

# Penerapan Metode Reverse Engineering untuk Penggantian Preheater Fan 4J1P05 di Pabrik Indarung IV PT Semen Padang

Muhammad Fadel<sup>1\*</sup>, Hadi Sutanto<sup>2</sup>, Yanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

<sup>1</sup>Unit Site Engineering, Department Project Management Office (PMO), PT Semen Padang

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Biosains, Teknologi dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

| Article Info                                                                | Abstract                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Article history:</i>                                                     | <i>This paper describes the replacement of the centrifugal induced draft (ID) fan on the 4J1P05 Preheater Fan at the Indarung IV Kiln, PT Semen Padang using the reverse engineering method and remanufacturing it locally. The 4J1P05 Preheater Fan is a large fan with a diameter of 3025 mm with the ability to operate at high temperatures (350°C – 450°C). After more than 25 years of use, the fan experienced high wear on the impeller which caused unbalance on the impeller resulting in high vibrations when operating. Therefore, it was planned to replace the fan immediately but there was a problem with the safety of purchasing. The procurement process for imported goods took 12 months. PT Semen Padang carried out reverse engineering and remanufacturing fan impellers by utilizing local resources. The 4J1P05 Fan Preheater was successfully manufactured, installed and tested and operates normally again.</i> |
| Received<br>04 January 2025                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Accepted<br>22 February 2025                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Keywords:</i><br>Reverse Engineering,<br>Induced Draft Fan,<br>Preheater |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

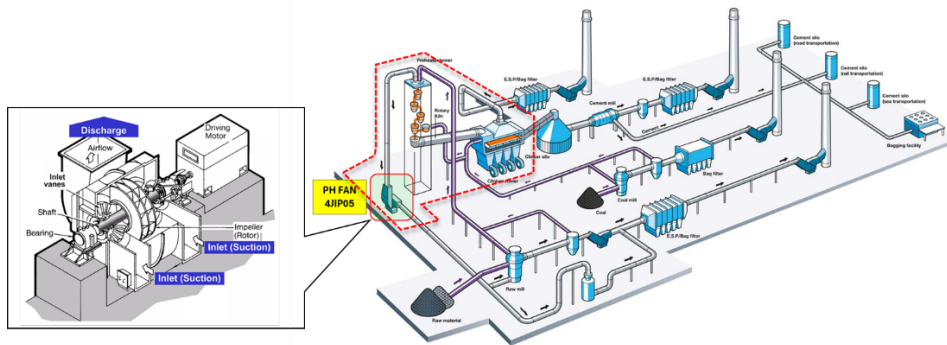
| Info Artikel                                                                  | Abstrak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Histori Artikel:</i>                                                       | Makalah ini memaparkan penggantian centrifugal induced draft (ID) fan pada Preheater Fan 4J1P05 di Kiln Indarung IV, PT Semen Padang dengan menggunakan metode reverse engineering untuk dimanufaktur kembali secara lokal. Preheater Fan 4J1P05 adalah fan berukuran besar berdiameter 3025 mm dengan kemampuan operasi pada temperatur tinggi (350°C – 450°C). Setelah penggunaan lebih dari 25 tahun, fan mengalami keausan tinggi di impeler yang menyebabkan unbalance pada impeler sehingga terjadi getaran tinggi saat beroperasi, untuk itu direncanakan melakukan penggantian fan segera namun terjadi masalah dimana untuk pembelian dibutuhkan proses pengadaan barang impor mencapai 12 bulan. PT Semen Padang melakukan reverse engineering dan manufaktur ulang impeler fan dengan memanfaatkan sumber daya lokal. Preheater Fan 4J1P05 berhasil dibuat, dipasang dan diuji coba serta beroperasi normal kembali. |
| Diterima:<br>04 Januari 2025                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Disetujui:<br>22 Februari 2025                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <i>Kata Kunci:</i><br>Reverse Engineering,<br>Induced Draft Fan,<br>Preheater |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

## 1. PENDAHULUAN

Preheater Fan 4J1P05 adalah centrifugal induced draft (ID) fan yang merupakan alat utama di industri semen dan pada kasus ini berada di pabrik Indarung IV, PT Semen Padang. Dalam sistem produksi pabrik semen, preheater fan berfungsi menarik udara panas dari rotary kiln ke suspension preheater sebagai proses pemanasan awal bahan baku untuk

\*Corresponding author. Muhammad Fadel  
Email address: m.fadel.st@gmail.com

mengurangi beban kerja rotary kiln saat proses pembakaran bahan baku semen untuk menghasilkan bahan setengah dalam pembuatan semen atau disebut juga clinker. Pabrik Indarung IV memiliki kapasitas produksi clinker sebesar 4.200 ton per hari.



**Gambar 1.**

Sistem penarikan udara panas dari rotary kiln ke suspension preheater  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

Setelah penggunaan lebih dari 25 tahun, pada periode Januari – Oktober 2021 Preheater Fan 4J1P05 mengalami unplanned downtime tinggi yang mencapai 16 kali dimana terjadi getaran berlebihan akibat coating dan keausan di impeler fan sehingga temperatur bearing melebihi nilai ambang batas ijin ( $55^{\circ}\text{C}$ ). Jika tidak dilakukan antisipasi maka akan menyebabkan pemuaian pada bearings yang akan membuat bearings pecah, shaft bengkok, dan pondasi retak. Jika Preheater Fan 4J1P05 berhenti beroperasi akan menyebabkan rotary kiln berhenti beroperasi, proses produksi clinker terhenti dan pencapaian produksi semen tidak mencapai target. Untuk itu perlu dilakukan tindakan penggantian fan segera.

Permasalahan lain timbul dimana Preheater Fan 4J1P05 adalah fan berukuran besar dengan diameter 3.025 mm dan memiliki kemampuan operasi pada temperatur tinggi ( $350^{\circ}\text{C}$  –  $450^{\circ}\text{C}$ ). Jika dilakukan pembelian baru dibutuhkan proses pengadaan barang impor mencapai 12 bulan. Untuk itu perlu dilakukan terobosan agar masalah dapat diatasi.



**Gambar 2.**

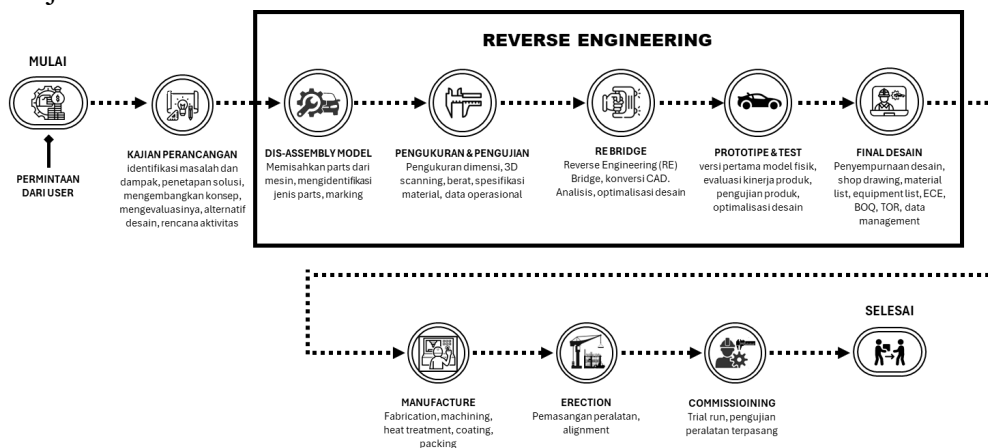
Centrifugal induced draft (ID) Preheater Fan 4J1P05 terpasang di pabrik Indarung IV  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

Setelah meneliti konstruksi fan, melakukan evaluasi peralatan kerja, soft skill kemampuan engineering, fasilitas manufaktur perusahaan, dan mengecek ketersediaan material pada distributor lokal, PT Semen Padang memutuskan untuk melakukan reverse engineering dan manufaktur ulang impeler Preheater Fan 4J1P05 secara swakelola menyesuaikan dengan material dan sumber daya yang tersedia di Indonesia.

## 2. METODE PELAKSANAAN

### 2.1. Tahapan Kerja

Alur proses *reverse engineering* dan manufaktur ulang yang dilakukan dijabarkan dalam Gambar 1. Langkah awal dimulai dengan menetapkan kajian perancangan, *detail engineering design* (DED), pembelian material, manufaktur, pemasangan dan uji coba. yang berisikan informasi tentang penentuan aktivitas, identifikasi penyebab, penentuan solusi, rencana perbaikan penerapan rencana perbaikan, evaluasi solusi, standardisasi lalu dilanjutkan



**Gambar 3.**

Tahapan *reverse engineering* dan manufaktur ulang *Preheater Fan* 4J1P05

### 2.2. Kajian Perancangan

Berdasarkan pengamatan lapangan dan evaluasi terhadap kondisi *preheater* fan dilakukan pemilihan dan menetapkan prioritas masalah dan target dengan menggunakan pendekatan metode QCDSM. QCDSM adalah singkatan dari *Quality, Cost, Delivery, Safety* dan *Morale*. Metode QCDSM adalah alat manajemen yang digunakan di berbagai industri untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas, serta mengurangi biaya dan risiko. Pada kasus ini pengambilan keputusan dilakukan dengan membandingkan, menganalisis hasil perbaikan dengan mempertimbangkan lima aspek penting, yaitu

1. *Quality*: Kualitas produk atau jasa yang berkaitan dengan spesifikasi, fitur, dan variasi. Kualitas produk dapat diperoleh melalui efisiensi dan kedisiplinan dalam proses produksi.
2. *Cost*: Biaya produksi dan pengiriman produk atau jasa hingga sampai ke tangan konsumen.
3. *Delivery*: Pengantaran produk atau jasa kepada konsumen dalam waktu, jumlah, dan tempat yang telah ditentukan.
4. *Safety*: Keamanan kerja.
5. *Morale*: Moral operator dalam mengoperasikan mesin.

Penetapan sasaran dengan pendekatan metode QCDSM pada kasus Penggantian *Preheater Fan* 41JP05 di Pabrik Indarung IV, PT Semen Padang dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

**Tabel 1.**

Penetapan sasaran sesuai metode QCDSM

| Aspek    | Masalah                                                                                                                                                                                                                | Sasaran                                                                                                                                                            | Kondisi Saat Ini                                                                                                                         | Target                                                                                                                                       |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quality  | Performa Preheater Fan 41JP05 rendah                                                                                                                                                                                   | Performa Preheater Fan 41JP05 sesuai spesifikasi                                                                                                                   | Bukaan damper baru: <b>89 %</b><br>Draft top cyclone: <b>60 mBar</b>                                                                     | Bukaan damper baru: <b>89 %</b><br>Draft top cyclone: <b>70 mBar</b>                                                                         |
|          | Downtime Preheater Fan 2021 tinggi                                                                                                                                                                                     | Downtime lebih rendah dibanding tahun 2021                                                                                                                         | Jumlah downtime: <b>17x</b><br>Durasi downtime: <b>302,7 jam</b>                                                                         | Jumlah downtime: <b>0x</b><br>Durasi downtime: <b>0 jam</b>                                                                                  |
| Cost     | Pembelian fan baru mahal                                                                                                                                                                                               | Biaya penggantian lebih rendah                                                                                                                                     | Nilai import barang: <b>Rp. 2.99 M</b>                                                                                                   | Engineering Cost Estimate: Rp. <b>1.204.781.000</b>                                                                                          |
| Delivery | Durasi pembuatan & delivery lama                                                                                                                                                                                       | Durasi pembuatan & delivery lebih cepat                                                                                                                            | Durasi pembuatan & delivery: <b>12 bulan</b><br>Durasi bongkar – pasang: <b>2 minggu</b>                                                 | Durasi pembuatan & delivery: <b>3 bulan</b><br>Durasi bongkar – pasang: <b>2 minggu</b>                                                      |
| H/S/S/E  | Fan tidak memenuhi standar vibrasi:<br>1. ISO 10816-3 - Vibration Standard<br>2. ISO 2372 - Standards provide guidance for evaluating vibration severity in machines operating in the 10 to 200 Hz (600 to 12,000 RPM) | Memenuhi standar ISO 10816-3 dan ISO 2372                                                                                                                          | Nilai Vibrasi: <b>8.14 mm/s</b>                                                                                                          | Nilai Vibrasi: <b>0.28 – 4.50 mm/s</b>                                                                                                       |
| Morale   | Soft skill rendah karena belum pernah membuat impeller Preheater Fan 41JP05                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dibuat lokal secara swakelola oleh PT. Semen Padang</li> <li>▪ Penggunaan tingkat komponen dalam negeri (TKDN)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Belum pernah membuat impeller Preheater Fan 41JP05</li> <li>▪ Nilai TKDN: <b>0 %</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Impeller Preheater Fan 41JP05 dibuat secara swakelola</li> <li>▪ Nilai TKDN: <b>25 %</b></li> </ul> |

Penggantian *preheater fan* difokuskan pada manufaktur ulang *impeler* termasuk *hub* dan *shaft* dengan pertimbangan kondisi *casing* fan masih baik. Piotrowski, J. (2006). Untuk itu dipilih solusi sesuai Tabel 2, sebagai berikut :

**Tabel 2.**

Pemilihan alternatif solusi berdasarkan akar penyebab masalah .

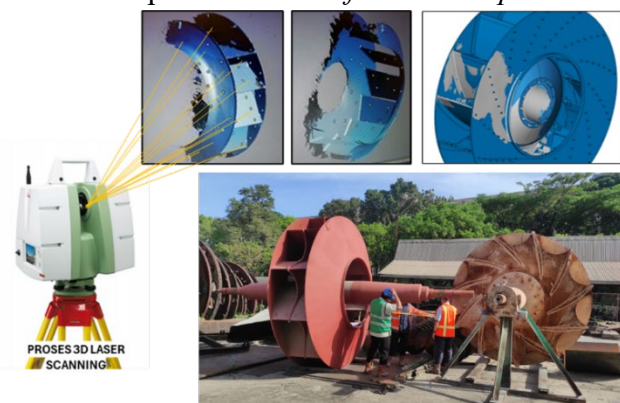
| Akar Penyebab                       | Alternatif Solusi                                                                       | Ida / Alternatif Solusi                                                                                       | Waktu      | Skill       | Efektifitas & Efisiensi | Biaya (Cost) | Pilihan                                                                                                              |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vibrasi Preheater FAN 41JP05 Tinggi | Penggantian impeler dan shaft dengan pengajuan CAPEX pengadaan import part              | Proses Pengadaan dimulai lebih awal                                                                           | ± 12 Bulan | Tanpa Skill | Lama                    | ± Rp. 2.99 M | Tidak dipilih karena butuh persetujuan ajuan CAPEX, durasi penggantian lama serta potensi mengganggu produksi tinggi |
|                                     | Penggantian impeler dan shaft dilakukan dengan swakelola dengan menggunakan budget OPEX | Manufaktur komponen eksisting. Menyesuaikan dengan material komponen dan fasilitas yang tersedia di Indonesia | ± 3 Bulan  | Butuh Skill | Cepat                   | ± Rp. 1.2 M  | <b>Dipilih</b>                                                                                                       |

### 2.3. Reverse Engineering

*Reverse engineering* atau rekayasa mundur dalam sebuah proses dalam bidang manufaktur memiliki tujuan untuk mereproduksi atau membuat ulang model atau produk yang sudah ada baik berupa komponen, *sub-assembly*, atau produk utuh tanpa menggunakan data – data dokumen design atau gambar kerja saat perancangan awal. Otto, Kevin N., and K. Wood (2004), Keberhasilan metode *reverse engineering* sangat tergantung pada proses pengukuran peralatan baik berupa pengukuran dimensi komponen, pengecekan spesifikasi material, pengukuran performa operasional hingga perbandingan kondisi sebelum dan sesudah produk dibuat dimana hasil pengukuran ini akan dijadikan indikator keberhasilan. Pada tahapan ini dilakukan beberapa pengukuran sebagai berikut :

#### 2.3.1. Pengukuran Dimensi *Impeler* dan *Shaft*

Pengukuran dimensi komponen fan difokuskan pada komponen *impeler*, *hub* dan *shaft* sedangkan untuk *casing* tidak dilakukan karena masih dalam kondisi baik. Alat menggunakan proses scanning dengan 3D *laser scanner* Leica Scan C10. Pengukuran difokuskan pada bentuk *airfoil* sudu *impeler*. Leica Geosystems AG (2010)



**Gambar 4.**

Pengukuran teknis menggunakan alat 3D laser scanning  
(Sumber : PT Semen Padang)

#### 2.3.2. Pengecekan Jenis Material

Pengecekan material difokuskan pada komponen fan yang akan diganti yaitu *impeler*, *hub* dan *shaft*. Hasil pengecekan material dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.**

Hasil Pengecekan Material

| No | Komponen                     | Jenis Material | Spesifikasi | Keterangan     |
|----|------------------------------|----------------|-------------|----------------|
| 1  | Impeler blade dan side plate | Boiler plate   | A516-70     | Tersedia lokal |
| 2  | Hub                          | Cast Steel     | Cast Steel  | Tersedia lokal |
| 3  | Shaft                        | Round bar      | 34CrMo4     | Tersedia lokal |

#### 2.3.3. Pengukuran Nilai *Getaran*

Pengukuran *getaran* fan dibutuhkan untuk memperoleh nilai getaran acuan saat fan berada dalam kondisi tidak normal. Penentuan batas nilai ijin getaran yang diijinkan mengacu pada standar klasifikasi getaran mesin peralatan industri sesuai ISO 10816-3 - *Vibration Standard* dan ISO 2372 - *Standards provide guidance for evaluating vibration*

severity in machines operating in the 10 to 200 Hz (600 to 12,000 RPM). ISO 10816-3 (1998) dan ISO 20816-3 (2022)

| ISO 10816-3<br>vibration standard |            | Machine group 4           |          | Machine group 3 |          | Machine group 2       |          | Machine group 1    |          |
|-----------------------------------|------------|---------------------------|----------|-----------------|----------|-----------------------|----------|--------------------|----------|
|                                   |            | Integral driver           |          | External driver |          | Motors                |          | Motors             |          |
|                                   |            |                           |          |                 |          | 160 mm ≤ H ≤ 315 mm   |          | 315 mm ≤ H         |          |
| Velocity                          |            | Pumps > 15 kW             |          |                 |          | Medium sized machines |          | Large machines     |          |
|                                   |            | Radial, axial, mixed flow |          |                 |          | 15 kW < P ≤ 300 kW    |          | 300 kW < P < 50 MW |          |
| mm/s rms                          | in/sec rms |                           |          |                 |          |                       |          |                    |          |
| 11                                | 0.44       |                           |          |                 | D        |                       |          |                    |          |
| 7.1                               | 0.28       |                           |          |                 | C        |                       |          |                    |          |
| 4.5                               | 0.18       |                           |          |                 |          |                       |          |                    |          |
| 3.5                               | 0.11       |                           |          |                 | B        |                       |          |                    |          |
| 2.8                               | 0.07       |                           |          |                 |          |                       |          |                    |          |
| 2.3                               | 0.04       |                           |          |                 |          |                       |          |                    |          |
| 1.4                               | 0.03       |                           |          |                 | A        |                       |          |                    |          |
| 0.71                              | 0.02       |                           |          |                 |          |                       |          |                    |          |
| Foundation                        |            | Rigid                     | Flexible | Rigid           | Flexible | Rigid                 | Flexible | Rigid              | Flexible |

A

B

New machine condition

Unlimited long-term operation allowable

C

D

Short-term operation allowable

Vibration causes damage

**Gambar 5.**

Standar Klasifikasi Getaran Mesin Peralatan Industri ISO 10816-3



**Gambar 6.**

Pengujian getaran *Preheater Fan* 4J1P05  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

|                   | Bearing Motor |      | Bearing Fan |      |
|-------------------|---------------|------|-------------|------|
|                   | NDE           | DE   | B1          | B2   |
| Vertikal (mm/s)   | 1.78          | 3.61 | 3.51        | 2.15 |
| Horizontal (mm/s) | 1.18          | 1.77 | 5.42        | 2.40 |
| Aksial (mm/s)     | 2.65          | 5.44 | 8.14        | 6.35 |

Standar Vibrasi berdasarkan ISO10816-3

|            |                     |
|------------|---------------------|
| Normal     | < 2.3 mm/s          |
| Prewarning | 2.3 mm/s – 4.5 mm/s |
| Warning    | 4.5 mm/s – 7.1 mm/s |
| Alarm      | > 7.1 mm/s          |

#### Indikasi

Vibrasi tinggi dan terindikasi sejak Juli 2020

#### Diagnosa

Looseness pada bearing, misalignment antara motor dengan fan, unbalance pada fan

#### Analisa

Vibrasi tinggi pada arah radial dan aksial bearing fan serta arah aksial DE motor.

Dari spektrum velocity, amplitudo maksimum muncul pada 1x RPM fan, hal ini mengindikasikan adanya unbalance pada impeller fan. Naiknya vibrasi arah aksial bearing fan disebabkan karena adanya looseness. Looseness diakibatkan karena secara visual sudah ada cacat pada shaft dan berdasarkan hasil pengukuran diameter ditemukan bahwa shaft sudah aus (*Inspection Report 179/IR/SMI10/06.21*).

#### Trend vibrasi 6 bulan terakhir

|        |         |
|--------|---------|
| Mar-21 | Warning |
| Apr-21 | Warning |
| May-21 | Alarm   |
| Jun-21 | Alarm   |
| Jul-21 | Alarm   |
| Aug-21 | Alarm   |

**Gambar 7.**

Hasil Pengukuran *Getaran* Sebelum Penggantian Impeler Fan  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)



#### 2.3.4. Pengukuran *Performa Fan*

Pengukuran *performa fan* berupa pengujian kapasitas dan tekanan *fan* terpasang dilakukan untuk memastikan *fan* memiliki spesifikasi teknis yang sama saat *commissioning test* atau *trial run fan* pertama kali dioperasikan. Pada kasus ini pengujian *fan* terpasang tidak dapat dilakukan karena keterbatasan peralatan, dan tingginya temperatur udara operasional (350 - 450° C). Sebagai indikator tingkat keberhasilan *fan* maka diambil data spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 4.**

Spesifikasi teknis *Preheater Fan 4J1P05*

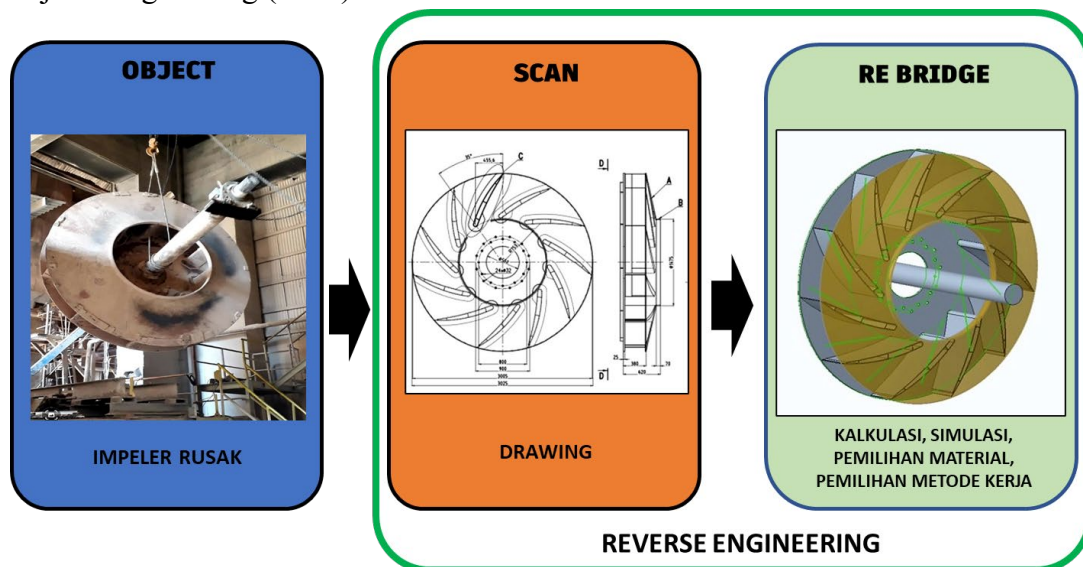
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

| Fan Type                | Rated Capacity            | Static Pressure | Operating Temperature | Speed   | Electric Power |
|-------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------|----------------|
| Induced Centrifugal Fan | 6.300 m <sup>3</sup> /min | 650 mmWG        | 350-450 C             | 900 rpm | 1.500 kW       |

Untuk itu pengambilan dimensi komponen *fan* yang akurat adalah faktor utama keberhasilan dimana jika dimensi *fan* baru sama dengan dimensi terpasang maka dapat dipastikan *performa fan* akan sesuai spesifikasi teknis awal.

#### 2.3.5. Reverse Engineering (RE) Bridge

*Reverse Engineering (RE) Bridge* adalah proses menghubungkan objek fisik dan representasi digital yaitu mengubah data yang dipindai ke dalam format yang kompatibel dengan perangkat lunak desain CAD (Rajkumar Easwara Pillai & Narendiranath Babu T, 2021), Langkah ini penting untuk analisis dan manipulasi lebih lanjut terhadap model digital objek. Wego Wang (2011).



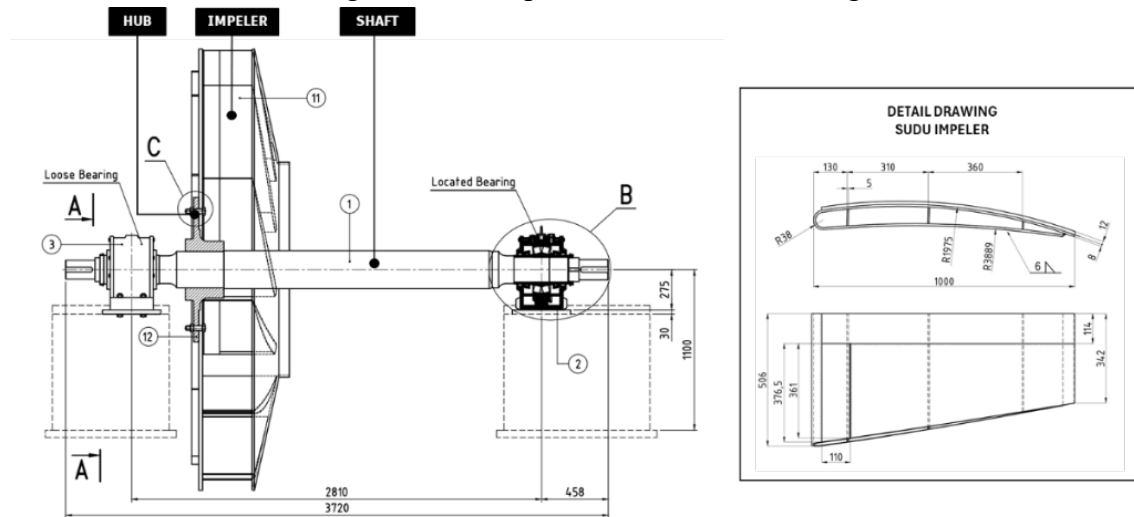
**Gambar 8.**

Proses *Reverse Engineering (RE) Bridge*

(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

### 2.3.6. Preliminary Detail Engineering Design (DED)

Berdasarkan data RE Bridge dibuat tahap awal *detail desain* sebagai berikut :



**Gambar 9.**

*Detail engineering design (DED) - Preliminary assembly Preheater Fan 4J1P05*

(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

### 2.3.7. Prototype

Pada tahap ini dilakukan uji coba pembuatan sudu impeler sesuai *preliminary design* dimana diperoleh kendala untuk memanufaktur sudu *impeler* yang sama dengan referensi. (Frank P. Bleier, 1998)



**Gambar 10.**

*Pembuatan prototype sudu impeler*

(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

Untuk itu dilakukan pengembangan dengan membuat beberapa alternatif desain yang menyesuaikan ketersediaan material dan kemampuan manufaktur lokal. Pada akhirnya dipilih desain ke 2 sesuai Gambar 11 dan 12.

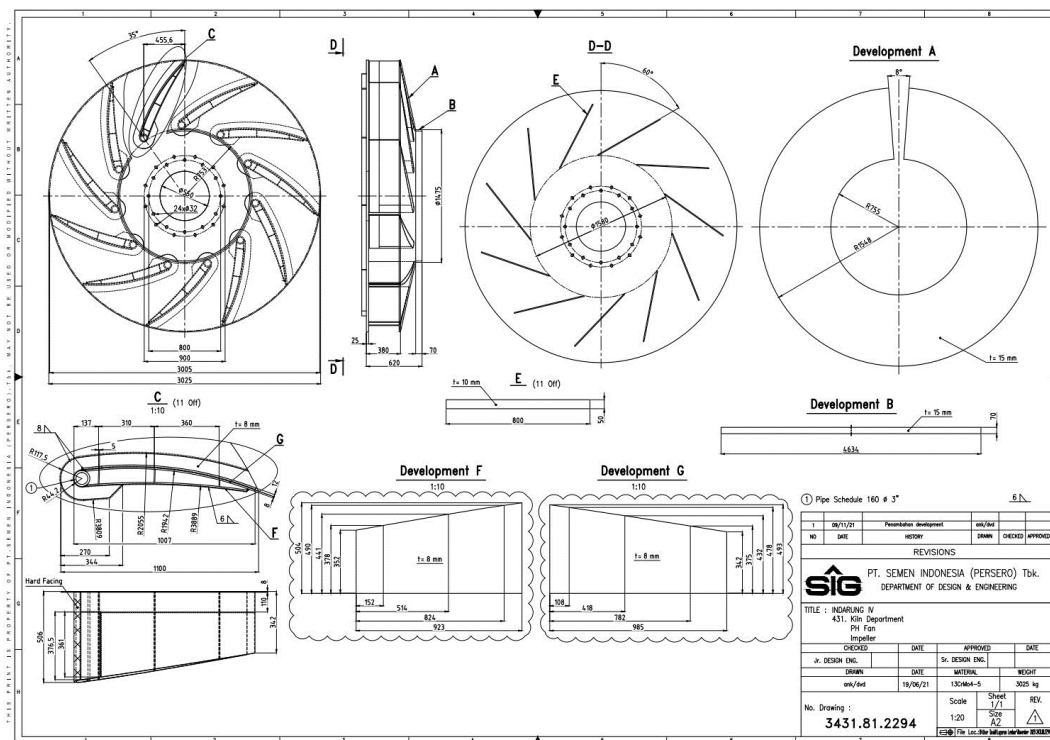


**Gambar 11.**

Pengembangan alternatif desain sudu  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

### 2.3.8. Final Design

Detail engineering design (DED) impeler Preheater Fan 4J1P05 sebagai berikut :

**Gambar 12.**

Final Detail Engineering Design (DED) impeler Preheater Fan 4J1P05  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

### 2.4. Manufaktur

Proses manufaktur komponen *impeler* dan *shaft* dilakukan secara swakelola dengan memanfaatkan fasilitas workshop dan Bengkel Mesin PT Semen Padang. Sedangkan komponen hub berupa *cast steel* dibuat oleh suplier manufaktur pengecoran logam.

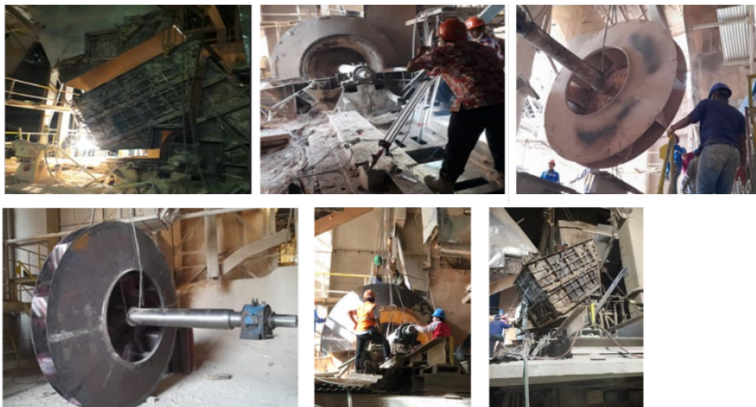
**Gambar 13.**

Proses manufaktur komponen *impeler*, *hub* dan *shaft*  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Erection

Erection adalah proses pemasangan peralatan industri di lapangan atau pabrik. Dalam kasus ini dilakukan bongkar – pasang *impeler Preheater Fan 4J1P05*. *Casing fan* lama tetap digunakan dan dilakukan penggantian *impeler*, *hub* dan *shaft*.

**Gambar 14.**

Proses *erection Preheater Fan 4J1P05* di pabrik Indarung IV  
(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

#### 3.2. Commissioning

*Comisioning* adalah proses pengujian dan verifikasi untuk memastikan bahwa semua komponen suatu proyek berfungsi dengan baik dan sesuai dengan persyaratan dan spesifikasi teknis. Pada tahap ini dilakukan *no-load running test* yaitu menjalankan peralatan sistem tanpa material dan pengujian getaran setelah penggantian *impeler*.

VIBRASI SEBELUM PENGGANTIAN &amp; PERBAIKAN PONDASI

|                   | Bearing Motor |      | Bearing Fan |      |
|-------------------|---------------|------|-------------|------|
|                   | NDE           | DE   | B1          | B2   |
| Vertikal (mm/s)   | 1.78          | 3.61 | 3.51        | 2.15 |
| Horizontal (mm/s) | 1.18          | 1.77 | 5.42        | 2.40 |
| Aksial (mm/s)     | 2.65          | 5.44 | 8.14        | 6.35 |

VIBRASI SESUDAH PENGGANTIAN &amp; PERBAIKAN PONDASI

| 17/03/2022<br>(Jam 09.15) | Bearing Motor |      | Bearing Fan |      |
|---------------------------|---------------|------|-------------|------|
|                           | NDE           | DE   | B1          | B2   |
| Vertikal (mm/s)           | 1.07          | 0.96 | 0.72        | 1.06 |
| Horizontal (mm/s)         | 0.76          | 0.79 | 1.12        | 1.44 |
| Aksial (mm/s)             | 0.65          | 1.17 | 1.38        | 0.93 |

**Keterangan**

Feeding Kiln = 320 tph.  
Damper PH Fan = 75%.  
Vibrasi terbaca di CCP, Bearing B1 = 0,7 mm/s, Bearing B2 = 1,6 mm/s.

| Table 1-Vibration Severity Criteria<br>Recommended for General Machinery Turning from 600 to 12000 RPM<br>(Based on ISO IS 2372) |      |                             |                |                |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| RMS Overall velocity Level<br>Measured<br>in 1000 Hz Bandwidth                                                                   |      | Vibration Severity Criteria |                |                |                |
| mm/s                                                                                                                             | In/s | Class I                     | Class II       | Class III      | Class IV       |
| 0.28                                                                                                                             | 0.01 | Good                        | Good           | Good           | Good           |
| 0.45                                                                                                                             | 0.02 |                             |                |                |                |
| 0.71                                                                                                                             | 0.03 |                             |                |                |                |
| 1.12                                                                                                                             | 0.04 | Satisfactory                | Satisfactory   | Satisfactory   | Satisfactory   |
| 1.8                                                                                                                              | 0.07 |                             |                |                |                |
| 2.8                                                                                                                              | 0.11 | Unsatisfactory              | Unsatisfactory | Satisfactory   | Satisfactory   |
| 4.5                                                                                                                              | 0.18 |                             |                |                |                |
| 7.1                                                                                                                              | 0.28 | Unacceptable                | Unacceptable   | Unsatisfactory | Unsatisfactory |
| 11.2                                                                                                                             | 0.44 |                             |                |                |                |
| 18                                                                                                                               | 0.71 |                             |                |                |                |
| 28                                                                                                                               | 1.10 | Unacceptable                | Unacceptable   | Unacceptable   | Unacceptable   |
| 45                                                                                                                               | 1.77 |                             |                |                |                |

**Gambar 15.**

Perbandingan hasil pengukuran getaran sebelum dan sesudah penggantian *Preheater Fan* 4J1P05

(Sumber : PT Semen Padang, 2021)

Dari Gambar 15 diketahui bahwa getaran *Preheater Fan* 4J1P05 setelah dilakukannya penggantian *impeler*, *hub* dan *shaft* telah memenuhi kriteria standar ISO 10816-3.

### 3.3. Evaluasi Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk mengetahui pencapaian atas pekerjaan yang telah dilakukan, maka dilakukan evaluasi perbandingan antara target dan pencapaian dengan hasil sebagai berikut :

**Tabel 5.**

Evaluasi pencapaian penggantian *impeler Preheater Fan* 4J1P05

| Aspek    | Masalah                                                                    | Sasaran                                                                                            | Kondisi Saat Ini                                                              | Target                                                                            | Pencapaian                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Quality  | Performa Preheater Fan 419F05F rendah                                      | Performa Preheater Fan 419F05F sesuai spesifikasi                                                  | Bukaan damper baru: <b>90%</b><br>Drop by cyclone: <b>&gt;10 mBar</b>         | Bukaan damper baru: <b>80%</b><br>Drop by cyclone: <b>&gt;10 mBar</b>             | Bukaan damper baru: <b>80%</b><br>Drop by cyclone: <b>&gt;10 mBar</b>     |
| Quality  | Downtime Preheater Fan 2021 tinggi                                         | Downtime lebih rendah dibanding tahun 2021                                                         | Jumlah downtime: <b>7 hrs</b><br>Des/hr downtime: <b>308,7 jam</b>            | Jumlah downtime: <b>&lt;5 hrs</b><br>Des/hr downtime: <b>&lt;200 jam</b>          | Jumlah downtime: <b>6 hrs</b><br>Des/hr downtime: <b>65,3 jam</b>         |
| Cost     | Pembelian fan baru mahal                                                   | Biaya penggantian lebih rendah                                                                     | Avg. harga unit barang: <b>Rp. 2.950 M</b>                                    | Engineering Cost Estimate: <b>Rp. 1.240-1.700 M</b>                               | Realiasi Biaya: <b>Rp. 1.075-1.645 M</b>                                  |
| Delivery | Durasi pembuatan & delivery lama                                           | Durasi pembuatan & delivery lebih cepat                                                            | Durasi pembuatan & delivery: 3 bulan<br>Durasi bongkar - pasang: 2 minggu     | Durasi pembuatan & delivery: 3 bulan<br>Durasi bongkar - pasang: 2 minggu         | Durasi pembuatan & delivery: 3 bulan<br>Durasi bongkar - pasang: 2 minggu |
| HSE & S  | Fan tidak memenuhi standar vibrasi: ISO 10816-3, ISO 2372                  | Memenuhi standar ISO 10816-3 dan ISO 2372                                                          | Nilai Vibrasi: <b>5.14 mm/s</b>                                               | Nilai Vibrasi: <b>2.8 – 4.5 mm/s</b>                                              | Nilai Vibrasi: <b>0.6 – 1.44 mm/s</b>                                     |
| Metode   | Soal shift hasil kerja belum pernah membuat impeller Preheater Fan 419F05F | Sudah hasil secara mandiri oleh PT. Sesua Pandega Penguatan tingkat kompetensi dalam negeri (TKDN) | Belum pernah membuat impeller Preheater Fan 419F05F<br>Nilai TKDN: <b>0 %</b> | Impeller Preheater Fan 419F05F dibuat secara mandiri<br>Nilai TKDN: <b>≥ 25 %</b> | Pengalaman kerja bertambah<br>Nilai TKDN: <b>≥ 71 %</b>                   |

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pemaparan diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode *reverse engineering* dalam proses manufaktur kembali peralatan industri dalam hal ini *impeler Preheater Fan 4J1P05* pabrik Indarung IV PT Semen Padang berhasil mempercepat waktu hingga 9 bulan, mengurangi biaya penggantian peralatan mencapai 1,9 miliar dan mengurangi potensi kehilangan produksi *clinker* akibat terjadinya *unplanned downtime*.

Secara umum manfaat metode *reverse engineering* dalam rancang bangun peralatan industri adalah sebagai berikut :

1. Pemecahan Masalah :

Metode *reverse engineering* membantu dalam mengidentifikasi dan memperbaiki masalah pada produk. Perencana teknik dapat menemukan kekurangan, cacat, atau inefisiensi, yang memungkinkan peningkatan keandalan dan kinerja produk.

2. Inovasi dan Peningkatan Produk :

Pengukuran dimensional, material dan kinerja adalah kunci keberhasilan proses *reverse engineering*. Dengan mempelajari komponen dan mekanisme produk yang ada, para insinyur dapat mengidentifikasi komponen untuk perbaikan dan inovasi. Dengan demikian pengembangan versi produk yang disempurnakan dengan fitur atau kinerja dapat ditingkatkan.

3. Penghematan biaya dan efisiensi waktu :

Penggunaan metode *reverse engineering* menjadi pendekatan yang hemat biaya, terutama saat membuat komponen yang kompatibel atau mengadaptasi desain yang ada dibandingkan dengan metode *forward engineering*. Pendekatan ini menghemat waktu dan sumber daya dengan memanfaatkan pengetahuan yang diperoleh dari analisis produk yang sudah ada, sehingga mempercepat proses pengembangan.

4. Meningkatkan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) :

*Reverse engineering* yang terintegrasi dengan riset dan inovasi akan menghasilkan produk dalam negeri berdaya saing tinggi. Secara otomatis akan meningkatkan kemampuan lokal untuk memproduksi peralatan industri dengan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) yang lebih banyak.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Wego Wang (2011). *Reverse Engineering Technology of Reinvention. United States of America*: CRC Press Taylor & Francis Group
2. Leica Geosystems AG (2010). *Leica ScanStation C10 scanner Version 2.0*. Switzerland: Leica Geosystems AG
3. Piotrowski, J. (2006). *Shaft Alignment Handbook* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420017878>, Boca Raton
4. ISO 10816-3 (1998). *Evaluation of Machine Vibration by Measurements on non-rotating parts - Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 rpm and 15 rpm when measured in situ 1<sup>st</sup> edition*.
5. ISO 20816-3 (2022). *Mechanical vibration - Measurement and evaluation of machine vibration - Part 3: Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 r/min and 30 000 r/min*.

6. Otto, Kevin N., and K. Wood (2004), *Product Design Technology the Reverse Engineering and New Product Development (ed.)*, Pearson Education, Singapore.
7. Rajkumar Easwara Pillai & Narendiranath Babu T (2021), *CAD/CAM for Mechanical Engineers*, Shineeks Publishers
8. Frank P. Bleier (1998), *Fan Handbook: Selection, Application, and Design*, McGraw-Hill Education