

BAB VI TROUBLESHOOTING

Pada prarancangan pabrik pektin dari kulit jeruk berkapasitas 3.000 ton/tahun rancangan *troubleshooting* dianalisa pada setiap alat utama di seluruh unit produksi. *Troubleshooting* merupakan proses sistematis identifikasi, analisis, dan penyelesaian masalah teknis yang terjadi pada alat proses, dengan tujuan meminimalkan downtime, mencegah kerusakan permanen, dan mempertahankan kualitas produk. Analisis ini meliputi identifikasi gangguan (*trouble*), penyebab, risiko/dampak, dan langkah penyelesaian yang tepat sasaran (Casas-Orozco et al., 2015; Dranca & Oroian, 2018).

Analisis *troubleshooting* pada pabrik pembuatan pektin dari kulit jeruk dilakukan berdasarkan unit produksi: (1) Unit Persiapan Bahan Baku, (2) Unit Ekstraksi Asam Sitrat, (3) Unit Filtrasi dan Pemisahan, (4) Unit Evaporasi dan Pemekatan, (5) Unit Pengendapan dengan *Isopropyl Alcohol* (IPA) dan Filtrasi II, (6) Unit Pengeringan dan Penggilingan, (7) Unit Destilasi Pemulihan *Isopropyl Alcohol* (IPA), dan (8) Unit Utilitas dan Penunjang. Identifikasi masalah dan solusi didasarkan pada tinjauan literatur operasi alat industri pangan, proses ekstraksi pektin, dan standar operasional pabrik kimia (Cho et al., 2019; Hosseini et al., 2016; Lohrasbi et al., 2010).

6.1 Unit Persiapan Bahan Baku

Pada unit persiapan bahan baku, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.1 sebagai berikut:

Tabel 6. 1 Analisa *Troubleshooting* pada Unit Persiapan Bahan Baku

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
<i>Belt Conveyor</i> (BC-01)	1) <i>Overload</i> umpan melebihi kapasitas desain	1) Transportasi bahan berhenti; <i>downtime</i> produksi	1) Atur <i>valve input</i> laju massa; batasi umpan sesuai kapasitas desain
<i>Belt</i> putus atau slip	2) <i>Belt</i> terlalu lama digunakan tanpa perawatan rutin	2) Kulit jeruk tertumpah; resiko slip operator	2) Inspeksi visual <i>belt</i> setiap 500 jam; ganti <i>belt</i> sesuai umur pakai
	3) Laju motor tidak sesuai; tegangan <i>belt</i> tidak dikalibrasi	3) Kerusakan komponen motor; biaya perbaikan	3) Kalibrasi tegangan <i>belt</i> secara berkala; pasang <i>belt tension indicator</i>

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
		tinggi	
<i>Washing Unit</i> (WU-01) Efisiensi pencucian rendah / residu kontaminan tinggi	1) Laju aliran air bersih terlalu rendah (<i>Flow Indicating</i> <i>Controller</i>) FIC-101 tidak terkalibrasi) 2) Suhu air >40°C menyebabkan degradasi pektin permukaan 3) pH air cucian >7 tidak efektif membersihkan residu pestisida asam	1) Residu kotoran dan pestisida terikut ke proses ekstraksi; kontaminasi produk akhir 2) Pektin permukaan kulit terdenaturasi sebelum ekstraksi; rendemen turun 3) Produk akhir tidak memenuhi standar keamanan pangan	1) Monitor dan kalibrasi FIC-101; pastikan laju air = 10× massa kulit jeruk 2) Kontrol (<i>Temperature</i> <i>Indicating Controller</i>)TIC- 101; jaga suhu air cucian 20–35°C 3) Tambahkan buffer pH; monitor pH air cucian tiap shift
<i>Crusher</i> (CR-01) Getaran dan suara abnormal saat beroperasi	1) Umpan <i>overload</i> melebihi batas kapasitas <i>crusher</i> 2) <i>Bearing</i> kekurangan pelumas; (<i>Vibration Switch</i> <i>High</i>)VSH-101 aktif 3) Benda asing keras (batu, logam) dalam umpan kulit jeruk	1) Penipisan lapisan bearing; kerusakan <i>blade crusher</i> 2) Suhu <i>bearing</i> naik >80°C; (<i>Temperature</i> <i>Switch High</i>)TSH- 101 aktif; risiko kerusakan permanen 3) Kerusakan <i>blade</i> dan <i>housing</i> pada <i>crusher</i> ; <i>downtime</i> panjang	1) Mengatur <i>valve input</i> laju massa; kurangi laju umpan; pasang logam <i>detector</i> 2) Jadwalkan pemberian pelumas tiap 200 jam; monitor TSH-101 secara <i>real-time</i> 3) Pasang <i>magnetic</i> separator pada <i>belt</i> <i>conveyor</i> umpan untuk menangkap logam <i>ferrous</i>
<i>Dryer Parsial</i>	1) Laju aliran udara	1) Kulit jeruk	1) Monitor (<i>Flow</i>

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
(PD-01) Kadar air output >55% (tidak sesuai desain)	panas kurang dari desain; <i>blower</i> <i>underperform</i> 2) Suhu udara panas di bawah <i>set poin</i> (<60°C); <i>heat</i> <i>exchanger fouling</i> 3) Kapasitas umpan melebihi desain	terlalu basah; proses pengecilan ukuran di <i>crusher</i> tidak optimal 2) Efisiensi ekstraksi menurun karena kandungan air dalam umpan ekstraktor terlalu tinggi 3) Beban ekstraktor meningkat; rasio padatan:pelarut menyimpang dari desain	<i>Transmitter</i>) FT dan TIC inlet udara panas; periksa kondisi blower dan heat exchanger 2) Kurangi laju umpan sesuai kapasitas desain 3) Jika kadar air >60%, kembalikan ke untuk pengeringan ulang (<i>recycle</i> <i>loop</i>)
<i>Screw Conveyor</i> (SC-01) Sumbatan (<i>blockage</i>) pada <i>housing conveyor</i>	1) Partikel kulit jeruk terlalu lembab dan menggumpal 2) Kecepatan screw terlalu rendah; arus motor naik 3) Residu kering menumpuk pada <i>housing conveyor</i> antar <i>shift</i>	1) Transportasi bahan ke ekstraktor terhenti; <i>downtime</i> 2) Motor <i>overload</i> ; potensi kerusakan <i>bearing</i> dan <i>shaft</i> 3) Kontaminasi silang antar <i>batch</i> produksi	1) Pastikan <i>crusher</i> menghasilkan partikel ≤ 2 mm sebelum masuk SC-01 2) Monitor motor SC-01; naikkan kecepatan apabila arus meningkat >15% dari nominal 3) Jadwalkan pembersihan <i>housing</i> setiap pergantian shift

6.2 Unit Ekstraksi Asam Sitrat

Pada unit ekstraksi asam sitrat, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.2 sebagai berikut:

Tabel 6. 2 Analisa *Troubleshooting* pada Unit Ekstraksi Asam Sitrat

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
Tangki Asam Sitrat (T-02)	1) Kesalahan pembuatan larutan; penimbangan bahan tidak akurat	1) pH larutan ekstraksi tidak terkontrol; efisiensi hidrolisis	1) Kalibrasi <i>density meter</i> T-02; verifikasi konsentrasi sebelum operasi tiap <i>batch</i>
Konsentrasi larutan tidak sesuai desain ($\neq$ 0,5–1% b/v)	2) Penguapan pelarut dari tangki T-02 yang tidak tertutup rapat 3) Larutan asam sitrat mengendap pada suhu rendah ($<10^{\circ}\text{C}$)	2) protopektin menurun 2) Konsentrasi larutan semakin pekat; pH terlalu rendah ($<1,5$) merusak pektin 3) Sumbatan pada jalur pipa distribusi ke EX-01; <i>downtime</i>	2) Pastikan <i>manhole</i> T-02 tertutup rapat; monitor level evaporasi harian 3) Pasang <i>heater</i> jaket T-02 jika suhu lingkungan $<15^{\circ}\text{C}$; pantau suhu tangki via (<i>Temperature Indicator</i>) TI lokal
Ekstraktor (EX-01)	1) Laju aliran steam ke jaket kurang; (<i>Temperature Control Valve</i>) TCV-201 tidak membuka penuh 2) Kebocoran pada jaket pemanas 3) Umpan masuk terlalu banyak sekaligus (<i>batch</i>)	1) Efisiensi ekstraksi menurun; rendemen pektin berkurang hingga $<75\%$ dari target 2) Konsumsi steam meningkat; TIC-201 terus meminta lebih banyak steam 3) Waktu ekstraksi harus diperpanjang;	1) Monitor TIC-201 dan (<i>Temperature Control Valve</i>) TCV-201; periksa kondisi steam trap dan jalur distribusi steam 2) Lakukan <i>pressure test</i> jaket setiap <i>shutdown</i> periodik 3) Batasi volume umpan per <i>batch</i> ; jaga rasio padatan:cairan = 1:20 (b/v)

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
	<i>overload</i>)	<i>throughput</i> produksi menurun	
Ekstraktor (EX-01) pH larutan tidak terkendali (pH <1,5 atau >2,5)	1) Sensor pH-201 mengalami <i>drift</i> ; kalibrasi tidak dilakukan tepat waktu 2) FCV pada jalur asam sitrat tersumbat 3) Tangki asam sitrat habis tanpa diisi ulang (LAL tidak terpasang)	pH <1,5: demetilasi berlebihan produk <i>out-of-spec</i> pH >2,5: hidrolisis protopektin tidak sempurna; rendemen rendah; waktu <i>batch</i> memanjang	1) Kalibrasi setiap 8 jam dengan buffer pH 1 dan pH 4 2) Periksa dan bersihkan (<i>Flow Control Valve</i>) FCV pada jalur asam sitrat; verifikasi sinyal <i>Analysis Indicating Controller</i> di DCS 3) Pasang level alarm low pada T-02
Ekstraktor (EX-01) Agitator berhenti atau berputar lambat	1) Motor agitator <i>overload</i> akibat <i>slurry</i> terlalu kental 2) Kegagalan mekanis pada <i>shaft</i> atau <i>bearing agitator</i> 3) Gangguan listrik (<i>phase loss</i>) pada panel motor agitator	1) Pengadukan tidak merata; kontak padatan–cair berkurang; ekstraksi tidak homogen 2) <i>Shaft agitator</i> bengkok; <i>downtime</i> panjang; biaya perbaikan tinggi 3) Motor terbakar; kerusakan komponen listrik panel	1) Monitor motor agitator; kurangi konsentrasi padatan apabila arus naik >20% nominal 2) Inspeksi <i>bearing</i> setiap 1.000 jam; ganti bearing sesuai rekomendasi pabrik alat 3) Pasang phase failure relay dan thermistor proteksi pada panel motor agitator
Ekstraktor (EX-01)	1) LCV-201 gagal menutup (<i>valve stuck</i>)	1) <i>Slurry</i> tumpah; kontaminasi area	1) Operasikan <i>bypass hand valve</i> sementara; perbaiki

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
Level slurry overflow (LSHH- 201 aktif)	<i>open</i> atau sinyal terputus) 2) (<i>Level Transmitter</i>) LT-201 memberikan sinyal tidak akurat (<i>drift</i> / kalibrasi lama) 3) Laju umpan masuk jauh melebihi kapasitas	pabrik; potensi kecelakaan kerja 2) Level aktual lebih tinggi dari yang terbaca; <i>overflow</i> tidak terdeteksi dini 3) Kapasitas terlampaui; kualitas ekstraksi menurun	atau ganti LCV-201 2) Kalibrasi LT-201; verifikasi dengan <i>sight glass (level gauge visual)</i> secara berkala 3) Kurangi laju umpan; aktifkan <i>interlock shutdown valve</i> umpan apabila (<i>Level Switch High-High</i>) LSHH-201 aktif

6.3 Unit Filtrasi dan Pemisahan

Pada unit *Rotary Drying Vacuum Filter*, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.3 sebagai berikut:

Tabel 6. 3 Analisa *Troubleshooting* pada (*Rotary Drying Vacuum Filter*) RDVF-01 dan RDVF-02

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
RDVF-01 / RDVF-02 Vakum hilang / tekanan tidak mencapai <i>set ponit</i> (>0,5 atm abs)	1) Kebocoran pada sistem perpipaan atau <i>seal</i> vakum 2) Pompa vakum aus, kelebihan beban, atau <i>impeller</i> rusak 3) <i>Cake</i> terlalu tebal menutup pori filter <i>cloth</i>	1) Filtrasi tidak efektif; padatan terikut ke dalam filtrat pektin 2) <i>Cake</i> tidak mengering sempurna; kadar air filtrat meningkat 3) <i>Throughput</i> filtrasi menurun; waktu siklus filter	1) Lakukan <i>pressure test</i> sistem vakum berkala; identifikasi dan perbaiki kebocoran <i>seal</i> 2) Monitor arus pompa vakum; ganti <i>impeller</i> jika efisiensi turun >15% 3) Atur kecepatan rotasi drum; tingkatkan kecepatan sementara untuk mengurangi ketebalan

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
		memanjang; kapasitas produksi berkurang	<i>cake</i>
RDVF-01 / RDVF-02 <i>Cake discharge</i> terhambat (<i>cake</i> menempel pada <i>drum</i>)	1) <i>Doctor blade</i> tumpul atau tidak terpasang dengan sudut yang tepat 2) <i>Slurry</i> terlalu kental; <i>cake</i> terlalu basah dan lengket 3) Kecepatan rotasi <i>drum</i> terlalu rendah; <i>cake</i> tidak terkelupas	1) <i>Cake</i> menumpuk pada drum; drum tidak dapat berputar; (<i>Vibration</i> <i>Switch High</i>) VSH aktif 2) Kapasitas filtrasi menurun drastis; <i>downtime</i> pembersihan manual 3) Kontaminasi filtrat dengan <i>cake</i> ; kemurnian larutan pektin menurun	1) Periksa dan ganti <i>doctor</i> <i>blade</i> setiap 500 jam; verifikasi sudut pemasangan (standar 30– 45°) 2) Kurangi konsentrasi padatan umpan; pastikan proses pencucian <i>cake</i> dengan air bersih berfungsi 3) Naikkan kecepatan rotasi drum sesuai rekomendasi vendor; monitor (<i>Speed</i> <i>Transmitter</i>) ST-301
RDVF-01 / RDVF-02 Filtrat keruh (kekeruhan melebihi batas desain)	1) Kebocoran atau robekan pada <i>filter</i> <i>cloth/membrane</i> <i>drum</i> 2) Distribusi <i>slurry</i> tidak merata pada permukaan drum 3) Partikel padatan terlalu halus (<5 µm) menerobos <i>filter</i> <i>cloth</i>	1) Padatan selulosa terikut dalam filtrat; kemurnian larutan pektin menurun 2) Beban filtrasi tidak merata; umur <i>filter cloth</i> berkurang; biaya penggantian meningkat 3) Efisiensi evaporasi menurun;	1) Inspeksi <i>visual filter</i> <i>cloth</i> setiap minggu; ganti apabila terdapat robekan atau penipisan >20% 2) Kalibrasi dan periksa distributor <i>slurry</i> ; pastikan aliran merata di seluruh permukaan drum 3) Pertimbangkan penambahan <i>filter aid</i> (<i>diatomite food-grade</i>) pada <i>slurry</i> jika partikel

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
		kualitas produk akhir tidak memenuhi spesifikasi	terlalu halus (Dranca & Oroian, 2018)

6.4 Unit Evaporasi dan Pemekatan

Pada unit evaporator, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.4 sebagai berikut:

Tabel 6. 4 Analisa *Troubleshooting* pada Evaporator (EV-01)

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
Evaporator (EV-01)	1) Laju aliran steam kurang; TCV-401 tidak membuka	1) Volume konsentrat tidak mencapai target	1) Monitor (<i>Temperature Indicating Controller</i>) TIC-401 dan (<i>Temperature Control Valve</i>) TCV-401;
Laju evaporasi rendah; suhu proses di bawah <i>set point</i> (<70°C)	penuh 2) Kebocoran pada sistem vakum; (<i>Pressure Indicating Controller</i>) PIC-401 tidak mampu mencapai <i>set point</i> 3) <i>Fouling</i> pada permukaan <i>heat transfer tube</i> (deposit pektin/mineral)	(1/4–1/5 volume awal); <i>batch time</i> memanjang 2) Efisiensi evaporasi turun; kapasitas produksi menurun 3) Konsumsi steam meningkat; efisiensi energi turun; biaya operasional naik	periksa <i>steam trap</i> dan jalur distribusi steam 2) Perbaiki kebocoran vakum; verifikasi kapasitas pompa vakum melalui PIC-401 3) Jadwalkan <i>Cleaning-In-Place</i> (CIP) dengan larutan NaOH 1% encer tiap 2 minggu
Evaporator (EV-01) <i>Foaming</i>	1) Kandungan protein dan saponin dari kulit jeruk tinggi dalam larutan pektin	1) Busa terikut ke jalur uap; kontaminasi kondensor;	1) Tambahkan <i>antifoam agent food-grade</i> dalam dosis kecil ke umpan 2) Kurangi laju steam;

(pembentukan busa berlebih)	2) Laju pemanasan steam terlalu cepat; <i>flash evaporation</i> berlebihan 3) Level cairan terlalu rendah sehingga permukaan bergolak	kerugian pektin 2) Produk <i>carry-over</i> ke sistem vakum; kerusakan pompa vakum 3) Kualitas dan konsentrasi konsentrat pektin menurun	naikkan level cairan melalui (<i>Level Indicating Controller</i>) LIC-401 3) Pasang demister pad pada bagian atas EV-01 untuk menangkap <i>droplet</i> busa
Kondensor (Cn-01)	1) Laju aliran air pendingin kurang; (<i>Flow Indicating Controller</i>) FIC tidak berfungsi 2) <i>Fouling</i> pada sisi tube kondensor (deposit mineral dari air pendingin) 3) Suhu air pendingin <i>inlet</i> terlalu tinggi ($>30^{\circ}\text{C}$ pada musim panas)	1) Tekanan vakum di EV-01 tidak tercapai; laju evaporasi menurun 2) Efisiensi kondensasi turun; uap mengalir ke pompa vakum; pompa rusak 3) Peningkatan konsumsi daya pompa vakum; biaya operasional naik	1) Monitor FIC pada jalur masuk Cn-01; naikan laju aliran pendingin 2) Lakukan <i>back flush</i> atau <i>chemical cleaning</i> kondensor secara berkala (tiap 1 bulan) 3) Pertimbangkan penggunaan <i>chiller</i> sebagai cadangan pada kondisi <i>ambient</i> panas
<i>Cooler</i> (C-01) Suhu <i>outlet</i> larutan pektin pekat $>30^{\circ}\text{C}$	1) Laju aliran air pendingin kurang 2) <i>Fouling</i> pada sisi tube/shell 3) Kapasitas tidak mencukupi untuk laju aliran saat ini	1) Larutan pektin masuk M-01 dengan suhu tinggi; IPA menguap berlebih 2) Risiko kebakaran meningkat di area M-01 karena <i>flash point</i> IPA = 12°C 3) Efisiensi	1) Naikkan laju aliran ke CO-01; periksa FIC pada jalur pendingin 2) Lakukan <i>chemical cleaning</i> secara berkala 3) Pertimbangkan penambahan stage pendinginan jika <i>throughput</i> meningkat di atas desain

pengendapan pektin
menurun; rendemen
turun

6.5 Unit Pengendapan dengan IPA dan Filtrasi II

Pada unit *mixer*, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.5 sebagai berikut:

Tabel 6. 5 Analisa *Troubleshooting* pada *Mixer* (M-01) dan RDVF-02

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
<i>Mixer</i> (M-01)	1) Rasio (<i>Isopropyl Alcohol</i>) IPA:larutan	1) Rendemen pektin berkurang	1) Monitor dan kalibrasi FIC-501; verifikasi rasio
Presipitat pektin tidak terbentuk sempurna	pektin kurang dari <i>set point</i> (1:2); FIC-501 tidak akurat	signifikan; kerugian material dan biaya meningkat	aliran IPA vs larutan pektin setiap <i>batch</i>
	2) Suhu campuran >35°C ; IPA menguap sebelum mengendapkan pektin	2) <i>Loss</i> IPA ke udara; pemborosan pelarut; akumulasi uap IPA berbahaya	2) Pastikan mendinginkan larutan pektin ≤30°C sebelum masuk M-01
	3) Konsentrasi larutan pektin dari EV-01 terlalu rendah (evaporasi tidak optimal)	3) Presipitat terlalu halus dan sulit difiltrasi di RDVF-02; kualitas produk turun	3) Verifikasi konsentrasi pektin dari EV-01 dengan densimeter sebelum dialirkan ke M-01
<i>Mixer</i> (M-01)	1) Ventilasi berlebih; tutup M-01 tidak rapat sehingga uap IPA terlepas	1) Biaya operasional meningkat akibat konsumsi IPA segar berlebih	1) Pasang <i>vapor recovery system</i> pada M-01; pastikan tutup kedap dan <i>seal</i> terpasang baik
Kehilangan IPA berlebih (IPA <i>loss</i> tinggi)	2) Suhu		2) Kontrol suhu campuran

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
	campuran >30°C; tekanan uap IPA meningkat (43 hPa pada 20°C) 3) Efisiensi <i>recovery</i> IPA di TD-01 rendah; distilat IPA <90% v/v	2) Konsentrasi IPA dalam campuran pengendapan berkurang; rendemen turun 3) Risiko akumulasi uap IPA di area pabrik; bahaya kebakaran	<30°C via jaket pendingin M-01 3) Optimalkan efisiensi TD-01; monitor <i>Purity</i> <i>Analyzer</i> untuk memastikan kemurnian distilat IPA ≥90%
RDVF-02 <i>Cake</i> pektin basah retak atau tidak homogen	1) Tekanan vakum terlalu tinggi menyebabkan <i>cake</i> mengering tidak merata 2) Kecepatan <i>drum</i> terlalu cepat; <i>cake</i> belum terbentuk sempurna sebelum <i>discharge</i> 3) Distribusi <i>slurry</i> tidak merata pada permukaan <i>drum</i> RDVF-02	1) <i>Cake</i> retak menyebabkan kebocoran filtrat yang masih mengandung IPA dan pektin sisa 2) Kadar IPA dalam <i>cake</i> lebih tinggi dari target; konsumsi energi pengeringan RD-01 meningkat 3) Kualitas produk tidak homogen antar <i>batch</i> ; <i>lot</i> <i>reject</i> meningkat	1) Kurangi tekanan vakum bertahap; optimalkan profil tekanan vakum dalam satu siklus rotasi 2) Turunkan kecepatan rotasi drum; berikan waktu pembentukan <i>cake</i> yang cukup sebelum <i>discharge</i> 3) Periksa dan kalibrasi distributor <i>slurry</i> pada RDVF-02 secara berkala

6.6 Unit Pengeringan dan Penggilingan

Pada unit *Rotary Dryer*, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.6 sebagai berikut:

Tabel 6. 6 Analisa *Troubleshooting* pada *Rotary Dryer* (RD-01) dan *Ball Mill* (BM-01)

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
<i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	1) Suhu udara pengering terlalu rendah (<50°C);	1) Produk pektin <i>out-of-spec</i> ; kadar air >12%	1) Monitor (<i>Temperature Indicating Controller</i>) TIC-601 dan (<i>Moisture Indicating Controller</i>) MIC-601; naikkan suhu udara pengering secara bertahap menuju <i>set point</i> 55°C
Kadar air produk melebihi <i>set point</i> (>12% b/b)	TIC-601 tidak berfungsi optimal	menyebabkan penggumpalan saat penyimpanan	2) Kurangi laju umpan ke RD-01; sesuaikan dengan kapasitas desain via WIC
	2) Kapasitas umpan melebihi desain RD-01; (<i>Weight Indicating Controller</i>) WIC tidak membatasi laju masuk	2) Efisiensi pengeringan menurun drastis; kapasitas produksi berkurang	3) Kurangi kecepatan rotasi <i>drum</i> ; perpanjang <i>residence time</i> umpan dalam <i>dryer</i> (Casas-Orozco et al., 2015)
	3) <i>Residence time</i> terlalu pendek; kecepatan rotasi <i>drum</i> terlalu tinggi	3) Pektin menggumpal dan sulit digiling di BM-01; kualitas penggilingan buruk	
<i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	1) TIC-601 malfungsi; (<i>Temperature Control Valve</i>) TCV-601 <i>stuck open</i> sehingga <i>steam</i> berlebih masuk	1) Degradasi termal rantai polimer pektin; viskositas gel produk berkurang	1) Aktifkan (<i>Temperature Alarm High</i>) TAH-602 sebagai <i>interlock shutdown</i> TCV-601 saat suhu <i>outlet</i> >65°C
Suhu <i>outlet</i> produk terlalu tinggi (>65°C)	2) Laju aliran umpan terlalu kecil (<i>dryer</i>	2) Produk <i>out-of-spec</i> ; warna produk menguning (reaksi Maillard)	2) Monitor (<i>Moisture Indicating Controller</i>) MIC-601 berbasis (<i>Near Infrared</i>) NIR sensor;

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
	<i>underloaded</i>); rasio panas:massa terlalu besar 3) <i>Bypass steam</i> tidak berfungsi; kontrol manual gagal	3) Kerugian kualitas signifikan; <i>lot reject</i> meningkat	<i>shutdown</i> steam segera jika suhu melebihi batas 3) Inspeksi dan perbaiki TCV-601; ganti <i>valve</i> apabila <i>stuck</i> ; kalibrasi (<i>Temperature Element Inlet</i>) TE-602
Rotary Dryer (RD-01) Getaran dan suara abnormal	1) <i>Bearing shaft</i> penggerak RD-01 aus atau kekurangan pelumas 2) Padatan pektin menumpuk tidak merata dalam <i>drum</i> (<i>mass imbalance</i>) 3) <i>Ring gear drum</i> mengalami keausan; gigi tidak <i>engage</i> sempurna	1) Kerusakan <i>bearing</i> ; <i>downtime</i> produksi tidak terduga 2) Getaran berlebih menyebabkan kerusakan struktural <i>drum</i> dan pondasi 3) Kebisingan melebihi batas (>85 dB); risiko keselamatan operator	1) Monitor (<i>Vibration Switch High</i>) VSH-601; jadwalkan pelumasan <i>bearing</i> tiap 500 jam; ganti <i>bearing</i> sesuai umur pakai 2) Bersihkan <i>drum</i> secara berkala saat <i>shutdown</i> ; pastikan distribusi umpan merata di sepanjang <i>drum</i> 3) Inspeksi visual <i>ring gear</i> tiap <i>shutdown</i> periodik; ganti apabila keausan >20%
Ball Mill (BM-01) Distribusi ukuran partikel tidak sesuai (>150 <i>mesh</i>)	1) Laju umpan terlalu tinggi (<i>overload</i> BM-01); (<i>Current Transmitter</i>) CT-701 menunjukkan arus tinggi 2) Media penggiling (<i>ball</i>) aus; ukuran	1) Produk tidak lolos saringan 150 <i>mesh</i> ; kualitas produk tidak memenuhi spesifikasi 2) Efisiensi penggilingan turun; energi spesifik per	1) Monitor (<i>Weight Transmitter</i>) WT-701; kurangi laju umpan sesuai kapasitas desain BM-01; monitor CT-701 2) Inspeksi ukuran media <i>ball</i> tiap 3 bulan; ganti <i>ball</i> apabila diameter berkurang >20%

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
	<i>ball</i> terlalu kecil sehingga efisiensi turun 3) Kecepatan rotasi tidak optimal; tidak mencapai <i>cascading regime</i> yang efektif	ton produk meningkat 3) Ukuran partikel tidak merata; kualitas produk tidak konsisten antar <i>batch</i>	3) Optimalkan kecepatan rotasi BM-01 pada 60–80% kecepatan kritis: $N_c = 42,3/\sqrt{D}$ (Dranca & Oroian, 2018)
<i>Ball Mill</i> (BM-01) Suhu <i>bearing</i> tinggi; TSH-701 aktif (>80°C)	1) Pelumas pada <i>bearing</i> habis atau terkontaminasi 2) <i>Overload</i> umpan menyebabkan beban radial <i>bearing</i> berlebih 3) <i>Misalignment shaft</i> antara motor dan BM-01	1) Kerusakan <i>bearing irreversible</i> ; <i>downtime</i> tidak terduga; biaya penggantian tinggi 2) Timbul bau terbakar; risiko kebakaran di area penggilingan 3) Kerusakan seal <i>bearing</i> ; kebocoran pelumas; kontaminasi produk	1) Monitor (<i>Temperature Switch High</i>) TSH-701 <i>real-time</i> ; aktifkan pelumasan otomatis saat >70°C; <i>shutdown</i> BM-01 saat >80°C 2) Kurangi laju umpan; verifikasi (<i>Current Transmitter</i>) CT-701 motor BM-01 3) Lakukan <i>re-alignment shaft</i> saat <i>shutdown</i> periodik; periksa kondisi kopling motor

6.7 Unit Destilasi Pemulihan IPA

Pada unit destilasi, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.7 sebagai berikut:

Tabel 6. 7 Analisa *Troubleshooting* pada Kolom Destilasi (TD-01)

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
Kolom Destilasi (TD-01)	1) Rasio refluks terlalu rendah; FIC-801 tidak sesuai <i>set point</i>	1) IPA <i>recycle</i> mengandung terlalu banyak air; efisiensi pengendapan <i>batch</i> berikutnya turun	1) Monitor <i>Purity Analyzer</i> ; naikan rasio refluks melalui FIC-801 secara bertahap
Kemurnian distilat IPA rendah (<90% v/v)	2) Suhu puncak kolom terlalu tinggi; air terikut ke distilat 3) <i>Flooding</i> pada kolom; kecepatan uap melebihi batas kapasitas <i>tray/packing</i>	2) Pemborosan energi <i>reboiler</i> ; konsumsi IPA segar <i>make-up</i> meningkat 3) <i>Carry-over</i> cairan ke kondensor Cn-02; kerusakan pompa refluks	2) Turunkan suhu puncak kolom melalui TIC-801; periksa kondisi Cn-02 3) Kurangi laju umpan ke TD-01; periksa kondisi <i>tray</i> atau <i>packing</i> kolom (Lohrasbi et al., 2010)
Kolom Destilasi (TD-01)	1) LCV-801 jalur <i>bottoms</i> gagal membuka (<i>valve stuck closed</i>)	1) Kolom banjir (<i>flooding</i>); kualitas distilat IPA menurun drastis	1) Operasikan LCV-801 secara manual (<i>bypass hand valve</i>); perbaiki LCV-801
<i>Level bottom</i> kolom terlalu tinggi	2) Laju aliran <i>bottoms</i> ke IPAL tidak cukup; pipa tersumbat 3) LT-801 memberikan sinyal tidak akurat; level aktual berbeda dari pembacaan	2) Tekanan dalam kolom meningkat melebihi batas desain; risiko kerusakan 3) Produksi distilat IPA berhenti; <i>batch</i> tertunda	2) Periksa dan bersihkan jalur pipa <i>bottoms</i> ke IPAL; verifikasi kapasitas pompa <i>bottoms</i> 3) Kalibrasi LT-801; verifikasi dengan <i>sight glass level gauge visual</i> pada TD-01

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
<i>Reboiler</i> TD-01 <i>Fouling</i> pada <i>reboiler</i> ; efisiensi panas menurun (ΔT naik)	1) Deposit senyawa organik (pektin sisa, asam sitrat) dari <i>bottoms</i> pada permukaan <i>tube reboiler</i> 2) Kerak asam sitrat mengendap akibat pemanasan berulang di sisi <i>shell reboiler</i> 3) <i>Scaling</i> mineral (Ca^{2+} , Mg^{2+}) dari air proses dalam <i>bottoms</i>	1) Suhu <i>reboiler</i> harus dinaikkan untuk mempertahankan laju didih; konsumsi <i>steam</i> naik signifikan 2) Penurunan kapasitas penguapan TD-01; kemurnian distilat IPA turun 3) Jika <i>fouling</i> parah; <i>hot spot</i> pada <i>tube</i> ; risiko kerusakan permanen <i>reboiler</i>	1) Jadwalkan (<i>Clean In Place</i>) CIP <i>reboiler</i> dengan larutan NaOH 2% encer setiap 4 minggu 2) Monitor ΔT <i>steam bottoms</i> melalui TI terpasang; peningkatan $>15^{\circ}\text{C}$ mengindikasikan <i>fouling</i> 3) Pasang <i>pre-filter</i> pada jalur umpan TD-01 untuk mengurangi padatan masuk <i>reboiler</i>
Sistem Perpipaan IPA Kebocoran pada jalur perpipaan IPA (area M-01, T-04, TD-01)	1) Korosi pada <i>fitting</i> pipa akibat paparan IPA jangka panjang; material tidak sesuai 2) <i>Seal/gasket</i> bocor akibat getaran peralatan atau tekanan siklik 3) Sambungan <i>flange</i> tidak terpasang dengan torsi yang benar	1) Akumulasi uap IPA di area pabrik; risiko kebakaran dan ledakan 2) Kerugian material IPA; biaya operasional meningkat; produktivitas turun 3) Bahaya keselamatan kerja bagi operator: paparan IPA >400	1) Pasang <i>fixed</i> IPA <i>vapor gas detector</i> di area TD-01, M-01, T-04; <i>interlock</i> ESD apabila $>25\%$ 2) Inspeksi visual pipa IPA mingguan; <i>pressure test</i> sistem pipa IPA tiap 3 bulan 3) Pastikan semua <i>flange</i> dipasang dengan torsi benar sesuai spesifikasi <i>gasket</i> ; catat dalam <i>maintenance log</i>

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
	setelah <i>maintenance</i>	ppm melebihi nilai ambang batas (MSDS PT. Pancasakti, 2019)	

6.8 Unit Utilitas dan Penunjang

Pada unit utilitas, *troubleshooting* yang mungkin terjadi dapat dilihat pada Tabel 6.8 sebagai berikut:

Tabel 6. 8 Analisa *Troubleshooting* pada Unit Utilitas

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
Pompa Sentrifugal (P-101 s.d. P-801)	1) Tekanan <i>suction</i> terlalu rendah; (<i>Net Positive Suction Head</i>) NPSH aktual	1) Suara keras dan getaran tidak normal; kerusakan <i>impeller</i> dan <i>seal</i> mekanis	1) Monitor tekanan <i>suction</i> ; pastikan <i>valve suction</i> terbuka penuh saat operasi
Kavitasi pada pompa	< NPSH <i>required</i> 2) Suhu fluida mendekati titik didih pada sisi <i>suction</i> 3) <i>Valve suction</i> terlalu tertutup atau <i>filter inlet</i> tersumbat	2) Laju aliran menurun drastis; pompa tidak mampu memompa fluida sesuai desain 3) Kebocoran fluida dari <i>seal</i> ; kontaminasi lingkungan	2) Bersihkan <i>filter inlet</i> pompa mingguan; periksa sumbatan pada jalur <i>suction</i> 3) Pastikan NPSH <i>available</i> > NPSH <i>required</i> + 0,5 m <i>safety margin</i> (Lohrasbi et al., 2010)
<i>Heat Exchanger</i> (C-01, Cn-01, Cn-02)	1) Kandungan mineral CaCO ₃ dari air pendingin; <i>scaling</i> pada sisi <i>shell</i>	1) Efisiensi <i>heat transfer</i> menurun; suhu <i>outlet</i> tidak mencapai <i>set point</i> ; kapasitas proses	1) Gunakan air pendingin yang telah melalui <i>water treatment (softener, anti-scale treatment)</i> 2) Jadwalkan <i>tube</i>
<i>Fouling</i> pada sisi			

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
<i>tube/shell</i> ; ΔT menurun	2) Deposit organik dari larutan pektin atau IPA pada sisi <i>tube</i> 3) Korosi pada <i>tube</i> akibat media asam sitrat (pH 2,0) jika material tidak sesuai	turun 2) <i>Pressure drop</i> meningkat; kapasitas aliran berkurang; pompa bekerja lebih keras 3) Kebocoran <i>tube</i> ; kontaminasi silang antara fluida proses dan utilitas	<i>cleaning</i> dengan <i>high-pressure water jet</i> atau CIP tiap 2 bulan 3) Gunakan material konstruksi <i>heat exchanger</i> tahan asam untuk semua HE yang berkontak larutan asam sitrat
Tangki Penyimpanan (T-01 s.d. T-04) <i>Overflow</i> atau <i>underfill</i>	1) <i>Level indicator</i> (LT) tidak berfungsi atau kalibrasi lama 2) <i>Valve inlet/outlet stuck</i> ; LCV tidak merespons sinyal <i>controller</i> 3) Laju aliran <i>input/output</i> tidak seimbang akibat gangguan proses <i>upstream</i>	1) <i>Overflow</i> : kontaminasi lingkungan; kerugian material IPA; bahaya kebakaran 2) <i>Underfill/dry</i> : pompa <i>cavitasi</i> ; proses <i>downstream</i> terhenti; <i>batch</i> tertunda 3) Gangguan <i>continuity</i> produksi; target tidak tercapai	1) Kalibrasi LT semua tangki berkala; pasang <i>level glass (sight glass)</i> sebagai <i>backup</i> visual 2) Pasang (<i>Level Switch High-High</i>) LSHH dan (<i>Level Switch Low-Low</i>) LSLl pada semua tangki dengan <i>interlock</i> otomatis ke <i>valve inlet/outlet</i> 3) Implementasikan <i>dashboard DCS real-time</i> untuk visualisasi seluruh level tangki secara simultan
<i>Boiler / Steam Generator</i> Tekanan <i>steam</i> tidak mencapai	1) <i>Fouling</i> pada sisi <i>tube boiler</i> ; efisiensi pembakaran turun 2) Air umpan <i>boiler</i> berkualitas buruk;	1) Suhu ekstraktor dan evaporator tidak mencapai <i>set point</i> ; rendemen pektin turun	1) Jadwalkan <i>blowdown boiler</i> harian; periksa kualitas air umpan <i>boiler</i> (<i>hardness</i> <1 ppm) 2) Lakukan <i>chemical</i>

Trouble (Gangguan)	Penyebab	Risiko / Dampak	Troubleshooting
<i>set point</i> ; pasokan <i>steam</i> tidak cukup	kandungan <i>hardness</i> tinggi menyebabkan <i>scaling</i> 3) Kebocoran pada jalur distribusi <i>steam</i> ke EX-01, EV-01, RD-01, TD-01	2) Kapasitas pengeringan menurun; kadar air produk meningkat 3) Seluruh unit produksi yang menggunakan <i>steam</i> terdampak; <i>downtime</i> pabrik	<i>treatment</i> air umpan <i>boiler</i> (demineralisasi, <i>anti-scale</i>) 3) Inspeksi visual jalur pipa <i>steam</i> secara berkala; perbaiki semua kebocoran segera