$$\dot{m} \approx 1,92 \text{ kg/detik}$$

Perkiraan daya kompresi adiabatik:

$$P = \frac{\dot{m}}{\eta_c} \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

Dengan:

- $k = 1,4;$
- $R = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K};$

- $T_1 = 313 \text{ K}$;
- $\eta_c = 75\%$;
- rasio tekanan $P_2/P_1 = 8$.

Hasil perhitungan mendekati:

$$P_{\text{compressor}} \approx 654 \text{ kW}$$

Bandingkan dengan combustion blower:

$$P_{\text{blower}} \approx 23 - 30 \text{ kW}$$

Perbandingan daya:

$$\frac{654}{30} \approx 21,8$$

Artinya compressor dapat memerlukan energi sekitar:

$$20 - 25 \text{ kali lebih besar}$$

daripada combustion blower.

Sebagian besar energi compressor kemudian dibuang ketika tekanan 7 barg diturunkan menjadi hanya sekitar 0,08 barg melalui regulator.

6. Mengapa tekanan compressor tidak dapat langsung masuk burner?

Burner membutuhkan sekitar:

$$5 - 8 \text{ kPa}$$

Plant compressed air umumnya:

$$600 - 800 \text{ kPa gauge}$$

Perbandingan tekanan:

$$\frac{700}{7} = 100$$

Tekanan compressor sekitar:

$$100 \text{ kali lebih tinggi}$$

daripada kebutuhan combustion-air burner.

Jika udara compressor dihubungkan tanpa sistem pengurangan tekanan yang benar:

- udara dapat merusak air valve dan pressure switch;
- campuran menjadi sangat lean;
- flame terangkat dari combustor;
- burner gagal ignition;
- furnace dapat mengalami pressure shock;
- gas-air ratio tidak dapat dikontrol;
- burner tile dapat mengalami thermal stress.

Karena itu compressor tidak boleh langsung disambungkan ke air inlet TJ2000.

7. Apakah secara teknis masih bisa menggunakan compressor?

Secara teoritis bisa dibuat, tetapi hanya sebagai sistem khusus yang direkayasa ulang dan disetujui OEM burner. Sistem tersebut tidak lagi sama dengan paket TJ2000 standar.

Komponen minimum yang diperlukan:

1. dedicated compressor dengan kapasitas sekitar 90–100 Nm³/menit;
2. receiver tank berukuran besar;
3. refrigerated atau desiccant dryer;
4. moisture separator;
5. coalescing filter;
6. duplex filter;
7. pressure-reducing station dua tahap;
8. pressure relief valve;
9. low- dan high-pressure switches;
10. mass-flow meter combustion air;
11. modulating control valve berkapasitas besar;
12. fast shut-off air valve;
13. non-return valve;
14. silencer;
15. pressure transmitter sebelum burner;
16. electronic gas–air ratio controller;
17. minimum-flow protection;
18. emergency backup air source;
19. PLC/BMS interlock;
20. OEM burner performance approval.

Meski seluruh komponen dipasang, sistem tetap jauh lebih mahal dan lebih tidak efisien daripada menggunakan blower 30 kW.

8. Masalah kestabilan pembakaran dengan plant air

Plant compressed-air header dipakai oleh banyak pengguna. Tekanannya dapat berubah ketika:

- pneumatic valve membuka;
- bag filter melakukan pulse cleaning;
- instrument air demand meningkat;
- compressor unload;
- compressor trip;
- receiver pressure turun;
- drain atau kebocoran terjadi.

Kebutuhan panas burner:

$$Q_{\text{burner}} \propto \dot{V}_g$$

Rasio udara–gas:

$$\lambda = \frac{\dot{V}_{\text{air,actual}}}{\dot{V}_{\text{air,stoich}}}$$

Jika tekanan compressed air turun:

$$\dot{V}_{\text{air}} \downarrow$$

maka campuran menjadi terlalu kaya:

$$\lambda < 1$$

Risikonya:

- CO tinggi;
- pembakaran tidak sempurna;
- soot;
- flame panjang;
- overheating combustor;
- potensi akumulasi gas.

Jika tekanan compressed air naik:

$$\dot{V}_{\text{air}} \uparrow$$

campuran menjadi terlalu kurus:

$$\lambda \gg 1$$

Risikonya:

- ignition sulit;
- flame lift-off;
- UV signal lemah;
- flame failure;
- temperatur proses turun.

9. Kapan compressed air boleh digunakan?

Compressed air masih tepat digunakan untuk fungsi tambahan berikut:

- instrument air untuk actuator pneumatik;
- gas-valve actuator;
- air purge UV scanner;
- cooling scanner;
- cleaning burner observation port;
- pilot-air system jika memang ditentukan OEM;
- atomizing air untuk liquid-fuel burner;
- emergency pneumatic operation;
- air-operated control valve.

Compressed air bukan pengganti utama combustion-air blower TJ2000, kecuali burner memang dirancang sebagai compressed-air burner.

10. Solusi yang paling benar

Opsi utama

Gunakan:

Dedicated combustion-air blower sekitar 30 kW

dengan:

- VFD;
- inlet filter;
- flexible joint;
- manual isolation damper;
- motorized modulating butterfly valve;
- airflow pressure switch;
- air pressure transmitter;

- non-return device jika diperlukan;
- air-flow meter atau calibrated burner orifice;
- pressure tap dekat burner;
- gas-air ratio control;
- discharge silencer bila diperlukan.

Konfigurasi:

Ambient air



Air filter



Combustion blower 30 kW + VFD



Flexible joint



Air pressure transmitter



Modulating air butterfly valve



Air flow/orifice measurement



TJ2000 burner

11. Sistem kontrol agar tidak gagal ignition

Saat purge

Combustion blower dan jet blower bekerja pada purge position sesuai volume furnace dan ducting.

Purge airflow harus dibuktikan menggunakan:

- combustion-air pressure switch;
- jet-air differential-pressure switch atau flow transmitter;
- damper position feedback.

Gas valves tetap tertutup.

Setelah purge

Sebelum ignition:

1. jet blower diturunkan ke ignition flow;
2. furnace pressure distabilkan;
3. combustion blower menuju ignition speed;
4. air valve menuju ignition position;
5. gas valve tetap tertutup;
6. ignition permissive diperiksa kembali.

Saat ignition

Rasio udara dan gas tidak boleh hanya ditentukan dari tekanan statis. Harus dilakukan:

$$\dot{V}_{\text{air,ignition}} = \lambda_{\text{ignition}} \dot{V}_{\text{air,stoich}}$$

Ignition dilakukan pada firing rate yang ditentukan OEM. Jangan menggunakan minimum turndown absolut apabila kondisi draft furnace belum stabil.

Setelah flame proven

- UV scanner membuktikan flame;

- burner ditahan pada low fire;
- jet blower dinaikkan perlahan;
- combustion air dan gas naik secara cross-limited;
- furnace pressure tetap dikontrol.

12. Komponen combustion-air package yang direkomendasikan

Komponen	Fungsi
Centrifugal blower ±30 kW	Sumber udara utama
VFD	Mengatur flow dan soft start
Inlet filter	Menjaga burner bersih
Flexible joint	Mengisolasi getaran
Inlet silencer	Mengurangi kebisingan
Motorized air valve	Modulasi combustion air
Manual balancing valve	Commissioning limit
Air pressure transmitter	Monitoring kontinu
Low-air pressure switch	Safety trip
High-air pressure switch	Proteksi overpressure
Flow orifice/venturi	Mengukur airflow
Differential-pressure transmitter	Menghitung debit
Position-feedback actuator	Membuktikan posisi valve
PLC/BMS	Sequence dan interlock
UV scanner	Flame proving
O ₂ analyzer	Combustion tuning
CO analyzer saat commissioning	Memastikan pembakaran sempurna

13. Interlock tambahan bila compressor tetap ingin dipakai

Apabila user tetap memaksa menggunakan compressed air, minimal diperlukan:

- dedicated compressed-air header;
- tidak boleh bergabung tanpa reserve dengan instrument-air utama;
- low-low receiver pressure trip;
- high air-pressure trip;
- air mass-flow transmitter;
- ratio controller;
- fast air shut-off valve;
- two-stage pressure regulator;
- relief valve;
- dew-point alarm;
- oil carryover monitor;
- compressor running permissive;
- standby compressor auto-start;
- receiver pressure trending;
- air-flow proof sebelum gas valve membuka.

Namun sistem tersebut masih memerlukan persetujuan tertulis dari Honeywell/Eclipse karena data TJ2000 ditetapkan berdasarkan suplai combustion air bertekanan rendah, bukan plant air 7 barg. Data resmi juga menegaskan bahwa kondisi chamber yang berbeda dapat memengaruhi performa burner.

Kesimpulan final

Air compressor tidak tepat menggantikan FD fan TJ2000

Alasannya:

- kebutuhan udara sekitar 5.300–5.700 Nm³/jam;
- tekanan yang dibutuhkan hanya sekitar 5–8 kPa;
- blower hanya memerlukan sekitar 23–30 kW;
- compressor 7 barg untuk debit yang sama dapat membutuhkan sekitar 650 kW;
- tekanan compressor sekitar 100 kali lebih tinggi dari kebutuhan burner;
- fluktuasi plant air dapat menyebabkan campuran terlalu kaya atau terlalu kurus;
- risiko gagal ignition, flame lift-off, CO tinggi, dan trip produksi menjadi lebih besar.

Solusi yang benar adalah menggunakan dedicated centrifugal combustion-air blower sekitar 30 kW dengan VFD, modulating air valve, air-flow measurement, low/high air-pressure switches, serta gas–air ratio control.

Compressed air yang tersedia sebaiknya hanya digunakan untuk actuator, UV-scanner purge, instrumentasi, atau fungsi tambahan lain yang memang disetujui OEM—bukan sebagai sumber utama udara pembakaran TJ2000.

Coba rekomendasikan tetap menggunakan compressor yekanan di kecilkan diameter pioa dibesarkan supaya volume terpenuhi

Rekomendasi Jika Tetap Menggunakan Air Compressor

Secara teknis bisa direkayasa, tetapi bukan hanya dengan menurunkan tekanan dan memperbesar diameter pipa. Diameter pipa yang lebih besar hanya mengurangi kehilangan tekanan; diameter pipa tidak menambah massa udara yang dihasilkan compressor.

Syarat utamanya adalah compressor harus mampu menyediakan kebutuhan udara pembakaran TJ2000 sekitar:

5.300 – 5.700 Nm³/jam

atau:

88 – 95 Nm³/menit FAD

secara kontinu, setelah kebutuhan plant lain diperhitungkan.

TJ2000 high-velocity mempunyai kapasitas maksimum sekitar 5.275 kW LHV dan membutuhkan tekanan udara sekitar 52,5 mbar atau 5,25 kPa di inlet burner pada maximum input dan sekitar 15% excess air. Data ini berdasarkan pengujian pada furnace bertekanan netral.

1. Prinsip fisika yang harus dipahami

Misalkan compressor menghasilkan udara pada:

$$P_1 = 7 \text{ barg} = 8 \text{ bar absolute}$$

Kemudian tekanan diturunkan menjadi:

$$P_2 \approx 0,08 \text{ barg} = 1,08 \text{ bar absolute}$$

Dengan asumsi temperatur relatif sama, berlaku pendekatan gas ideal:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{(1)(12)}{300} = \frac{(1.3)(10.2)}{330} = 0.04 \text{ atm L/K}$$

Piston berhenti pada 10.2 L saat tekanan gas sama dengan beban 1.3 atm; pemanasan membuat partikel bergerak lebih cepat

atm

K

Keadaan 1

$$P_{\text{ext}} = 1 \text{ atm}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} V_1 = 12 \text{ L} T_1 = 300 \text{ K}$$

→=

Keadaan 2

Pemanasan

$$P_{\text{ext}} = 1.3 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1.3 \text{ atm} V_2 = 10.2 \text{ L} T_2 = 330 \text{ K}$$

Jika kebutuhan udara setelah regulator adalah:

$$V_2 = 5.500 \text{ m}^3/\text{jam}$$

maka volume udara pada sisi 8 bar absolute:

$$V_1 = \frac{P_2 V_2}{P_1}$$

$$V_1 = \frac{1,08 \times 5.500}{8}$$

$$V_1 \approx 742,5 \text{ m}^3/\text{jam pada 7 barg}$$

Tetapi kapasitas compressor harus diperiksa dalam satuan FAD atau Nm³/jam, bukan hanya actual discharge volume.

Kebutuhan compressor tetap:

$$\pm 5.500 \text{ Nm}^3/\text{jam FAD}$$

Jadi compressor minimal harus kelas:

$$92 \text{ Nm}^3/\text{menit FAD}$$

Ditambah margin 15%:

$$Q_{\text{compressor}} = 92 \times 1,15$$

$$Q_{\text{compressor, design}} \approx 106 \text{ Nm}^3/\text{menit FAD}$$

Bila compressor existing hanya 10, 20, atau 30 Nm³/menit, memperbesar pipa tidak akan membuatnya mampu memasok 90–100 Nm³/menit.

2. Konsep modifikasi yang dapat digunakan

Konfigurasi yang relatif paling aman:

Plant Air Compressor



Main Receiver Tank



Isolation Valve



Moisture Separator



Coalescing Filter



Dedicated Low-Pressure Receiver



Pressure Reducing Valve Stage 1



Pressure Reducing Valve Stage 2



Pressure Relief Valve



Mass Flow Meter / Venturi



Modulating Air Control Valve



Large Low-Pressure Header



TJ2000 Burner

Jangan memasang satu regulator kecil langsung dari header 7 barg menuju burner.

3. Sistem penurunan tekanan dua tahap

Tahap pertama

Tekanan compressor:

7 barg

diturunkan menjadi sekitar:

0,5 – 1,0 barg

Tahap ini berfungsi mengurangi pressure ratio pada control valve akhir.

Tahap kedua

Tekanan diturunkan dari sekitar 0,5–1 barg menjadi:

70 – 80 mbar

Kemudian modulating valve mengatur tekanan aktual di burner sekitar:

52,5 mbar pada high fire

Nilai 70–80 mbar sebelum control valve memberikan cadangan untuk pressure loss pipa, meter, valve, elbow dan perubahan tekanan furnace.

4. Ukuran pipa setelah tekanan diturunkan

Kebutuhan actual flow pada tekanan rendah sekitar:

$$Q \approx 5.500 - 6.200 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Untuk menghindari pressure drop besar, kecepatan udara di low-pressure header sebaiknya dibatasi sekitar:

$$v = 15 - 25 \text{ m/s}$$

Rumus luas pipa:

$$A = \frac{Q}{v}$$

Untuk:

$$Q = 6.200 \text{ m}^3/\text{jam} = 1,722 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Jika kecepatan dipilih:

$$v = 20 \text{ m/s}$$

maka:

$$A = \frac{1,722}{20}$$

$$A = 0,0861 \text{ m}^2$$

Diameter internal:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0861}{3,1416}}$$

$$D \approx 0,331 \text{ m}$$

Artinya kebutuhan diameter internal sekitar:

$$330 \text{ mm}$$

Secara awal dapat dipertimbangkan:

$$\text{DN350 low-pressure combustion-air header}$$

Perbandingan kecepatan:

Ukuran internal perkiraan
DN200

Kecepatan pada 1,72 m³/s
±55 m/s

Ukuran internal perkiraan	Kecepatan pada 1,72 m ³ /s
DN250	±35 m/s
DN300	±24 m/s
DN350	±18 m/s
DN400	±14 m/s

Untuk jalur panjang dengan banyak elbow, DN350–DN400 lebih aman terhadap pressure loss. Ukuran final harus dihitung dengan panjang aktual, fitting dan allowable pressure drop.

5. Mengapa pipa besar diperlukan?

Pressure loss pipa secara sederhana mengikuti Darcy–Weisbach:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}$$

Ketika diameter diperbesar:

- D meningkat;
- luas aliran meningkat;
- kecepatan v turun;
- pressure loss turun tajam karena bergantung pada v^2 .

Contoh, jika kecepatan turun dari 40 m/s menjadi 20 m/s:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \approx \left(\frac{20}{40}\right)^2$$

$$\Delta P_2 \approx 25\% \text{ dari pressure loss awal}$$

Namun sekali lagi, pipa besar hanya menjaga debit yang sudah tersedia. Pipa besar tidak membuat compressor menghasilkan debit tambahan.

6. Dedicated low-pressure receiver

Saya menyarankan dipasang receiver khusus setelah pressure-reducing station.

Fungsinya:

- meredam fluktuasi header compressor;
- menstabilkan tekanan burner;
- menyediakan udara sesaat saat control valve bergerak;
- mengurangi hunting gas–air ratio;
- membantu ignition.

Volume receiver dapat dihitung:

$$V_r = \frac{Q_N t P_N}{P_{\text{high}} - P_{\text{low}}}$$

Sebagai ilustrasi, bila dibutuhkan buffer hanya 5 detik:

$$Q_N = 5.500 \text{ Nm}^3/\text{jam} = 1,528 \text{ Nm}^3/\text{detik}$$

Volume free air selama 5 detik:

$$V_{FA} = 1,528 \times 5$$

$$V_{FA} = 7,64 \text{ Nm}^3$$

Jika receiver bekerja antara 1,8 bar abs dan 1,5 bar abs:

$$V_r = \frac{7,64 \times 1,013}{1,8 - 1,5}$$

$$V_r \approx 25,8 \text{ m}^3$$

Artinya buffer lima detik pun memerlukan receiver sekitar:

$$25 - 30 \text{ m}^3$$

Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan TJ2000 sangat besar. Receiver kecil 1–3 m³ tidak cukup untuk mempertahankan burner apabila compressor atau header drop.

7. Komponen yang wajib ditambahkan

Komponen	Fungsi
Dedicated compressor capacity verification	Memastikan FAD minimum tersedia
Main isolation valve	Isolasi sistem
Moisture separator	Menghilangkan kondensat
Automatic drain	Membuang air
Coalescing filter	Mengurangi oil carryover
Duplex filter	Bisa dirawat tanpa shutdown
Stage-1 pressure regulator	Turun dari 7 barg
Stage-2 low-pressure regulator	Menjadi ±70–80 mbar
Low-pressure receiver	Menstabilkan suplai
Relief valve	Melindungi burner dan pipa
Rupture disc bila diperlukan	Proteksi tambahan
Low/high pressure transmitter	Monitoring kontinu
Low-low pressure switch	Burner trip
High-high pressure switch	Burner trip
Mass flow meter	Mengukur udara aktual
Modulating air valve	Mengontrol combustion air
Valve position feedback	Membuktikan posisi
Non-return valve	Mencegah backflow
Flame arresting philosophy	Sesuai review OEM/HAZOP
UV flame scanner	Flame proof
O ₂ analyzer	Tuning rasio udara–gas
PLC/BMS	Sequence dan interlock

8. Kontrol gas–air yang benar

Jangan hanya mempertahankan tekanan udara tetap. Aliran udara harus mengikuti gas.

Rasio udara–gas:

$$R = \frac{\dot{V}_{\text{air}}}{\dot{V}_{\text{gas}}}$$

Untuk natural gas dan excess air 15%:

$$R \approx 10,9$$

Jika gas:

$$490 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

maka udara:

$$490 \times 10,9 = 5.341 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Jika burner turun menjadi 50% load, gas kira-kira:

$$245 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Maka udara tidak boleh tetap 5.341 Nm³/jam. Udara harus turun mendekati:

$$245 \times 10,9 = 2.671 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Karena itu sistem membutuhkan:

electronic ratio control atau cross-limited control

Bukan regulator tekanan tetap saja.

9. Sequence ignition dengan compressor

Agar ignition tidak gagal:

1. Pastikan receiver low-pressure berada di atas minimum pressure.
2. Buktikan compressor running dan standby available.
3. Purge furnace dengan jet blower sesuai sequence.
4. Setelah purge, jet blower turun ke ignition condition.
5. Air control valve TJ2000 masuk ignition position.
6. Airflow ignition dibuktikan dengan flow transmitter.
7. Furnace pressure harus stabil.
8. Ignition transformer aktif.
9. Low-fire gas membuka.
10. UV scanner membuktikan flame.
11. Burner ditahan pada low fire.
12. Gas dan compressed air dinaikkan bersama secara cross-limited.
13. Jet blower dinaikkan perlahan setelah flame stabil.

Gas valve tidak boleh membuka hanya karena tekanan compressed air tersedia. Harus ada bukti:

airflow aktual, bukan hanya pressure

Sebuah pipa dapat memiliki tekanan tetapi debit nol jika valve tertutup atau jalur tersumbat.

10. Interlock khusus compressor

Kondisi	Tindakan
Main header pressure rendah	Start inhibit
Low-pressure receiver rendah	Burner trip
Air mass flow rendah	Gas close
Air/gas ratio terlalu rendah	Gas load reduction/trip
Air/gas ratio terlalu tinggi	Air correction atau trip
Regulator failure high pressure	Isolation valve close
High-high burner-air pressure	Burner trip
Relief valve lifting	Alarm dan shutdown
Compressor trip	Burner load reduction lalu trip
Standby compressor gagal start	Burner trip
Receiver level/kondensat tinggi	Alarm
Oil carryover tinggi	Shutdown/maintenance
Flow transmitter failure	Safe shutdown
Control valve feedback mismatch	Gas close

11. Syarat sebelum sistem ini ditawarkan

Sebelum menyatakan compressor existing cukup, minta data:

- jumlah compressor;
- kapasitas masing-masing dalam Nm³/menit FAD;
- tekanan discharge;
- daya motor;
- sistem load/unload atau VSD;
- konsumsi existing plant;
- kapasitas receiver;
- tekanan minimum header saat peak demand;
- dew point;
- oil-free atau oil-injected;
- availability standby compressor;
- diameter dan panjang header.

Kriteria minimum awal:

Spare capacity kontinu minimal 100 – 110 Nm³/menit FAD

Bukan kapasitas total nameplate. Yang dihitung adalah:

$$Q_{\text{spare}} = Q_{\text{compressor available}} - Q_{\text{existing plant demand}}$$

Harus memenuhi:

$$Q_{\text{spare}} \geq Q_{\text{TJ2000}} \times 1,15$$

Rekomendasi akhir

Sistem compressor dapat dilanjutkan hanya dengan konfigurasi berikut:

Compressor spare capacity $\geq 100-110 \text{ Nm}^3/\text{menit FAD}$

Pressure reduction dua tahap

Dedicated low-pressure receiver sekitar puluhan m^3

Low-pressure header sekitar DN350–DN400

Mass-flow control + electronic gas–air ratio

Independent pressure dan flow interlocks

Memperbesar diameter pipa memang membantu menurunkan pressure loss, tetapi tidak dapat menggantikan kekurangan kapasitas compressor. Tanpa spare capacity sekitar $100 \text{ Nm}^3/\text{menit}$, sistem akan drop saat burner naik beban dan berisiko menyebabkan flame failure atau pembakaran tidak sempurna.

Secara engineering, rancangan ini harus mendapatkan persetujuan tertulis dari Honeywell/Eclipse karena TJ2000 diuji menggunakan combustion air bertekanan rendah dan kondisi furnace netral; perubahan chamber pressure dan sistem suplai udara dapat memengaruhi performa.

Regard

Ratman (PT Indira Mitra Boiler)