



Laporan Perancangan dan teknologi

LAPORAN PERANCANGAN DAN TEKNOLOGI PERANCANGAN SPECIAL TOOLS CHARGE AIR COOLER PLTDG PESANGGARAN BALI

Surabaya, JULI 2018

OLEH :

PONIDI,S.T,M.T.

NIP / NIDN : 012.03.1.1972.97.015 / 0703027201

**FAKULTAS TEKNIK PRODI TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA**

Jl.Sutorejo No.59 Surabaya 60113

Telp. 031-3811966 – 3811967 / Fax. 031-3813096

Lembar Pengesahan

LAPORAN PERANCANGAN TEKNOLOGI SPECIAL TOOLS CHARGE AIR COOLER PLTDG PESANGGARAN BALI

Kegiatan : Perancangan dan pembuatan Special tools Charge Air Cooler PLTDG Pesanggaran Bali .

Lokasi Kegiatan : PLTDG Pesanggaran Bali

Pelaksana : Ketua : **Ponidi,ST,MT**
Anggota :

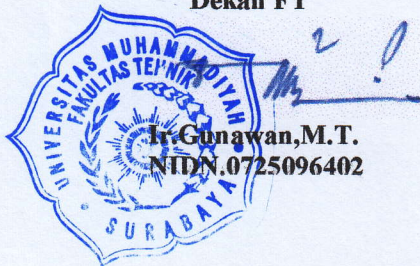
Periode pelaksanaan : Januari 2017 –Juli 2018

Biaya : Rp.2.500.000 (Dua Juta Lima ratus ribu rupiah)

Sumber Dana : PLTDG Pesanggaran Bali

Surabaya, 19 Juli 2018

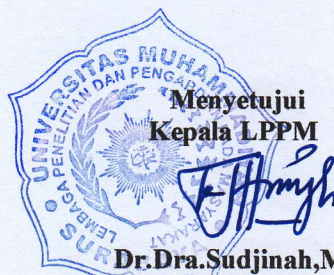
Dekan FT



Ir. Gunawan, M.T.
NIDN.0725096402

Ketua

Ponidi, ST, MT
NIDN 0703027201



Menyetujui
Kepala LPPM
Dr. Dra. Sudjinah, M.Pd
NIDN.0730016501



SURAT TUGAS

Nomor: 698/IL3.ST/L/I/2017

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dr. Dra. Sujinah, M.Pd
Jabatan : Kepala LPPM

Dengan ini menugaskan:

No.	Nama	Jabatan
1.	Ponidi, ST., MT	Dosen Universitas Muhammadiyah Surabaya

Untuk melaksanakan perancangan dan penelitian dengan judul : " Perancangan special tools Charge Air Cooler (CAC) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dan Gas (PLTDG) yang dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dan Gas Pesanggaran - bali pada bulan Januari 2017 sampai Januari 2018

Demikian surat tugas ini dibuat untuk dilaksanakan dengan penuh tanggung jawab dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 31 Januari 2017

Kepala

Dr. Dra. Sujinah, M.Pd

DAFTAR ISI

JUDUL	I
KATA PENGANTAR	II
DAFTAR ISI	III
I . PENDAHULUAN.....	1
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel.....	2
2.2 PLTDG Wartsila W18V50DF.....	3
2.3 Sistem Peralatan PLTDG	4
2.3.1 Peralatan Utama Mesin PLTDG.....	4
2.3.2 Peralatan Penunjang Mesin PLTDG	7
2.4 <i>Charge Air Cooler</i>	8
2.5 Gaya dan Tekanan pada Proses Pemasangan CAC	9
2.6 Tegangan Tekuk (Buckling Stress)	10
3. DESIGN DAN PERHITUNGAN	
4.1 Design dan Pembuatan Special Tools.....	12
4.1.1 Design dan Ukuran Special Tools	12
4.1.2 Proses Pembuatan Special Tools	14
4.2 Perencanaan dan Perhitungan Special Tools.....	15
4.3 Penggunaan Special Tools	19
4.4 Perbandingan Metoda Aplikasi	21
4.6 Perhitungan Saving Cost Efficiency	21
4. KESIMPULAN	
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	24

1 PENDAHULUAN

PLTDG Pesanggaran merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang dimiliki oleh PT. Indonesia Power yang berlokasi di kota Denpasar, Bali. Keberadaan PLTDG Pesanggaran menjadi sangat penting dimana pembangkit ini merupakan unit penopang kebutuhan pasokan listrik pada beban utama (*based load*) maupun beban puncak (*pick load*) di Pulau Jawa, Madura dan Bali (Jamali).

Secara konstruksi PLTDG Pesanggaran memiliki 12 unit pembangkit bertenaga diesel dengan *consorsium* Wartsila tipe W18V50DF asal Finlandia, yang dapat dioperasikan dengan 3 jenis bahan bakar berbeda, yaitu LNG (*Liquid Natural Gas*), HSD (*High Speed Diesel*) dan MFO (*Marine Fuel Oil*). Dari total keseluruhan unit yang dimiliki, PLTDG Pesanggaran mampu menghasilkan *output* daya sebesar 200 MW yang disalurkan melalui jaringan 150 kV untuk menyuplai kebutuhan listrik di sistem Jamali.

Dalam pengoperasiannya mesin diesel W18V50DF ditunjang oleh beberapa sistem yang saling terhubung dan terintegrasi, mulai dari sistem permesinan, kelistrikan, kontrol instrumen, bahan bakar, hingga sistem pendinginan. Untuk itu diperlukan pemeliharaan yang baik dan tepat pada sistem tersebut, sehingga unit dapat beroperasi dalam kondisi aman, andal dan efisien, serta meningkatkan performa kinerja pembangkit dan mengurangi gangguan.

Di dalam PLTDG, sistem pendingin merupakan salah satu sistem yang memiliki peranan cukup penting, karena nantinya akan berpengaruh kepada proses pembakaran di ruang bakar. Sebelum masuk ke ruang bakar, udara yang digunakan untuk pembakaran masuk melalui pipa *air inlet* dan melewati turbocharger, kemudian didinginkan oleh *Charge Air Cooler* (CAC) agar dapat menghasilkan udara yang berkualitas sehingga terjadi pembakaran sempurna.

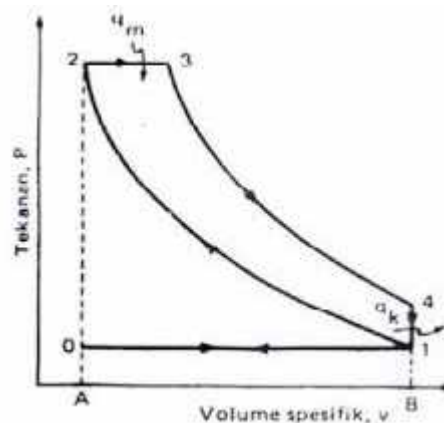
Pada siklus pemeliharaan periodik yang berlangsung setiap periode 6000 jam operasi, terdapat pekerjaan pemeriksaan CAC yang harus dibongkar, dibersihkan dan kemudian dipasang kembali. Dimana dalam pelaksanaannya sering kali mengalami kesulitan pada saat proses pemasangan CAC dikarenakan belum adanya alat bantu yang *applicable* yang dapat digunakan, sehingga berdampak kepada risiko kerusakan pada peralatan, jumlah *man power* yang cukup banyak serta durasi waktu pekerjaan yang cukup lama.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Kerja Motor Diesel

Motor diesel merupakan motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar, tanpa menggunakan pemantik atau busi seperti motor bensin.

Prinsip kerja dari motor diesel adalah merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia didapatkan melalui proses reaksi kimia (pembakaran) dari bahan bakar dan udara di dalam ruangng bakar. Urutan proses kerja pada motor diesel dapat digambarkan dalam diagram siklus diesel, yang merupakan siklus ideal untuk mesin torak pengapian-kompresi.

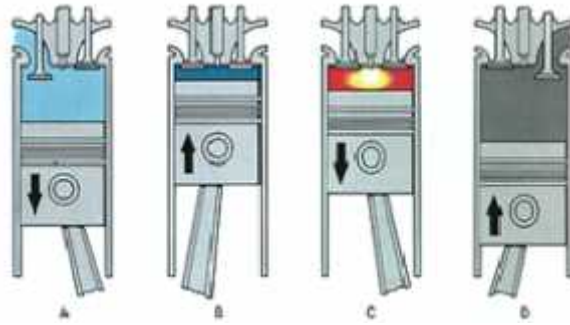


Gambar 2.1 Diagram Siklus Diesel

Dalam diagram P-V siklus diesel ideal secara singkatmenjabarkan bahwa pembakaran terjadi dalam tekanan tetap dan pembuangan terjadi dalam volume tetap. Sedangkan tenaga yang dihasilkan dari proses ini adalah area yang berada di dalam garis siklus tersebut.

Tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan mendorong torak torak yang dihubungkan dengan poros engkol menggunakan batang torak, sehingga torak dapat bergerak bolak-balik yang kemudian dirubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol (*crank shaft*). Begitu pula sebaliknya, berlaku pada langkah kompresi.

Sebagaimana prinsip kerja Hukum Charles, ketika udara dikompresi maka suhunya akan semakin meningkat. Udara dihisap ke dalam ruang bakar motor diesel dan dikompresi oleh piston yang merapat dengan rasio kompresi antara 15:1 dan 22:1, jauh lebih tinggi dibanding rasio kompresi pada motor bensin, sehingga menghasilkan tekanan 40 bar (4,0 Mpa;580 Psi).



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Motor Diesel 4 Langkah

Tekanan yang tinggi tersebut akan menaikkan suhu udara hingga 550°C . Beberapa saat sebelum piston memasuki Titik Mati Atas (TMA) pada proses kompresi, bahan bakar diesel disuntikkan ke dalam ruang bakar secara langsung yang sering dikenal dengan sebutan sistem 4 langkah.

Bahan bakar yang disemprotkan berbentuk kabut tersebut akan bercampur merata dengan udara panas sehingga terjadilah pembakaran. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas dalam ruang bakar, temperatur dan tekanan pun menjadi tinggi. Dimana dari proses pembakaran akan diperoleh tekanan yang tinggi sehingga dapat menghasilkan tenaga.

2.2 PLTDG Wartsila W18V50DF

PLTDG Wartsila W18V50DF merupakan salah satu jenis mesin pembangkit listrik bertenaga diesel yang proses pembakaran di dalam mesin (*internal combustion engine*). Dalam 1 unitnya, mesin ini mampu menghasilkan output daya sebesar 17 MW.

Dalam pengoperasiannya, mesin ini dapat dijalankan menggunakan 3 jenis bahan bakar yang berbeda, yaitu *Liquid Natural Gas (LNG)*, *High Speed Diesel (HSD)* dan *Marine Fuel Oil (MFO)*. Bahan bakar tersebut disalurkan melalui 2 buah sistem pemipaan bahan bakar berbeda, yang dikenal dengan istilah *dual fuel engine system*.

Secara umum, mesin ini terdiri dari 18 unit *cylinder head*, 2 unit sistem pendingin (CAC) serta dilengkapi dengan 2 unit *turbocharge* sebagai salah satu komponen penting yang dapat menambah volume udara yang nantinya akan masuk ke ruang bakar hingga menghasilkan suatu pembakaran yang sempurna serta performa yang optimal.

Mesin ini beroperasi pada putaran 500 rpm dan ter-*couple* dengan rotor generator yang *output* dayanya langsung disalurkan ke jaringan 150 kV pada frekuensi 50 Hz. Untuk spesifikasi data teknis generator lainnya, dapat dilihat melalui data Tabel 2.1.

Engine	
Engine type	W18V50DF
Number of cylinders	18
Cylinder bore	500 mm
Speed	500 rpm
Rated output	17,100 kW
Main voltage	400 V; 50 Hz
Secondary voltage	24 VDC
Rotation direction	Clockwise

Generator	
Generator type	AMG 1600SS12 DSE
Output	20,798 kVA
Power factor	0.80
Voltage	11 kV
Current	1092 A
Frequency	50 Hz
Anticondensation heater power	2.4 kW

Tabel2.1 *Generating Set Spesification*

2.3 Sistem Peralatan PLTDG

Secara garis besar, peralatan pada mesin PLTDG terbagi menjadi 2 bagian yaitu peralatan utama dan peralatan penunjang. Kedua bagian sistem ini saling terintegrasi dan memiliki peranan penting dalam pengoperasian unit PLTDG. Apabila terdapat kelainan dari salah satu komponen peralatan saja, tentunya hal ini berpengaruh terhadap performance mesin secara keseluruhan. Oleh karena itu perlunya optimalisasi, baik dalam pengoperasian maupun pemeliharaan.

2.3.1 Peralatan Utama Mesin PLTDG

Peralatan utama pada mesin PLTDG terdiri dari beberapa komponen yang menjadi satu kesatuan sehingga menjadi satu bagian yang utuh dan menghasilkan energi mekanik. Berikut ini adalah peralatan utama dari mesin diesel PLTDG :

a. *Cylinder Head*

Cylinder head (kepala silinder) berfungsi menempatkan mekanisme katup, ruang bakar, dan juga sebagai tutup silinder. Pada PLTDG Wartsila tipe W18V50DF terdapat 18 set cylinder head dari setiap unitnya.



Gambar 2. 1 *Cylinder Head*

b. *Cylinder Liner*

Cylinder liner merupakan salah satu bagian dari beberapa komponen yang terdapat pada bagian blok mesin dan terdiri dari 18 buah. Fungsi dari *cylinder liner* adalah untuk melindungi bagian dalam *cylinder block* dari gesekan ring piston.



Gambar 2.2 *Cylinder Liner*

c. *Piston*

Piston atau torak adalah komponen mesin yang membentuk ruang bakar bersama-sama dengan silinder blok dan silinder head. Piston jugalah yang melakukan gerakan naik turun untuk melakukan siklus kerja mesin. Serta piston harus mampu meneruskan tenaga hasil pembakaran ke *cranksahft*. Jadi piston memiliki fungsi yang sangat penting dalam melakukan siklus kerja mesin dan dalam menghasilkan tenaga pembakaran.



Gambar 2.3 Piston (Torak)

d. *Connecting Rod*

Connecting Rod atau batang torak adalah suatu komponen utama mesin yang berfungsi untuk menghubungkan piston ke poros engkol dan selanjutnya menerima tenaga dari piston yang diperoleh dari pembakaran dan meneruskannya ke poros engkol. Bagian ujung *connecting rod* yang berhubungan dengan pin piston disebut *small end*, sedangkan yang berhubungan dengan poros engkol disebut *big end*. Poros engkol berputar pada kecepatan tinggi di dalam *big end*, dan mengakibatkan temperatur menjadi naik.



e. *Bearing*

Bearing adalah salah satu komponen mesin diesel dimana fungsi umumnya adalah untuk bantalan pada *crankshaft* mesin



Gambar 2.7 Bearing

f. *Crankshaft*

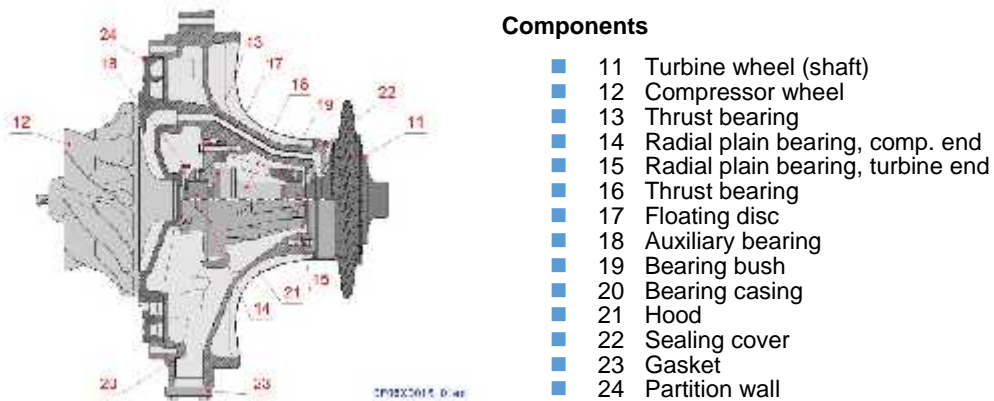
Crankshaft atau poros engkol menjadi suatu komponen utama dalam suatu mesin pembakaran. *Crankshaft* menjadi pusat poros dari setiap gerakan piston. Pada umumnya *crankshaft* berbahan besi cor karena harus dapat menampung momen inersia yang dihasilkan oleh gerakan naik turun piston. Fungsi utama dari *crankshaft* adalah mengubah gerakan naik turun yang dihasilkan oleh piston menjadi gerakan memutar.



Gambar 2.5 *Crankshaft*

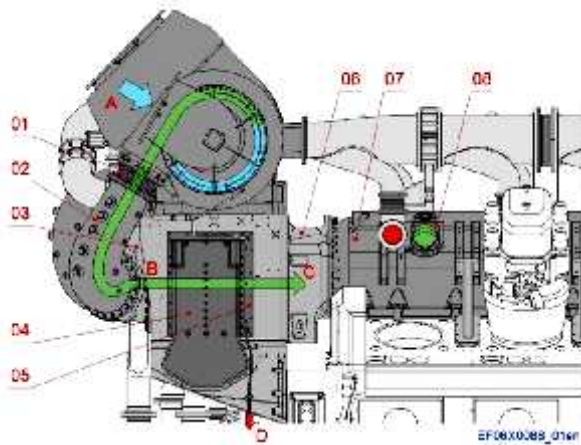
2.3.1 Peralatan Penunjang Mesin PLTDG

Pada mesin PLTDG peralatan penunjang merupakan bagian peralatan yang tidak dapat dipisahkan perannya dengan peralatan utama. Beberapa contoh yang termasuk peralatan penunjang dalam sistem PLTDG antara lain *turbocharge*, *charge air cooler*, radiator, motor dan pompa.



Gambar 2.9 Komponen *Turbocharge*

Terdapat 18 sistem pada PLTDG 200 MW Pesanggaran yang menunjang kelangsungan produksi energi listrik sehingga dapat disalurkan ke jaringan, beberapa diantaranya adalah Combustion system, Oil system, Charge Air & Exhaust gas system.



System components

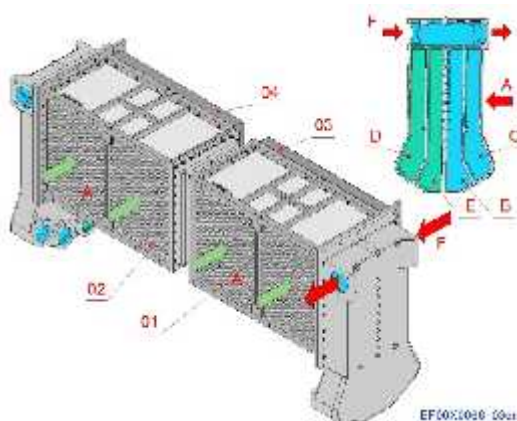
- 01 Bellows
- 02 Charge air pipe
- 03 Air inlet box
- 04 **Charge air cooler**
- 05 Water mist catcher
- 06 Charge air cooler housing
- 07 Charge air receiver
- 08 Charge air supply pipe

Gambar 2.10 Charge Air & Exhaust Gas System

Charge Air & Exhaust gas system merupakan salah satu sistem yang sangat penting pada sistem pembakaran pada sebuah mesin. Sistem ini bertujuan untuk menyediakan udara yang bersih, kering dan bertemperatur rendah ke dalam ruang bakar (combustor). Untuk menambah suplai udara ke dalam ruang bakar maka mesin dilengkapi dengan Turbocharger sehingga volume udara yang masuk ke ruang bakar meningkat dan proses pembakaran menjadi lebih baik.

2.4 Charge Air Cooler

Charge Air Cooler(CAC) merupakan suatu equipment yang berfungsi sebagai *heat exchanger*, yaitu menurunkan temperatur udara yang masuk ke ruang bakar melalui media air agar dapat menghasilkan udara yang sesuai kebutuhan sehingga terjadi pembakaran yang sempurna pada saat kompresi di ruang bakar.



Components

- 01 Charge air cooler, A-bank
- 02 Charge air cooler, B-bank
- 03 Water mist catcher, A-bank
- 04 Water mist catcher, B-bank

Connections

- A Air flow
- B HT water inlet
- C HT water outlet
- D LT water inlet
- E LT water outlet
- F HT water from cylinders

Gambar 2.10 Charge Air Cooler System

Udara yang masuk akan melewati *Turbocharger* akan mengalami kenaikan temperatur $\pm 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian akan didinginkan di *Charge Air Cooler* menggunakan media *Low Temperatur* (LT) water untuk selanjutnya masuk ke dalam ruang bakar. *Turbocharger* diputar dengan memanfaatkan gas buang udara sisa pembakaran mesin (*Exhaust gas*).

Setelah melewati *turbocharger*, udara mengalir melalui *charge air cooler* di mana temperatur udara yang masuk diturunkan melalui media pendingin air yang mengalir dan bersirkulasi pada pipa-pipa (*tubes*) CAC. Dalam proses pendinginan udara yang masuk, dibagi menjadi dua tahap bagian, yaitu :

1. Water HT Side (*high temperature*) berfungsi mendinginkan udara di tahap pertama
2. Water LT Side (*low temperature*) berfungsi mendinginkan udara di tahap kedua.

Dalam setiap unit PLTDG, masing-masing memiliki 2 buah CAC. Secara general visual, equipment CAC berbentuk kotak persegi panjang, di dalamnya terdapat pipa-pipa silinder (*tubes*) yang dilengkapi dengan sirip di permukaan luarnya. Air pendingin pada CAC bersirkulasi pada *tube-tube* sebagai media pendingin udara yang yang masuk di antara sirip-sirip CAC untuk kemudian diteruskan menuju ruang bakar pada 18 *cylinder head* PLTDG.



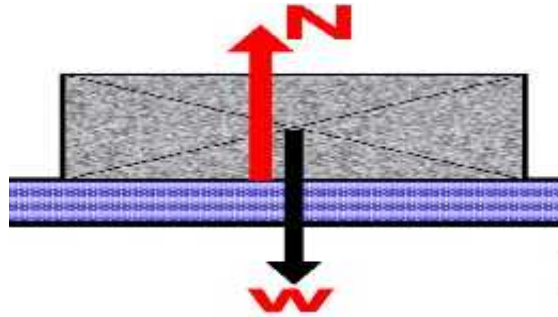
Gambar 2.11 Kondisi *Charge Air Cooler*

2.5 Gaya dan Tekanan pada Proses Pemasangan CAC

Terdapat beberapa gaya yang berperan dalam proses pembongkaran dan pemasangan kembali CAC, dimana nantinya gaya tersebut akan menjadikan dasar perhitungan dalam besarnya tekanan yang diberikan dalam proses tersebut. Gaya-gaya tersebut antara lain gaya normal dan gaya dorong.

Gaya normal adalah gaya yang timbul akibat adanya interaksi antara partikel-partikel. Gaya normal umumnya terjadi pada dua benda yang bersentuhan dan memiliki arah tegak lurus

bidang sentuh. Pada benda yang digantung bebas tidak terdapat gaya normal. Gaya normal memiliki lambang N atau FN.



Gambar 2.13 Gaya Normal pada Sebuah Benda

Rumus gaya normal secara matematis pada gambar di atas adalah sebagai berikut :

$$\Sigma F = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$\text{Dimana, } W = mg$$

Keterangan :

N = Gaya Normal (N)

w = gaya berat (N)

m = massa benda (kg)

g = perc. gravitasi bumi (10 m/s²)

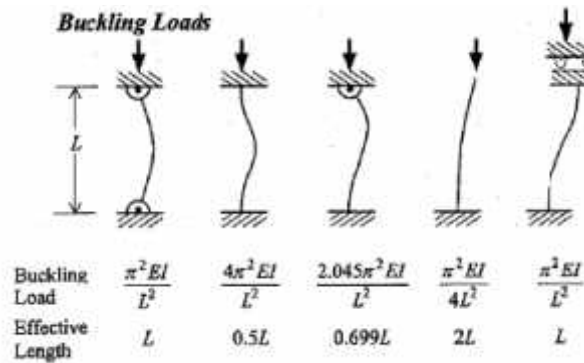
Dari perhitungan kedua gaya tersebut, nantinya akan diketahui tekanan yang diberikan pada proses pemasangan CAC, melalui persamaan :

$$P = \frac{F}{A}$$

2.6 Tegangan Tekuk (*Buckling Stress*)

Tegangan tekuk (*buckling stress*) adalah ketidakstabilan yang mengarah ke modus kegagalan. Tegangan tekuk disebabkan oleh bifurkasi dalam solusi untuk persamaan keseimbangan statis. Tegangan tekuk bisa disebut juga sebagai suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya. Konsekuensi buckling pada dasarnya adalah masalah geometrik dasar, dimana terjadi lendutan besar sehingga akan mengubah bentuk struktur.

Fenomena tekuk atau buckling dapat terjadi pada sebuah kolom, lateral buckling balok, pelat dan cangkang. Tegangan tekuk biasa terjadi bila ada kelebihan beban, contoh konkrit yang terjadi yaitu tegangan akibat gaya dorong yang diberikan oleh *air impact* untuk proses pemasangan CAC.



Gambar 2.14 *Buckling* karena ketidakstabilan struktur

Formula yang memberikan maksimum beban aksial bahwa panjang, ramping, kolom yang ideal dapat membawa tanpa buckling. Kolom yang ideal adalah salah satu yang sempurna lurus, homogen, dan bebas dari stres awal. Beban maksimum (beban kritis) menyebabkan kolom berada dalam keadaan kesetimbangan yang kurang stabil, yang dapat mengakibatkan kolom gagal oleh tekuk. (*Leonhard Euler, 1757*)

Kekuatan sebuah kolom dapat ditingkatkan dengan mendistribusikan bahan untuk meningkatkan momen inersia. Ini dapat dilakukan tanpa meningkatkan berat kolom dengan mendistribusikan bahan seperti jauh dari sumbu utama bagian lintas sebanyak mungkin, sementara menjaga bahan cukup tebal untuk mencegah tekuk lokal. Karena momen inersia permukaan wilayahnya dikalikan dengan persegi panjang yang disebut jari-jari *gyration*, maka jika formulasikan ke dalam rumus yaitu :

$$P_{cr} = \sigma - \frac{F}{A} - \frac{\pi^2 E}{(\ell/r)^2}$$

dimana :

- P_{cr} = Beban kritis (N)
- E = Modulus Elastisitas (Pa)
- I = Momen inersia penampang (m^4)
- L = Panjang kolom (m)

Perilaku struktur kolom yang ideal ketika diberi beban secara aksial ada tiga yaitu :

- ✓ Jika $P < P_{cr}$, maka struktur kolom dalam keadaan stabil dan setimbang dengan posisi tegak lurus.
- ✓ Jika $P = P_{cr}$, maka struktur kolom berada dalam kondisi netral ekuilibrium baik dalam posisi tegak atau sedikit membengkok.

- ✓ Jika $P > P_{cr}$, maka struktur kolom berada dalam kondisi ekulibrium yang tidak stabil pada keadaan tegak dan karena itu terjadi *buckling*.

Momen inersia penampang yang digunakan adalah momen inersia penampang lingkaran yang ditunjukkan oleh persamaan :

$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$

dimana :

D = Diameter penampang kolom (m)

I = Momen inersia penampang (m^4)

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa besar diameter kolom (D) berbanding lurus dengan besar momen inersia luas penampang (I), sehingga dapat diketahui jika luas penampang semakin besar maka momen inersia penampang juga semakin besar hal ini disebabkan karena besarnya diameter berbanding lurus dengan besar luas penampang.

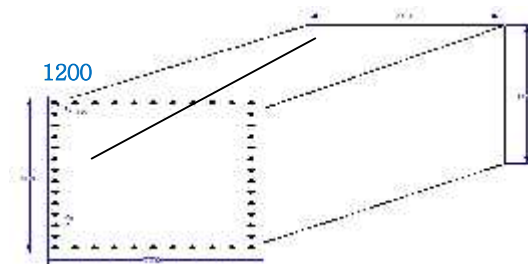
3 DESIGN DAN PERHITUNGAN

3.1 Design dan Pembuatan *Special Tools*

Perancangan adalah proses pengumpulan ide dan gagasan berdasarkan informasi, referensi dan teori yang di dapat. Perancangan ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data – data di lapangan, hasil pengukuran dan menentukan desain yang akan dibuat.

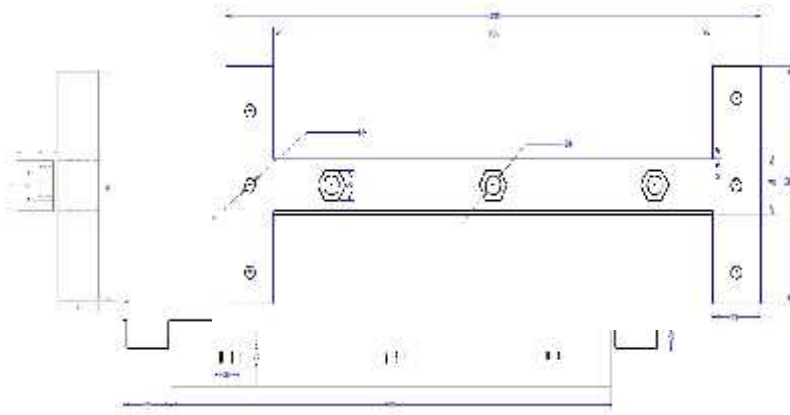
3.1.1 Desain dan Ukuran *Special Tools*

Untuk mendapatkan alat yang akan digunakan pada saat pemasangan charge air cooler maka harus membuat desain, ukuran, dan material dari alat tersebut berdasarkan kondisi yang ada. CAC mempunyai dimensi sebagai berikut:



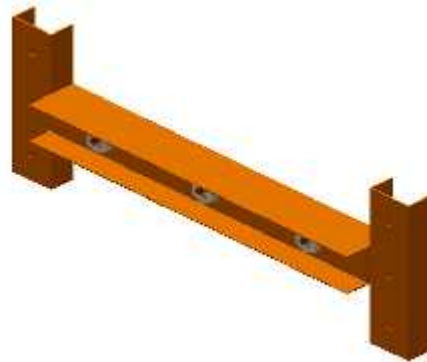
Gambar 3. 1 Dimensi *Charge Air Cooler*

Berikut design *special tools* :



Gambar 3. 2 Design 2 Dimensi Special Tools

Setelah mendesign *special tools* ke dalam bentuk 2 dimensi beserta ukurannya, langkah selanjutnya yaitu memvisualisasikan design ke dalam bentuk 3 dimensi, guna menentukan material serta alat pendukung pada *special tools* untuk proses pembongkaran dan pemasangan CAC.



Gambar 3. 3 Design 3 Dimensi Special Tools

Selain itu juga, terdapat 4 buah long drat berukuran M16 x 1m sebagai penopang *special tools* tersebut dan 2 buah M24 x 1m untuk mendorong CAC hingga masuk ke dalam housing.



Gambar 3. 4 Design long drat

3.1.2 Proses Pembuatan *Special Tools*

Dalam pembuatan *special tools* ini diperlukan beberapa tahap yaitu :

1. Pemilihan Material

Material yang digunakan adalah besi kanal U dengan ukuran = 75 mm x 40 mm x 5 mm.

2. Proses Pengukuran dan Pemotongan

Pada proses ini besi kanal u diukur kemudian dipotong sesuai desain.



Gambar 3. 5 Proses Pengukuran dan Pemotongan

3. Proses Pengelasan

Besi yang sudah dipotong kemudian *di joint* menggunakan las listrik dan penambahan mur pada besi untuk baut pendorong.



Gambar 3. 6 Proses Pengelasan

4. Proses Pengeboran

Setelah besi *di joint* kemudian dibor sesuai ukuran untuk memasukkan baut penahan.



Gambar 3. 7 Proses Pengeboran

5. Finishing

Alat yang sudah jadi kemudian dicek visual, kemudian dilakukan pengecatan.

Dalam aplikasinya dilapangan, *special tools* ini juga ditopang oleh beberapa tools pendukung yang terdiri dari :

- Baut pendorong (*stud bolt*)
- Baut ulir panjang (*long drat bolt*) dan pipa
- Impact
- Holder

Investasi yang dibutuhkan untuk membuat *special tools* sebesar

No	Nama Material	Satuan	Biaya
1.	Besi kanal U ukuran 7,5 mm	3 meter	Rp. 166.000,-
2.	Long drat (d=16 mm) + nut	4 Bh	Rp. 155.000,-
4.	Long drat (d=24 mm) + nut	2 Bh	Rp. 186.000,-
5.	Nut holder	2 Bh	Rp. 28.000,-
6.	Weld & paint material	1 Bh	Rp. 110.000,-
	Total harga		Rp. 645.000,-

3.2 Perencanaan dan Perhitungan *Special Tools*

Untuk perancangan *special tools* yang direncanakan memiliki perhitungan dengan menganalisa persamaan berikut :

 Data dan Perhitungan :

- Penampang lintang poros long drat M24 : $L = 1000$ mm
- Asumsi Faktor perancangan keamanan pada beban, $N = 3$
- Jenis Kolom Panjang dengan jenis pengekangan ujung, $K = 1$
- Material yang dipilih :
 - JIS B1180-1985

- Kekuatan tarik, $\ddagger_t = 515,3 \text{ N/mm}^2$
- Hardness Brinell, HRB = 81,84
- Modulus elastisitas, $E = 30 \times 10^6 \text{ psi} = 206.842,72 \text{ Mpa}$
- Gaya serta tekanan aksial pada long drat M24 dan CAC ;
 - $F = 10.670 \text{ N}$
 - $P = 0,62 \text{ Mpa} = 0,62 \text{ N/mm}^2$
 - $T = 270 \times 10^3 \text{ N.mm}$
- Clearance : - Vertikal = 1 mm (D)
 - Horizontal = 1 mm (D)

Dari data tersebut, maka dapat dihitung besarnya jari-jari girasi dan luas penampang long drat M24 melalui persamaan 4.1 dan 4.2 (*Elemen-Elemen dalam Perancangan Mekanis hal.213, L. Moth*) :

$$r = \left(\frac{D}{4} \right) = \left(\frac{24}{4} \right) = 6 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$A = \frac{f \times D^2}{4} = \frac{f (24)^2}{4} \quad (3.2)$$

$$= 452,16 \text{ mm}$$

Selanjutnya dari data tersebut, dapat dihitung besarnya tegangan tarik pada long drat berdiameter 24 mm untuk proses pemasangan CAC dengan persamaan 4.3 (*Elemen-Elemen dalam Perancangan Mekanis hal.79, L. Moth*):

$$\ddagger_t = \frac{F}{A} = \frac{F}{(f/4) \times D^2} \quad (3.3)$$

$$= \left(\frac{10.670 \text{ N}}{452,16 \text{ mm}} \right)$$

$$= 23,60 \text{ N/mm}^2$$

Sedangkan besarnya tegangan tarik yang diizinkan dapat dihitung melalui persamaan 3.4 (*Elemen-Elemen dalam Perancangan Mekanis hal.178, L. Moth*)

$$\ddagger_t'' = \frac{\ddagger_t}{N} = \frac{515,3}{3} \quad (3.4)$$

$$= 171,77 \text{ N/mm}^2$$

Dari perhitungan yang didapat, maka dapat diketahui bahwa besarnya tegangan tarik yang terjadi lebih kecil dibandingkan standar tegangan tarik yang diizinkan, dimana $\ddagger_t < \ddagger_t''$, sehingga long drat aman digunakan untuk melakukan pemasangan CAC.

Kemudian dilakukan perhitungan besarnya tegangan puntirmaksimal yang terjadidan tegangan yang diizinkan melalui persamaan 3.5 dan 3.6 :

(sumber : https://www.academia.edu/28078846/teganagn_normal_dan_geser)

$$\ddagger_p = \frac{W_p}{M_t} = \frac{T}{(f/16)xD^3} \quad (3.5)$$

$$= \frac{16(270 \times 10^3)}{fx(24)^3}$$

$$= \frac{4.320.000}{43.407,36}$$

$$= 99,52 \text{ N/mm}^2$$

Sedangkan besarnya tegangan puntiryang diizinkan yaitu ;

$$\ddagger_p'' = \frac{(0,8)(\ddagger_t)}{3} \quad (3.6)$$

$$= \frac{(0,8)(515,3)}{3}$$

$$\ddagger_p'' = 137,41 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa besarnya $\sigma_p < \sigma_{p^*}$, sehingga long drat aman untuk digunakan pada proses pemasangan CAC.

Kemudian dilakukan perhitungan besarnya tekanan *buckling stress* yang terjadi melalui persamaan 4.7 (*Elemen-Elemen dalam Perancangan Mekanis hal.210, L. Moth*):

$$P_{cr} = \left(\frac{f^2(EA)}{(KL/r)^2} \right) = \left(\frac{f^2(EA)r^2}{(KL)^2} \right) \quad (3.7)$$

$$= \left(\frac{f^2(206.842,72)(452,16)(6)^2}{(1 \times 1000)^2} \right) = \left(\frac{33.196.643.703,06}{1.000.000} \right)$$

$$P_{cr} = 33.196,64 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa long drat akan mengalami *buckling stress* (tertekuk) pada beban tekanan 33.196,64 N/mm². Untuk mengetahui standar faktor keamanan yang dibutuhkan, maka perlu diperhitungkan beban tekanan yang diizinkan (P_a), dimana nilainya lebih kecil dibandingkan beban tekanan kritisnya ($P_a < P_{cr}$). Jika faktor rancangan $N=3$, maka beban tekanan yang diizinkan (P_a) yaitu melalui persamaan 4.8 (*Elemen-Elemen dalam Perancangan Mekanis hal.213, L. Moth*):

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} = \frac{33.196,64}{3} \quad (3.8)$$

$$P_a = 11.065,55 \text{ N/mm}^2$$

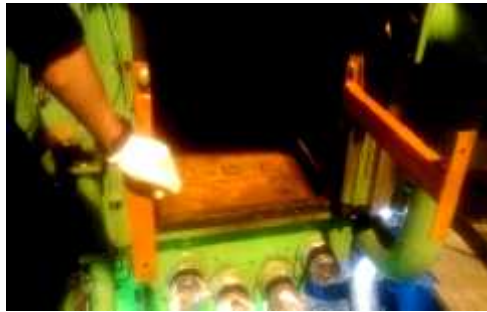
Berdasarkan perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa besarnya beban tekanan kritis (*buckling stress*) dan beban tekanan yang diizinkan sebesar $P_{cr}=33.196,64 \text{ N/mm}^2$ dan $P_a=11.065,55 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan beban tekanan aktual yang diterapkan pada kolom long drat yaitu $P= 0,62 \text{ N/mm}^2$. Sehingga long drat yang digunakan aman diaplikasikan sebagai *special tools* untuk proses pemasangan CAC karena beban tekanan aktualnya lebih kecil dari beban tekanan kritis (*buckling stress*) dan beban tekanan yang diizinkan, dimana :

$$P < P_a < P_{cr}$$

3.3 Penggunaan *Special Tools*

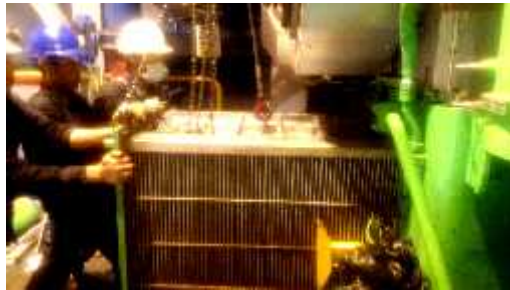
Setelah proses pembuatan *special tools* selesai dikerjakan, maka selanjutnya *special tools* tersebut langsung diaplikasikan untuk pekerjaan pemasangan CAC. Adapun penggunaannya adalah sebagai berikut :

1. Pasang *holder* pada rumah CAC sebelum *charge air cooler* dipasang.



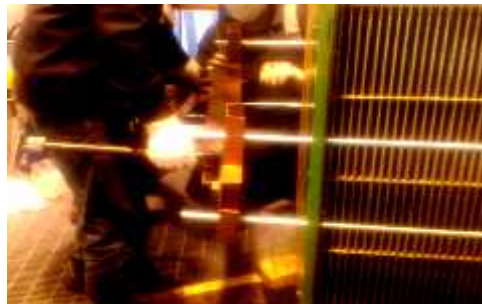
Gambar 3.8 Pemasangan *Holder*

2. Angkat CAC menggunakan crane.
3. Dorong CAC sampai masuk sekitar 10 cm.



Gambar 3.9 Proses masuk CAC

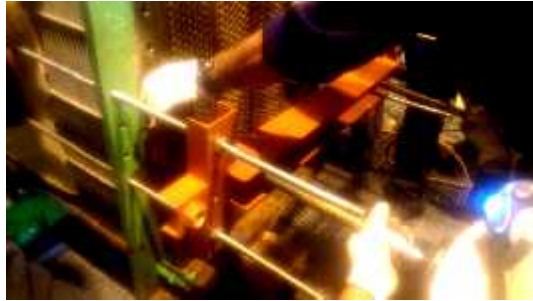
4. Setelah masuk kemudian pasang *special tools* pada baut penahan ujung *holder* dan kunci menggunakan mur.



Gambar 3.10 Pemasangan *special tools*

5. Pasang baut pendorong dan siapkan *impact air* untuk menggerakkan baut pendorong.

6. Masukkan CAC menggunakan baut pendorong yang digerakkan oleh *impactair* dan ganjal ujung baut pendorong menggunakan kayu balok sebagai bantalan pelindung agar komponen tidak cacat.



Gambar 3.11 Proses pemasangan CAC

7. Setelah posisi CAC mendekati *holder*, kemudian lepas *holder* pada kedua sisi CAC agar pemasangan dapat dilanjutkan.
8. Lanjutkan pemasangan dengan memasukkan baut penahan sampai rumah CAC kemudian dorong lagi menggunakan *air impact*.



Gambar 3.12 Pemasangan CAC lanjutan

9. Setelah masuk penuh, lepas baut penahan dan lepas *special tools* kemudian kencangkan baut – baut CAC.



Gambar 3.13 Pemasangan CAC lanjutan

3.4 Perbandingan Metoda Aplikasi

Berdasarkan penerapan aplikasi di lapangan, terdapat beberapa perbandingan yang membedakan antara penggunaan metoda lama dan metoda baru, antara lain :

Tabel 3.1 Perbandingan Metoda Lama dan Metoda Baru

No	PARAMETER	METODA LAMA	METODA BARU
1	Tenaga kerja	6 Orang	4 Orang
2	Durasi pelaksanaan	2 Hari	1 Hari
3	Risiko yang dapat terjadi	Rawan akan gesekan, benturan hingga kerusakan	Terhindar dari benturan dan gesekan, sehingga aman
4	Metoda proses pekerjaan	Lebih sulit	Lebih mudah
5	Aplikasi di lapangan	Kurang aplikatif	Aplikatif

Dari tabel 3.1 dapat dilihat bahwa proses pemasangan CAC dengan menggunakan special tools ini menjadi lebih mudah, aman dan efisien. Sehingga special tools ini sangat *applicable* untuk digunakan sebagai metoda yang tepat untuk proses pemasangan CAC.

3.5 Perhitungan *Saving Cost Efficiency*

Dengan menggunakan special tool ini dapat mempercepat proses pemasangan selama 1 hari dari schedule yang direncanakan dan mencegah kerugian akibat kehilangan kesempatan produksi pada PLTDG Pesanggaran 200 MW dari setiap unitnya (*lost of oppurtunity*) sebesar :

$$\underline{15,5 \text{ MW} \times 1000 \times \text{Rp}1.826,12/\text{kWh} \times 24\text{h} \times 0,8 = \text{Rp } 543.453.312,-*}$$

*Keterangan :

Beban PLTDG / unit = 15,5 MW (15.500 kW)

Harga pokok produksi (LNG) = Rp 1.826,12,-

1 hari = 24 jam

Capacity Factor = 0,8

Selain itu, terdapat *Saving Cost Maintenance* sebanyak 2 orang sebesar Rp 4.743.000,-. Dengan data tersebut, maka dapat hitung total saving yang dihasilkan oleh perusahaan yaitu, Rp 543.453.312 + Rp 4.743.000 – Rp 645.000 = Rp 547.551.312,-.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah dan pembahasan mengenai pembuatan dan analisa penggunaan *special tools* untuk pemasangan CAC di PLTDG Pesanggaran dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Special tool CAC inidapat mempermudah dan mempercepat proses pemasangan CAC di unit PLTDG Pesanggaran Bali.
2. Secara Sumber Daya Manusia, penggunaan special tool CAC ini juga dapat meminimalkan jumlah *man power* yang dibutuhkan sebanyak 2 orang, sehingga lebih efisien.
3. Special tools yang telah dibuat ini lebih *aplicable* dan bisa dilakukan oleh siapapun serta dapat mengurangi resiko kerusakan peralatan pada saat proses pekerjaan CAC.
4. Dari hasil perhitungan didapatkan data :
 - ✓ besarnya tegangan tarik yang terjadi yaitu $23,60 \text{ N/mm}^2$, lebih kecil dari nilai standar batasan maksimum yang diizinkan sebesar $171,77 \text{ N/mm}^2$. ($f_t \leq f_t''$), Sehingga stut bolt dalam kondisi aman terhadap beban tarik
 - ✓ besarnya tegangan puntir maksimum yang terjadi yaitu $99,52 \text{ N/mm}^2$, tidak melebihi nilai standar batasan maksimum yang diizinkan sebesar $137,41 \text{ N/mm}^2$. ($f_p < f_p''$) Sehingga stut bolt dalam kondisi aman terhadap beban puntir
 - ✓ besarnya tekanan yang diberikan oleh *air impact* $P=0,62 \text{ N/mm}^2$, tidak melebihi nilai standar batasan maksimum tekanan yang diizinkan $P_a=11.065,55 \text{ N/mm}^2$, dimana nilai *buckling stress* $P_{cr}=33.196,64 \text{ N/mm}^2$. ($P < P_a < P_{cr}$)
Sehingga special tools ini aman digunakan untuk pemasangan CAC.
5. Dengan biaya pembuatan special tools yang sangat rendah sebesar Rp645.000,- dapat mencegah hilangnya kesempatan produksi unit yang dapat terjadi yaitu sebesar Rp543.453.312. Sehingga perusahaan mendapatkan persentase *saving cost efficiency* sebesar 3,33% dari nilai operasi unit dalam 1 bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- Wartsila (2014). Plant Operation Manual PLTD Gas Pesanggaran P/14001. Finlandia. PT. Wartsila.
- PLTDG (2015). *Operation and Maintenance Engine System*. Finlandia. PT. Warstila.
- Modul 2 PLTDG (2015). *Cooling Water System PLTDG 200 MW Power Plant*. Finlandia. PT. Wartsila.
- Mott, Robert L. *Elemen-Elemen dalam Perancangan Mekanis*. Yogyakarta. CV Andi.
- Conit, Suandi. *Machine Design Theory and Practice*. Macmiltaan Publishing Co.
- JIS (1992). *JIS Handbook Fasteners & Screw Thread*. Japanese Standards Association.
- UJH Bali (2016). Laporan Teknik Top Overhaul 6000 jam PLTDG 11 Pesanggaran Vol. II. Denpasar. PT. Indonesia Power.
- Unit Pembangkitan Bali (2016). Laporan Niaga UPJP Bali. Denpasar. PT. Indonesia Power.
- Unit Pembangkitan Bali (2016). Laporan Operasi Performance Test PLTDG 11 Pesanggaran. Denpasar. PT. Indonesia Power.
- https://www.academia.edu/28078846/teganagn_normal_dan_geser

LAMPIRAN 1

Material Sheet Test Long Drat M24

14 Dec 2017 10:49 PL


FW 10-1

PROHIBIT HERSI/0677423

UNS™ QUALITY INSPECTION CERTIFICATE

PT. UNIVERSINDONESIA JONGESTRA
R. MARGO MULYO BC
SUKSESAYA, MASJOREDA

Customer: Hazz Farahinda	Sampling Plan APRESIACONE 010-18.2	Test Plan ISO 100-1	Product J3, 13100-1006	Certificate No UNC1712401	Expiry 14 Desember 2017						
No	Items	Chgs	Lotch No.	Surface Finish	Material	Sample	Standard	1991	Sample	Standard	Result
1	R _a 3.2 ± 0.3	4.2	878032	Plain	100802	515.3	500	81-84	67.95.5	67.95.5	774
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											

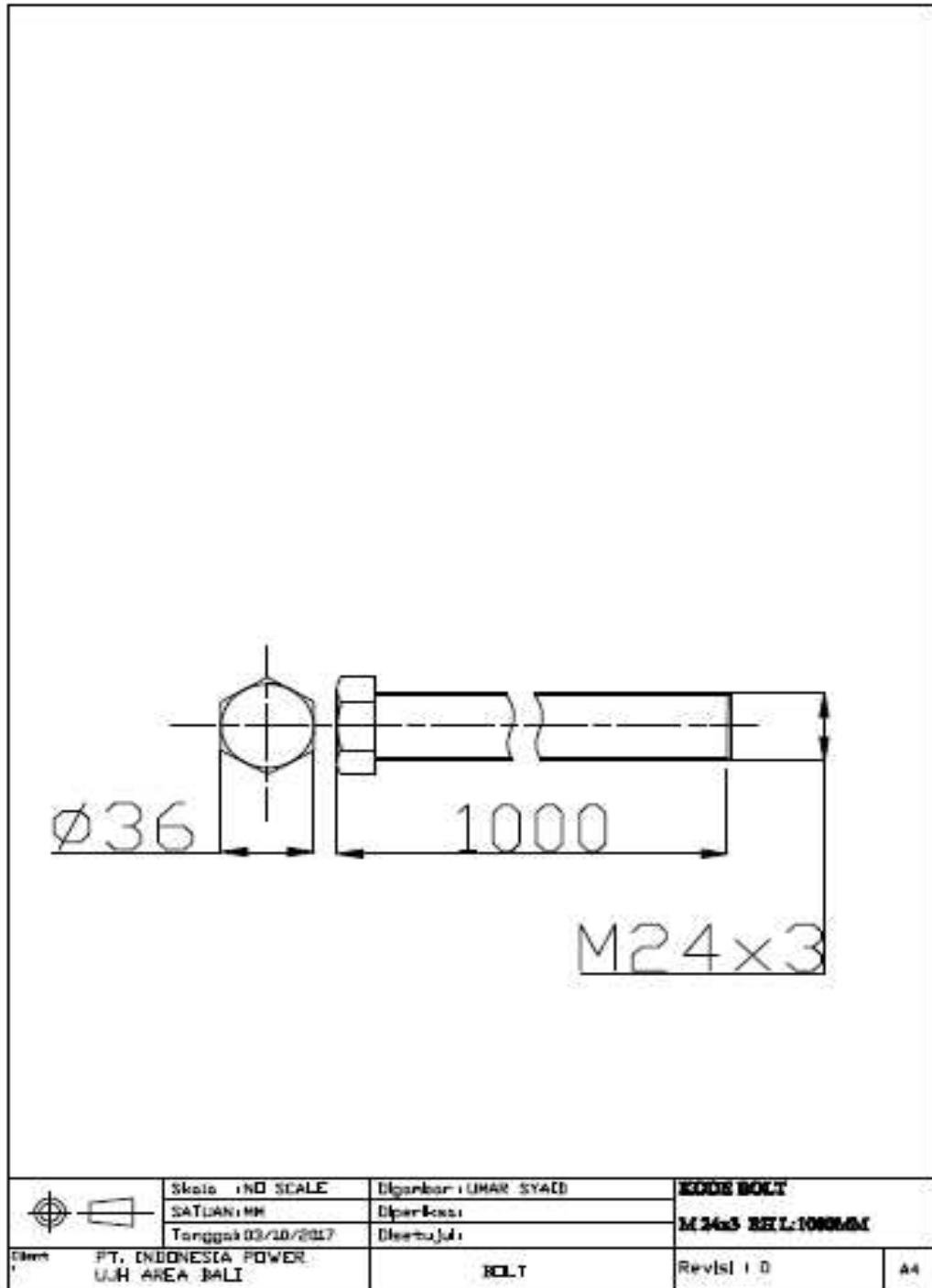


NOTE:
 1. Sample is too short for tensile test
 2. We certify that all tests are in accordance with the methods prescribed in the applicable ISO 9001-3 specifications.
 3. This report must not be reproduced or stored in full

14 Dec 2017 10:49 PL

LAMPIRAN 2

Drawing Long Drat M24




Lampiran 4

Performance Test Pasca Overhaul PLTDG #11 Pesanggaran Bali

INDONESIA POWER		EFFICIENCY ENGINEERING			
LAPORAN PERFORMANCE TEST PLTD 200 MW BLOCK IV PESANGGARAN		No dokumen	022/008/PLT/VI/15		
		Tanggal	1 November 2015		
		Koran	00		
		Revisi	Revisi : 7 des 15		
<p>b. PLTDG UNIT 11</p> <p>Durasi pengambilan data sebelum Pemeliharaan 6000 jam selama 30 menit dan durasi pengambilan data setelah Pemeliharaan 6000 jam selama 60 menit.</p>					
UNIT		: H (KORAS/KMOP/PE)			
LOKASI PERPELAYANAN		: H7, H1000			
PELAYARAN		: 5000 RPM			
URUTAN PERPELAYANAN HESIT		: SEBELUM PERAWAN SETELAH PERAWAN			
URUTAN PERPELAYANAN HESIT		: SEBELUM PERAWAN SETELAH PERAWAN			
Durasi Pengambilan data : 60 Menit					
			SEBELUM	Setelah	Deviasi
1	Ambient Temperature	°C	32	28.9	-3.1
2	Ambient absolute humidity	g/kg	18	18	0
3	Ambient humidity	%	59	70	11
4	Active Load	MW	13.00	15.2	2.2
5	Max available power	MW	14.87	15.3	0.43
6	Active power set point	MW	13.00	15.2	2.2
7	Frequency	Hz	50.00	50.08	0.08
8	Power Factor	cos φ	0.98	0.98	0
9	Exhs. W/C control	%	16.00	18.00	2
10	Exhaust Gas Temperature	°C	500	485	-15
11	Specific Gas consumption	MNm ³ /kWh	0.008907	0.00861	-0.000301
12	GA temp engine inlet	°C	50.4	50.7	0.300000
13	Air temp engine inlet	°C	31	28	-3.000000
14	Pipassi speed	Rpm	5000	5000	0
15	Gas consumption	MNm ³ /h	115.786	130.812	15.026
16	Pilot fuel consumption	liter	18	14.97	-3.03
17	Methane Number	%	73.1	68.8	
18	SC LNFc	kg/m ³	0.618073	0.626308	0.008235
19	GHV LNFc	Btu/kg	51875.37	51786.12	-89.15
20	SC LFC	kg/liter	0.8480	0.853	0.005
21	LHV LFC	Btu/lb	18185	18188	3
22	Nilai Kalor LFC	Kcal/liter	9205.626	9216.928	11.3028486
23	Produced Power	kWh	13000	15200	2200
24	Auxiliary Power	kWh	171	153	-18
25	Net Produced Power	kWh	12,829	15,047	2,218
26	Net specific fuel consumption	MNm ³ /kWh	0.009025	0.00869	-0.000332
27	Net Heat Rate	Kcal/kWh	2,287.3	2,199.40	-87.90
28	NET Efficiency Thermal	%	37.60	39.10	1.50274

Lampiran 5

Instruksi Kerja Pembongkaran & Pemasangan CAC dengan Special Tools

		PT INDIKOH POWER UNIT JASA PEMELIHARAAN INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM INSTRUKSI KERJA		No. Dokumen : IK-001-1.03 Tanggal : 25 Februari 2025 Revisi : 1 Halaman : 1 / 1	
Tipe Media : Lokasi Kerja :		Revisi IK :			
NO. IK TANGGAL	03 Desember 2024	NAMA : EDHARD MULIANA PRANANTO	PAKET Nomor Job and Job Impact	MATERIAL KAN MALIN WD-40 Aspal/Beton	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
JENIS PEKERJAAN PERALATAN VS DONGKRAN	MENYANG PEMBERIAN LOKASI CHANGE Covering job with 1st layer of 300 300 safety harness, safety shoes, safety harness, safety helmet, safety goggles		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
APD CRITICAL/RISK POINT	1. HAD - 100 kg/jam saat pengalihan		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
SAFETY ISSUE	1. HAD - 100 kg/jam saat pengalihan		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
ENVIRONMENT ISSUE	1. HAD - 100 kg/jam saat pengalihan		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
AKTIVITAS	PENYIDILAN TOOL/MATERIAL JAHU		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
A	Menyiapkan Cover Penutupin Utilitas Charge 1. Jarak antara tempat terpasang utilitas charge 2. Jarak antara pemasangan penutupin utilitas charge 3. Laporan bagian UJUK 4. Pemasangan utilitas charge 5. Laporan bagian UJUK 6. Pemasangan utilitas charge 7. Laporan bagian UJUK 8. Pemasangan utilitas charge 9. Pemasangan utilitas charge 10. Pemasangan utilitas charge		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
B	Menyiapkan Penutupin Utilitas Charge 1. Jarak antara tempat terpasang utilitas charge 2. Jarak antara pemasangan penutupin utilitas charge 3. Laporan bagian UJUK 4. Pemasangan utilitas charge 5. Laporan bagian UJUK 6. Pemasangan utilitas charge 7. Laporan bagian UJUK 8. Pemasangan utilitas charge 9. Pemasangan utilitas charge 10. Pemasangan utilitas charge		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
CHECK POINT	1. Jarak antara tempat terpasang utilitas charge 2. Jarak antara pemasangan penutupin utilitas charge 3. Laporan bagian UJUK 4. Pemasangan utilitas charge 5. Laporan bagian UJUK 6. Pemasangan utilitas charge 7. Laporan bagian UJUK 8. Pemasangan utilitas charge 9. Pemasangan utilitas charge 10. Pemasangan utilitas charge		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM
CHECK LIST	1. Jarak antara tempat terpasang utilitas charge 2. Jarak antara pemasangan penutupin utilitas charge 3. Laporan bagian UJUK 4. Pemasangan utilitas charge 5. Laporan bagian UJUK 6. Pemasangan utilitas charge 7. Laporan bagian UJUK 8. Pemasangan utilitas charge 9. Pemasangan utilitas charge 10. Pemasangan utilitas charge		GURU	KEMERIAH	JENIS PEKERJA ZONASI ZEM



Gambar 1 Menutupi Cover Penutupin utilitas charge



Gambar 2 Menutupi Penutupin utilitas charge

Disusun Oleh,
 Edhward Muliana Pranto
 KEMERIAH
 KEMERIAH MFG