

Kajian Aspek Penyebab Masalah Operasional Pompa Sirkulasi Asam yang Berkaitan dengan *Black Out* dan *Forced Shut Down* di Area Menara Absorpsi Pabrik Pembuatan Asam Sulfat

Mei Linda^{1*}, Yanto², Fan Xiao Xiang³, Cao Yong Jian⁴

¹Prodi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Jendral Sudirman 51 Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta
Jalan Raya Cisauk-Lapan No. 10, Sampora, Cisauk, Tangerang, Banten 15345

³Ningbo Lygend Resources & Technology Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, China

⁴Liuzhou Great Power Energy Technology Co., Ltd, Liuzhou, China

Article Info

Abstract

Article history:

Received
19 December 2024

Accepted
28 December 2024

Keywords:

sulfuric acid circulation pump, sulfuric acid plant, black out, forced shut down, causative factors.

Acid circulation pumps are the main equipment of the absorption process of SO₃ gas into sulfuric acid solution. The acid pump at the Sulfuric Acid Plant is prone to deterioration in performance due to interrelated causative factors. Meanwhile, the replacement of the acid circulation pump can only be done in major maintenance situations (large-scale maintenance, care, and repair actions) so it is important to maintain the condition of the acid circulation pump to operate properly without any problems. This paper discusses important aspects that are factors that cause problems in the operation of the acid circulation pump related to black out and forced shut down, along with suggestions for improvement to prevent the same problems from occurring in the future.

Info Artikel

Abstrak

Histori Artikel:

Diterima:
19 Desember 2024

Disetujui:
28 Desember 2024

Kata Kunci:

Pompa sirkulasi asam, pabrik asam sulfat, black out, forced shut down, faktor penyebab

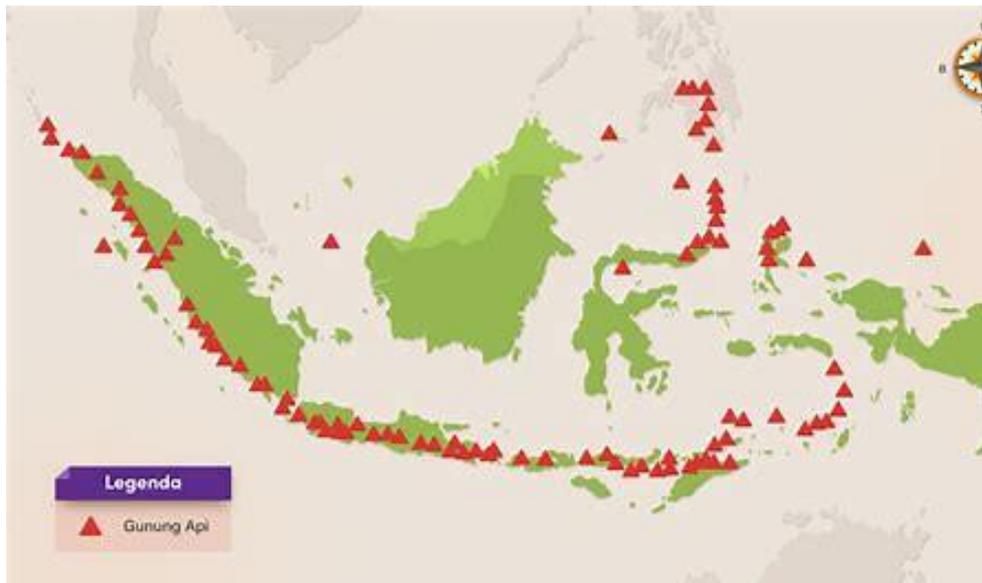
Pompa sirkulasi asam merupakan jantung utama dari proses absorpsi gas SO₃ ke dalam cairan asam sulfat. Pompa asam di Pabrik Asam Sulfat rentan mengalami penurunan performa yang disebabkan banyak faktor yang saling berkaitan. Sementara itu, penggantian pompa sirkulasi asam hanya dapat dilakukan dalam situasi *major maintenance* (tindakan pemeliharaan, perawatan, dan perbaikan skala besar) sehingga penting untuk menjaga kondisi pompa sirkulasi asam dapat beroperasi dengan baik tanpa masalah. Makalah ini membahas mengenai aspek-aspek penting yang menjadi faktor penyebab permasalahan pada operasional pompa sirkulasi asam yang berkaitan dengan *black out* dan *forced shut down*, beserta saran perbaikan untuk mencegah timbulnya masalah yang sama di kemudian hari.

1. PENDAHULUAN

Pulau Obi yang lokasinya berada di koordinat -1.50oLS, 127.75oBT terletak di Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara memiliki sumber daya mineral yang sangat berlimpah. Kandungan terbesarnya adalah nikel, besi, dan kobalt. Secara geologis, pulau ini terletak di dekat jalur lintasan “ring of fire”, sehingga Pulau Obi sering dilanda gempa vulkanik sebagai akibat dari aktivitas beberapa gunung api aktif yang tersebar di dekat Pulau Obi. Gunung api aktif yang terdapat di sekitar Pulau Obi adalah Gunung Dukono, Gunung Gamalama, dan Gunung Makian yang ketiganya berada di sebelah utara

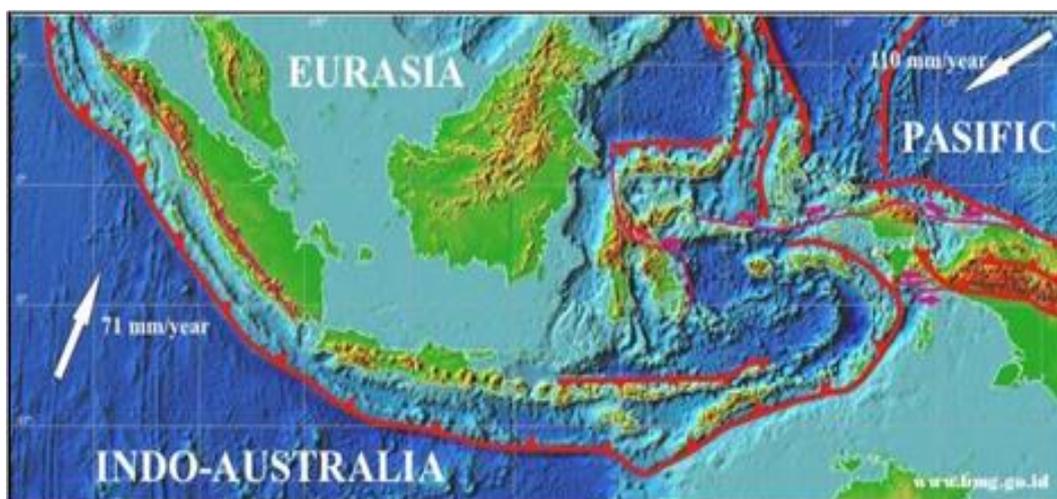
*Corresponding author. Mei Linda
Email address: meilinda.xu88@gmail.com

Pulau Obi. Selain itu, di sebelah selatan Pulau Obi juga terdapat tiga gunung api bawah laut yang berada di dalam Laut Banda (lihat Gambar 1). Lokasi Pulau Obi juga berada di dekat titik pusat pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Indo-Australia di sebelah selatan, Lempeng Caroline di sebelah timur laut, dan Lempeng Filipina di sebelah utara, di mana titik pertemuan ketiga lempeng tersebut ada di sebelah selatan pulau Halmahera (lihat Gambar 2). Lingkungan sekitar Pulau Obi yang unik dan rentan gempa seismik (lihat Gambar 3) inilah yang menjadikan lapisan tanah di Pulau Obi kaya akan mineral, terutama limonite dan saprolite. Dengan memanfaatkan ketersediaan sumber daya yang berlimpah di Pulau Obi ini, beberapa grup raksasa merencanakan pembangunan perusahaan joint venture yang salah satunya dinamakan PT XYZ untuk membawahi proyek pabrik baterai listrik berbasis metode hidrometalurgi di Pulau Obi.



Gambar 1.

Sebaran jalur vulkanik di Indonesia yang diambil dari website <https://mavink.com/explore/Peta-Ring-of-Fire-Indonesia>.



Gambar 2.

Sebaran lempeng tektonik yang dibatasi oleh garis merah di Indonesia yang diambil dari website <http://abekabek.blogspot.com/2013/03/pembahasan-tektunik-lempeng-wilayah.html>



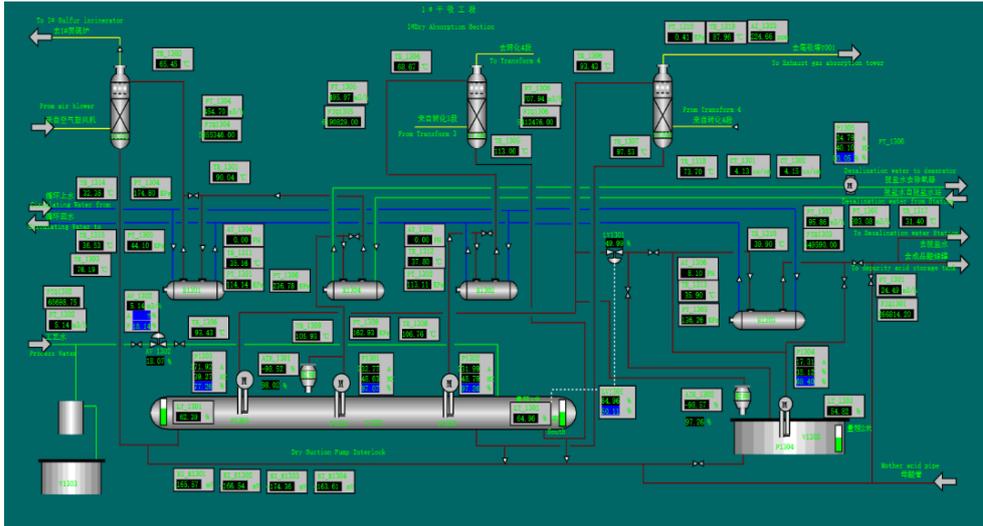
Gambar 3. Sebaran indeks aktivitas seismik di Indonesia yang diambil dari website <https://www.mongabay.co.id/2018/10/26/mitigasi-bencana-di-sesar-lembang-harus-ada/>

Secara keseluruhan, dari serangkaian pabrik yang dibangun di Proyek PT XYZ, hampir semua pabriknya tidak memerlukan lahan yang terlampau besar untuk subpabrik tunggal. Proses produksinya juga tidak terlalu kompleks dan mesin produksinya dapat dirancang untuk ditempatkan di gedung bertingkat, sehingga konstruksi berstruktur baja las dapat diaplikasikan sebagai platform operasional. Namun, ada salah satu pabrik dalam Proyek PT XYZ yang memiliki struktur yang jauh lebih kompleks, yaitu Pabrik Asam Sulfat berkapasitas memproduksi 2x500.000 ton asam sulfat/tahun.

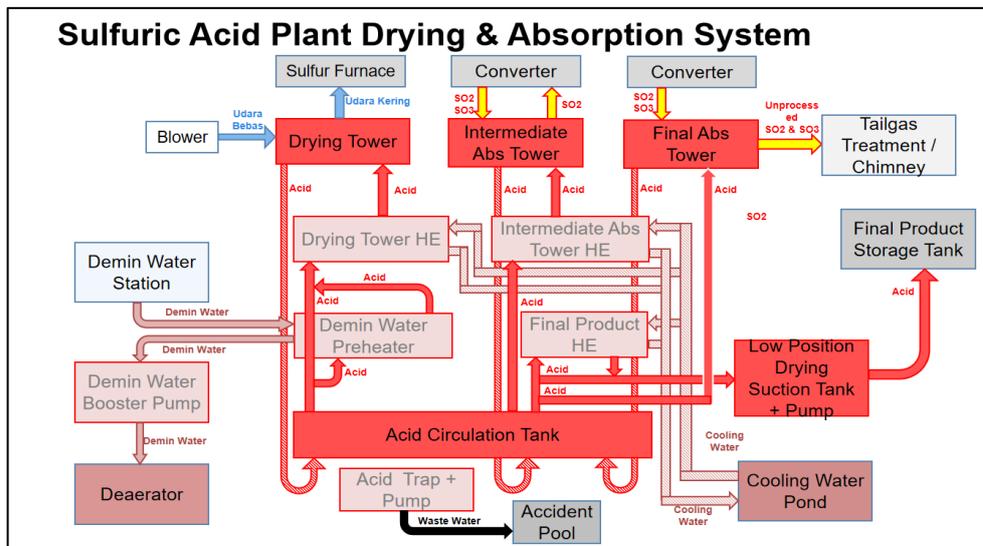
Rentannya gempa seismik berkedalaman dangkal (dengan episentrum kurang dari 10km dpl) yang terjadi di dekat Pulau Obi (lihat Tabel 2) menjadi sebuah permasalahan tersendiri bagi konstruksi pabrik. Bangunan bertingkat yang hendak dibangun di lokasi rawan gempa harus memiliki tingkat ketahanan terhadap getaran yang lebih tinggi. Secara umum, saat dijalankan, motor penggerak dari semua mesin berputar akan menghasilkan getaran (O'Conner dan Gutierrez, 2020a;2020b) dan mencapai suatu keseimbangan getaran setiap kali kestabilan beban produksinya tercapai. Semua mesin berputar adalah tulang punggung dari proses produksi di pabrik (Das *et al.*, 2023). Jika mesin berputar yang sedang beroperasi diberikan gangguan eksternal secara mendadak berupa getaran gempa seismik, keseimbangan getaran yang telah tercapai pada sistem produksi akan terganggu, sehingga proses produksi juga akan terganggu. Getaran gempa seismik yang titik episentrumnya lebih dangkal dan lebih dekat dengan lokasi pabrik akan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap benda yang lebih dekat dengan episentrumnya. Efek dari getaran gempa seismik yang diberikan terhadap mesin berputar dapat menghasilkan tekanan dinamis dan beban getaran tambahan kepada mesin berputar (O'Conner dan Gutierrez, 2020a;2020b). Getaran seismik juga berdampak pada tingkat shear and stress dari jaringan perpipaan yang ada di seluruh area pabrik, dan lebih lanjut berdampak pada mesin yang terhubung pada jaringan perpipaan tersebut. Pada akhirnya, getaran seismik dapat mengakibatkan component fatigue, erosi, dislokasi, dan perubahan frekuensi putaran riil pada mesin berputar yang sedang

beroperasi, sehingga secara langsung berpengaruh pada beban biaya *maintenance* dan usia pakai mesin berputar. Di samping faktor getaran eksternal, kondisi *fault* (kegagalan) pada mesin itu sendiri juga dapat mengakibatkan mesin mati mendadak, yang secara otomatis juga memengaruhi kelangsungan rantai produksi dan rantai pasokan produk. Produk yang dimaksudkan dalam hal ini tidak hanya terbatas pada produk berupa barang jadi, namun juga termasuk listrik yang dihasilkan oleh pabrik pembangkit Listrik (Das et al., 2023; Gao et al., 2023). Selain itu, ketidakstabilan arus listrik yang dihasilkan oleh pabrik pembangkit listrik juga dapat mengganggu jumlah pasokan listrik ke mesin, pada kasus yang lebih parah, dapat mengakibatkan terputusnya aliran listrik ke mesin (Gao et al., 2023). Semua faktor ini dapat secara langsung menurunkan margin operasional pabrik (Das et al., 2023; Gao et al., 2023; O'Conner dan Gutierrez, 2020a;2020b).

Pabrik pembuatan asam sulfat Proyek PT. XYZ terbagi atas beberapa subpabrik yaitu Pabrik Demineralized Water, Pabrik Peleburan Sulfur Padat, Pabrik Produksi Asam Sulfat, dan Pabrik Produksi Steam bertekanan 65 bar. Dalam operasionalnya di tengah-tengah kondisi geomorfologis yang rentan gempa, masalah utama yang sering timbul adalah kondisi *black out* atau mati listrik total (Linda, 2022a; Linda 2022b; Linda 2023). Ada pun hal yang memicu timbulnya *black out* ini adalah suplai listrik yang terputus secara mendadak sebagai akibat dari seringnya muncul vibrasi eksternal berlebih pada steam turbine di PLTU yang dikelola oleh PT XYZ. Fitur *tripping interlock* yang terdapat pada *steam turbine* akan secara otomatis menghentikan proses produksi listrik saat parameter vibrasi pada bearing yang terpasang di *shaft steam turbine* telah melebihi ambang batas. Semakin sering mesin menerima vibrasi gempa, mesin akan semakin rentan mengalami kelonggaran, terutama pada saat mesin berputar dengan jumlah rotasi per menit yang tinggi (O'Conner dan Gutierrez, 2020a; 2020b). Selain itu, vibrasi pada berbagai mesin operasional lainnya yang dioperasikan dengan tenaga listrik juga akan mengakibatkan ketidakstabilan pada instalasi kelistrikan, sehingga peralatan listrik juga akan rentan mengalami tripping secara mendadak. Gejala awal sebelum tripping biasanya berupa kenaikan konsumsi arus listrik secara gradien, peningkatan frekuensi yang dibutuhkan oleh inverter untuk menghasilkan laju alir yang sama, kebisingan dan getaran yang meningkat pada mesin saat sedang beroperasi, atau kabel listrik pada mesin yang telah menjadi longgar dan terbakar (Gao et al., 2023). Terputusnya arus listrik pada salah satu mesin vital maupun pada keseluruhan pabrik akan dapat diamati langsung secara audio dan visual melalui pengamatan pada berbagai parameter operasional di mesin produksi tersebut (Gao et al., 2023; O'Conner dan Gutierrez, 2020a; 2020b). Hasil pengamatan berbasis harian pada mesin sebelum dan sesudah kejadian terputusnya aliran listrik dapat dilihat melalui contoh pada grafik kinerja pompa asam *Drying Tower* P1301 dan P1302. Sedangkan, untuk efek yang hanya dapat teramati dalam jangka panjang dapat ditinjau dari performa mesin dalam menghasilkan jumlah produk yang sama, dimulai sejak mesin pertama kali beroperasi hingga akhir periode pengamatan. Jurnal ini akan memfokuskan pada masalah yang timbul pada mesin berputar akibat *black out* di Fasilitas *Drying & Absorption* Pabrik Asam Sulfat, serta merumuskan langkah pencegahan yang dapat diambil. Mesin vital yang akan diamati adalah 3 buah pompa sirkulasi asam P1301, P1302, dan P1303 yang berperan sebagai mesin vital yang mengatur kontak langsung antara gas SO₃ dengan media cairan asam sulfat berkonsentrasi 98% untuk menghasilkan cairan asam sulfat yang konsentrasinya lebih kental (Liu et al., 1992). Diagram alir proses dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan foto pompa asam dan name plate (plat nama) mesin dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 4. Drying and Absorption Section Flow Process in Sulfuric Acid Plant
 (a) Distributed Control System with Equipment Code di Pabrik Asam Sulfat PT XYZ
 (b) simple process flow without Equipment Code.



(a)



(b)

Gambar 5. Pompa asam vertikal yang digunakan oleh Fasilitas *Drying & Absorption* di Pabrik Asam Sulfat PT XYZ: (a) foto mesin, dan (b) foto name plate.

2. METODE PELAKSANAAN

Dalam mengamati permasalahan, metode yang dilakukan adalah melalui tinjauan kondisi riil di lapangan dan kompilasi laporan *black out*, laporan pengamatan mesin secara visual via pengamatan secara manual (melalui penglihatan maupun melalui pendengaran), dan secara digital menggunakan bantuan instrumentasi berupa thermogun, vibratometer, amperemeter analog, dan frekuensimeter analog. Selain itu juga diambil sampel data kinerja mesin yang dikumpulkan berupa angka dan grafik komputasi *Distributed Control System* Pabrik Asam Sulfat PT XYZ. Tabel 1 menyajikan kode mesin yang digunakan. Sementara itu, untuk spesifikasi pompa *Sulfuric Acid Circulation Pump*, tipe pompa adalah *Submersible Vertical Pump* dengan daya 185 kW dan voltase 380 V. Arus yang tercatat adalah 329A dengan laju alir maksimum 940 m³/h.

Tabel 1.

Kode mesin di Pabrik Asam Sulfat PT XYZ yang disebutkan di dalam paper ini

| No. | Kode Mesin | Nama Mesin | Fungsi |
|-----|-------------|--|--|
| 1 | V1301 | Tangki Sirkulasi Asam | Menampung Fluida Proses (Asam Sulfat) dari ketiga menara T1301, T1302, dan T1303. |
| 2 | P1301 | Pompa Asam Drying Tower | Mentransferkan Fluida Proses ke <i>Drying Tower</i> untuk mengeringkan udara yang akan masuk ke <i>furnace</i> (tungku pembakaran). |
| 3 | P1302 | Pompa Asam Intermediate Absorption Tower | Mentransferkan Fluida Proses ke <i>Intermediate Absorption Tower</i> untuk menyerap gas SO ₃ ke dalam asam sulfat (tahap 1). |
| 4 | P1303 | Pompa Asam Final Absorption Tower | Mentransferkan Fluida Proses ke <i>Final Absorption Tower</i> untuk menyerap gas SO ₃ ke dalam asam sulfat (tahap 2), sebagiannya ditransferkan ke <i>Final Product Storage Tank</i> untuk disimpan sebagai produk akhir. |
| 5 | T1301 | <i>Drying Tower</i> | Tempat terjadinya proses absorpsi air ke dalam asam sulfat untuk menghasilkan udara kering yang akan masuk ke dalam <i>Sulfur Furnace</i> (Tungku Pembakaran Sulfur). |
| 6 | T1302 | <i>Intermediate Absorption Tower</i> | Tempat terjadinya proses absorpsi SO ₃ ke dalam asam sulfat (tahap 1). |
| 7 | T1303 | <i>Final Absorption Tower</i> | Tempat terjadinya proses absorpsi SO ₃ ke dalam asam sulfat (tahap 2). |
| 8 | V1401 a/b/c | <i>Final Product Storage Tank</i> | Tempat penyimpanan produk akhir berupa asam sulfat yang lebih kental. |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pabrik Asam Sulfat PT. XYZ beroperasi sejak tanggal 21 April 2021. Dari banyaknya intensitas aktivitas seismik yang terjadi di sekitar pabrik yang berlokasi di titik koordinat -1.53oLS dan 127.42oBT, sejauh ini ada beberapa gempa seismik di sekitar lokasi koordinat Pabrik Asam Sulfat yang mampu mentransmisikan dampak getaran yang cukup terasa hingga memicu *black out* (Linda, 2023a). Tabel 2 berisi aktivitas seismik dalam jangkauan koordinat tersebut yang terekam oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Tabel 2.

Data aktivitas gempa seismik yang terjadi di sekitar Pulau Obi yang mengakibatkan *black out* di Pabrik Asam Sulfat Proyek PT XYZ (Linda, 2023a)

| No. | Tanggal dan Waktu (GMT) | Lintang (°) | Bujur (°) | Kedalaman (km) | Magnitudo (M) |
|-----|-------------------------|-------------|-----------|----------------|---------------|
| 1. | 2021-09-21 01:20:45 | -2.86 | 128.04901 | 15.6 | 5.23 |
| 2. | 2021-11-04 02:42:43 | -2.80 | 129.386 | 12 | 5.69 |
| 3. | 2021-12-30 13:13:19 | -0.11 | 125.29852 | 68 | 5.56 |

Pada periode tahun pertama operasional, belum ada masalah signifikan yang muncul dari segi kinerja mesin pompa asam. Namun setelah operasional memasuki tahun kedua dan ketiga, dan mengalami beberapa kali *forced shut down* (menghentikan produksi secara paksa tanpa mengikuti prosedur standar operasional) di seluruh area PT. XYZ (Linda, 2022a; Linda 2022b; Linda 2023a) sebagaimana yang dirangkum dalam Tabel 3, kinerja mesin pompa asam mulai bermasalah. Perubahan performa pompa asam yang dapat diamati melalui aspek audio visual secara manual, hasil pengamatan dari instrumentasi analog di lapangan, maupun melalui data historis yang terekam di komputer ruang kendali dapat diamati di Tabel 4, Grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7. Pada Gambar 6, grafik terkomputerisasi dari *Distributed Control System* pabrik sedangkan Gambar 7 grafik terkomputerisasi dari *Distributed Control System* Pabrik Asam Sulfat.

Tabel 3.

Recap of Black Out and Forced Shut Down Data in Sulfuric Acid Plant During the Research's Crucial Time Period

| No. | Start Time (GMT+9) | End Time (GMT+9) | Duration (h) | Shut Down Reason |
|-----|------------------------|------------------------|-----------------|---|
| 1. | 2022-11-24 10:02:00 | 2022-11-24 11:28:00 | 1.43 | 702 Power Discharge Station trip due to a working crane accidentally hit the hanging high voltage electric cable at the electric pole, all plant went black out and had been forcefully shut down. |
| 2. | 2022-11-25 14:51:00 | 2022-11-25 16:14:42 | 2.40 | In the Demineralized Water Station Control Room, one of the two demineralized water pumps' main power cable inside the electricity power cabinet was having some short circuit due to the electricity cable in the power cabinet had loosened, and the spare pump couldn't be started up either. These pumps function are supplying water to the Sulfuric Acid Plant's boilers, to which this incident was causing the boiler's feed water severely lacking for 2 lines of minimum production load, thus causing the necessity to proceed the emergency shutdown for the 1# sulfuric acid refinery system in very short time (less than 3 minutes). Each of these pumps needs to deliver 60-106t/h demineralized water for each sulfuric acid production lines. 1 line of production only has 1 pump, and both lines are using the same spare pump, so there are 3 pumps in total for 2 lines of sulfuric acid production plant. It was strongly considered that the main reason for the power cable to be loosened was because of the frequent earthquakes happened in the past. |
| 3. | 2022-12-20 17:07:01 | 2022-12-20 18:09:57 | 1.05 | 1# Turbine Oil Station's vertical oil pump tripped, resulting in the interlock to sulfur pump be activated and tripped too, forcing the 1# sulfuric acid production system to have forcefully immediate shut down. The oil temperature was under control, thus it was considered that the oil was no longer suitable for further usage (need to be replaced) as a strong reason for the oil pump to be tripped. |
| 4. | 2023-2-3 15:21:07 | 2023-2-3 16:36:43 | 1.26 | 406 Demineralized Water Station sudden black out due to all of the demineralized water pumps that supplying water for sulfuric acid production's boilers suddenly went trip because of the human error of the electrician, thus the 2 lines of sulfuric acid production plant were facing the lack of boiler feed water, resulting in both of the production lines to cast a quick emergency shut down (less than 3 minutes). |

Berdasarkan data Tabel 2 dan Tabel 3, dalam kurun waktu sejak 21 September 2021 hingga 3 Februari 2023 (selama 500 hari), telah terjadi 7 kali penghentian operasional yang tidak sesuai prosedur standar operasional, yaitu *black out* 4 kali dan *forced shut down* 3 kali, dengan rangkuman sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.

Tabel 4.

Rangkuman Jejak *Black Out* dan *Forced Shut Down* pada Pompa Asam di Fasilitas *Drying & Absorption* di Pabrik Asam Sulfat 1# PT XYZ (Linda, 2022a; 2022b; Linda 2023a;2023b)

| No. | Tanggal dan Waktu (GMT) | Keterangan | Alasan |
|-----|-------------------------|-------------------------|---|
| 1. | 2021-09-21 01:20:45 | <i>Black Out</i> | Gempa Seismik |
| 2. | 2021-11-04 02:42:43 | <i>Black Out</i> | Gempa Seismik |
| 3. | 2021-12-30 13:13:19 | <i>Black Out</i> | Gempa Seismik |
| 4. | 2022-11-24 10:02:00 | <i>Black Out</i> | <i>Crane</i> menghantam kabel distribusi tegangan tinggi |
| 5. | 2022-11-25 14:51:00 | <i>Forced Shut Down</i> | Kabel pompa suplai air menuju <i>boiler</i> longgar, kemudian <i>tripping</i> , dan gagal <i>start up</i> |
| 6. | 2022-12-20 17:07:01 | <i>Forced Shut Down</i> | Pompa sirkulasi oli turbin <i>tripping</i> dan gagal <i>start up</i> |
| 7. | 2023-2-3 15:21:07 | <i>Black Out</i> | <i>Human error</i> , salah mematikan mesin |

Tabel 5.

Rekam Jejak Performa Pompa Sirkulasi Asam di Pabrik Produksi Asam Sulfat 1# PT XYZ (Linda, 2023a)

| Item | Unit | 2021-06-25 | 2021-08-25 | 2022-12-24 | 2023-01-10 | 2023-02-27 | 2023-03-09 | 2023-03-13 | 2023-03-15 | 2023-03-17 | |
|-----------------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|--|
| <i>Drying Pump</i> 1# | P1301 | | | | | | | | | <i>Replaced</i> | |
| <i>Current</i> | A | 190.4 | 185.9 | 185.5 | 187.9 | 206 | 227.1 | 231.5 | 177.63 | 176.6 | |
| <i>Frequency</i> | % | 82 | 82 | 83.6 | 83.6 | 87.8 | 93.8 | 96.1 | 81.47 | 81 | |
| <i>Flow rate</i> | m ³ /h | Error | 876.92 | 775.09 | 760.2 | 699.15 | 636.39 | 534.07 | 713.89 | 721.61 | |
| <i>Intermediate Pump</i> 1# | P1302 | | | | | | | | | <i>Replaced</i> | |
| <i>Current</i> | A | 185.4 | 191.6 | 214.4 | 217.8 | 229 | 229.9 | 233.1 | 207.51 | 208.3 | |
| <i>Frequency</i> | % | 80 | 82.5 | 89.1 | 90.1 | 93.6 | 94 | 95 | 86.03 | 86 | |
| <i>Flow rate</i> | m ³ /h | 749.94 | 763.61 | 776.56 | 770.45 | 745.05 | 734.07 | 637.85 | 778.08 | 798.29 | |
| <i>Final Pump</i> 1# | P1303 | | | | | | | | | | |
| <i>Current</i> | A | 158.8 | 159.1 | 170.9 | 170.2 | 172.8 | 170.9 | 170.3 | 173.37 | 173.2 | |
| <i>Frequency</i> | % | 72 | 72.5 | 76.3 | 76.8 | 77.3 | 77.3 | 77.3 | 77.26 | 77.3 | |
| <i>Flow rate</i> | m ³ /h | 690.11 | 685.23 | 694.51 | 684.74 | 694.99 | 700.12 | 699.15 | 711.98 | 715.51 | |



Gambar 6.
Grafik kinerja pompa asam *Drying Tower* P1301 sebelum dan sesudah diganti mesin yang baru.

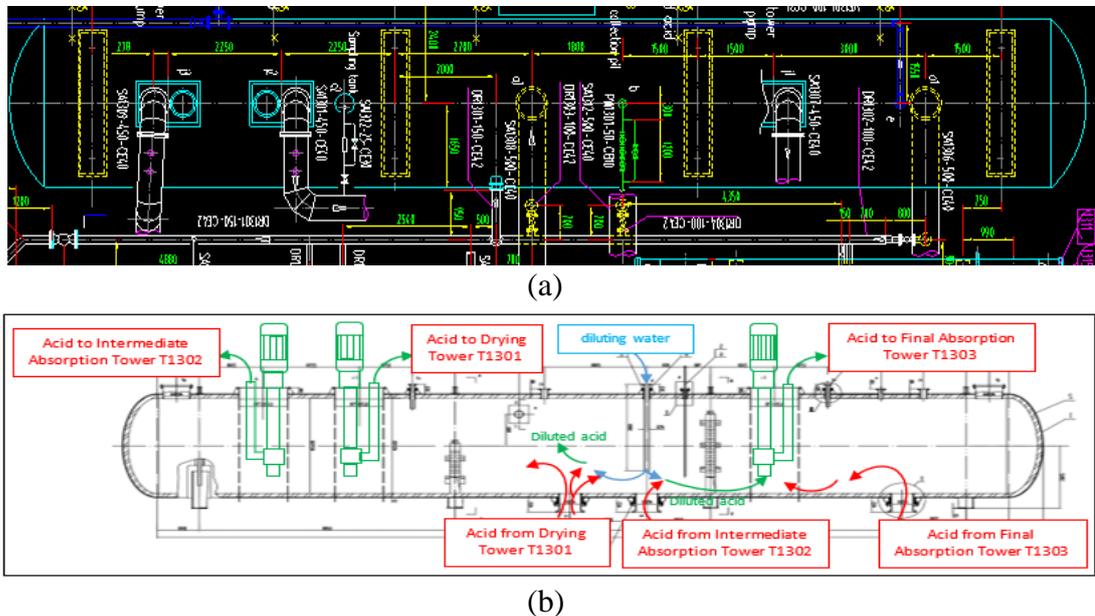


Gambar 7.
Grafik kinerja pompa asam *Intermediate Absorption Tower* P1302 sebelum dan sesudah diganti dengan mesin yang baru.

Berdasarkan data dalam Tabel 5, analisis yang dapat dibuat adalah:

1. Penurunan performa pompa P1303 yang terjadi drastis sejak kurun waktu 25 Agustus 2021 hingga 24 Desember 2021, kemungkinan penyebabnya adalah karena posisi pompa P1303 adalah yang paling dekat dengan pipa *diluting water* tangki V1301, yaitu hanya berjarak 3 meter (lihat Gambar 6), sementara jarak pipa *diluting water* ke pompa P1301 adalah 6,75 meter dan ke pompa P1302 adalah 9 meter. Pipa *diluting water* pada Tangki Sirkulasi Asam V1301 berfungsi mengencerkan asam sulfat hasil absorpsi *Intermediate Absorption Tower* T1302 berkadar 98.5-98.7% secara konstan dengan tujuan mencapai konsentrasi produk akhir asam sulfat sebesar 98.3% yang akan ditransferkan oleh pompa P1303 ke dua lokasi (ke *Final Absorption Tower* T1303 dan ke *Final Product Storage Tank* V0401a/b/c), agar memenuhi spesifikasi parameter operasional yang ditentukan bagi T1303 dan bagi produk akhir di V0401a/b/c. Pada saat dilakukan penambahan air ke dalam asam sulfat pekat berkadar 98.5-98.7%, reaksi eksotermis yang disertai dengan ledakan kecil akan terjadi, sehingga getarannya akan lebih terasa di P1303 yang jaraknya paling dekat dengan pipa keluaran *diluting water*. Selain itu, suhu asam sulfat setelah reaksi pengenceran akan semakin tinggi akibat reaksinya yang eksotermis, sehingga

meningkatkan pemuaihan pada baut persambungan di pompa asam yang bertipe *vertical submersible*. Hal ini berpotensi membuat persambungan baut semakin longgar, sehingga semakin lama akan semakin merusak bagian pompa saat dijalankan (lihat Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10). Kondisi kerusakan pompa yang tidak segera ditangani dan masih tetap dijalankan akan semakin meningkatkan beban kerja pompa secara perlahan dan kontinue (Lihat Tabel 5).



Gambar 8.

Rancangan Tangki Sirkulasi Asam V1303: (a) *blue print* jaringan perpipaan, (b) denah rancangan peralatan. Sumber: gambar *blue print* dan *equipment design* tangki sirkulasi asam sulfat Pabrik Asam Sulfat PT XYZ

2. Untuk kasus penurunan performa kedua pompa P1301 dan P1302 yang terjadi secara bersamaan di kurun waktu antara 10 Januari hingga 27 Februari 2023, diduga pemicunya adalah *forced shut down* yang terjadi pada 3 Februari 2023 sebagaimana tercantum dalam Tabel 3. Berdasarkan tipe pompa (pompa vertikal), denah jaringan perpipaan, dan instalasi listriknya, diperkirakan bahwa banyaknya intensitas *forced shut down* dan *black out* telah memberikan dampak buruk bagi shaft pompa (lihat Gambar 9 dan Gambar 10) yang lebih lanjut berpengaruh pada menurunnya laju alir keluaran pompa. Hal ini juga didukung oleh spesifikasi kedua pompa tersebut yang memiliki persyaratan kondisi operasional yang lebih ekstrim (fluida proses sangat korosif, suhu tinggi, tegangan tinggi) dan perlu mengalirkan laju alir yang lebih besar daripada pompa P1302 sebagaimana terlihat dalam Gambar 4(a). *Forced shut down* dan *black out* menghasilkan dampak yang besar terhadap pompa asam. Hal ini didasari oleh beberapa faktor:
 - a) Pertama, pompa yang digunakan merupakan mesin yang memerlukan daya cukup tinggi dengan output laju alir operasional yang cukup besar, yaitu 185kW dan maksimum 900m³/h (data laju alir merupakan data terukur oleh *flowmeter* digital, tidak ada informasi tersebut di *name plate* mesin). Untuk mematikan mesin pompa ini, diperlukan penurunan beban secara bertahap terlebih dahulu, dan membutuhkan waktu setidaknya minimal 15 menit. Sedangkan, rata-rata *forced shut down* yang terjadi di Pabrik Asam Sulfat selama kurun waktu April 2021 - Februari 2023 (Linda, 2022a; Linda 2022b; Linda 2023a) terjadi karena masalah umpan air *boiler* yang tidak cukup, dan dalam kasus ini di Pabrik Asam Sulfat PT XYZ, prosedur *forced shut down* di seluruh subpabrik Pabrik Asam Sulfat secara total yang

diakibatkan oleh kekurangan umpan air boiler tidak bisa lebih dari 3 menit. Hal ini dikarenakan kapasitas deaerator hanya cukup untuk mempertahankan boiler tetap mendapatkan umpan selama 3 menit saja;

- b) Kedua, sepanjang jalur perpipaan dari pompa asam menuju ketiga absorption tower didominasi pipa vertikal dan sama sekali tidak ada check valve (Gambar 7). Proses forced shut down yang berlangsung sangat singkat ini, ditambah dengan tidak adanya check valve di jalur perpipaan tersebut akan mengakibatkan impeller dan shaft pompa menerima beban aliran balik dari pipa vertikal menuju absorption tower. Terlebih lagi jika terjadi black out secara mendadak, arus listrik menuju ketiga pompa langsung terputus total, semua cairan asam di dalam pipa akan langsung mengalir berbalik arah menuju pompa dengan laju sebesar laju alir keluar dari pompa, sehingga mengakibatkan beban yang diterima impeller dan shaft pompa lebih besar lagi. Fenomena ini dapat mengurangi ketahanan shaft di kemudian hari, dan dapat mengakibatkan deformasi impeller.



Gambar 9.

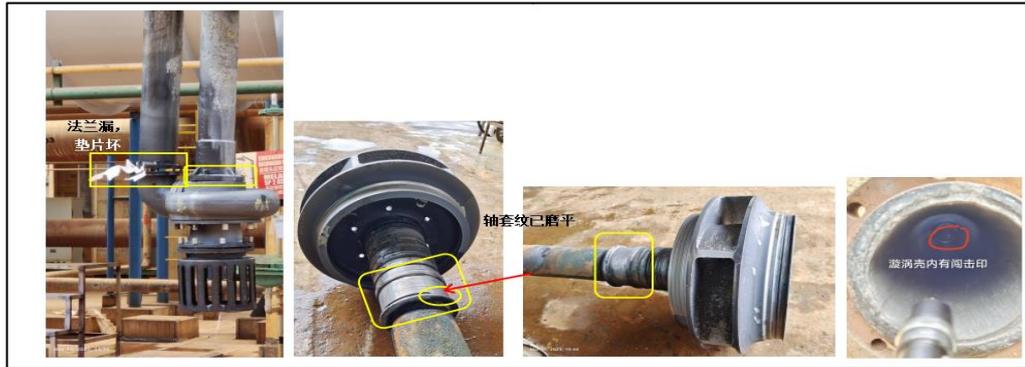
Jalur perpipaan dari tiga pompa asam di tangki sirkulasi asam V1301 menuju tiga absorption tower di Pabrik Asam Sulfat PT XYZ

- 3. Pada 14 Maret 2023, dilakukan kegiatan maintenance untuk mengganti pompa P1301 dan P1302. Sebagaimana tertera dalam laporan maintenance, ditemukan bahwa beberapa baut pada cage inlet pompa telah putus, hilang, berubah bentuk, dan terjadi erosi pada cage (lihat Gambar 8). Shaft sleeve kedua pompa juga tererosi parah hingga rata di beberapa bagian (lihat Gambar 9 dan Gambar 10).



Gambar 10.

Tingkat kerusakan yang dialami oleh cage pompa P1301 dan P1302.



Gambar 11.

Tingkat kerusakan yang dialami oleh *shaft* pompa P1301.



Gambar 12.

Tingkat kerusakan yang dialami oleh *shaft* pompa P1302

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan studi kasus di atas, dapat ditarik Kesimpulan bahwa saat terjadi *forced shut down*, terjadi *back flow* pada pipa vertikal menuju *absorption tower*, sehingga *impeller* dan *shaft* pompa mengalami pemutaran arah secara terbalik. Dalam jangka panjang, fenomena ini dapat mengakibatkan kerusakan pada *impeller* dan *shaft* pompa. Ketiga pompa mengalami permasalahan yang sedikit berbeda, namun hasil akhirnya hampir sama. Perbedaannya terletak pada posisi pompa dengan keluaran *diluting water* yang menghasilkan suhu asam yang berbeda di sekitar pompa P1302 dengan pompa lainnya. Namun, permasalahannya pompa P1302 tidak separah pompa lainnya karena laju alir operasional pompa P1302 lebih kecil dibandingkan kedua pompa lainnya. Saat terjadi *black out*, ketiga pompa otomatis berhenti, dan tidak ada *back up power* (suplai listrik cadangan seperti UPS atau genset).

Beberapa saran perbaikan diajukan untuk mengatasi terjadinya permasalahan yang sama kedepannya. *Bolt cap* pada *inlet cage* pompa dapat dilas ke badan pompa untuk mencegah dislokasi pada baut, yang berefek memberikan proteksi lebih lanjut pada *cage* pompa agar tidak mengalami erosi akibat gesekan dengan baut yang longgar. Disarankan untuk dipasang *check valve* di dekat jalur pipa keluaran setiap pompa untuk melindungi *impeller* dan *shaft* dari *back flow* cairan asam sulfat saat pengurangan frekuensi pompa.

Kemudian, dapat diajukan penambahan UPS atau genset manual cadangan yang terhubung pada ketiga pompa asam, yang bertujuan untuk memberikan waktu tambahan yang diperlukan untuk menurunkan frekuensi pompa secara bertahap hingga pompa dapat berhenti dengan aman. Alternatif lainnya, dapat juga ditambahkan sistem *emergency power* untuk pompa asam sekaligus untuk beberapa mesin lainnya yang bertegangan tinggi untuk mencapai tujuan proteksi yang lebih komprehensif. Jika sudah terpasang UPS atau genset manual cadangan untuk ketiga pompa asam Fasilitas *Drying & Absorption* Pabrik Asam Sulfat PT XYZ, untuk pompa asam maupun mesin lainnya yang dioperasikan dengan daya yang besar, perlu lebih diperhatikan alokasi waktu henti yang diperlukan saat menyusun prosedur standar operasional *forced shut down*. Proses *shut down* khusus mesin berputar bertegangan tinggi (dalam studi kasus ini yaitu P1301, P1302, dan P1303) diusahakan tidak kurang dari 15 menit. Akan lebih baik lagi jika ketiga pompa tersebut dioperasikan untuk sirkulasi asam secara internal sistem selama 30 menit setelah proses produksi berhenti total, dalam laju alir beban kerja minimal pompa, untuk melakukan proses pendinginan seluruh pipa dan pompa secara perlahan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Das, O., Das, D. B., Birant, D. (2023). Machine Learning for Fault Analysis in Rotating Machinery: a Comprehensive Review. *Heliyon*, 9(6), e17584.
2. Gao, J., Tian, L., Zhu, R. (2023). 变电系统一次设备的故障与应对措施分析 (Analisis Permasalahan dan Langkah Penanganan dalam Sistem Gardu Listrik Induk). *Viser Technology*, 6(11), 10785.
3. Linda, M. (2022a). Laporan Internal Produksi Pabrik Asam Sulfat Bulan November 2022. *Laporan tidak dipublikasikan*. Maluku Utara: Departemen Teknologi. PT XYZ.
4. Linda, M. (2022b). Laporan Internal Produksi Pabrik Asam Sulfat Bulan Desember 2022. *Laporan tidak dipublikasikan*. Maluku Utara: Departemen Teknologi, PT XYZ.
5. Linda, M. (2023a). Laporan Internal Produksi Pabrik Asam Sulfat Minggu Ke-6 Tahun 2023. *Laporan tidak dipublikasikan*. Maluku Utara: Departemen Teknologi, PT XYZ.
6. Linda, M. (2023b). Laporan Kegiatan Pemeliharaan, Perawatan, dan Perbaikan 14 Maret 2023 pada Fasilitas Drying Absorbing 1# di Pabrik Asam Sulfat. *Laporan tidak dipublikasikan*. Departemen Teknologi. PT XYZ.
7. Liu, S., Qi, Y., Zhao, S., Ding, R., et.al. (1992). 硫酸生产技术 (Teknologi Produksi Asam Sulfat). Jiangsu: Jiangsu Southeast University.
8. O'Connor, D. & Gutierrez, J. (2020a). Reveal The Unmonitored Risks In Your Rotating Equipment: The Effects Of Torsional Vibration-Part 1. *Hydrocarbon Processing Electronic Magazine*. (online). <https://www.hydrocarbonprocessing.com/magazine/2020/january-2020/valves-pumps-and-turbomachinery/reveal-the-unmonitored-risks-in-your-rotating-equipment-part-1>. Diakses 21 September 2024.
9. O'Connor, D. & Gutierrez, J. (2020b). Reveal The Unmonitored Risks In Your Rotating Equipment: The Effects Of Torsional Vibration-Part 2. *Hydrocarbon Processing Electronic Magazine*. (online). <https://www.hydrocarbonprocessing.com/magazine/2020/february-2020/valves-pumps-and-turbomachinery/reveal-the-unmonitored-risks-in-your-rotating-equipment-the-effects-of-torsional-vibration-part-2> . Diakses 21 September 2024.