

BAB VI
TROUBLESHOOTING

Perancangan troubleshooting pada prarancangan pabrik 1,3-butadiena dilakukan dengan mempertimbangkan potensi gangguan pada setiap unit proses. Troubleshooting merupakan upaya sistematis untuk mengenali gejala gangguan pada alat maupun proses, menganalisis penyebabnya, memperkirakan risikonya, dan menentukan tindakan penanganan. Analisis ini bertujuan mencegah gangguan operasi, menurunkan risiko kecelakaan kerja, menjaga mutu produk, memperpanjang umur peralatan, serta menekan biaya produksi.

Unit yang dianalisis meliputi unit penyimpanan, unit pemindahan, unit pemanas, unit reaksi, unit pemisahan, unit penyediaan listrik, dan unit penyediaan udara tekan. Beberapa diantaranya digunakan berdasarkan pendekatan yang telah dibuat oleh (Madina, 2025; CCPS, 2022)

6.1. Unit Penyimpanan

Tabel 6. 1. Troubleshooting Unit Penyimpanan

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Tangki penyimpanan overflow	Volume bahan di tangki melebihi kapasitas aman; level indicator control tidak bekerja baik.	Tumpahan bahan dapat membahayakan area kerja dan menyebabkan kehilangan bahan baku atau produk.	Lakukan maintenance, alihkan aliran ke tangki lain yang aman, periksa sistem level control pada tangki dan unit sebelumnya.
Kebocoran tangki penyimpanan	Terbentuk lubang akibat overpressure karena pressure	Bahan baku atau produk terbuang, konversi menurun, kerugian finansial meningkat, dan	Identifikasi titik bocor, lakukan pengelasan/perbaikan tangki, inspeksi seal,

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
	indicator control gagal; seal pipa di sekitar tangki tidak rapat.	neraca input-output terganggu.	perbaiki bagian rusak, serta terapkan TAG OUT dan LOCK OUT selama maintenance.
Troubleshooting emergency shutdown	Unit penyimpanan gagal berfungsi saat shutdown sehingga produk masih tertahan di tangki.	Produk yang tertahan dapat menimbulkan korosi dan menurunkan efisiensi proses berikutnya.	Periksa alarm kontrol dan pastikan seluruh produk dikeluarkan dari tangki sebelum unit dinyatakan aman.

6.2. Unit Pemindahan

Tabel 6. 2. Troubleshooting Unit Pemindahan

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Bahan baku tidak dapat ditransfer	1) Terjadi kebocoran pada pompa 2) Kerusakan pada impeller pompa akibat overflow, sumbatan, kavitasi, erosi bahan kimia, yang mengakibatkan	1) Terbuangnya bahan baku dan produk pada unit pemindahan berpotensi membahayakan operasi ketika level dalam tangki lebih	1) Melakukan inspeksi system level control pada tangki penyimpanan dan peralatan proses sebelumnya 2) Melakukan maintenance pada

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
	pompa tidak mau menyala	rendah dari batas yang diperbolehkan 2) Timbul bau hangus/gosong di sekitar pompa	pompa yang mengalami kerusakan, termasuk penggantian impeller yang rusak dengan yang baru atau pembersihan bagian yang tersumbat

6.3. Unit Pemanas

Tabel 6. 3. Troubleshooting Unit Pemanas

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Penurunan efisiensi Plate Heat Exchanger (PHE)	Plate atau pipa tersumbat, viskositas fluida tidak sesuai, atau laju alir terlalu besar.	Perpindahan panas menurun, tekanan meningkat, aliran terhambat, dan sambungan pipa berisiko bocor.	Periksa plate dan pipa, bersihkan sebelum start-up, pasang filter inlet, pantau viskositas, suhu, laju alir, dan tekanan operasi.
Penurunan kapasitas Heat Exchanger (HE)	PHE/HE tersumbat oleh serpihan luar seperti plastik atau partikel padat.	Kapasitas pemanasan atau pendinginan turun dan efisiensi perpindahan panas terganggu.	Lakukan pemeriksaan plate secara berkala dan pasang filter pada media masuk HE.
Kebocoran pada Heat Exchanger	Tekanan operasi melebihi desain,	HE dapat bocor, deformasi, dan	Atur tekanan sesuai set point aman,

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
(HE)	terjadi shock pressure, atau aliran terhambat akibat penyumbatan plate.	mengalami penurunan kapasitas kerja.	jalankan pembukaan/penutupan sistem sesuai SOP, bersihkan saluran aliran, dan kontrol viskositas serta tekanan fluida.
Pencampuran media pada plate heat exchanger	Plate tidak terpasang tepat saat instalasi.	Media panas dan dingin dapat tercampur sehingga kualitas proses terganggu.	Pastikan instalasi plate mengikuti petunjuk pemasangan dan lakukan inspeksi fisik sebelum operasi.
Korosi pada plate heat exchanger	Material plate kurang tahan terhadap korosi.	Plate mengalami kerusakan dan potensi kebocoran meningkat.	Lakukan perawatan berkala dan ganti plate dengan material yang lebih tahan korosi.
Pendinginan tidak merata di seluruh bagian HE	Pengisian refrigerant tidak tepat.	Distribusi pendinginan tidak seragam dan kinerja HE menurun.	Periksa refrigerant secara rutin, isi refrigerant sesuai prosedur, dan lakukan vakum HE sebelum pengisian.
Fouling pada reboiler	Pengotor menempel pada permukaan reboiler dan menghambat aliran fluida.	Konsumsi energi meningkat dan efisiensi perpindahan panas turun.	Bersihkan permukaan reboiler dan lakukan maintenance berkala.

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Korosi pada reboiler	Air pendingin mengandung garam tinggi, oksigen, atau material reboiler kurang baik.	Reboiler dapat mengalami penipisan dinding dan kebocoran.	Periksa kualitas air dan material, serta lakukan inspeksi kondisi reboiler secara berkala.
Deposit dan carry over pada reboiler	Terdapat padatan tersuspensi, silika, atau mineral dalam air umpan.	Terbentuk deposit yang menurunkan performa pemanasan.	Kendalikan kualitas boiler feed water dan kurangi mineral penyebab deposit.
Terjadi kebakaran di dalam furnace	Overheating.	Alat rusak dan keselamatan pekerja terancam.	Matikan furnace dan aktifkan sistem pemadam otomatis.
Api pada furnace tidak menyala	Pasokan bahan bakar terputus.	Proses pemanasan gagal.	Periksa dan pulihkan suplai bahan bakar.
Pintu furnace mengalami kebocoran	Seal pintu rusak.	Panas keluar dan efisiensi furnace menurun.	Ganti seal pintu.
Furnace tidak mencapai suhu target	Insulasi rusak.	Kondisi proses tidak optimal.	Ganti material insulasi.
Gas buang furnace berwarna pekat	Pembakaran tidak sempurna.	Emisi dan pencemaran udara meningkat.	Atur kembali rasio udara dan bahan bakar.

6.4. Unit Reaksi

Tabel 6. 4. Troubleshooting Unit Reaksi

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Flowrate berlebih	Flow Indicator Control bermasalah atau volume pada alat sebelumnya melebihi kapasitas.	Tekanan dapat meningkat, peralatan berisiko rusak, dan terdapat potensi ledakan maupun pelepasan bahan kimia berbahaya.	Evaluasi dan perbaiki flow control pada unit yang terganggu, serta lakukan perawatan berkala.
Temperatur naik melebihi set point	Temperature Indicator tidak berfungsi optimal sehingga panas yang masuk reaktor berlebihan.	Suhu reaktor tidak terdeteksi dengan baik, reaksi menjadi tidak optimal, dan produk dapat keluar dari spesifikasi.	Perbaiki Temperature Indicator, gunakan temperature sensor, pasang alarm suhu, lakukan inspeksi berkala, dan sinkronkan data control room dengan kondisi lapangan.

6.5. Unit Pemisahan

Tabel 6. 5. Troubleshooting Unit Pemisahan

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Terjadi flooding dalam kolom	Debit umpan terlalu tinggi, tray tersumbat, atau distribusi aliran tidak seimbang.	Efisiensi pemisahan turun tajam, tekanan kolom naik, dan kolom berisiko rusak.	Turunkan laju umpan, bersihkan tray atau packing, serta evaluasi desain kolom bila gangguan berulang.
Produk distilat tidak sesuai spesifikasi	Tray/packing rusak, suhu operasi tidak stabil, atau terjadi flooding.	Produk tidak memenuhi standar mutu, menimbulkan kerugian ekonomi, dan perlu re-proses.	Inspeksi bagian dalam kolom, stabilkan suhu dan laju umpan, serta optimalkan operasi reboiler dan condenser.
Overhead condenser tidak mampu mendinginkan uap	Cooling water tidak mencukupi atau heat exchanger mengalami fouling.	Uap tidak terkondensasi sempurna, tekanan meningkat, dan potensi kebocoran bertambah.	Bersihkan heat exchanger, periksa aliran cooling water, dan perbaiki sirkulasi sistem pendingin.

6.6. Unit Penyediaan Listrik

Tabel 6. 6. Troubleshooting Unit Penyediaan Listrik

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Gangguan	Kerusakan atau	Pasokan listrik	Lakukan perawatan dan perbaikan

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
pada generator set	gangguan generator menyebabkan kebutuhan energi tidak terpenuhi.	tidak cukup sehingga kegiatan produksi dapat berhenti.	rutin untuk menjaga performa generator set.
Kapasitas generator set tidak mencukupi	Jumlah atau kapasitas generator belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan energi pabrik kontinu.	Kebutuhan listrik tidak terpenuhi dan proses produksi berpotensi terhenti.	Bedakan fungsi main generator dan emergency generator agar suplai listrik tetap berkelanjutan.

6.7. Unit Penyediaan Udara Tekan

Tabel 6. 7. Troubleshooting Unit Penyediaan Udara Tekan

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
Overload kompresor	pada Motor mengalami kenaikan terutama lilitan magnet.	listrik Beban kerja motor meningkat dan kompresor berisiko mengalami overload.	Sesuaikan faktor koreksi daya agar kompresor bekerja sesuai kapasitas tanpa dipaksa melebihi batas.
Overheating udara hisap	pada Katup dan piston memiliki endapan	Temperatur udara hisap dan udara	Pasang sistem pendingin tambahan

Trouble	Analisis Penyebab Trouble	Analisis Resiko Akibat Trouble	Troubleshooting
	karbit atau kotoran yang mengganggu aliran.	tekanan meningkat sehingga proses pemampatan terhambat.	pada kompresor, khususnya di sekitar tangki penyimpanan udara.
Terbukanya katup pengaman kompresor	Tekanan kompresor melebihi batas karena sistem kontrol tekanan terganggu.	Tekanan tidak terkendali dan dapat membahayakan sistem udara tekan.	Atur ulang setelan kompresor dan periksa katup dari endapan atau kotoran yang menghambat aliran.
Timbulnya korosi pada kompresor	Saat mesin berhenti, udara tekan di tabung mendingin sehingga uap air mengembun pada komponen mesin.	Komponen kompresor berisiko korosi dan performa alat menurun.	Gunakan material tahan korosi dan pasang katup otomatis penghalang air untuk menurunkan kandungan uap air pada udara tekan.

Perancangan troubleshooting pada unit proses dan unit pendukung berperan penting dalam mengantisipasi serta mencegah potensi kerugian maupun kecelakaan kerja. Dengan adanya identifikasi permasalahan dan solusi yang dirancang secara tepat, risiko-risiko tersebut dapat diminimalkan atau dihindari. Selain itu, langkah ini juga membantu memahami solusi dari setiap masalah yang muncul dalam proses separasi, sehingga kegiatan operasional dapat berlangsung secara lebih efisien dan produktif.

6.8. Start Up

Start up merupakan tahap pengoperasian awal pabrik dari kondisi tidak beroperasi menuju kondisi operasi normal. Tahap ini harus dilakukan secara bertahap, terkendali, dan

terdokumentasi karena proses produksi 1,3-butadiena menggunakan bahan hidrokarbon yang mudah terbakar, melibatkan hidrogen, serta beroperasi pada temperatur tinggi di furnace dan reaktor. Tujuan utama start up adalah memastikan seluruh unit proses dan utilitas siap bekerja, aliran bahan berjalan sesuai urutan, serta produk dapat mencapai spesifikasi yang ditetapkan tanpa menimbulkan gangguan keselamatan maupun kerusakan alat.

Pada pabrik 1,3-butadiena dari n-butana dengan proses Houdry, unit utama yang harus diperhatikan pada tahap start up meliputi tangki penyimpanan n-butana (T-01), expansion valve (EV-01), heat exchanger (HE-01), furnace (F-01), reaktor fixed bed multitube (R-01), waste heat boiler (WHB-01), kompresor (K-01), kondensor parsial (CDP-01), separator (V-01), menara distilasi pertama (MD-01), menara distilasi kedua (MD-02), tangki produk 1-butena (T-02), dan tangki produk 1,3-butadiena (T-03). Tahapan start up juga harus didukung oleh utilitas, yaitu listrik, steam, udara tekan, air pendingin, sistem bahan bakar, sistem instrumentasi, sistem pemadam kebakaran, dan laboratorium pengujian kualitas produk.

6.8.1. Tujuan Start Up

Tujuan pelaksanaan start up adalah menyiapkan seluruh peralatan proses agar dapat beroperasi pada kondisi desain. Prosedur ini juga digunakan untuk memastikan bahwa sistem perpipaan, instrumen, pompa, kompresor, furnace, reaktor, dan kolom distilasi bekerja sesuai fungsi masing-masing. Start up yang baik dapat menekan risiko kebocoran bahan mudah terbakar, kenaikan tekanan berlebih, ketidakstabilan temperatur, flooding pada kolom distilasi, serta produk tidak memenuhi spesifikasi.

6.8.2. Persiapan Sebelum Start Up

Sebelum proses start up dilakukan, seluruh kegiatan perawatan dan pekerjaan perbaikan harus dinyatakan selesai. Semua izin kerja panas, izin kerja dingin, izin kerja listrik, dan izin kerja ruang terbatas harus ditutup oleh bagian terkait. Area proses harus bersih dari material sisa pekerjaan, peralatan bantu, dan benda asing yang dapat mengganggu operasi. Operator lapangan bersama control room melakukan pengecekan akhir terhadap status valve, blind, drain, vent, manhole, flange, sambungan pipa, serta kelengkapan alat pelindung diri.

Pengecekan awal juga mencakup kesiapan utilitas. Sistem listrik utama dan generator cadangan harus siap. Udara tekan harus tersedia untuk mengoperasikan control valve. Cooling water dan chiller water harus mengalir sebelum kondensor dijalankan. Steam harus tersedia untuk kebutuhan pemanasan pada reboiler. Sistem bahan bakar untuk furnace harus siap, tetapi belum boleh dibuka sebelum purge dan pemeriksaan keselamatan selesai. Sistem pemadam

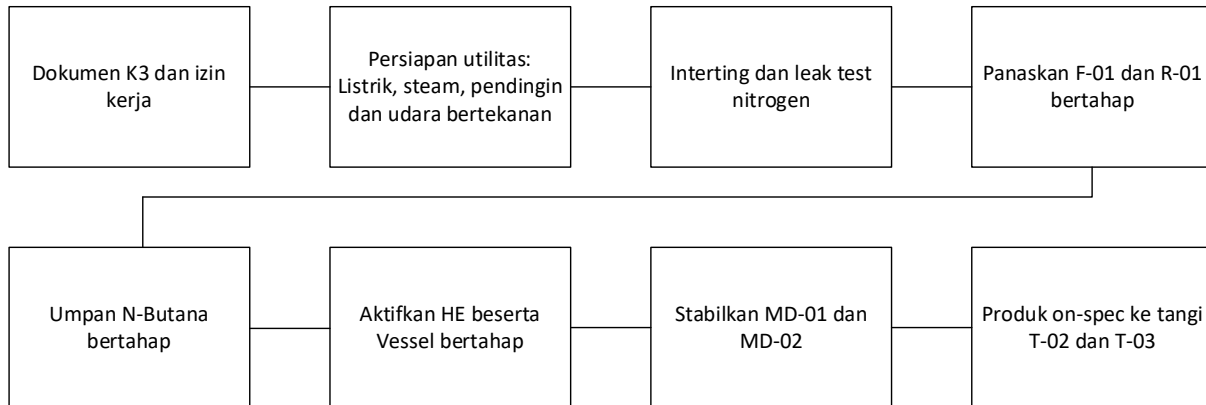
kebakaran, hydrant, APAR, gas detector, alarm, dan emergency shut down harus diuji terlebih dahulu.

Tabel 6. 8. Checklist Kesiapan Start Up

Bagian yang Diperiksa	Kriteria Kesiapan	Penanggung Jawab
Dokumen operasi	PFD, P&ID, SOP, izin kerja, form checklist, dan log sheet tersedia di control room	Shift supervisor
Area proses	Area bersih, akses evakuasi terbuka, peralatan darurat mudah dijangkau	HSE dan operator
Sistem listrik	PLN, panel distribusi, MCC, dan generator cadangan siap digunakan	Utility dan electrical
Udara tekan	Kompresor udara tekan siap, tekanan header stabil, air receiver tidak bocor	Utility
Cooling water dan chiller water	Pompa, cooling tower, chiller, dan aliran pendingin siap sebelum kondensor dijalankan	Utility
Steam dan boiler	Boiler siap, kualitas air umpan sesuai, steam header stabil	Utility
Sistem bahan bakar	Jalur bahan bakar furnace siap, valve tertutup sampai izin pembakaran diberikan	Operator furnace
Instrumen dan kontrol	Temperature indicator, pressure indicator, flow indicator, control valve, interlock, dan alarm bekerja	Instrument
Sistem keselamatan	Gas detector, fire alarm, APAR, hydrant, PSV, dan emergency shut down telah diuji	HSE
Sistem proses	Valve line up sesuai, drain dan vent tertutup atau terbuka sesuai kebutuhan purge	Operator proses

6.8.3. Tahapan Start Up

Tahapan start up dilakukan dari unit utilitas, sistem pengamanan, unit pemanas, unit reaksi, unit pemisahan, hingga unit penyimpanan produk. Urutan ini harus dijaga agar setiap peralatan menerima kondisi operasi yang sesuai. Gambar 6.1 menunjukkan urutan umum start up pabrik 1,3-butadiena.



Gambar 6. 1. Urutan Umum Start Up Pabrik 1,3-Butadiena

Tabel 6. 9. Tahapan Start Up Pabrik 1,3-Butadiena

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
1	Persiapan dokumen komunikasi operasi	Mengadakan briefing antara shift dan supervisor, operator proses, operator utilitas, laboratorium, maintenance, instrument, dan HSE. Menentukan status start up, batas operasi, jalur komunikasi, dan personel yang bertugas di lapangan.	Seluruh personel memahami tugas dan jalur komunikasi.
2	Pemeriksaan area kerja	Memastikan area proses bersih, bebas sumber api tidak terkendali, memiliki akses evakuasi, serta seluruh personel memakai APD. Gas detector portabel digunakan untuk memeriksa potensi kebocoran hidrokarbon sebelum start up.	Area aman untuk dilakukan start up.

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
3	Start up unit utilitas	Menghidupkan suplai listrik, generator siaga, udara tekan, cooling water, chiller water, boiler, steam header, sistem air proses, sistem hydrant, dan sistem instrumentasi.	Utilitas tersedia secara stabil sebelum proses dimulai.
4	Pemeriksaan sistem kontrol dan interlock	Menguji alarm temperatur tinggi, alarm tekanan tinggi, trip furnace, emergency shut down, control valve, dan indikator di control room. Data lapangan harus sesuai dengan pembacaan di panel kontrol.	Instrumen siap mengendalikan operasi.
5	Inerting dan leak test	Melakukan purge dengan nitrogen pada jalur n-butana, reaktor, sistem downstream, serta ruang yang berpotensi mengandung campuran hidrokarbon dan udara. Leak test dilakukan dengan tekanan sesuai batas uji yang ditetapkan.	Oksigen dan udara dalam sistem berkurang, tidak ada kebocoran.
6	Persiapan tangki dan sistem umpan	Memeriksa level, tekanan, temperatur, dan kualitas n-butana di T-01. Jalur dari T-01 menuju EV-01 disiapkan. Valve dibuka bertahap sesuai instruksi control room.	Bahan baku siap dialirkan secara terkendali.
7	Pemanasan awal dan reaktor	Mengalirkan media pemanas secara bertahap. Furnace dinyalakan setelah purge firebox selesai. Temperatur reaktor dinaikkan bertahap untuk mencegah thermal shock pada tube dan katalis chromia alumina.	Furnace dan reaktor mendekati kondisi operasi.

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
8	Pengaliran butana bertahap	n- N-butana dari T-01 dialirkan menuju HE-01, lalu dipanaskan di HE-01 hingga mendekati 320 derajat C dan dinaikkan lagi di furnace hingga mendekati 677 derajat C sebelum masuk R-01. Laju umpan dimulai rendah dan dinaikkan bertahap.	Reaksi berlangsung stabil di R-01.
9	Start up dan awal produk	WHB-01 Gas keluaran reaktor dialirkan ke WHB-01 untuk pemanfaatan panas dan penurunan temperatur. Aliran pendingin dan steam generation harus dipantau agar tidak terjadi fluktuasi tekanan.	Produk reaktor turun temperatur secara terkendali.
10	Start up CDP-01, dan V-01	K-01, Setelah temperatur dan komposisi gas stabil, kompresor K-01 dijalankan untuk menaikkan tekanan menuju 10 bar. CDP-01 dan separator V-01 dioperasikan untuk memisahkan gas hidrogen dari fraksi cair.	Pemisahan gas dan cairan berjalan stabil.
11	Start up MD-01	Mengalirkan produk cair dari V-01 ke MD-01 setelah tekanan diturunkan menuju sekitar 5 bar. Reboiler dan kondensor dinyalakan bertahap. Reflux dibuat stabil sebelum produk diambil.	Pemisahan n-butana/pentana dari campuran butena dan butadiena mulai stabil.

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
12	Start up MD-02	Aliran atas MD-01 dialirkan ke MD-02. Reboiler dan kondensor MD-02 dioperasikan bertahap. Produk atas diarahkan ke sistem 1-butena, sedangkan produk bawah diarahkan ke sistem 1,3-butadiena setelah memenuhi spesifikasi.	Pemisahan 1-butena dan 1,3-butadiena berjalan stabil.
13	Pengalihan produk on spec	Produk awal yang belum memenuhi spesifikasi dialirkan ke tangki off spec atau recycle. Setelah hasil laboratorium menunjukkan produk memenuhi spesifikasi, aliran 1-butena dialirkan ke T-02 dan 1,3-butadiena ke T-03.	Produk sesuai spesifikasi dan dapat disimpan.
14	Stabilisasi operasi normal	Menaikkan beban sampai kapasitas desain secara bertahap. Operator mencatat temperatur, tekanan, laju alir, level, arus listrik motor, kualitas produk, dan kondisi keselamatan.	Pabrik berada pada kondisi operasi normal.

6.8.4. Parameter Kritis Saat Start Up

Parameter kritis selama start up harus dipantau secara terus-menerus dari control room dan dikonfirmasi oleh operator lapangan. Perubahan temperatur dan tekanan tidak boleh dilakukan secara mendadak karena dapat menyebabkan thermal stress, kebocoran flange, kerusakan katalis, atau ketidakstabilan kolom distilasi. Parameter utama yang harus dikontrol disajikan pada Tabel 6.8.

Tabel 6. 10. Parameter Kritis Saat Start Up

Unit	Parameter yang Dipantau	Tujuan Pengendalian
T-01	Level, tekanan, temperatur, dan indikasi kebocoran	Mencegah cavitation pompa, overpressure, dan kebocoran n-butana.
EV-01	Tekanan masuk dan tekanan keluar	Menjamin perubahan tekanan berlangsung stabil sebelum umpan dipanaskan.
HE-01	Temperatur masuk dan keluar, beda tekanan, kebocoran antar sisi	Mencegah overheating atau pemanasan umpan yang tidak merata.
F-01	Temperatur firebox, rasio bahan bakar dan udara, nyala burner, draft	Mencegah flame failure, backfire, dan kenaikan temperatur berlebih.
R-01	Temperatur inlet, temperatur outlet, tekanan, beda tekanan bed katalis	Menjaga reaksi dehidrogenasi tetap stabil dan mencegah kerusakan katalis.
WHB-01	Tekanan steam, level air, temperatur gas keluar	Mencegah dry operation dan fluktuasi steam.
K-01	Tekanan hisap, tekanan keluar, temperatur keluar, arus motor, vibrasi	Mencegah overload, overheating, dan trip kompresor.
CDP-01 dan V-01	Temperatur kondensasi, tekanan, level cairan, kualitas gas atas	Menjamin pemisahan hidrogen dan cairan berjalan stabil.
MD-01 dan MD-02	Tekanan kolom, temperatur top dan bottom, reflux ratio, beban reboiler, level accumulator	Mencegah flooding, weeping, dan produk off-spec.
T-02 dan T-03	Level, tekanan, temperatur, dan kualitas produk	Menjamin produk tersimpan aman dan sesuai spesifikasi.

6.8.5. Pengendalian Produk Awal

Produk yang dihasilkan pada tahap awal start up belum boleh langsung dialirkan ke tangki produk utama. Aliran produk dari MD-01 dan MD-02 perlu diarahkan terlebih dahulu ke tangki off-spec atau sistem recycle sampai komposisi stabil. Laboratorium melakukan analisis densitas, viskositas, dan kemurnian sesuai titik sampling yang telah ditetapkan. Produk 1-butena dapat dialirkan ke T-02 setelah memenuhi spesifikasi produk samping. Produk 1,3-butadiena dapat dialirkan ke T-03 setelah memenuhi spesifikasi produk utama. Selama kualitas produk belum stabil, laju umpan tidak boleh dinaikkan ke kapasitas penuh.

6.8.6. Kondisi Start Up Dinyatakan Selesai

Start up dinyatakan selesai apabila seluruh unit proses beroperasi stabil pada rentang kondisi desain, tidak terdapat alarm kritis, tidak ditemukan kebocoran, temperatur reaktor dan furnace stabil, WHB menghasilkan steam secara aman, K-01 bekerja tanpa vibrasi berlebih, separator bekerja sesuai level operasi, kedua menara distilasi memiliki tekanan dan temperatur stabil, serta hasil laboratorium menunjukkan produk telah memenuhi spesifikasi. Setelah itu, shift supervisor dapat menyatakan pabrik masuk kondisi operasi normal dan menyerahkan pemantauan kepada regu operasi.

6.9. Shut Down

Shut down merupakan kegiatan penghentian operasi pabrik secara terencana atau darurat. Prosedur ini bertujuan menghentikan reaksi, memutus aliran bahan baku, menurunkan temperatur dan tekanan sistem, mengamankan bahan mudah terbakar, serta menjaga kondisi peralatan agar tetap aman untuk inspeksi maupun perawatan. Pada pabrik 1,3-butadiena, shut down harus dilakukan dengan memperhatikan sifat mudah terbakar dari n-butana, 1-butena, 1,3-butadiena, dan hidrogen. Oleh karena itu, penghentian operasi tidak boleh dilakukan secara mendadak, kecuali pada kondisi darurat yang membahayakan keselamatan pekerja, peralatan, dan lingkungan.

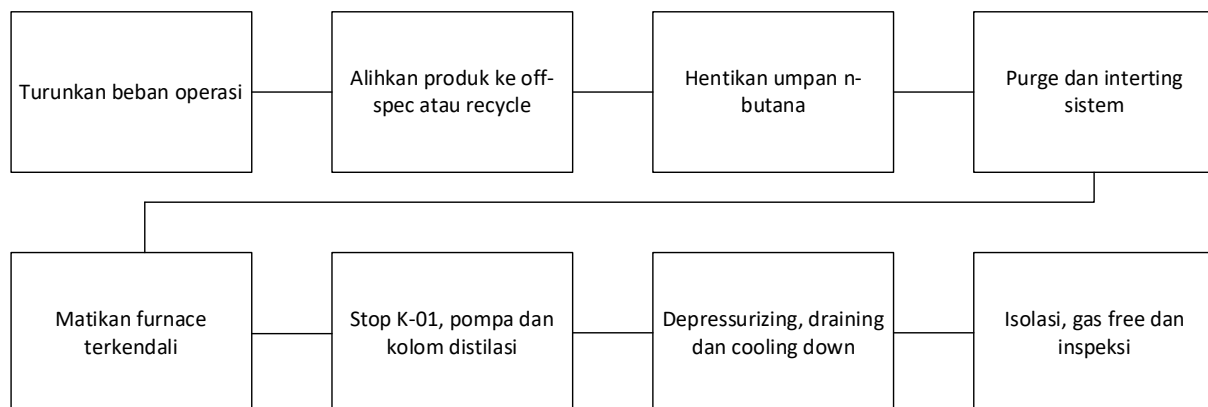
Shut down dibagi menjadi dua jenis, yaitu shut down normal dan shut down darurat. Shut down normal dilakukan karena jadwal perawatan, inspeksi, penggantian katalis, pembersihan alat, atau penghentian operasi berkala. Shut down darurat dilakukan ketika terjadi kondisi tidak aman, seperti kebocoran bahan mudah terbakar, kebakaran, kegagalan listrik total, gangguan sistem pendingin, tekanan berlebih, trip furnace, trip kompresor, atau temperatur reaktor tidak terkendali.

6.9.1. Tujuan Shut Down

Tujuan shut down adalah menghentikan operasi pabrik dengan aman tanpa menimbulkan kerusakan alat atau paparan bahan berbahaya. Shut down juga bertujuan menghilangkan sisa hidrokarbon dari peralatan, mencegah terbentuknya campuran mudah terbakar, menjaga katalis dari perubahan temperatur yang terlalu cepat, serta membuat peralatan siap untuk inspeksi, perbaikan, atau start up berikutnya.

6.9.2. Shut Down Normal

Shut down normal dilakukan dengan menurunkan beban operasi secara bertahap. Penurunan laju umpan dilakukan dari control room dengan konfirmasi operator lapangan. Produk yang mulai berubah komposisinya dialihkan ke tangki off-spec atau sistem recycle. Setelah laju umpan cukup rendah dan kondisi kolom stabil, aliran n-butana dihentikan. Sistem kemudian dipurge menggunakan nitrogen untuk mengeluarkan sisa hidrokarbon dari jalur proses, reaktor, dan unit pemisahan. Gambar 6.2 menunjukkan urutan umum shut down pabrik 1,3-butadiena.



Gambar 6. 2. Urutan Umum Shut Down Pabrik 1,3-Butadiena

Tabel 6. 11. Tahapan Shut Down Normal Pabrik 1,3-Butadiena

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
1	Koordinasi awal	Shift supervisor memberi instruksi shut down kepada operator proses, utilitas, laboratorium, maintenance, instrument, dan HSE. Semua perubahan operasi dicatat pada log sheet.	Semua bagian mengetahui status shut down.

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
2	Penurunan beban operasi	Menurunkan laju umpan n-butana secara bertahap dari kapasitas operasi menuju beban minimum yang aman. Perubahan dilakukan perlahan untuk menjaga stabilitas reaktor dan kolom distilasi.	Tekanan, temperatur, dan level tetap terkendali.
3	Pengalihan produk	Produk yang berpotensi tidak memenuhi spesifikasi dialirkan ke tangki off spec atau recycle. Produk on-spec terakhir tetap dapat dialirkan ke T-02 dan T-03 sampai hasil analisis menunjukkan perubahan kualitas.	Produk utama tidak tercampur dengan produk off-spec.
4	Penghentian umpan n-butana	Menutup aliran dari T-01 ke EV-01 secara bertahap. Pompa umpan dihentikan setelah aliran aman. Valve isolasi ditutup sesuai line up shut down.	Reaksi berhenti karena umpan dihentikan.
5	Purge sistem reaksi	Mengalirkan nitrogen ke jalur umpan, HE-01, F-01, R-01, dan jalur downstream untuk mengeluarkan sisa hidrokarbon dan hidrogen. Purge dilakukan sampai hasil gas test aman sesuai batas yang ditetapkan.	Sisa gas mudah terbakar berkurang.
6	Penghentian furnace	Menurunkan beban bahan bakar furnace secara bertahap. Burner dimatikan setelah umpan berhenti dan purge dilakukan. Draft dan sirkulasi udara tetap dijaga untuk pendinginan terkendali.	Furnace berhenti tanpa flame failure atau backfire.

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
7	Pendinginan reaktor	Temperatur reaktor diturunkan perlahan menggunakan aliran inert atau prosedur pendinginan yang ditetapkan. Pendinginan mendadak tidak diperbolehkan karena dapat merusak tube dan katalis.	Reaktor mencapai temperatur aman.
8	Penghentian WHB-01	Mengurangi beban WHB sesuai penurunan temperatur gas. Level air dan tekanan steam tetap dipantau sampai aliran panas berhenti. Blowdown dilakukan bila diperlukan.	WHB berhenti dalam kondisi aman.
9	Penghentian K-01, CDP-01, dan V-01	Kompresor dihentikan setelah aliran gas cukup rendah dan tekanan aman. Kondensor tetap dialiri pendingin sampai temperatur turun. Separator dikosongkan sesuai prosedur draining.	Sistem kompresi dan pemisahan aman.
10	Penghentian MD-01 dan MD-02	Mengurangi beban reboiler, menurunkan reflux, menghentikan umpan kolom, menghentikan pengambilan produk, lalu menjaga pendinginan kondensor sampai tekanan kolom aman.	Kolom distilasi berhenti tanpa overpressure.
11	Depressurizing dan draining	Tekanan sistem diturunkan menuju sistem aman yang tersedia. Cairan hidrokarbon dikirim ke tangki yang sesuai. Drain tidak boleh dibuka ke area terbuka.	Tidak ada tekanan dan cairan tersisa yang membahayakan.

No.	Tahapan	Uraian Kegiatan	Kriteria Keberhasilan
12	Isolasi peralatan	Menutup valve isolasi, memasang blind bila diperlukan, melakukan lock out tag out pada peralatan listrik dan mekanik, serta memasang tanda peralatan tidak beroperasi.	Peralatan aman untuk inspeksi atau perawatan.
13	Gas freeing dan inspeksi awal	Melakukan gas test pada peralatan dan area. Setelah dinyatakan aman, tim maintenance dapat melakukan inspeksi, pembersihan, atau perbaikan dengan izin kerja yang sesuai.	Area aman untuk pekerjaan lanjutan.

6.9.3. Shut Down Darurat

Shut down darurat dilakukan apabila kondisi operasi menimbulkan risiko langsung terhadap keselamatan pekerja, kerusakan peralatan, atau pencemaran lingkungan. Pada kondisi darurat, prioritas utama adalah menghentikan aliran bahan baku, memutus sumber panas, mengamankan sumber api, menurunkan tekanan sistem, dan mengevakuasi pekerja dari area berbahaya. Operator tidak boleh menunggu produk memenuhi spesifikasi karena keselamatan menjadi prioritas utama.

Emergency shut down dijalankan melalui sistem trip otomatis atau instruksi langsung dari shift supervisor. Tindakan utama meliputi penutupan emergency shut down valve pada jalur umpan n-butana, penghentian suplai bahan bakar furnace, penghentian pompa yang tidak dibutuhkan, pengalihan sistem ke kondisi aman, aktivasi purge nitrogen bila tersedia, serta depressurizing ke sistem yang aman. Tim HSE harus segera mengamankan area dan melakukan penilaian kondisi lapangan.

Tabel 6. 12. Kondisi Pemicu Shut Down Darurat dan Tindakan Awal

Kondisi Darurat	Risiko Utama	Tindakan Awal
Kebocoran n-butana, 1-butena, 1,3-butadiena, atau hidrogen	Potensi terbentuk campuran mudah terbakar dan ledakan	Hentikan umpan, aktifkan alarm, isolasi sumber kebocoran, lakukan evakuasi area, gunakan gas detector.
Kebakaran di area furnace atau unit proses	Kerusakan alat, paparan panas, dan penyebaran api	Trip furnace, hentikan bahan bakar, aktifkan sistem pemadam kebakaran, evakuasi personel non-esensial.
Temperatur reaktor terlalu tinggi	Kerusakan katalis, tube reaktor, dan risiko kenaikan tekanan	Kurangi atau hentikan umpan, hentikan pemanasan, lakukan purge inert sesuai prosedur.
Tekanan sistem melebihi batas aman	Overpressure, pelepasan PSV, atau kebocoran flange	Hentikan umpan, buka jalur depressurizing aman, periksa sistem kontrol tekanan.
Trip kompresor K-01	Akumulasi tekanan di upstream atau gangguan pemisahan downstream	Kurangi umpan, isolasi kompresor, pertahankan pendinginan, evaluasi tekanan sistem.
Cooling water atau chiller water gagal	Kondensor tidak mampu mengkondensasikan uap dan tekanan kolom naik	Kurangi beban kolom, hentikan umpan bila perlu, jalankan pompa cadangan atau sumber pendingin darurat.
Listrik utama padam	Pompa, instrumen, dan sistem kontrol dapat berhenti	Aktifkan generator cadangan, prioritaskan beban kritis, lakukan shut down terkendali bila suplai tidak stabil.
Kegagalan udara tekan instrumen	Control valve gagal bergerak dan sistem kontrol hilang	Pindahkan valve ke posisi aman, hentikan umpan, gunakan tindakan manual sesuai instruksi supervisor.

6.9.4. Pengamanan Setelah Shut Down

Setelah shut down selesai, peralatan harus diamankan sebelum dilakukan inspeksi atau perawatan. Pengamanan meliputi isolasi energi listrik, isolasi mekanik, pemasangan blind pada jalur yang terhubung dengan bahan berbahaya, pengosongan cairan, depressurizing, pendinginan, dan gas freeing. Lock out tag out harus dilakukan pada pompa, kompresor, blower, motor listrik, panel listrik, dan peralatan berputar lainnya. Peralatan yang masih mengandung hidrokarbon tidak boleh dibuka sebelum hasil gas test menunjukkan kondisi aman.

Sisa cairan hidrokarbon dari separator, kolom, reboiler, kondensor, dan pipa harus dialirkan ke tangki yang sesuai atau sistem penanganan yang aman. Drain ke lingkungan terbuka tidak diperbolehkan. Jika dilakukan pekerjaan panas, maka area harus dinyatakan gas free dan memperoleh izin kerja panas dari bagian HSE. Selama pekerjaan berlangsung, gas detector portabel dan alat pemadam kebakaran harus tersedia di sekitar area kerja.

6.9.5. Pemeriksaan Sebelum Start Up Kembali

Sebelum pabrik dioperasikan kembali setelah shut down, penyebab penghentian operasi harus dipastikan telah selesai ditangani. Jika shut down terjadi karena kondisi darurat, investigasi penyebab harus dilakukan terlebih dahulu. Semua hasil perbaikan, penggantian gasket, pembersihan heat exchanger, inspeksi kolom, pengujian kompresor, dan pemeriksaan instrumen harus didokumentasikan. Start up kembali hanya boleh dilakukan setelah shift supervisor, maintenance, instrument, utility, laboratorium, dan HSE menyatakan sistem siap.

Tabel 6. 13. Checklist Kesiapan Start Up Kembali Setelah Shut Down

Bagian	Kriteria	Penanggung Jawab
Penyebab shut down	Penyebab sudah ditemukan, diperbaiki, dan diverifikasi	Supervisor dan maintenance
Peralatan proses	Reaktor, furnace, WHB, kompresor, separator, dan kolom sudah diperiksa	Operator dan maintenance
Instrumen	Alarm, interlock, control valve, indicator, dan emergency shut down sudah diuji	Instrument

Bagian	Kriteria	Penanggung Jawab
Utilitas	Listrik, steam, cooling water, udara tekan, dan bahan bakar siap	Utility
Keselamatan	Area aman, gas test memenuhi syarat, APD dan fire protection siap	HSE
Laboratorium	Metode uji dan titik sampling siap untuk memantau produk awal	Laboratorium
Dokumentasi	Log sheet, work permit, dan checklist start up sudah lengkap	Shift supervisor

6.9.6. Catatan Keselamatan Operasi

Selama start up dan shut down, operator harus menghindari perubahan operasi yang terlalu cepat. Setiap pembukaan valve, kenaikan beban furnace, penambahan laju umpan, perubahan reflux, dan perubahan beban reboiler harus dilakukan bertahap dan dicatat. Komunikasi antara control room dan operator lapangan harus dilakukan secara jelas. Setiap alarm harus ditindaklanjuti sesuai tingkat prioritasnya. Apabila terjadi perbedaan data antara indikator lapangan dan control room, operasi harus ditahan pada kondisi aman sampai penyebabnya diketahui.

Seluruh prosedur start up dan shut down perlu dikaji kembali melalui HAZOP, commissioning test, dan penyusunan SOP rinci sebelum pabrik beroperasi. Prosedur yang disajikan dalam bagian ini bersifat rancangan operasional untuk mendukung Bab VI Troubleshooting. Implementasi di lapangan harus mengikuti standar keselamatan perusahaan, hasil inspeksi peralatan, rekomendasi vendor, dan peraturan keselamatan kerja yang berlaku.