

EVALUASI KEANDALAN DESAIN FRESH AIR DAMPER 5J1S02 DAN 5J1S04 DI PABRIK SEMEN INDARUNG V

Santoro¹, Elita Amrina¹

¹ Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

^{2,3,4} Departemen Teknik Industri, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

¹ email: slawinese2002@gmail.com

[submitted: 27-12-2023 | review: 24-04-2024 | published: 30-04-2024]

ABSTRACT: One of the factory equipment that is very important in the cement production process is the suspension preheater used to heat cement raw materials before entering the rotary kiln for the combustion process or clinkerization process to produce clinker which in the next stage is ground into cement. In a suspension preheater kiln system, using a damper is vital because it regulates the flow of hot gas and material in the kiln and adjusts to the operating parameters of the equipment. Therefore, damper operation is reliable and meets safety regulations. One of the dampers used in the suspension preheater system at the Indarung V factory is a fresh air damper which functions to limit the temperature of the gas in the suspension preheater which will be pulled by the ID Fan so that overheating does not occur in the ID Fan impeller. In its operations, the fresh air damper at the Indarung V cement factory often experiences malfunctions caused by damage to the damper actuator due to exposure to heat from hot gases passed through the damper. This project aims to increase the reliability of the damper actuator and minimize maintenance costs, namely by modifying the mechanical power transmission design from the actuator to the damper shaft to reduce the impact of exposure to hot gases and modifying the actuator type from a modulating type to an open-close actuator type following operational needs and PUIL 2011, as well as to meet personnel safety needs. According to the results of commissioning tests and observations carried out from early August 2023 to November 2023, it was found that the test results and performance of the fresh air damper using the open-close actuator type damper functioned according to process requirements without experiencing damage to the actuator caused by exposure to heat in its operation.

KEYWORDS: Actuator, Fresh air Damper, Modulating, Power Transmission.

ABSTRAK: Salah satu peralatan pabrik yang sangat penting dalam proses produksi semen adalah suspension preheater yang digunakan untuk memanaskan bahan baku semen sebelum masuk ke dalam rotary kiln untuk proses pembakaran atau proses klinkerisasi sehingga menghasilkan klinker yang dalam tahap berikutnya digiling menjadi semen. Dalam sistem suspension preheater kiln, penggunaan damper menjadi vital karena berfungsi untuk mengatur aliran gas panas dan material di dalam kiln dan untuk menyesuaikan dengan parameter operasi peralatan. Oleh sebab itu pengoperasian damper yang andal dan memenuhi kaidah safety. Salah satu damper yang digunakan dalam sistem suspension preheater pabrik indarung V adalah fresh air damper yang berfungsi untuk membatasi temperatur gas pada suspension preheater yang akan ditarik oleh ID Fan sehingga tidak terjadi overheating pada impeller ID Fan. Dalam operasionalnya, fresh air damper di pabrik semen indarung V sering mengalami gagal fungsi yang disebabkan oleh kerusakan aktuator damper sebagai akibat dari paparan panas dari gas panas yang dilewatkan oleh damper. Proyek ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan aktuator damper, meminimalisir biaya pemeliharaan yaitu dengan memodifikasi desain transmisi daya mekanis dari aktuator ke shaft damper untuk mengurangi dampak paparan panas gas dan memodifikasi tipe aktuator dari tipe modulating menjadi tipe open-close actuator sesuai dengan kebutuhan operasional dan PUIL 2011, serta untuk memenuhi kebutuhan safety personil. Sesuai hasil commissioning test dan pengamatan yang dilakukan pada awal agustus 2023 hingga bulan november 2023, didapatkan bahwa hasil pengetesan dan kinerja fresh air damper dengan menggunakan tipe open-close actuator damper berfungsi sesuai kebutuhan proses tanpa mengalami kerusakan aktuator yang disebabkan oleh paparan panas dalam operasionalnya.

Kata kunci:

KATA KUNCI: Actuator, Fresh air Damper, Modulasi, Transmisi daya

I. PENDAHULUAN

Salah satu peralatan yang digunakan dalam proses produksi semen adalah *damper* atau valve, yang berfungsi untuk mengontrol aliran gas dalam suatu

ducting. Keandalan, *safety* dan pertimbangan pemeliharaan menjadi faktor yang penting sehingga pabrik dapat beroperasi dengan lancar. Di PT Semen Padang salah satu aplikasi penggunaan *damper* yaitu

untuk *fresh air damper* yang berfungsi untuk pengaturan dan membatasi suhu gas *inlet ID Fan* dengan cara membuang gas panas atau menarik udara lingkungan ke dalam sistem *suspension preheater*.

Permasalahan sering terjadi pada *fresh air damper* berupa kerusakan aktuator karena terpapar panas dari gas yang mengalir saat digunakan sebagai akibat dari desain *damper* yang kurang optimal. Untuk penggantian aktuator membutuhkan waktu pengadaan yang lama dan mahal sehingga selama aktuator *damper* mengalami kerusakan, operasional *damper* dilakukan secara manual yang secara *safety* tidak aman bagi operator di lapangan. Proyek revitalisasi *fresh air damper* ini bertujuan untuk mendapatkan desain yang optimal dari faktor kebutuhan proses, pemeliharaan dan memenuhi kebutuhan *safety* bagi operator.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. PROSES PRODUKSI SEMEN

Proses produksi semen secara umum melalui beberapa tahap yaitu mulai dari penyediaan bahan mentah, penggilingan dan pencampuran bahan mentah, pembakaran dan penggilingan akhir.

Penyediaan bahan mentah didapat dari proses penambangan berupa material *Limestone* (CaCO_3), *Silika* (SiO_2), Tanah liat/*clay* (Al_2O_3), dan Pasir besi/*iron sand* (Fe_2O_3) yang selanjutnya di giling bersama dan dikeringkan dengan gas panas dalam *raw mill plant* dengan komposisi *Limestone* dengan sekitar 81%, *Silika* (SiO_2) sekitar 9%, Tanah liat/*clay* dengan sekitar 9% dan Pasir besi/*iron sand* dengan komposisi sekitar 1%. Hasil penggilingan berupa *raw meal* disimpan dalam sebuah silo untuk proses homogenisasi.

Tahap berikutnya adalah berupa proses pembakaran *raw meal* dengan tujuan untuk menghasilkan reaksi kimia dan pembentukan senyawa diantara oksida-oksida yang terdapat pada bahan mentah. Pembakaran ini dilakukan sampai mencapai suhu maksimum 1450 °C. Pada tahap pembakaran terjadi beberapa proses yaitu:

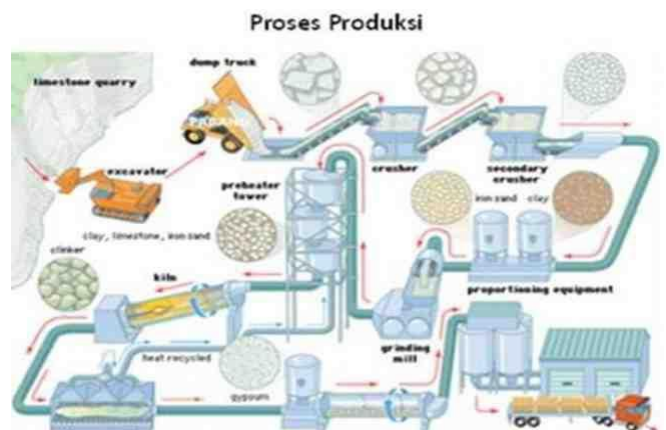
- Preheating*: terjadi proses pengeringan rawmeal dan penguraian Al_2O_3 . *Preheating* terjadi pada peralatan *suspension preheater*.
- Kalsinasi : terjadi pada suhu 600 °C, dimana pada proses ini terjadi pelepasan CO_2 dari *Carbonat* yang ada. Proses kalsinasi terjadi pada peralatan *Calciner*.
- Pemijaran/*Sintering*: terjadi pada suhu lebih kurang 1440 – 1460 °C reaksi-reaksi antara oksida-oksida yang terdapat didalam bahan baku. Reaksi-reaksi tersebut akan menghasilkan senyawa-senyawa potensial didalam klinker, yaitu

C4AF, C3A, C2S dan C3S. Proses pemijaran terjadi pada peralatan yang disebut kiln.

- Cooling*: proses pendinginan dilakukan secepatnya agar diperoleh klinker yang reaktif. Proses *cooling* terjadi pada *rotary/planetary/grate coolers*.

Bahan bakar untuk pembakaran ini dalam kiln adalah batu bara (*coal*) yang dijadikan serbuk (*fine coal*). *Raw meal* yang telah mengalami pembakaran di dalam kiln selanjutnya didinginkan di dalam *cooler*. Material yang keluar dari kiln inilah yang sebagai disebut klinker (*clinker*).

Tahap akhir proses pembuatan semen adalah penggilingan akhir. Klinker yang dihasilkan dari proses pembakaran selanjutnya diumpukan ke dalam *cement mill* untuk dihaluskan sesuai target kualitas. Pada proses penggilingan di *cement mill* ditambahkan material ketiga dan keempat berupa *limestone* dan *pozzolan* yang bertujuan untuk menghemat pemakaian klinker dan meningkatkan sifat-sifat semen tersebut.

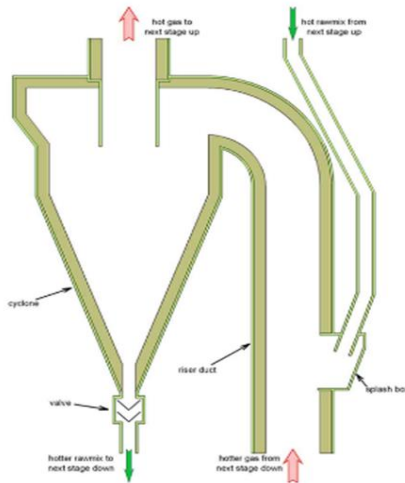


Gbr 1. Proses produksi semen (www.semenpadang.co.id/proses-produksi-semen)

B. PERALATAN UTAMA SUSPENSION PREHEATER

Suspension preheater merupakan salah satu peralatan produksi untuk memanaskan *raw meal* sebelum masuk ke dalam rotary kiln. *Suspension preheater* terdiri dari siklon untuk memisahkan bahan baku dari gas pembawanya, dan riser duct yang lebih berfungsi sebagai tempat terjadinya pemanasan *raw meal* (karena hampir 80% -90% pemanasan *raw meal* berlangsung di *riser duct*), dan kalsiner (untuk sistem-sistem dengan proses prekalsinasi yang diawali di *suspension preheater*) sebelum bahan umpan masuk ke dalam kiln. Proses dalam siklon dan *riser duct* ini diulangi beberapa kali (*stage*) – biasanya tiga hingga enam – dengan menumpuk saluran "*riser*" dan siklon di atas satu sama lain dalam sebuah bangunan atau struktur. Dengan pertukaran panas yang berulang-ulang, maka sebagian besar panas dalam gas buang kiln dapat ditangkap, sekaligus memanaskan campuran

bahan mentah hingga mencapai suhu kalsinasi. Sisa panas yang keluar dari bagian paling atas *preheater* akan digunakan untuk memanaskan *raw mill*.



Gambar 2. Proses Pertemuan *hot gas* dan material di dalam *suspension preheater*
(https://www.cementkilns.co.uk/suspension_preheater_kilns.html)

Dengan melihat fungsi dan prinsip kerja *preheater*, maka hal yang sangat mempengaruhi efektifitas dan efisiensi proses pembakaran adalah pengaturan aliran gas. Aliran udara dalam *suspension preheater* memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi dan kinerja keseluruhan sistem. Berikut adalah beberapa pengaruh utama dari flow gas pada *suspension preheater*.

- Pemanasan Bahan Baku
- Pengendalian Suhu
- Pemisahan Bahan Baku
- Kondisi Pembakaran
- Pengendalian Debu
- Efisiensi Energi

C. PENGGUNAAN DAMPER DI PABRIK SEMEN

Berdasarkan fungsi dan prinsip kerja *preheater*, kontrol terhadap aliran udara atau gas menjadi sangat penting dalam proses *preheating*, dimana kontrol aliran udara tersebut menggunakan katup (*valve*) atau lebih dikenal dengan *damper* yang dipasang pada *ducting inlet fan* maupun dibagian sistem *ducting*.

D. JENIS-JENIS VALVE ATAU DAMPER

Ada beberapa tipe valve atau biasa di sebut *damper* untuk valve yang terpasang di *ducting*, yang umumnya dipakai di pabrik semen yaitu antara lain:

- *Louvre Damper*
- *Butterfly Damper*
- *Guillotine Damper*
- *Radial Vane Damper*

Pada *suspension preheater* kiln umumnya dan khususnya di pabrik semen indarung V, ada 2 (dua) tipe *damper* yang digunakan yaitu jenis *louvre* dan jenis *butterfly*. Jenis *louvre* ini di pasang pada *ducting inlet ID Fan suspension preheater*, sedangkan jenis *butterfly damper* ini digunakan pada *exhaust ducting* atau *Fresh air Damper*. Untuk menggerakkan kedua *damper* ini, diperlukan peralatan yang disebut dengan aktuator (*Actuator*).

E. ACTUATOR DAMPER

Aktuator, dalam konteks teknologi dan rekayasa, merujuk pada perangkat atau sistem yang bertanggung jawab dalam menggerakkan atau mengendalikan suatu mekanisme atau proses. Dengan kata lain, aktuator berperan sebagai pengubah energi yang diterimanya menjadi gerakan fisik yang diinginkan. Secara umum, aktuator dapat berupa perangkat hidrolik, pneumatik, elektromekanik, atau bahkan merupakan kombinasi dari beberapa teknologi tersebut. Umumnya, aktuator terdiri atas:

- Sumber energi,
- Konverter daya
- Pengontrol
- Beban yang digerakkan

F. MOTOR OPERATED VALVE (MOV) DAMPER

Motor operated valves (MOV) atau *damper* adalah salah satu aktuator yang paling banyak digunakan di pabrik semen. *Damper* yang dioperasikan dan dikontrol oleh motor dapat bermacam-macam jenisnya, misalnya jenis *louvre*, *slide gate*, *butterfly* dan lainnya. Desain peralatan mesin dan *damper* mungkin saja berbeda tergantung fungsi dan posisi pemasangannya. Motor listrik dipasang pada *damper* dan daya motor ditransmisikan menggunakan gear pada shaft *damper* sehingga pada saat mesin hidup, *damper* akan membuka atau menutup.

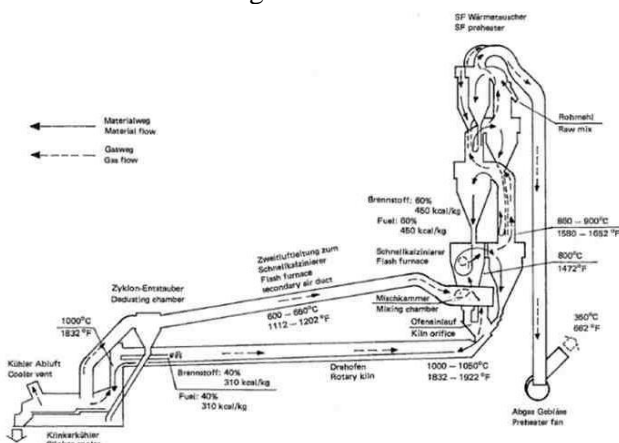
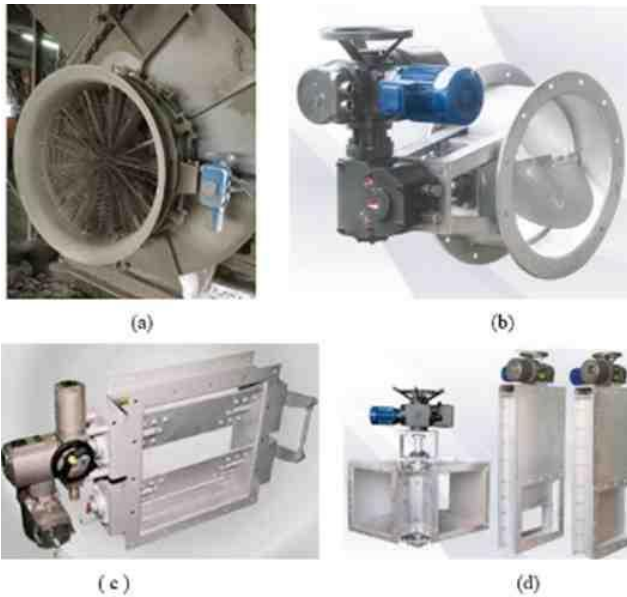


Fig. 20.22. SF-Wärmetauscher-Verfahren — Fließdiagramm Fig. 20.22. Flow chart of SF-preheater process

Gbr 3. Peralatan pembakaran *raw meal* pada pabrik semen

(www.cementequipment.org/home/suspension-preheaters-with-precalciner/)



Gbr 4. Jenis damper di pabrik semen

(a) radial vane (b) butterfly (c) Louvre (d) guillotine & dividing gate

Damper yang dikontrol oleh motor dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan tipe pengaturan bukaan *damper* di aktuaternya yaitu:

- *Open – Closes* atau *ON-OFF Damper*,
- *Flow Damper* dan
- *Inching Valve Damper*.

G. TRANSMISI DAYA MEKANIS

Transmisi tenaga mekanis mengacu pada transfer energi mekanik (gerakan fisik) dari satu komponen ke komponen lainnya dalam suatu mesin. Kebanyakan mesin memerlukan suatu bentuk transmisi tenaga mekanis. Dalam kebanyakan kasus, gerakan rotasi penggerak mula (*prime mover*) diubah menjadi gerakan rotasi dari mesin yang digerakkan. Namun kecepatan, torsi dan arah dapat saja berubah. Elemen-elemen mesin yang berbeda dapat mentransmisikan daya antar poros (*shaft*) dalam mesin. Metode transmisi tenaga mekanis yang paling umum digunakan dalam industri saat ini adalah:

1) Shaft couplings

Keunggulan:

- Perawatannya rendah
- Dapat meredam guncangan dan getaran
- Dapat menangani misalignment radial dan aksial
- Menyediakan isolasi panas
- Tersedia desain bebas perawatan dan berpelumas permanen

Kelemahan:

- Tidak dapat digunakan untuk *non-intersecting parallel shafts*
- Kopling yang kaku dapat merusak *shaft*, jika terjadi ketidaksejajaran atau *misalignment*.

- *Backlash* dapat terjadi selama masa pakai, menyebabkan kopling, bantalan (*bearing*), dan komponen penggerak mengalami tekanan tambahan
- Beberapa kopling mungkin kendor seiring berjalannya waktu, sehingga merusak komponen penggerak.

2) Belt drives

Keunggulan :

- *Belt drive* lebih terjangkau dibandingkan penggerak lainnya karena biaya komponen yang rendah dan efisiensi yang tinggi
- Dapat mengirimkan daya dalam jarak jauh
- Pengoperasian lebih lancar dan senyap dibandingkan dengan *chain drive*.
- Dapat menyerap guncangan dan getaran
- *Belt drive* memberikan perlindungan beban berlebih pada tingkat tertentu melalui selipnya sabuk
- Ringan dan relatif tahan lama
- Biaya perawatan rendah

Kelemahan :

- *Slip* yang terjadi dapat merubah rasio kecepatan.
- Umur pemakaian yang pendek jika tidak dirawat dengan baik
- Rentang kecepatan operasi terbatas.
- Mereka memberikan beban berat pada *bearing* dan *shaft*
- Untuk mengimbangi keausan dan peregangan, diperlukan *idler pulley* atau penyesuaian jarak pusat

3) Chain drives

Keunggulan :

- Penggerak rantai (*chain*) lebih *compact* daripada *belt drive* dan dapat dipasang di ruang yang relatif sempit.
- Itu dapat mentransfer torsi dalam jarak jauh
- Berbeda dengan *belt drive*, *chain drive* tidak ada *slip*
- Satu *chain drive* dapat memberi daya pada beberapa poros (*shaft*) sekaligus
- Ia memiliki efisiensi mekanis yang tinggi karena sedikit gesekan
- *Chain drive* dapat bekerja di semua jenis lingkungan (kering, basah, abrasif, korosif, dan lain lain.) dan tahan terhadap suhu tinggi

Kelemahan :

- Berisik (*noisy*) dan juga dapat menimbulkan getaran.
- *Chain drive* tidak dapat bekerja pada *non-parallel shafts*
- Beberapa desain memerlukan pelumasan yang rutin
- Ketidaksejajaran dapat menyebabkan rantai terlepas
- *Chain drive* biasanya membutuhkan penutup
- Diperlukan suatu pengaturan pengencangan rantai berupa *sproket idler* pengencang

4) Gear drives

Keunggulan :

- Cocok untuk aplikasi transmisi tenaga mekanis tinggi
- *Gear* kokoh dan memiliki masa pakai yang lama
- Pengaturan ringkas
- Roda gigi memiliki efisiensi tinggi dan tidak timbul *slip*.

Kelemahan :

- Tidak cocok bila jarak antar *shaft* panjang, diperlukan sambungan langsung.
- Rentan terhadap getaran dan kebisingan
- *Gear* merupakan logam berat dan menambah bobot mesin.
- Tidak menawarkan fleksibilitas apa pun.
- Membutuhkan pelumasan
- Beban kejut dapat merusak *gear*
- Lebih mahal dibandingkan penggerak lainnya (*chain, belt, dan lainnya*)
- *Meshing gears* (tautan antar gear) memerlukan penyelarasan (*alignment*) yang tepat.

5) Power screws (lead screws)

Keunggulan :

- *Lead screw* murah dan dapat diandalkan karena hanya memiliki beberapa bagian.
- Beberapa *lead screw* memiliki sifat *self-locking*
- Ini memerlukan sedikit atau tanpa pemeliharaan
- Mampu mengangkat beban berat
- Pengoperasian yang lancar dan senyap.
- *Low-pitch screws* dapat memberikan pengukuran yang sangat presisi, yang sangat penting dalam aplikasi peralatan mesin (Mikrometer bekerja dengan prinsip yang sama).

Kelemahan :

- Tingkat keausan yang tinggi dibandingkan dengan metode transmisi tenaga mekanis lainnya
- *Lead screw* memiliki efisiensi yang buruk
- Tidak cocok untuk transmisi tenaga mekanis dengan kebutuhan torsi yang sangat tinggi.



Gbr 5. Tipe-tipe transmisi daya mekanis

(<https://eepower.com/technical-articles/belts-chains-and-gears-how-power-transmission-works/>)

Pemilihan transmisi daya mekanis yang penting dan akan membantu dalam pemilihan metode yang tepat untuk kebutuhan mesin/peralatan.

- Sudut antar *shaft*
- Jarak antara penggerak (*prime mover*) dan beban yang digerakkan.
- Torsi
- Temperatur
- Pertimbangan pemeliharaan

Umumnya sistem penggerak suatu peralatan juga didesain dengan memperhitungkan faktor *safety* peralatan dari kondisi pembebanan berlebih sehingga tidak menimbulkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan mekanikal maupun kontrol. Biasanya ketika terjadi beban berlebih maka bagian sistem transmisi mekanik ini yang akan dikorbankan dan memutuskan tenaga mekanis yang ditransmisikan oleh penggerak mula (*prime mover*).

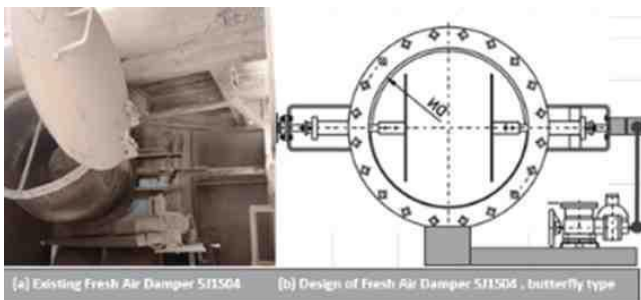
H. KONDISI OPESIONAL AKTUATOR FRESH AIR DAMPER (FAD) PABRIK INDRUNG V

Pabrik semen indarung V memiliki 2 (dua) unit *fresh air damper* di *suspension* prehettaer yaitu 5J1S02

dan 5J1S04. Fungsi utama pemakaian *fresh air damper* adalah untuk melindungi Fan (*ID Fan suspension preheater*) dari kondisi *overheating*. Berdasarkan data dari pabrikan fan, temperatur operasional maksimal yang diperbolehkan secara kontinu adalah 400 oC. *Overheating* pada fan akan menyebabkan *impeller* fan akan mengalami *wobling* sehingga menyebabkan vibrasi tinggi dan juga *impeller* fan akan mudah terkikis yang berdampak pada kapasitas fan yang menurun dan vibrasi tinggi jika laju pengikisan tidak seimbang di tiap blade.



Gbr 6. Lokasi pemasangan FAD – Pabrik Indarung V

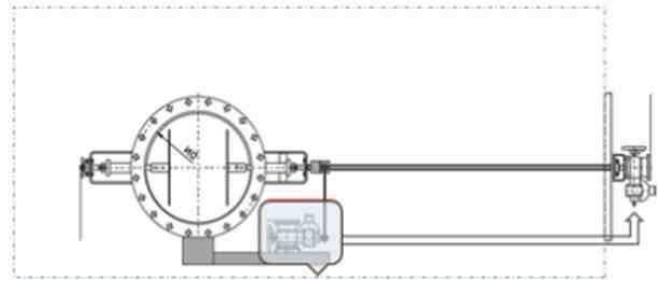


Gbr 7. Desain *Fresh air Damper* (Eksisting) – Pabrik Indarung V

Kerusakan aktuator sering terjadi karena pengaruh panas dari gas yang keluar dari *damper* sehingga menyebabkan kabel dan aktuator yang didalamnya berisi modul-modul kontrol dan motor terbakar (*overheating*), sehingga pengoperasian manual dilakukan secara langsung di dekat *damper* oleh operator. Hal ini sangat berisiko operator terpapar gas panas dan dapat mengalami sesak nafas ketika sedang membuka atau menutup *damper* secara manual.

Modifikasi poros (*shaft*) *damper* juga telah dilakukan yaitu dengan memperpanjang shaft menggunakan *coupling* dan dipasang *modulating actuator damper* di ujung *shaft* (jauh dari sumber panas) untuk mengurangi induksi dan radiasi panas dari gas panas buang, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8. Namun modifikasi tersebut hasilnya kurang efektif karena rambatan panas masih cukup tinggi dan sampai

ke modul kontrol dari aktuator serta terjadi kerusakan pada karet *coupling* yang menyebabkan *damper* tidak bisa terbuka dan tertutup penuh.



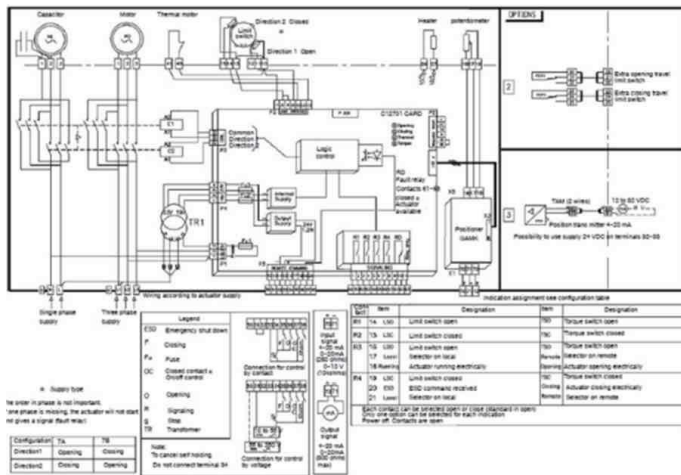
Gbr 8. Modifikasi shaft dan relokasi aktuator *damper*.

I. KONDISI OPESIONAL AKTUATOR FRESH AIR DAMPER (FAD) PABRIK INDARUNG V

Berikut adalah data desain spesifikasi *Fresh air Damper* (FAD) di *suspension preheater* indarung V sebelum dilakukan revitalisasi

- Tipe *Damper* : *Butterfly*
- Diameter Ducting : 900 mm
- Tipe Transmisi : *Gear with Rod & Arm*
- *Actuator* : *Modulating MOV Damper (Positioner 0 - 100%)*
- *Actuator Brand* : Bernard – Type ASP
- Tipe *Actuator Motor* : *Squirrel Cage* (sangkar)
- *Ambient Temperature* : -20 s.d 70 °C
- *Power Rating* : 0,03 kW/0.3 A/400V/50Hz
- *Insulation Class* : F (135 °C)
- *Operasi Damper* : 100 % (90°)
- *Open-Close Time* : 30 detik.

Tipe aktuator yang digunakan adalah tipe untuk pengaturan *precision flow damper* dimana operasi *damper* dapat diatur bukaannya di posisi manapun dari 0 (no) % sampai 100 % sesuai kebutuhan temperatur proses, namun dalam aktualnya bukaan *damper* selalu diposisikan pada bukaan *damper* full open (100%) untuk memenuhi kecepatan penurunan temperature dan pada posisi *full closed* (0 %) saja saat pabrik sedang berproduksi. Kondisi seperti ini dapat dikatakan *overspecification* sehingga tidak optimal dalam hal penggunaan dan kemudahan dan biaya pemeliharaan.

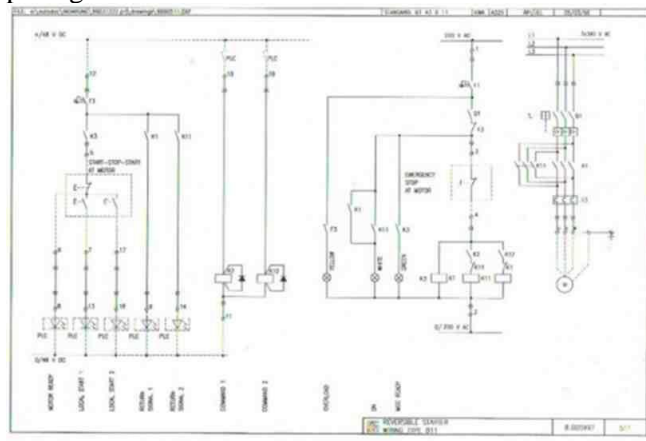


Gbr 9. Wiring diagram kontrol aktuatur merk Bernard

J. MODIFIKASI FRESH AIR DAMPER 5J1S02 DAN 5J1S04

Dengan pertimbangan seringnya terjadi kerusakan aktuatur, kemudahan pemeliharaan, biaya pemeliharaan yang mahal, *delivery time* pengadaan lama dan kebutuhan operasional *damper* yang hanya dioperasikan pada posisi *Open* atau *Close* saja serta agar memenuhi kaidah *safety* dalam pekerjaan maka direncanakan revitalisasi *fresh air damper* dengan modifikasi model transmisi mekanis yang awalnya berupa *Gear drive with Rod & Arm*, diubah menjadi model transmisi *chain drive with sprocket* untuk meminimalisir induksi panas dari *damper* sampai ke *drive motor*. Modifikasi juga dilakukan dengan mengganti tipe *actuatur* dari model *Modulating* atau *positioner* (0 - 100%) *MOV Damper*, diubah menjadi model *Open-Close MOV Damper*.

Kontrol aktuatur *damper* jenis *Open-Close* ini dapat dibuat dengan menggunakan sebuah motor dan gearbox dengan rasio atau output putaran gearbox tertentu sesuai perhitungan desain serta perubahan *wiring* atau unit *diagram* kontrol motor menjadi tipe *starter reversible* atau *forward-reverse* sebagaimana pada gambar 10.



Gbr 10. Wiring diagram starter reversible untuk motor damper di panel MCC

Untuk indikasi kondisi *damper* sudah mencapai *Full Open* dan *Full Closed* maka ditambahkan masing-masing sensor berupa limits switch yang berfungsi juga untuk mencegah pergerakan *damper* dari kejadian *overposition* yang dapat menyebabkan motor mengalami *overload*.

Dalam mendesain sistem kontrol *damper*, khususnya terkait dengan perencanaan instalasi kelistrikan pabrik tidak lepas dari panduan yang harus dipenuhi yaitu menggunakan standar PUIL 2011. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan peralatan pengaman dan penghantar sesuai dengan PUIL 2011 sub bab 510.5 adalah:

1) Ketahanan arus hubung pendek

Kapasitas penghantar harus tahan terhadap kemungkinan terjadinya hubungan pendek dan berlaku juga untuk peralatan peralatan seperti *switchboard*, *Fuse*, *Circuit breaker* dan lain-lain. Pada circuit breaker dikenal *breaking capacity*, dinyatakan dalam satuan kA. *Breaking Capacity* paling sedikit sama dengan arus hubung singkat prospektif yang mungkin terjadi. Berikut rumus untuk menghitung *breaking capacity*:

$$BC = V/Zt \dots\dots\dots (1)$$

$$Zt = V^2/P_{tot} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

BC : Breaking Capacity (Amp)

V : Tegangan (Volt)

Zt : Impedansi beban (Ohm)

Ptot : Daya total (Watt)

2) Susut tegangan

Susut tegangan pada kondisi beban penuh dan kondisi starting motor sesuai dengan standar dan permintaan proyek harus mengikuti :

- (a) Tidak lebih dari 4 % pada kondisi arus nominal kondisi kontinu pada sirkuit AC
- (b) Tidak lebih dari 20 % pada kondisi arus starting motor pada sirkuit AC
- (c) Susut tegangan antara terminal konsumen dan sembarang titik dari instalasi tidak boleh melebihi 4 % dari tegangan pengenal pada terminal konsumen.

3) Pemutus tegangan

- (a) Setiap motor harus dilengkapi dengan sarana pemutus tersendiri, kecuali motor dengan daya pengenal tidak lebih dari 1,5 kW.
- (b) Sarana pemutus harus mempunyai kemampuan arus sekurang-kurangnya 115 persen dari arus beban penuh motor.
- (c) Gawai proteksi (*circuit breaker*) harus dipilih yang mempunyai nilai arus pengenal lebih rendah atau sama dari KHA penghantar.

4) Kemampuan hantaran arus

Penentuan luas penampang kabel



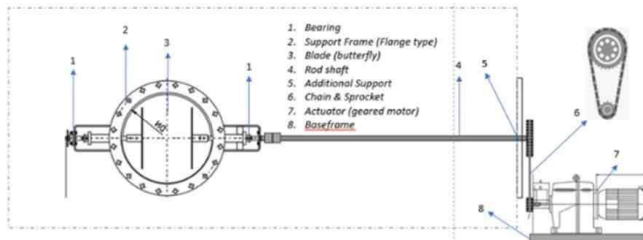
- (a) Penghantar sirkit akhir yang menyuplai motor tunggal tidak boleh mempunyai KHA kurang dari 125 % arus pengenal beban penuh. Di samping itu, untuk jarak jauh perlu digunakan penghantar yang cukup ukurannya hingga tidak terjadi susut tegangan yang berlebihan.
- (b) Penghantar sirkit akhir untuk motor dengan berbagai daur kerja dapat menyimpang dari ketentuan di atas asalkan jenis dan penampang penghantar serta pemasangannya disesuaikan dengan daur kerja tersebut.

5) Persiapan

Pada tahap persiapan ini dilakukan penentuan aktivitas perubahan desain, persiapan material, dan perencanaan pekerjaan.

(a) Aktivitas perubahan desain :

Berikut ini adalah konsep desain perubahan *fresh air damper* 5J1S02 dan 5J1S04.

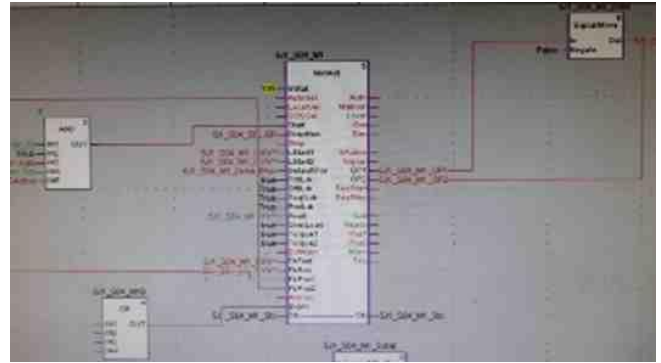


Gbr 11. Desain perubahan *damper*

Secara umum, perubahan dilakukan hanya pada 2 (dua) komponen yaitu yang pertama pada tipe transmisi daya dari yang awalnya menggunakan tipe *Gear with Rod & Arm*, diubah menjadi tipe transmisi chain & sprocket untuk meminimalisir efek rambatan panas. Perubahan yang kedua adalah perubahan tipe *actuator* dari tipe *modulating* atau *positioner* (0 - 100%) *MOV Damper*, diubah menjadi model *Open-Close MOV Damper* dengan penyesuaian tipe kontrol motor pada MCC menjadi tipe *reversible* dan perubahan program PLC.



(a)



(b)

Gbr 12. Program PLC (function block) *fresh air damper* (a) 5J1S02 pada string SP A, (b) 5J1S04 pada string SP B

Merek PLC yang digunakan di pabrik Indarung 5 adalah Schneider dengan tipe produk X80, sementara HMI yang digunakan juga menggunakan merek schneider dengan tipe produk Plant Expert System PES V4.3.

Tbl 1. Address PLC Kontrol *Fresh air Damper* (a) 5J1S02 pada String SP A, (b) 5J1S04 pada String SP B

Fungsi	Tipe	Kode	Address IO Lama	Address IO Baru
Motor Ready (status)	IR	5J1_S04_M1_RV	RLH102_d10_r1_s2_DDI1603.DIS_CH1_N1[VAU1F]	RLH102_d10_r1_s2_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F
Local Start-1 (Status-1)	IR	5J1_S04_M1_GKV	RHF102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH1_N1[VAU1F]	RHF102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F
Local Start-2 (Status-2)	DI	5J1_S04_M1_GVY	REF102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH1_N1[2].VAU1F	REF102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH_IN[2].VAU1F
Return Signal-1 (status 1)	DI	5J1_S04_M1_RKV	RLH102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH1_N1[2].VAU1F	RLH102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH_IN[2].VAU1F
Return Signal-2 (status-2)	DI	5J1_S04_M1_RVY	REF102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH1_N1[2].VAU1F	REF102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH_IN[2].VAU1F
Command-1 (Perintah-1)	DO	5J1_S04_M1_DKV	REF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[1].VAU1F	REF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[1].VAU1F
Command-2 (Perintah-2)	I/O	5J1_S04_M1_DVY	RHF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[2].VAU1F	RHF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[2].VAU1F
Position	AI	5J1_S02_M1_Z01_CHINV	REF102_d10_r1_s2_AMM0810.AMA_CH_IN[1].ANA.VAU1F	Tidak dipakai
Gate Closed	DI	5J1_S04_M1_FbPos1V	Tidak dipakai	RLH102_d3_r0_s10_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F
Gate Open	DI	5J1_S04_M1_FbPos2V	Tidak dipakai	RLH102_d3_r0_s10_DDI1603.DIS_CH_IN[2].VAU1F

Meterangan: CH - Digital Input, DV - Digital Output, AI - Analog Input, AO - Analog Output

(a)

Fungsi	Tipe	Kode	Address IO Lama	Address IO Baru
Motor Ready (status)	DI	5J1_S02_M1_RV	RLH102_d10_r1_s2_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F	RLH102_d10_r1_s2_DDI1603.DIS_CH_IN[12].VAU1F
Local Start-1 (Status-1)	DI	5J1_S02_M1_GKV	REF102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F	REF102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH_IN[12].VAU1F
Local Start-2 (Status-2)	IR	5J1_S02_M1_GVY	RLH102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F	RLH102_d10_r1_s3_DDI1603.DIS_CH_IN[13].VAU1F
Return Signal-1 (status 1)	DI	5J1_S02_M1_RKV	RLH102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F	RLH102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH_IN[12].VAU1F
Return Signal-2 (status-2)	DI	5J1_S02_M1_RVY	REF102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH_IN[1].VAU1F	REF102_d10_r1_s4_DDI1603.DIS_CH_IN[13].VAU1F
Command-1 (Perintah-1)	DO	5J1_S02_M1_DKV	REF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[1].VAU1F	REF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[5].VAU1F
Command-2 (Perintah-2)	DO	5J1_S02_M1_DVY	REF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[1].VAU1F	REF102_d10_r1_s5_DRA0815.DIS_CH_OUT[5].VAU1F
Position	AI	5J1_S02_M1_Z01_CHINV	REF102_d10_r1_s2_AMM0810.AMA_CH_IN[1].ANA.VAU1F	Tidak dipakai
Gate Closed	DI	5J1_S02_M1_FbPos1V	Tidak dipakai	RLH102_d3_r0_s10_DDI1603.DIS_CH_IN[3].VAU1F
Gate Open	DI	5J1_S02_M1_FbPos2V	Tidak dipakai	REF102_d3_r0_s10_DDI1603.DIS_CH_IN[4].VAU1F

Meterangan: CH - Digital Input, DV - Digital Output, AI - Analog Input, AO - Analog Output

(b)

(b) Aktivitas persiapan material meliputi :

- Pengadaan 2 Unit *Geared Motor*

Geared motor merupakan unit *prime mover* atau *drive* yang terdiri dari motor dan *gearbox* yang didesain khusus menjadi 1 (satu) unit. Pemilihan *geared motor* mengacu pada spesifikasi aktuatur *damper* khususnya pada parameter daya motor dan *output rotation per minutes (rpm)* dari *geared motor*. *Geared motor* yang dipakai menggunakan *geared motor* bekas dari *drive rapping sistem electrostatic precipitator 2J1P11* dengan spesifikasi,

Merek : BAUER

Type : DK 74D03 / 178 No. 1615888
 Tipe Motor : *Squirrel Cage* (sangkar)
 Power Rating : 0,04 kW/0,23A/380V/50Hz
 Insulation class : F (135 °C)
 Tegangan : 220/380 Vac (50Hz)
 Rpm (N1/N2) : 1330 /1

• Pengadaan 2 Unit Sensor posisi (*limit switches*)

Limits switches ini dipasang pada posisi *damper* terbuka penuh (*full Open*) dan pada posisi tertutup penuh (*full Close*) sebagai indikasi posisi bagi operator di lapangan dan *control room*. *Limit switches* ini juga digunakan sebagai proteksi *damper* dari beban lebih, khususnya pada saat posisi *damper* sesaat telah mencapai kondisi *full open* (100%) dan *full close* (0%), walaupun secara desain telah dilengkapi dengan *thermal overload relay (TOR)* pada panel MCC untuk mencegah terjadi *overload* dalam waktu yang lama. Spesifikasi *limit switches* yang digunakan adalah,

Merek : Telemecanique
 Type : XCK-J
 Rating Tegangan/Ampere : AC15 240/3A
 Ui/Uimp : 500V/6kV
 IP : 66

• Pengadaan Kabel Power dan Kontrol (2 Set)

Kabel power digunakan untuk mensuplai energi listrik ke motor sedangkan kabel kontrol digunakan untuk terminasi ke *local control station* dan *limit switches*:

Kabel Power : NYY 4x2.5 mm² (250 m)
 Kabel kontrol : NYY 3x1,5 mm² (250 m), RE-2Y(ST)Y 5x1 mm² (250 m) dan 12x1 mm² (150 m)

• Pengadaan *Mechanical Part*

Mechanical part yang dimodifikasi dalam proyek revitalisasi *fresh air damper* ini antara lain:

Mechanical Transmission : *Sprocket set* – rasio 15/30 & *Chain*
Extension Shaft : Pipa Sch.40 - 3 Inch dan Metal Round Bar T, panjang 1700 mm
Base Frame Actuator : Pabrikasi lokal
Tuas Limits Switches : Pabrikasi lokal

6) *Konstruksi*

Pemasangan atau konstruksi dilakukan selama 11 hari pada saat pabrik sedang melaksanakan *overhaul* tahunan.

(a) Pemasangan peralatan Mekanik



Gbr 13. Konstruksi Mekanikal

(b) Pemasangan peralatan elektrikal dan instrumentasi



Gbr 14. Peralatan-peralatan elektrikal & instrument (site)



Gbr 15. Modifikasi starter Reversible di panel MCC

III. METODE

Commissioning test dilakukan beberapa kali tes fungsi untuk menguji desain pengontrolan *fresh air*

damper apakah fungsi sebagaimana kebutuhan operasional, sesuai dengan standar PUIL 2011, memenuhi kaidah *safety* dan biaya pemeliharaan yang lebih murah. Secara umum fungsi pengontrolan *damper* dapat diterima jika memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Pergerakan *damper* lancar (tidak terganjal) dan kondisinya dapat menutup dan membuka dengan sempurna.
- Pergerakan transmisi *chain & sprocket* lancar (tidak tersendat)
- Tidak terjadi *overload* dan arus operasional motor masih di bawah rating arus motor sesuai nameplate.
- Motor tidak *overheating* saat beroperasi.
- Peralatan kontrol berfungsi sempurna berupa kesesuaian pergerakan *damper* dengan perintah buka-tutup dari operator.
- Durasi buka tutup sesuai kebutuhan yaitu dikisaran 15-60 detik.
- Operator dapat mengoperasikan *damper* secara remote di *control room* dan maupun secara lokal.
- Terdapat indikasi *damper open* dan *close* di monitor HMI yang terverifikasi kesesuaiannya dengan kondisi di lapangan.
- Penyetelan *limit switches* sesuai dan tidak menimbulkan *overload* pada motor.
- Peralatan proteksi bekerja sesuai desain.
- Operator dapat mengoperasikan secara lokal di dekat aktuator dengan aman.
- Memenuhi kaidah PUIL 2011.
- Biaya penggantian sistem aktuator lebih murah dari desain sebelumnya.

Commissioning test dilakukan dalam kondisi kiln stop dan temperatur gas relatif dingin atau sama dengan temperatur lingkungan sehingga pemeriksaan kondisi *damper* dapat dilakukan dengan lebih optimal.

Sedangkan pengamatan keandalan peralatan dilakukan setelahnya selama 3 bulan operasional *damper*, setelah hasil *commissioning test* sesuai dengan target yang diharapkan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

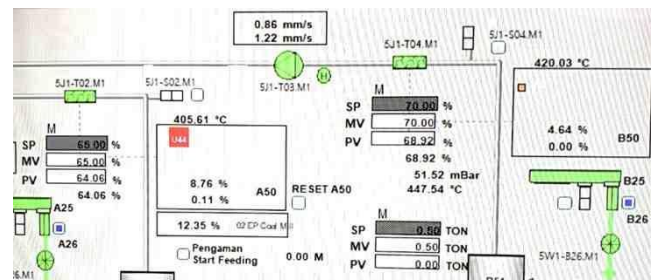
A. EVALUASI BERDASARKAN KEBUTUHAN OPERASIONAL

Berikut ini adalah hasil *commissioning test* yang dilakukan pada *fresh air damper* 5J1S02 dan 5J1S04.

Tbl 2. Hasil Commisining Test 5J1S02 & 5J1S04.

Parameter	Kondisi 5J1S02	Kondisi 5J1S04
Pergerakan Damper	Lancar	Lancar
Pergerakan Chain & Spocket	Lancar	Lancar
Kondisi motor aktuator (Amp. beban < In)	0.18-0.21 A (Normal)	0.18-0.21 A (Normal)
Fungsi Kontrol Starter	Sesuai	Sesuai
Fungsi Kontrol PLC & HMI		
Remote	available	available
Lokal	available	available
Kesesuaian Indikasi Open-Close	Sesuai	Sesuai
Durasi Buka-Tutup (15-60 second)	± 30 second	± 30 second

Untuk tampilan *fresh air damper* di monitor operator sendiri ditunjukkan sebagai mana gambar dibawah ini.



Gbr 16. Mimic diagram HMI *Fresh air Damper* 5J1S02 dan 5J1S04

Indikasi *damper* kondisi Open ditunjukkan berupa kotak persegi panjang berwarna hijau yang ditengahnya terdapat sebuah garis yang sejajar dengan garis panjang. Sedangkan *damper* kondisi Closed ditunjukkan dalam bentuk persegi panjang berwarna abu-abu yang ditengahnya terdapat garis melintang arah aliran gas.

Penyetelan *limit switch* telah dilakukan verifikasi keakuratannya pada saat *commissioning test* yaitu dengan melihat secara langsung kondisi daun *damper* pada saat *full open* dan *full closed* dan dibandingkan dengan sinyal digital yang masuk sebagai akibat dari aktifnya limit switch ketika tersentuh oleh tuas mekanis penanda kondisi *damper full open* dan *full closed*.

B. EVALUASI BERDASARKAN PUIL 2011

Berikut ini data perbandingan desain kontrol *fresh air damper* dan data pengukuran terkait kelistrikan.

Tbl 3. Hasil Pengetesan Kelistrikan *Fresh air Damper* 5J1S02 dan 5J1S04

Peralatan Listrik	Standard PUIL 2011	Rating Terpasang	Operasional	Keterangan
Motor (Sangkar) - 3 Phase	Arus beban <100% In atau tidak mengalami panas berlebih	0,23 Ampere (0,04 kW)	0,18 - 0,21 Ampere	Beban operasional masih dibawah arus (ampere) nominal (In) dan motor tidak panas.
Circuit Breaker (Pemutus Daya)	$\leq I_z = 0,29 A$	6,3 Ampere	0,18 - 0,21 Ampere	Kemampuan circuit breaker sudah sesuai PUIL yaitu dibawah dari KHA kabel NYY 4x25, namun masih di atas Iz. Kondisi circuit breaker tidak jatuh trip saat starting motor maupun saat operasional.
Drop Voltage	$\leq 4 \%$ (operasi) $\leq 20 \%$ (starting)	Min. 380 Vac	390 Vac	Tidak terjadi drop voltage > 4 % bila dibandingkan tegangan pada jala-jala
Kontaktor	$\geq 1,15 \times I_n = 0,04 kW$	4 kW (9 Ampere)	0,18 - 0,21 Ampere	Kemampuan Kontaktor sudah sesuai yaitu di atas kebutuhan minimal $1,15 \times I_n = 0,27 Amp$, tidak panas saat operasional
Thermal OL relay (Pengaman beban lebih)	Dalam Range 60 % - 120% dari I (arus nominal motor) = $0,14 - 0,3 A$	4-6 Ampere	0,18 - 0,21 Ampere	Thermal Overload relay tidak sesuai kebutuhan. Seharusnya menggunakan thermal overload dengan range 0,16-0,24 Ampere (berdasarkan produk dipasaran)
Kabel Power (Hantaran Arus) atau Iz	$\geq 1,25 \times I$ (arus nominal motor) = $0,29 A$	Supreme NYY 4x2,5mm2 = 25 A / 0,32 kA - 1 s	0,18 - 0,21 Ampere	Kemampuan hantar arus kabel sudah sesuai dengan PUIL yaitu di atas kebutuhan minimal $1,25 \times I_n = 0,29 Amp$. kondisi tidak panas saat operasional

Pemilihan *thermal overload relay* pada proyek ini tidak sesuai standar, dimana nilai arus nominal motor tidak masuk dalam range proteksi *thermal overload relay*. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya ketersediaan stok *thermal overload relay* yang sesuai di gudang pada saat proyek dikerjakan. Untuk mengantisipasi kerusakan *chain* atau motor sebagai akibat dari kejadian *overload* yang lama, maka ditambahkan proteksi tambahan pada sistem kontrol PLC berupa batasan waktu, dimana *damper* hanya boleh beroperasi maksimal selama ± 30 detik sejak perintah buka atau tutup oleh operator diterima PLC. Nilai 30 detik ini adalah sesuai waktu tempuh perpindahan dari kondisi tutup-buka atau sebaliknya.

C. EVALUASI BERDASARKAN KAJIDAH SAFETY

Risiko kerja yang tidak aman pada awalnya akan muncul ketika operasi *fresh air damper* sedang dibutuhkan namun sistem aktuator mengalami kerusakan sehingga operator harus membuka dan menutup *damper* secara manual dekat *damper* (dalam ruangan) dalam kondisi rentan terpapar gas panas. Dengan adanya perubahan desain berupa perpanjangan *shaft damper* yang menembus ruangan *damper* maka operasi secara manual atau lokal dapat dilakukan secara aman karena berada diluar ruangan *damper*, jauh dari sumber panas, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 17.



Gbr 17. Pengoperasian *damper* secara manual

D. EVALUASI BERDASARKAN PERBANDINGAN BIAYA

Evaluasi terhadap harga dilakukan berdasarkan harga unit baru aktuator jenis *modulating* aktuator *damper* yang dibandingkan dengan total biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan dan pembuatan 1 (satu) set *Open-Closes aktuator Damper*.

Tbl 4. Perbandingan biaya pengadaan baru Aktuator *Damper*

ITEM	Harga per UoM (Rp.)	Pembelian Baru 1 Set (Rp.)	Referensi Harga atau Penawaran
A. Modulating Aktuator Damper (1 Unit)	144,600,000	144,600,000	Penawaran Vendor September 2023
B. Open-Closed Aktuator Damper (1 Set)		20,625,907	
Gearred Motor (1 Unit)	16,187,000	16,187,000	Harga di sistem SAP
Limit switches (2 ea)	256,702	513,404	Harga di sistem SAP
Chain & Sprocket (1 set)	457,000	457,000	Harga di e-commerce*
Extension Shaft Sch40-3" (1 Lot)	675,000	675,000	Harga di e-commerce*
Komponen starter MCC			
Circuit Breaker (1 ea)	399,399	399,399	Harga di sistem SAP
Kontaktor (3 ea)	445,000	1,335,000	Harga di sistem SAP
Relay (2 ea)	304,713	609,426	Harga di sistem SAP
Thermal Overload Relay (1ea)	449,678	449,678	Harga di sistem SAP
C. Penggantian Baru Komponen Lain		17,977,826	
Kabel Power NYY 4x2,5mm2 (125 m)	15,490	1,936,250	Harga di sistem SAP
Kabel Emrg. Switch NYY 3x1,5mm2 (125 m)	6,895	861,875	Harga di sistem SAP
Kabel Kontrol RE-2Y(ST)Y;12 x1 mm2 (150 m)	68,878	10,331,700	Harga di sistem SAP
Kabel Kontrol RE-2Y(ST)Y;5 x1 mm2 (125 m)	30,202	3,775,250	Harga di sistem SAP
Push Button Reversible (1 ea)	880,751	880,751	Harga di sistem SAP
Emergency Switch (1 ea)	192,000	192,000	Harga di sistem SAP
D. Jasa Modifikasi : Shaft, Transmisi & Baseframe (1 Lot)	7,500,000	7,500,000	Biaya Manpower & Consumable
E. Total Biaya Pengadaan 1 Set Open-Close Act.Damper (B+D)		28,125,907	
F. Selisih Biaya Pengadaan Unit Act. Damper (A-E)		116,474,093	
G. Selisih Biaya Pengadaan & Pasang Unit Act. Damper (A-(E+C))		98,496,267	

* Harga berdasarkan estimasi rata-rata e-commerce

Berdasarkan tabel 4 di atas dapat diketahui bahwa tanpa mengurangi fungsi dan kebutuhan proses akan *fresh air damper* modifikasi transmisi daya mekanik dan tipe aktuator menurunkan biaya pemasangan baru sebesar Rp. 98.496.267,- atau sebesar Rp. 196.992.534,- untuk 2 (dua) unit aktuator *damper*.

V. KESIMPULAN

Revitalisasi *fresh air damper* 5J1S02 dan 5J1S04 di *suspension preheater* pabrik semen indarung V dengan modifikasi model transmisi mekanik dari tipe *Gear & Rod Arm* menjadi tipe *Chain & Sprocket* berhasil mengurangi paparan dan rambatan panas dari gas buang sehingga *actuato*r tetap aman. Tanpa mengurangi fungsi dan kebutuhan proses untuk pengaturan temperatur *inlet ID fan*, modifikasi *actuato*r dari tipe *Modulating* ke tipe *Open-Close* juga telah mempermudah pemeliharaan serta mengurangi biaya pemeliharaan sebesar Rp. 98.496.267,- per unit berdasarkan perbandingan harga unit baru *actuato*r. Sementara itu kebutuhan akan *safety* bagi operator saat

pengoperasian secara manual cukup terpenuhi karena operator dapat bekerja di luar ruangan *damp* dengan leluasa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Semen Padang, yang telah memberikan sumber daya dan fasilitasnya dalam pelaksanaan proyek dan penelitian ini, dan juga kepada Program Profesi Insinyur, Program Pascasarjana, Universitas Andalas, Padang, Indonesia yang telah memberikan bimbingan dan arahnya dalam penulisan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] BSN. (2011). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). Standar Nasional Indonesia SNI 0225:2011.
- [2] Cowling J.R.C, (1981). Switchgear part 2; Motor Control Centres. Electrical Equipment Course 230.2
- [3] Elhasia, T., Noche, B., and Zhao. L, Simulation of a sustainable cement supply chain; proposal model review. World Academy of Science, Engineering and Technology, 75:470-8. 2013
- [4] Eryanto T., Amrina, E. (2021). Evaluation of O-sepa Separator using Tromp Curve in Cement Mill 2Z1 Indarung II PT Semen Padang. Jurnal Optimasi Sistem Industri. ISSN (Online) 2442-8795. Andalas University.
- [5] Flsmidth Schematic Diagram – Cement Plant Indarung V Project.1998.
- [6] Flsmidth Unit Diagram - Cement Plant Indarung V Project.1998
- [7] <https://brownengineer.wordpress.com/2013/12/25/unit-suspension-preheater-pada-pabrik-semen/>, diakses 7 Desember 2023
- [8] <https://eepower.com/technical-articles/belts-chains-and-gears-how-power-transmission-works/#>, diakses 7 Desember 2023
- [9] <https://fractory.com/mechanical-power-transmission/>, diakses 7 Desember 2023
- [10] <https://transmissionchaincentre.com/couplings/>

- [11] <https://www.bulkmatic.co.za/products/louvredampers.aspx>
- [12] <https://www.cementequipment.org/home/suspension-preheaters-with-precaciner/>, diakses 7 Desember 2023
- [13] https://www.cementkilns.co.uk/suspension_preheater_kilns.html
- [14] <https://www.parkindustries.com/blog/rack-and-pinion-vs-ball-screw/>
- [15] KSB S.A.S. 4, (2006). Bernard Type series bookiet 8521.12/4--10 allée des Barbanniers • 92635 Gennevilliers Cedex .France.
- [16] NHP. (2018). Motor Control Handbook; A guide for electrical contractors. NHP Electrical Engineering Products Pty Ltd.
- [17] Woolfolk J. (2018). Motor Control Fundamentals. Unrestricted © Siemens AG 2018.
- [18] www.orbinox.com
- [19] www.marshautomation.com

BIOGRAFI PENULIS



Santoro, S.T. Tegal, 15 Februari 1984, Sarjana Teknik Elektro (S1) Universitas Diponegoro-Semarang, dengan konsentrasi di bidang Kelistrikan Arus Kuat. Sekarang sedang menempuh pendidikan profesi insinyur sekolah pasca sarjana, Universitas Andalas. Bekerja sebagai Manajer Pemeliharaan Listrik, Instrument dan Automasi di salah satu pabrik BUMN di Sumatera Barat.