

## PENGARUH HARMONIK AKIBAT PENGGUNAAN *VARIABLE SPEED DRIVE* TERHADAP PIRANTI *BRIDGE CRANE* PLTU TELUK SIRIH (2X112MW)

Oleh:  
Zulkarnaini

Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang<sup>1)</sup>  
Jln. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang

### Abstrak

PLTU Teluk Sirih (2X112MW) menggunakan *Bridge Crane* dengan *Variable Speed Drive* sebagai sistem kontrol. *Variable Speed Drive* merupakan beban non-linear dan dicurigai menjadi sumber distorsi harmonik pada tegangan dan arus yang mengalir pada piranti *Bridge Crane*. Dilakukan pengukuran pada sisi masukan dan keluaran sistem kontrol piranti masing-masing motor *Bridge Crane*. Dari hasil pengukuran diketahui jika terjadi distorsi pada arus, tegangan masukan dan keluaran. Hasil pengukuran yang dimasukkan dalam perhitungan kemudian dibandingkan dengan standar yang ada menunjukkan bahwa nilai *Total Harmonic Distortion* tegangan piranti *Bridge Crane* yang tertinggi yaitu sebesar 0.048% masih dalam batas aman sebesar 5% yang ditetapkan standar IEEE 519-1992. Sementara nilai *Individual Harmonic Distortion* arus khususnya orde ke-5 piranti *Motor Hoist* pada *Bridge Crane* yang tertinggi sebesar 22A telah melewati ambang batas maksimum yang ditetapkan standar IEC 1000-3-2 sebesar 1.14A, nilai *Total Demand Distortion* tertinggi piranti *Trolley Motor* pada *Bridge Crane* sebesar 63% telah melewati standar nilai *Total Demand Distortion* IEEE 519-1992 sebesar 15%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *Variable Speed Drive* mengandung harmonik yang menyebabkan distorsi tegangan dan arus pada piranti-piranti *Bridge Crane*.

**Kata kunci :** harmonisa, *bridge crane*, beban non-linear

### Abstract

*PLTU Teluk Sirih (2X112MW) uses Bridge Crane with Variable Speed Drive as control system. Variable Speed Drive is non-linear load and suspiciously as harmonic distortion source to voltage and current which flow on Bridge Crane instruments. Measuring is done in input and output side of instrument control system each motors on Bridge Crane. From the measuring report known if there is distortion happen on current, input voltage and output voltage. The measuring result which input on calculation then compare with used standard show if the highest voltage total harmonic distortion value on Bridge Crane devices is 0.048% which still on safe limit 5% stated by IEEE 519-1992 standard. While the highest current individual harmonic distortion value especially 5<sup>th</sup> period at Motor Hoist on Bridge Crane is 22A already reach the maximum threshold 1.14A those set in IEC 1000-3-2 standard, the highest Total Demand Distortion value at Trolley Motor on Bridge Crane reach is 63% which reach the maximum Total Demand Distortion value 15% stated on IEEE 519-1992. with it can be taken as conclusions if Variable Speed Drive contains harmonic which cause voltage and current distortion on Bridge Crane instruments.*

**Key words :** *harmonic, bridge crane, non-linear load*

### 1. Pendahuluan

Pusat Listrik Tenaga Uap atau lebih dikenal dengan PLTU merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan uap bertekanan tinggi untuk memutar turbin yang kemudian dikopel dengan generator. Dimensi dan berat peralatan-peralatan tersebut cukup besar sehingga diperlukan peralatan khusus untuk mengangkat, memindahkan dan/atau memasangnya.

Untuk keperluan tersebut, PLTU Teluk Sirih menempatkan sebuah *Over Head Travelling Crane* jenis *Bridge Crane* yang diperuntukkan untuk mobilitas peralatan-peralatan berat tersebut, baik saat pemasangan maupun kelak ketika dilakukan *maintenance*.

*Bridge Crane* ini menggunakan VSD atau *Variable Speed Drive* untuk mengendalikan gerakan

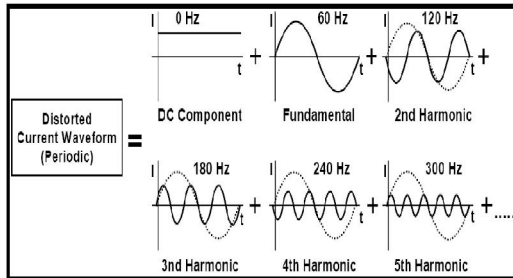
motor pada crane. VSD merupakan rangkaian semi konduktor penyearah, yang menurut *standard* IEEE 519-1992 merupakan salah satu beban non linear penyebab gelombang harmonik. Gangguan lainnya adalah gangguan yang disebabkan karena adanya fluktuasi pemakaian beban, terutama untuk beban-beban yang *on/off*.

Harmonik menyebabkan penyimpangan pada gelombang tegangan dan arus yang dapat menimbulkan kerusakan pada komponen-komponen listrik, *Bridge Crane* ini memiliki komponen-komponen listrik yang membentuk rangkaian kontrol dan penggerakannya, ketidakstabilan daya masukan tentu akan memperpendek usia pakai dari piranti-piranti elektrikal pada *Bridge Crane*.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Definisi Harmonik

Harmonik adalah suatu komponen sinusoidal dari satu periode gelombang yang mempunyai satu frekuensi yang merupakan kelipatan interger dari gelombang fundamental.



Gambar 2.1 Konsep dasar gelombang harmonik

### 2.2 Indeks Harmonik

Dalam analisa harmonik, beberapa indeks penting berikut digunakan untuk melukiskan pengaruh harmonik pada komponen sistem tenaga listrik dan sistem komunikasi.

#### 2.2.1 Total harmonic distortion (THD)

Menyatakan besarnya kandungan arus dan tegangan harmonisa, yang didefinisikan sebagai perbandingan nilai rms komponen harmonik terhadap komponen dasar dalam (%). Untuk satu gelombang sinus sempurna pada frekuensi dasar, THD adalah nol.

THD Tegangan :

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \quad (2.1)$$

THD Arus :

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100 \quad (2.2)$$

Pengukuran distorsi harmonik individual untuk tegangan dan arus pada orde ke- $h$  didefinisikan sebagai  $V_h / V_1$  dan  $I_h / I_1$ .

#### 2.2.2 Total demand distortion (TDD)

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 \quad (2.3)$$

Dengan  $I_L$  adalah permintaan arus beban maksimum, dalam 15 atau 30 menit frekuensi dasar pada titik sambung.

### 2.2.3 Distorsi faktor daya

Untuk mengetahui besarnya distorsi faktor daya harus dihitung nilai  $I_{rms}$  dan  $V_{rms}$  menggunakan rumus:

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + (THD_i/100)^2} \quad (2.4)$$

$$V_{rms} = V_1 \sqrt{1 + (THD_v/100)^2} \quad (2.5)$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dihitung nilai daya nyata menggunakan rumus :

$$S = V_{rms} \times I_{rms} \quad (2.6)$$

Sehingga dapat diketahui nilai faktor daya sebagai berikut:

$$pf_{total} = \frac{P}{S} \quad (2.7)$$

### 2.3 Pembatasan nilai harmonik

#### 2.3.1 Standar nilai harmonik menurut IEC

Tabel 2.1 Standard IEC 1000-3-2 kelas D

Orde Harmonisa	Batas Harmonisa Relatif mA (rms/watt)	Arus Harmonisa Maksimum yang diijinkan (A)
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
13	0,296	0,21
15 ≤ n ≤ 39	3,85/n	2,25/n

#### 2.3.2 Standar IEEE 519-1992

Tabel 2.2 Standard IEEE 519-1992 untuk tegangan harmonisa

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69kV and below	3.0	5.0
69.001kV through 161kV	1.5	2.5
161.001kV and above	1.0	1.5

Tabel 2.3 *Standard IEEE 519-1992* untuk arus harmonisa

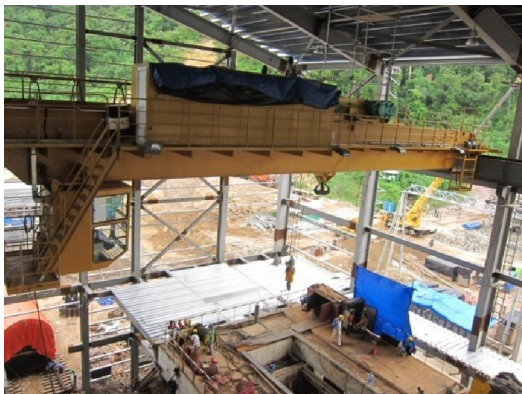
$I_{sc}/I_L$	Orde harmonisa dalam % terhadap $I_L$					TDD
	$<11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
$<20^*$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$>1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Dimana:

- \* Harmonisa genap dibatasi hingga 25% dari batas harmonisa ganjil diatasnya
- \* Cacat arus yang menyebabkan terjadinya DC offset, tidak diperkenankan
- \*  $I_{sc}$ =arus maksimum hubung singkat pada point of common coupling (PCC)
- \*  $I_L$ =arus beban maksimum (komponen fundamental) pada PCC semua peralatan pembangkitan ditetapkan pada nilai ini, untuk berapapun nilai  $I_{sc}/I_L$  sebenarnya

## 2.4 Bridge Crane

*Bridge Crane* adalah salah satu jenis *overhead travelling crane* merupakan salah satu pesawat pengangkat yang dipasang tetap di lokasi dan harus mampu menjangkau semua area yang diperlukan untuk mengangkat beban, menahan dan memindahkannya ke tempat yang diinginkan.



Gambar 2.2 *Bridge Crane* PLTU Teluk Sirih (2X112MW)

Konstruksi *Bridge Crane* memiliki tiga bagian utama yaitu: sistem pengangkatan, sistem trolley, dan sistem berjalan atau *bridge*. Ketiga bagian itu digerakkan menggunakan motor listrik.

## 2.5 Alat ukur yang digunakan

Alat yang digunakan adalah *HIOKI 3286-20 CLAMP ON POWER HiTESTER* dengan spesifikasi pengukuran harmonik sebagai berikut:



Gambar 2.3 *HIOKI 3286-20 CLAMP ON POWER HiTESTER*

Analisa harmonik :

- Panjang tampilan : 1 siklus (50/60Hz)
- Jenis tampilan : Rectangular
- Jumlah data analisis: 256 point
- Orde : Orde 1 sampai 20

Item analisis :

- Level harmonik : Untuk arus dan tegangan
- Persentasi harmonik: Untuk arus dan tegangan
- THD : THD-F dan THD-R

## 3. Metodologi

### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Dalam penelitian ini akan dikumpulkan data-data mengenai item yang diperlukan dan kemudian dihitung untuk membuat analisa.

### 3.2 Data-data yang dibutuhkan

Data-data yang dibutuhkan untuk analisis adalah:

1. Kapasitas daya
2. THD<sub>I</sub> dan THD<sub>V</sub>
3.  $I_{rms}$  dan  $V_{rms}$
4. Nilai *power factor*

### 3.3 Metode pengambilan data

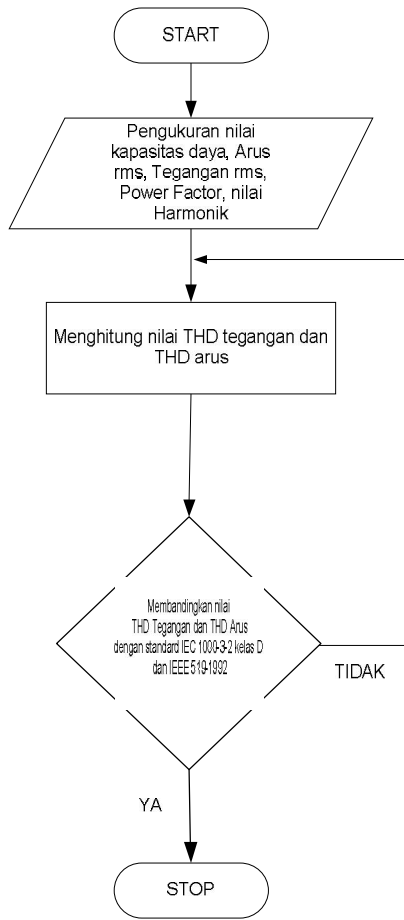
Dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung dilapangan, setelah itu melakukan analisa perhitungan terkait dengan data yang telah diperoleh.

### 3.3 Metode analisa data

Secara garis besar, pekerjaan analisis data meliputi tiga tahap utama:

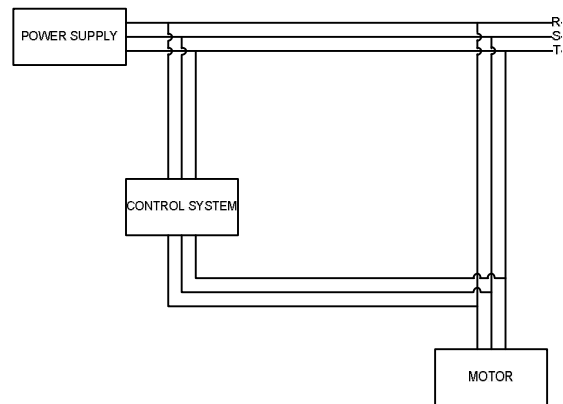
1. Persiapan : mengecek alat ukur, mempersiapkan objek ukur
2. Tabulasi : mencatat hasil pengukuran
3. Penerapan data sesuai dengan pendekatan penelitian.

### 3.4 Flowchart



- Main Hoist**  
 $P_{out}$  : 37kW,  $\cos \phi = 0.85$   
 Voltage: 400V  
 Freq : 50Hz
- Auxiliary Hoist Motor**  
 $P_{out}$  : 37kW,  $\cos \phi = 0.85$   
 Voltage: 400V  
 Freq : 50Hz
- Trolley Motor**  
 $P_{out}$  : 4kW,  $\cos \phi = 0.85$   
 Voltage: 400V  
 Freq : 60Hz
- Bridge Motor**  
 $P_{out}$  : 7.5kW,  $\cos \phi = 0.85$   
 Voltage: 400V  
 Freq : 60Hz

### 4.2 Nilai harmonik berdasarkan pengukuran



Gambar 4.1 Blok diagram sistem kontrol *Bridge Crane*

## 4. Hasil pengukuran dan pembahasan

### 4.1 Spesifikasi *Bridge Crane*

Dari buku manual dan *name plate* dapat diketahui spesifikasi dasar piranti-piranti *Bridge Crane* sebagai berikut:

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 4.1 Rekapitulasi Nilai Distorsi Tegangan pada Sisi Masukan *Bridge Crane* PLTU Teluk Sirih (2X112MW)

**REKAPITULASI NILAI DISTORSI TEGANGAN  
 PADA SISI MASUKAN  
 BRIDGE CRANE PLTU TELUK SIRIH (2X112MW)**

Orde	<i>Main hoist</i> (V)			<i>Auxiliary hoist</i> (V)			<i>Trolley motor</i> (V)			<i>Bridge motor</i> (V)		
	r	s	t	r	S	T	r	s	t	r	S	T
3	2.3	3.4	3.5	1.6	2.8	2.9	1	1.5	1.2	2.2	2.5	2
5	4.9	3.5	4.3	3.8	4	3.3	2.3	2	2.5	3	2.9	2.9
7	0.3	0.5	0.7	0	0.3	0.5	0	0.3	0.4	1	1	1.5
9	0.7	0.7	0.9	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8	1.2	1.9	1.7
11	0.6	0.2	0.3	0.7	0.4	0.2	0.7	0.4	0.2	0.8	0.4	0.9

Tabel 4.2 Rekapitulasi Nilai Distorsi Tegangan pada Sisi Keluaran *Bridge Crane* PLTU Teluk Sirih (2X112MW)

**REKAPITULASI NILAI DISTORSI TEGANGAN  
PADA SISI KELUARAN**

	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>T</b>	<b>r</b>	<b>S</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>t</b>
3	10.4	9.5	9.7	2.1	2.9	3.1	2.2	3	2.2	3	3	3.2
5	13.1	11.5	11.5	5.5	4.5	4.9	3	3	3	3.2	3.25	3
7	8	7.1	7.2	1.2	1	1.5	0.9	1	1.5	1	1	1.5
9	7.3	6.3	7.1	1.4	1	1.7	1.4	0.9	1.7	1.4	2	1.7
11	5.7	5.4	5.1	1.2	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.4	0.9

Tabel 4.3 Rekapitulasi Nilai Distorsi Arus pada *Bridge Crane* PLTU Teluk Sirih (2X112MW)

**REKAPITULASI NILAI DISTORSI ARUS  
BRIDGE CRANE PLTU TELUK SIRIH (2X112MW)**

<b>Orde</b>	<b>Main hoist (A)</b>			<b>Auxiliary hoist (A)</b>			<b>Trolley motor (A)</b>			<b>Bridge motor (A)</b>		
	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>
3	2.8	0.8	1.5	3	1	1.5	2	1	1.5	1	0.5	0.5
5	22.02	22	22	18	18.3	18.2	3.5	4	4	2	2	2.2
7	10.34	10.35	10.36	10	9.35	10.05	4	4	4.5	2.5	2	2
9	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06
11	8.41	8.48	8.46	8	8.2	8.2	3.9	4	4	3	2.5	2.3

Tabel 4.4 Nilai THD Sampai Dengan Orde ke-11

**NILAI THD SAMPAI DENGAN ORDE KE 11 PADA  
BRIDGE CRANE PLTU TELUK SIRIH (2X112MW)**

<b>THD</b>	<b>Main hoist (%)</b>			<b>Auxiliary hoist (%)</b>			<b>Trolley motor (%)</b>			<b>Bridge motor (%)</b>		
	<b>r</b>	<b>S</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>t</b>
THD <sub>v</sub> IN	0.014	0.012	0.015	0.011	0.013	0.012	0.007	0.007	0.008	0.010	0.011	0.011
THD <sub>v</sub> OUT	0.052	0.046	0.047	0.017	0.015	0.017	0.011	0.012	0.012	0.012	0.013	0.013
THD <sub>i</sub>	0.246	0.245	0.247	0.212	0.211	0.215	0.599	0.636	0.671	0.105	0.089	0.088

Tabel 4.5 Nilai IHD<sub>v</sub> in, IHD<sub>v</sub> out, dan IHD<sub>i</sub> orde ke-1

**NILAI DISTORSI ORDE KE-1  
BRIDGE CRANE PLTU TELUK SIRIH (2X112MW)**

<b>Orde</b>	<b>Main hoist</b>			<b>Auxiliary hoist</b>			<b>Trolley motor</b>			<b>Bridge motor</b>		
	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>S</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>T</b>
IHD <sub>v</sub> IN	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
IHD <sub>v</sub> OUT	399.6	400	400	398	399.1	399.5	399	399.1	399.5	399	399.1	399.5
IHD <sub>i</sub>	105.4	105	104.3	105.4	105	104.3	11.5	11	11	43	43	43

### 4.3 Pembuktian hasil pengukuran berdasarkan perhitungan

#### 4.3.1 Membuktikan nilai IHD orde ke-1 sama dengan V atau I fundamental

Dengan memasukkan nilai pada tabel 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4 ke dalam rumus (2.1) dan (2.2) dapat dibuktikan apakah nilai IHD orde ke-1 sama dengan V atau I fundamental.

Tabel 4.6 Nilai  $V_1$  dan  $I_1$  hasil perhitungan

Orde	Main hoist			Auxiliary hoist		
	R	S	t	r	s	T
IHDv IN	382.79	413.23	377.89	384.08	380.36	374.82
IHDv OUT	398.57	401.89	394.25	369.7	373.93	370.03
IHDi	105.25	105.17	104.42	105.25	104.96	104.18

Orde	Trolley motor			Bridge motor		
	R	s	t	R	s	T
IHDv IN	381.73	374.17	365.08	411.33	400.7	389.5
IHDv OUT	377.57	376.85	370.72	398.26	382.5	386.1
IHDi	11.5	11	11	42.85	42.79	43.1

Jika dibandingkan maka terlihat bahwa nilai  $V_1$  dan  $I_1$  hasil perhitungan mendekati nilai hasil pengukuran.

#### 4.3.2 Menghitung nilai $V_{rms}$ dan $I_{rms}$

Untuk mempermudah perhitungan, dapat dihitung nilai rata-rata dari THD dan  $V_1$  masing-masing piranti sebagai berikut:

Tabel 4.7 Nilai  $THD_v$  rata-rata

	Hasil Pengukuran (%)				Hasil perhitungan (%)			
	MH	AH	TM	BM	MH	AH	TM	BM
$THD_v$ IN	0.014	0.012	0.007	0.011	0.013	0.011	0.007	0.01
$THD_v$ OUT	0.048	0.016	0.012	0.013	0.048	0.015	0.011	0.012
$THD_i$	0.246	0.213	0.636	0.094	0.246	0.22	0.64	0.096

Tabel 4.8 Nilai rata-rata V fundamental

	Hasil Pengukuran (V)				Hasil perhitungan (V)			
	MH	AH	TM	BM	MH	AH	TM	BM
$V_1$ IN	400	400	400	400	391.303	379.75	373.66	400.51
$V_1$ OUT	399.87	398.87	399.2	399.2	398.237	371.22	375.05	388.93
$I_1$	104.9	104.9	11.167	43	104.947	104.8	11.167	42.93

Nilai  $V_{rms}$  dan  $I_{rms}$  dapat diperoleh dengan memasukkan data pada kedua tabel diatas ke dalam rumus (2.4) dan (2.5). Dari hasil perhitungan  $V_{rms}$  dan  $I_{rms}$  dapat diketahui nilai daya nyata (S) dengan menggunakan rumus (2.6) seperti yang ditunjukkan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 4.9 Nilai  $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ , dan S

#### NILAI $V_{rms}$ , $I_{rms}$ , DAN DAYA NYATA PADA BRIDGE CRANE PLTU TELUK SIRIH (2X112MW)

Berdasarkan	Main hoist				
	$V_{rms}$ (V)		$I_{rms}$ (A)	S (kVA)	
	Input	Output		Input	Output
Pengukuran	400	399.87	104.9	41.96	41.94
Perhitungan	391.3	398.24	104.95	41.067	41.795

Berdasarkan	Auxiliary hoist				
	$V_{rms}$ (V)		$I_{rms}$ (A)	S (kVA)	
	Input	Output		Input	Output
Pengukuran	400	398.87	108.9	43.56	43.44
Perhitungan	379.75	371.22	104.8	39.798	38.9

Berdasarkan	Trolley motor				
	$V_{rms}$ (V)		$I_{rms}$ (A)	S (kVA)	
	Input	Output		Input	Output
Pengukuran	400	399.2	11.167	4.47	4.46
Perhitungan	373.66	375.05	11.167	4.17	4.19

Berdasarkan	Bridge motor				
	$V_{rms}$ (V)		$I_{rms}$ (A)	S (kVA)	
	Input	Output		Input	Output
Pengukuran	400	399.2	43	17.2	17.17
Perhitungan	400.51	388.93	42.9	17.19	16.69

#### 4.3.3 Menghitung faktor daya

Rumus (2.7) digunakan untuk menghitung faktor daya dengan memasukkan nilai S pada tabel 4.7, dimana nilai P dapat dilihat pada spesifikasi alat. Maka,

Tabel 4.8 Nilai faktor daya ( $\cos \phi$ ) pada Bridge Crane

MAIN HOIST				
P = 37 kW	S(kVA)		PF total (P/S)	
	Input	Output	Input	Output
Pengukuran	41.96	41.94	0.88	0.88
Perhitungan	41.07	41.795	0.90	0.89

AUXILIARY HOIST				
P = 37 kW	S(kVA)		PF total (P/S)	
	Input	Output	Input	Output
Pengukuran	43.56	43.44	0.85	0.85
Perhitungan	39.798	38.9	0.93	0.95

TROLLEY MOTOR				
P = 4 kW	S(kVA)		PF total (P/S)	
	Input	Output	Input	Output
Pengukuran	4.47	4.46	0.89	0.90
Perhitungan	4.17	4.19	0.96	0.95

BRIDGE MOTOR				
P = 7.5 kW	S(kVA)		PF total (P/S)	
	Input	Output	Input	Output
Pengukuran	17.2	17.17	0.44	0.44
Perhitungan	17.19	16.69	0.44	0.45

### 4.4 Membandingkan dengan standard

#### 4.4.1 Standard IEC 1000-3-2 Kelas D

Jika dilakukan perbandingan antara nilai standar (Tabel 2.1) dengan nilai IHD<sub>i</sub> hasil pengukuran (Tabel 4.3) dapat terlihat jika semua piranti mengalami distorsi terhadap arus yang melebihi nilai maksimum yang ditetapkan. Contohnya untuk nilai IHD<sub>i</sub> pada *Main Hoist* yang mengalami distorsi tertinggi pada orde ke-5 sebesar 22A, telah melebihi standar yang ditetapkan untuk IHD<sub>i</sub> orde ke-5 sebesar 1.14A.

#### 4.4.2 Standard IEEE 519-1992 untuk tegangan harmonisa

Standar IEEE 519-1992 (Tabel 2.2) telah menetapkan nilai IHD<sub>v</sub> maksimum sebesar 3% dan nilai THD<sub>v</sub> maksimum sebesar 5% untuk tegangan ≤ 69kV. Dari tabel 4.7 terlihat bahwa nilai THD<sub>v</sub> tertinggi adalah 0.048% yang berarti berada dalam batas aman.

Selanjutnya perlu diketahui apakah persentase IHD<sub>v</sub> juga masih berada dalam batas aman, dapat digunakan rumus :

$$IHD = \frac{IHD_n}{V_1} \times 100\%$$

Dari hasil perhitungan IHD<sub>v</sub> in (Tabel 4.3) dan IHD<sub>v</sub> out (Tabel 4.4) baik menggunakan V<sub>1</sub> hasil pengukuran ataupun perhitungan diketahui bahwa nilai persentase IHD<sub>v</sub> pada piranti-piranti *Bridge Crane* tidak melebihi nilai standar 3%.

#### 4.4.3 Standard IEEE 519-1992 untuk arus harmonisa

Standar ini membandingkan nilai IHD<sub>n</sub>(%) terhadap I<sub>L</sub>. Untuk menentukan kelas batasan, perlu diketahui nilai I<sub>sc</sub> / I<sub>L</sub>. Nilai I<sub>sc</sub> dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$I_{sc} = \frac{I_{full\ load}}{Z_{sc}}$$

Nilai I<sub>full load</sub> dan Z<sub>sc</sub> diketahui dari spesifikasi dry transformer yang digunakan oleh *Bridge Crane* yaitu 1600kVA 6.3kV/0.4kV Z<sub>sc</sub> = 8.63%. Dengan menggunakan rumus dapat dihitung nilai I beban penuh trafo:

$$I_{full\ load} = \frac{1600kVA}{0.4kV \times \sqrt{3}}$$

$$I_{full\ load} = \frac{1600kVA}{0.693kV} = 2309\ A$$

$$Z_{sc} = 8.63\% \approx 0.0863\ pu$$

Maka:

$$I_{sc} = \frac{2309}{0.0863} = 26760\ A$$

Karena kelas perbandingan pada *standard* IEEE 519-1992 untuk arus membutuhkan nilai I<sub>sc</sub> / I<sub>L</sub>, maka:

Berdasarkan pengukuran

$$I_L = I_{main\ hoist} + I_{Auxiliary\ hoist} + I_{Trolley\ motor} + I_{Bridge\ motor}$$

$$I_L = 104.9\ A + 104.9\ A + 11.2\ A + 43\ A = 264\ A$$

Maka:

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{26760}{264} = 101.4A$$

Pada tabel 2.3 dapat dilihat jika nilai 101.4A berada pada range 100 < 1000. Selanjutnya masing-masing orde dicari perbandingannya terhadap I<sub>L</sub> dengan menggunakan rumus:

$$I_h (\%) = \frac{I_h}{I_L} \times 100\%$$

Sebagai contoh pada *main hoist* yang mengalami distorsi arus tertinggi pada orde ke-5 sebesar 22.01A.

maka :

$$I_5\ main\ hoist (\%) = \frac{I_5}{I_L} \times 100\%$$

$$I_5\ main\ hoist (\%) = \frac{22.01}{104.9} \times 100\%$$

I<sub>5 main hoist</sub> (%) = 20.9 % > standar maksimum 12%

Nilai TDD dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.3)

$$TDD_{Main\ Hoist} = \frac{\sqrt{(1.70)^2 + (22.01)^2 + (10.35)^2 + (0.07)^2 + (8.45)^2}}{104.9}$$

TDD<sub>Main Hoist</sub> = 0.246A ≈ 25% > standar maksimum 15%.

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diketahui nilai IHD (%) terhadap I<sub>L</sub> dan nilai TDD pada piranti-piranti lain.

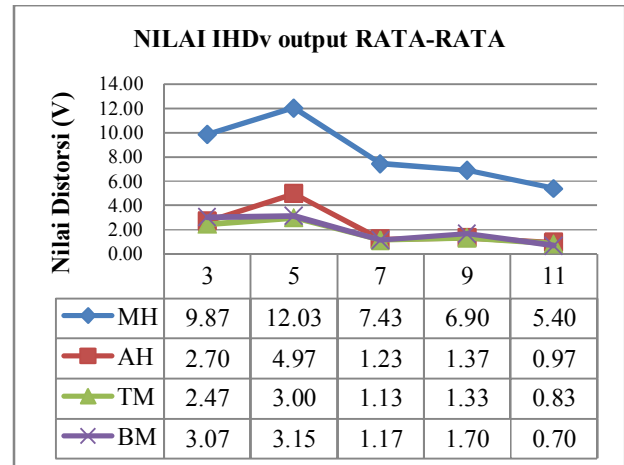
#### 4.5 Perkiraan pengaruh harmonisa terhadap piranti *Bridge Crane*

#### 4.6

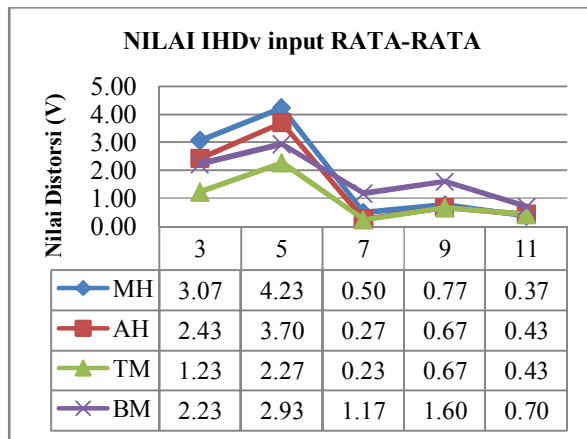
Untuk mengetahui nilai orde harmonisa yang paling dominan dapat dilakukan dengan memasukkan nilai IHD rata-rata piranti dan memasukkannya dalam diagram garis.

Tabel 4.9 IHD rata-rata sisi input pada Bridge Crane

NILAI IHD <sub>v</sub> input RATA-RATA PADA BRIDGE CRANE				
Orde	MH	AH	TM	BM
3	3.07	2.43	1.23	2.23
5	4.23	3.70	2.27	2.93
7	0.50	0.27	0.23	1.17
9	0.77	0.67	0.67	1.60
11	0.37	0.43	0.43	0.70



Gambar 4.3 Diagram garis nilai IHD<sub>v</sub> output rata-rata



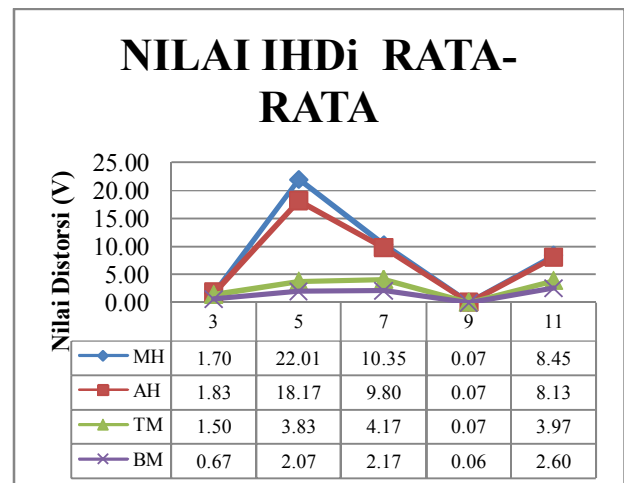
Gambar 4.2 Diagram garis nilai IHD<sub>v</sub> input rata-rata

Tabel 4.11 IHDi rata-rata pada Bridge Crane

NILAI IHD <sub>i</sub> RATA-RATA PADA BRIDGE CRANE				
Orde	MH	AH	TM	BM
3	1.70	1.83	1.50	0.67
5	22.01	18.17	3.83	2.07
7	10.35	9.80	4.17	2.17
9	0.07	0.07	0.07	0.06
11	8.45	8.13	3.97	2.60

Tabel 4.10 IHD<sub>v</sub> rata-rata sisi output pada Bridge Crane

NILAI IHD <sub>v</sub> output RATA-RATA PADA BRIDGE CRANE				
Orde	MH	AH	TM	BM
3	9.87	2.70	2.47	3.07
5	12.03	4.97	3.00	3.15
7	7.43	1.23	1.13	1.17
9	6.90	1.37	1.33	1.70
11	5.40	0.97	0.83	0.70



Gambar 4.4 Diagram garis nilai IHD<sub>i</sub> rata-rata

Ke-tiga diagram diatas menunjukkan nilai distorsi yang paling tinggi terjadi pada orde ke-5 untuk semua piranti Bridge Crane dan piranti yang mengalami distorsi tertinggi adalah Main hoist.



Harmonisa arus orde ke-5 dan ke-11 akan membentuk arus urutan negatif sementara arus orde ke-7 akan membentuk arus urutan positif. Pada motor akan menyebabkan panas lebih atau rugi-rugi, demikian juga pada konduktor dan isolator akan menyebabkan pemanasan lebih sedangkan pada netral konduktor dapat menimbulkan panas lebih atau menyebabkan relai proteksi hubung tanah mala kerja.

Harmonik urutan nol (3) tidak mengandung arus frekuensi fundamental, tetapi mengandung 300% arus harmonisa ke-3 (triplen). Pada MCB atau Fuse akan menyebabkan perubahan karakteristik, pada metering jenis induksi (mekanikal) akan menimbulkan kesalahan pengukuran, dan pada peralatan elektronik terjadi perubahan bentuk gelombang dan menyebabkan mala kerja pada peralatan elektronik tersebut.

#### 4.6 Pembahasan

Data-data yang digunakan dalam analisa dapat diperoleh dari spesifikasi alat, hasil pengukuran, dan hasil perhitungan. Pengukuran dilakukan pada terminal masukan sistem *Bridge Crane* dan pada terminal keluaran atau pada terminal motor.

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai IHD dan THD masing-masing piranti per-fasa, dari hasil perhitungan diketahui jika nilai I dan V fundamental pada masing-masing equipment mendekati nilai IDH orde ke-1 pada pengukuran.

Untuk mendapatkan nilai daya nyata (S) pada piranti, perlu dicari nilai  $V_{rms}$  dan  $I_{rms}$ . Untuk mempermudah proses perhitungan, nilai THD,  $V_{fundamental}$  dan  $I_{fundamental}$  per-fasa masing-masing piranti dirata-ratakan. Dengan menggunakan rumus dapat diketahui nilai  $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ , dan S.

Nilai *power factor* diperoleh dengan membagi daya aktif dan daya nyata, daya aktif dilihat pada spesifikasi (*name plate*) peralatan. Dari spesifikasi diketahui jika nilai faktor daya adalah 0.85, akan tetapi dari hasil perhitungan diketahui jika nilai faktor daya pada *bridge motor* adalah 0.4 sehingga dapat dikatakan jika *bridge motor* telah mengalami distorsi.

Untuk memastikan apakah nilai distorsi pada piranti *Bridge Crane* telah melewati batas aman dapat dilakukan dengan membandingkan hasil-hasil pengukuran dan perhitungan terhadap standar yang berlaku. Hasil perbandingan antara IHDi masing-masing piranti dengan IEC 1000-3-2 Kelas D terhadap arus harmonisa terlihat bahwa nilai IHDi pada semua piranti telah melewati nilai maksimum.

*Standard* IEEE 519-1992 untuk tegangan harmonisa telah menetapkan nilai IHDv maksimum sebesar 3% dan nilai THDv sebesar 5% untuk

tegangan  $\leq 69kV$ , setelah dilakukan perbandingan dengan nilai IHDv dan THDv piranti-piranti *Bridge Crane* diketahui jika distorsi tegangan pada *Bridge Crane* belum melewati nilai batasan yang ditetapkan.

untuk melakukan perbandingan dengan IEEE 519-1992 untuk arus harmonisa diperlukan nilai  $I_{sc} / I_L$ , sehingga perlu dihitung nilai  $I_{sc}$  terlebih dahulu menggunakan rumus

$$I_{sc} = \frac{I_{dasar}}{Z_{sc}}$$

Nilai  $Z_{sc}$  diperoleh dari spesifikasi *dry trafo* yang digunakan pada *bridge crane* sebesar 8.63% atau 0.086 pu. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai  $I_{sc}/I_L = 101.4A$  sehingga kelas yang yang dipergunakan berada pada range  $100 < 1000$ .

Dengan memasukkan nilai IHD rata-rata piranti-piranti *Bridge Crane* pada diagram garis dapat dilihat orde harmonisa yang paling dominan adalah orde harmonisa ke-5 dan nilai distorsi tertinggi dialami oleh *main hoist*. Orde harmonisa ke-5 akan membentuk arus urutan negatif yang

akan menyebabkan panas berlebih pada motor, konduktor dan isolator.

## 5. Kesimpulan dan saran

### 5.1 Kesimpulan

1. Dari penelitian ini terlihat bahwa piranti *Bridge Crane* yang menggunakan *Variable Speed Drive* mengalami distorsi tegangan dan arus.
2. Nilai Distorsi tertinggi baik untuk tegangan maupun arus terjadi pada orde harmonisa ke-5. Piranti *Main hoist* mengalami distorsi tertinggi sebesar 22.01 %
3. Hasil perbandingan dengan Standard IEC 1000-3-2 Kelas D dengan nilai IHDi hasil pengukuran menunjukkan distorsi yang telah melebihi nilai maksimum yang ditetapkan dengan nilai IHDi *Main Hoist* orde ke -5 sebagai yang tertinggi yaitu sebesar 22A. Perbandingan dengan standar IEEE 519-1992 untuk tegangan harmonisa menunjukkan bahwa nilai IHDv pada piranti-piranti *Bridge Crane* tidak melebihi standar maksimum 3% tetapi untuk arus range  $100 < 1000$  diketahui nilai IHDi dan TDD telah melebihi nilai maksimum yang ditetapkan sebesar 12% untuk orde  $h < 11$ , 5.5% untuk  $11 \leq h < 17$ , dan 15% untuk TDD.
4. Harmonisa urutan negatif (ke-5) dan urutan positif (ke 7) dapat menimbulkan panas berlebih pada motor, konduktor dan isolator. Dapat juga menyebabkan relai proteksi hubung tanah mala kerja. Harmonik urutan nol (3) tidak mengandung arus frekuensi fundamental, tetapi

mengandung 300% arus harmonisa ke-3. Pada MCB dan Fuse akan menyebabkan perubahan karakteristik, pada metering jenis induksi (mekanikal) akan menimbulkan kesalahan pengukuran dan pada peralatan elektronik terjadi perubahan bentuk gelombang dan menyebabkan mala kerja pada peralatan elektronik tersebut.

## 5.2 Saran

Studi ini dilakukan hanya dapat digunakan sebagai pengukuran awal dikarenakan keterbatasan yang terjadi dilapangan, namun dari hasilnya dapat dilihat jika kualitas daya pada *Bridge Crane* kurang baik. Akan lebih baik jika dilakukan pengetesan ulang dan dipikirkan cara untuk memperbaiki kualitas daya pada *Bridge Crane* sehingga usia pakai peralatan dapat diperpanjang.

## Daftar Pustaka

- [1] Armando Guzman, 2002, A Current-Based Solution for Transformer Differential Protection: Relay Deskription and Evaluation, IEEE Transaction on Power Delevery, Vol 17 No 4 October 2002.
- [2] Djiteng Marsudi, 1990, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta.
- [3] Enrique Acha, 2001, Power System Harmonics Computer Modeling and Analysis, University of Glasgow, UK and Manuel Madrical dari Intitut Teknologi de Morelia , Mexiko
- [4] Jusmin Sutanto, Hernadi Buhron, 2001, Implikasi Harmonik dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya, e-mail:yusminz@yahoo.com.
- [5] Mack Grady W., Robert Gilleskie, 1993, Harmonics dan How the Relate to Power Factor, Proc. Of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference San Diego
- [6] Roger C. Dugan, Mark F. McGranagan, H. Wayne Beaty, 1996 Electrical Power System Quallity, The McGraw-Hill Companies..
- [7] Turan Gonen, 1998, Modern Power System Analysis, copyright John Wiley & Sons, Printed in the US
- [8] Bien, Liem Ek.,Sudarno, 2004. Pengujian Harmonisa dan Upaya Pengurangan Gangguan Harmonisa Pada Lampu Hemat Energi. Jetri, Volume 4 nomor 1 halaman 53-64.
- [9] Zulkarnaini, Tumiran, Haryono T, 2007 "*Effect of harmonic loads on over current relay to Distribution system protection*" Proceedings of the International Conference on Electrical

Engineering and Informatics (ICEEI) ITB Bandung vol. I 138-141.

- [10] Zulkarnaini, Al.2007 "*Pengaruh harmonik terhadap rele arus lebih elektromekanik type induksi pada system distribusi tenaga listrik*" Tesis Sekolah Pascasarjana Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- [11] Zulkarnaini, 2011 "*Pengaruh Inrush Current terhadap kerja relay Differensial pada saat transfor daya I 42 MVA diberi tegangan (Aplikasi GIS Simpang Haru Padang)*