

BAB 4

ANALISIS DATA POLA INTERFERENSI FRINJI PADA SISTEM INTERFEROMETER *SAGNAC*

Pada bab 4 ini dibahas hanya *setup* Interferometer *Sagnac* pasif menggunakan konfigurasi *triangle* dengan jarak antara satu cermin dengan cermin lain adalah 12 cm x 12 cm. Kondisi awal *platform* adalah diam dan kemudian bergerak rotasi dengan kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) konstan. *Setting* cermin dan pemisah berkas menghasilkan kedua berkas cahaya arah *cw* dan *ccw* bertemu pada satu titik sepanjang *ring resonator* sehingga menghasilkan gelombang berdiri pola interferensi frinji. Pola frinji sebanyak 7 di layar. Gerak rotasi *platform* menyebabkan gerak translasi pola interferensi frinji.

Pemodelan matematika gelombang transversal dengan memasukkan data geometrikan seperti periode Λ menghasilkan pola spasial 2 Dimensi dan 3 Dimensi. Analisis data *image* pengukuran pola interferensi frinji dihitung menggunakan algoritma *FFT* 2 Dimensi sehingga diperoleh kurva *PSD* dan beda fasa absolut (φ) versus frekuensi fundamental (f). Tampilan histogram dengan data input rekaman *video* pengukuran pola interferensi frinji menghasilkan *beat frequency*. Apabila *beat frequency* dimasukkan ke dalam persamaan (4.2.1) maka diperoleh kecepatan sudut pola interferensi frinji (Ω_L) per sekuensial. Data ini menghasilkan kurva *lock in*.

4.1 Analisis data dari pembacaan output Interferometer *Sagnac*

Pemodelan persamaan (2.8.7) dari Bab 2 Teori Gelombang, Interferensi dan Interferometer *Sagnac* sebagai gelombang interferensi transversal membentuk pola spasial frinji di layar. Pemodelan matematika gelombang sebagai pola spasial 3 Dimensi dan 2 Dimensi seperti terlihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berasal dari persamaan superposisi Intensitas Longitudinal berikut ini.

$$E^2(x,t) = 4\cos^2 kx(\sin^2 \omega t \cos^2 \Delta kx + 2\sin \omega t \cos \omega t \sin \Delta kx \cos \Delta kx + \sin^2 \Delta kx \cos^2 \omega t)$$

$$k \gg \Delta k;$$

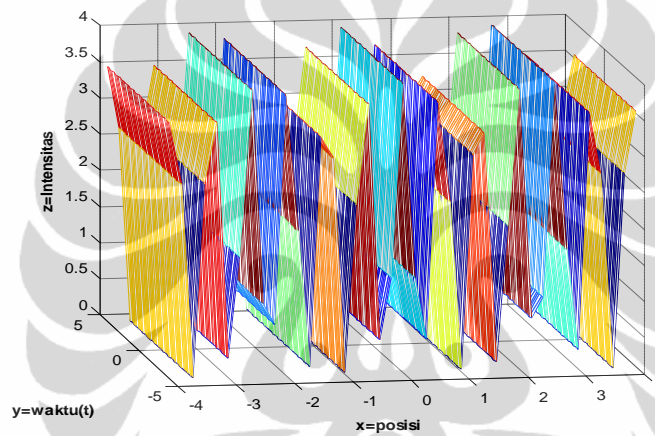
$$\text{Misalkan: } \lim_{\Delta kx \rightarrow 0} \sin \Delta kx \cong 0$$

$$\Delta kx \rightarrow 0$$

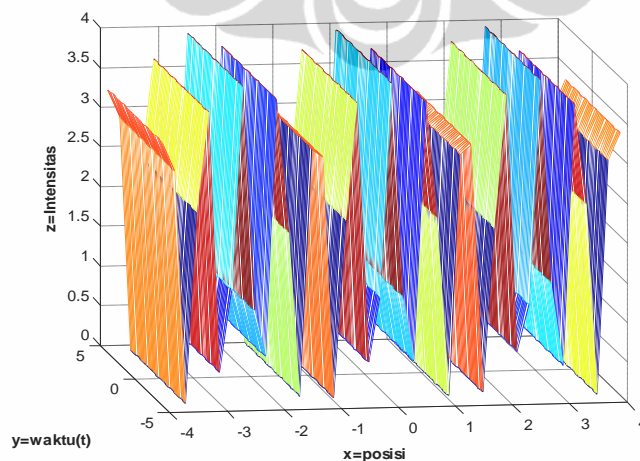
Aproksimasi

$$E^2(x,t) \cong 4\cos^2 kx \sin^2 \omega t \cos^2 \Delta kx$$

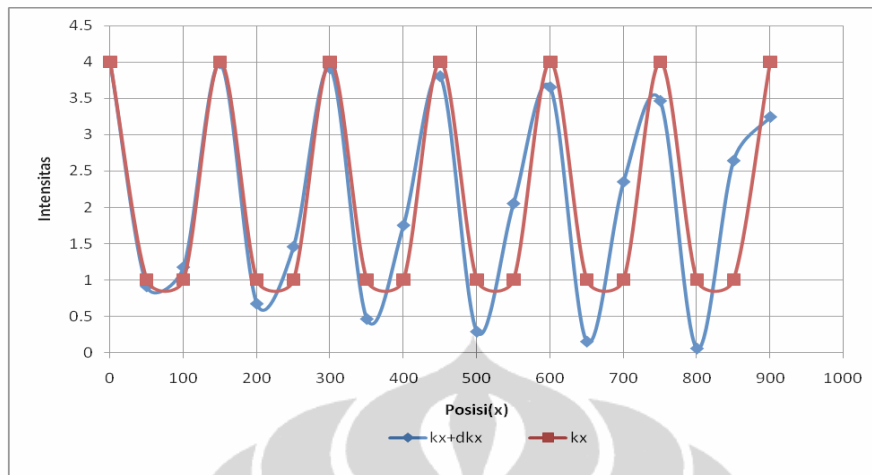
$$E^2(x,t) = 2(1 + \cos 2(kx \pm \Delta kx)) \cdot \sin^2 \omega t \quad (4.1.1)$$



Gambar 4.1 (a) Pola spasial 3 Dimensi dari pemodelan matematika persamaan gelombang (4.1.1) di mana $k = 2\pi/\Lambda$ di mana $\Delta k = 0$.

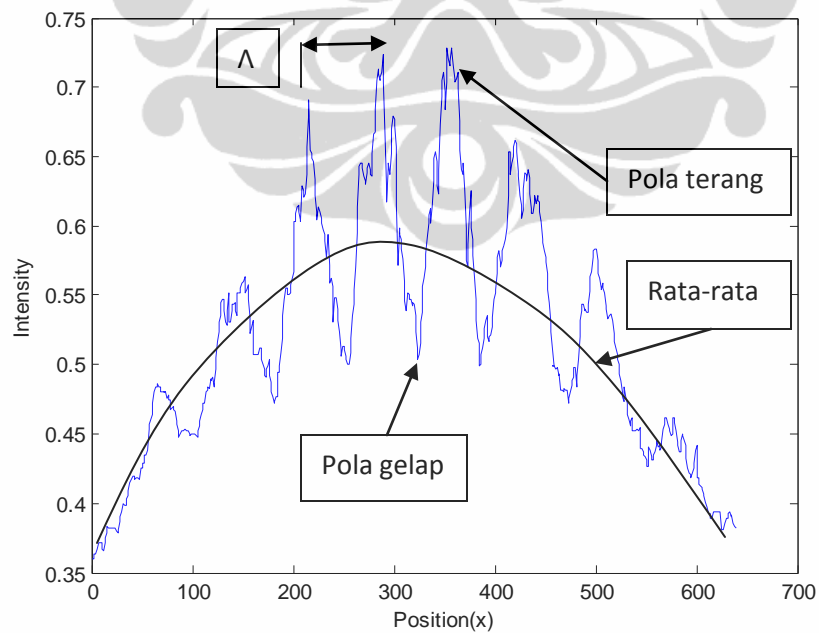


Gambar 4.1 (b) Pola spasial 3 Dimensi dari pemodelan matematika persamaan gelombang (4.1.1) di mana $k = 2\pi/\Lambda$ di mana $\Delta k \neq 0$.



Gambar 4.2 Pola spasial 2 Dimensi dari pemodelan matematika persamaan gelombang (4.1.1) di mana $k = 2\pi/\Lambda$ (merah) dan ada $+\Delta k$ (biru) pada waktu (t) tertentu.

Gambar 4.3 adalah pola spasial pengukuran pola interferensi frinji dengan kecepatan sudut rotasi *platform* sebesar 18 putaran per menit sebagai pengambilan data geometrikal. Pola terang-gelap dibatasi oleh garis kontiniu sebagai akibat pemisah berkas tidak (50 : 50) %.



Gambar 4.3 Pola spasial interferensi frinji pada kecepatan sudut rotasi *platform* 18 putaran per menit.

4.2 Pengukuran *beat frequency* pada Interferometer *Sagnac* pasif

Pada eksperimen Interferometer *Sagnac* pasif ini diperoleh 5 titik pengukuran kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) konstan searah putaran jarum jam di mana putaran berasal dari motor rotasi. Gerak translasi pola interferensi frinji di layar saat *platform* bergerak rotasi konstan searah putaran jarum jam direkam melalui sensor *web camera* ke *video recording*. Jarak sensor *web cam* ke layar adalah 10 cm. Data input *video* diolah secara *offline* melalui tampilan histogram per sekuensial di mana *beat frequency* diperlihatkan oleh kurva berwarna merah (*Red*) bagian tengah spektrum. Kurva *lock in* melalui analisis data geometrikal luas (A) dan keliling (S) dari *ring resonator* dengan sumber *laser* gas He Ne berdaya 5 mWatt. *Beat frequency* yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan matematika (4.2.1) menghasilkan kecepatan sudut pola interferensi frinji [12].

Apabila ditambahkan 2 *accelerometer* maka sistem ini menjadi alat ukur sudut arah Ψ (*heading*) yang disebut *Ring Laser Gyroscope* berbasis *Strapdown Inertial Navigation* [18].

Contoh perhitungan kondisi tipikal:

Harga Ω_L (kecepatan sudut pola interferensi frinji) = 0.1° h^{-1} sebanding dengan $4.85 \times 10^{-7} \text{ rad s}^{-1}$. Harga *beat frequency* (f_b) hasil perhitungan teoretikal adalah 0.2299 *Hertz*. Berdasarkan data tersebut di atas maka harga *beat frequency* (f_b) dihitung sebagai berikut

$$f_b = \frac{(4)(\Omega_L)(A)}{(\lambda)(S)} = f_{\text{sagnac}} \quad (4.2.1)$$

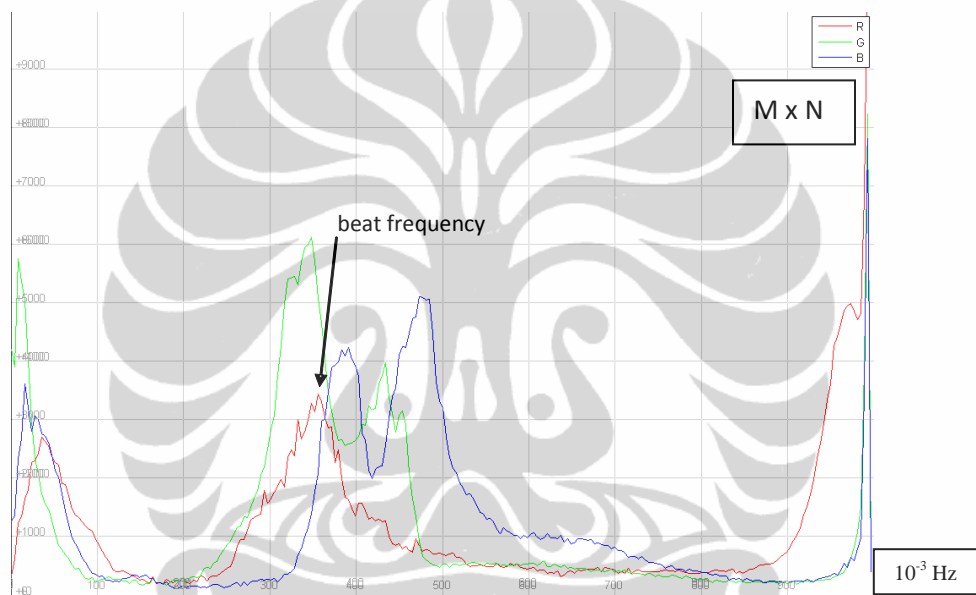
$$f_b = \frac{(4) \times (4.85 \times 10^{-7}) \times (0.3 \times 0.3)}{(632.8 \times 10^{-9}) \times (4 \times 0.3)} = 0.2299 \text{ Hertz}$$

di mana

f_b : *beat frequency; Hertz*

- Ω_L : kecepatan sudut pola interferensi frinji; *Radian per Second*
 A : luas *ring resonator*; m^2
 S : keliling *ring resonator*; m

Pada Gambar 4.4 terlihat *beat frequency* pada tampilan histogram *Red Green Blue* di mana pola bergerak translasi di layar. Data berasal dari *file RLG capture cam 11* di mana kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) mengalami akselerasi.



Gambar 4.4 Kurva *RGB* dari Intensitas cahaya versus frekuensi; kecepatan sudut rotasi *platform* 1.

Tampilan histogram dari data rekaman *video* berbentuk matriks baris x kolom $M \times N$ dan mempunyai intensitas maksimum pada kurva berwarna merah (*RED*). Pengukuran beberapa kali per sekuensial dengan kecepatan sudut rotasi *platform* konstan. Data pengukuran ini direkam pada *file rpm capture cam* 16, 17, 19, 20 dan 21. Masing-masing *beat frequency* mempunyai 5 data pengukuran kecepatan sudut rotasi (Ω) *platform*. Masukkan data ini ke dalam persamaan (4.2.1) sehingga menghasilkan kecepatan sudut pola interferensi frinji (Ω_{L1} ; Ω_{L2} ; Ω_{L3} ; Ω_{L4} dan Ω_{L5}).

4.3 Pengukuran kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) konstan [13]

Hasil eksperimen Interferometer *Sagnac* pada kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) konstan searah putaran jarum jam mempunyai jumlah frinji 7. *Beat frequency* (f_b) diukur dari tampilan histogram dengan data input rekaman *video* pola interferensi frinji dan kemudian dimasukkan ke dalam persamaan matematika (4.2.1) sehingga menghasilkan kecepatan sudut pola interferensi frinji (Ω_L). Hasil perhitungan dan pengukuran dari eksperimen *Sagnac* diperlihatkan oleh Tabel 4.1 di bawah ini.

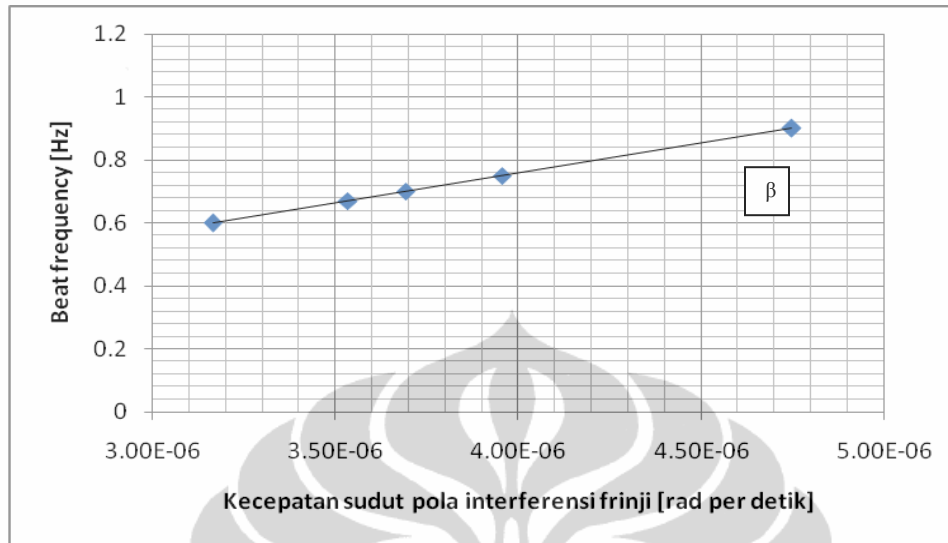
Tabel 4.1 Hasil pengukuran dan perhitungan untuk kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) konstan.

<i>File name:</i> <i>rpm capt</i>	Kecepatan sudut rotasi <i>platform</i> Ω (putaran per menit)	Perubahan Pola Frinji (ΔN) _{aktual}	Perhitungan Rumus Ω_L (rad detik ⁻¹)	Harga Intensitas (pixel)	Harga <i>beat frequency</i> (Hertz)
<i>cam 21</i>	13	0.000413054	0.4746×10^{-5}	3700	0.90
<i>cam 20</i>	16	0.000508374	0.3955×10^{-5}	4000	0.75
<i>cam 16</i>	18	0.000571921	0.3691×10^{-5}	4000	0.70
<i>cam 17</i>	25	0.000794334	0.3533×10^{-5}	3900	0.67
<i>cam 19</i>	30	0.000953201	0.3164×10^{-5}	4000	0.60

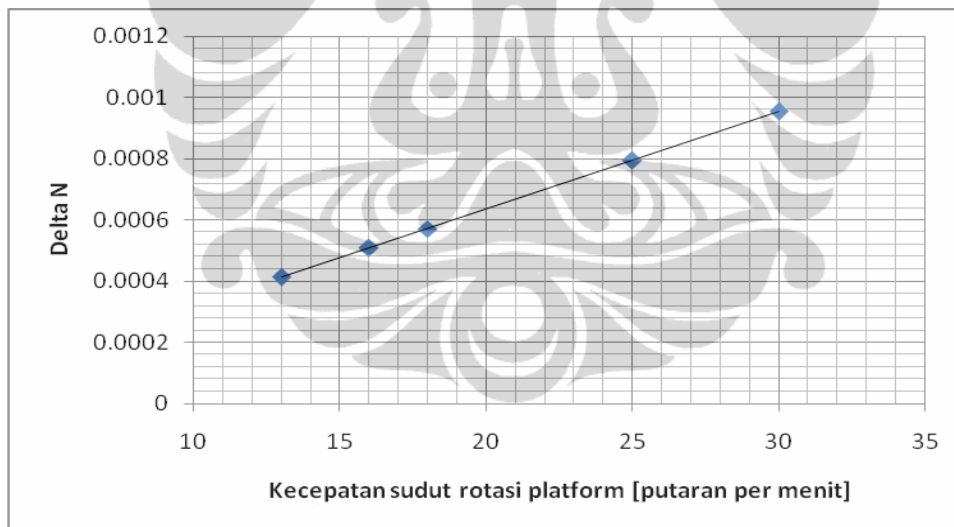
Pada Gambar 4.5 terlihat kurva *lock in* dengan memplot *beat frequency* versus kecepatan sudut pola interferensi frinji (Ω_L) pada 5 titik pengukuran membentuk kurva linier dan sudut β terhadap sumbu x. Hasil kurva *lock in* yang diperoleh dari eksperimen ini mempunyai ω_L masih berada di bawah kurva terbaik eksperimental luar negeri yang juga menggunakan sumber *laser* gas He Ne [3]. Harga ω_{Lock} teori

$$\omega_{Lock} = \frac{3.10^8 \times 632.10^{-9}}{8\pi \times 0.25 \times \sin 60^\circ} \times 10^{-4} \approx 0,2^\circ / detik = 349 \times 10^{-5} \text{ rad/detik} \quad (4.2.2)$$

Pada Gambar 4.6 terlihat kurva ΔN versus kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) hasil perhitungan teoretikal dengan data eksperimen seperti kecepatan sudut rotasi *platform* adalah linier.



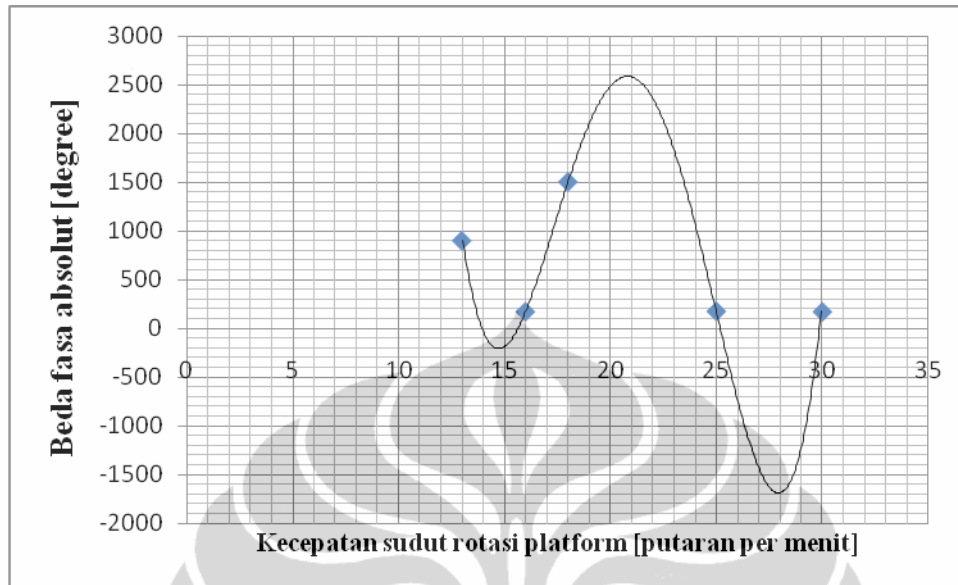
Gambar 4.5 Kurva *lock in* untuk beberapa kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω).



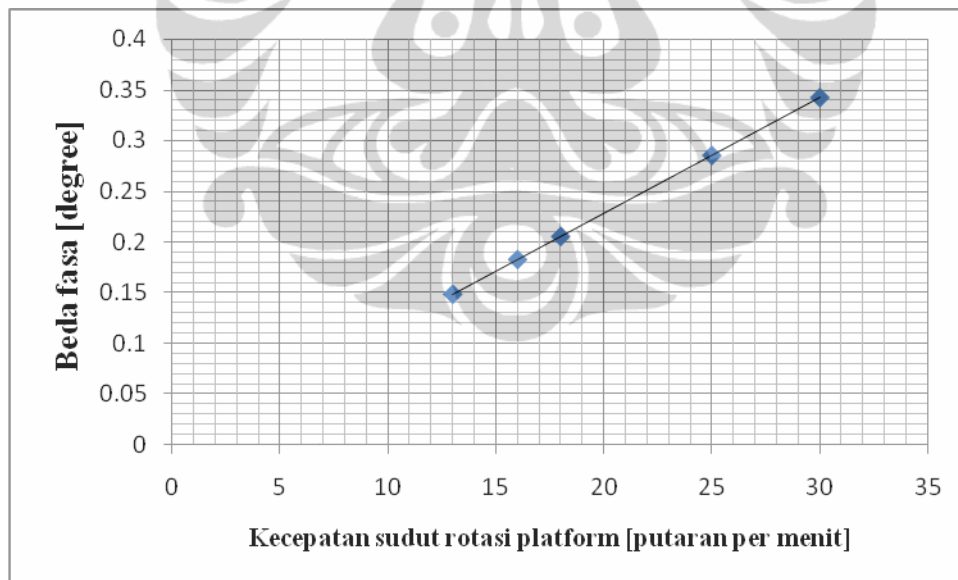
Gambar 4.6 Kurva ΔN versus kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) konstan.

Pada Gambar 4.7 terlihat kurva beda fasa absolut (φ_a) versus kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) secara eksperimental adalah sinusoidal orde empat [22].

Pada Gambar 4.8 terlihat kurva beda fasa (φ) versus kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) perhitungan teoretikal adalah linier.

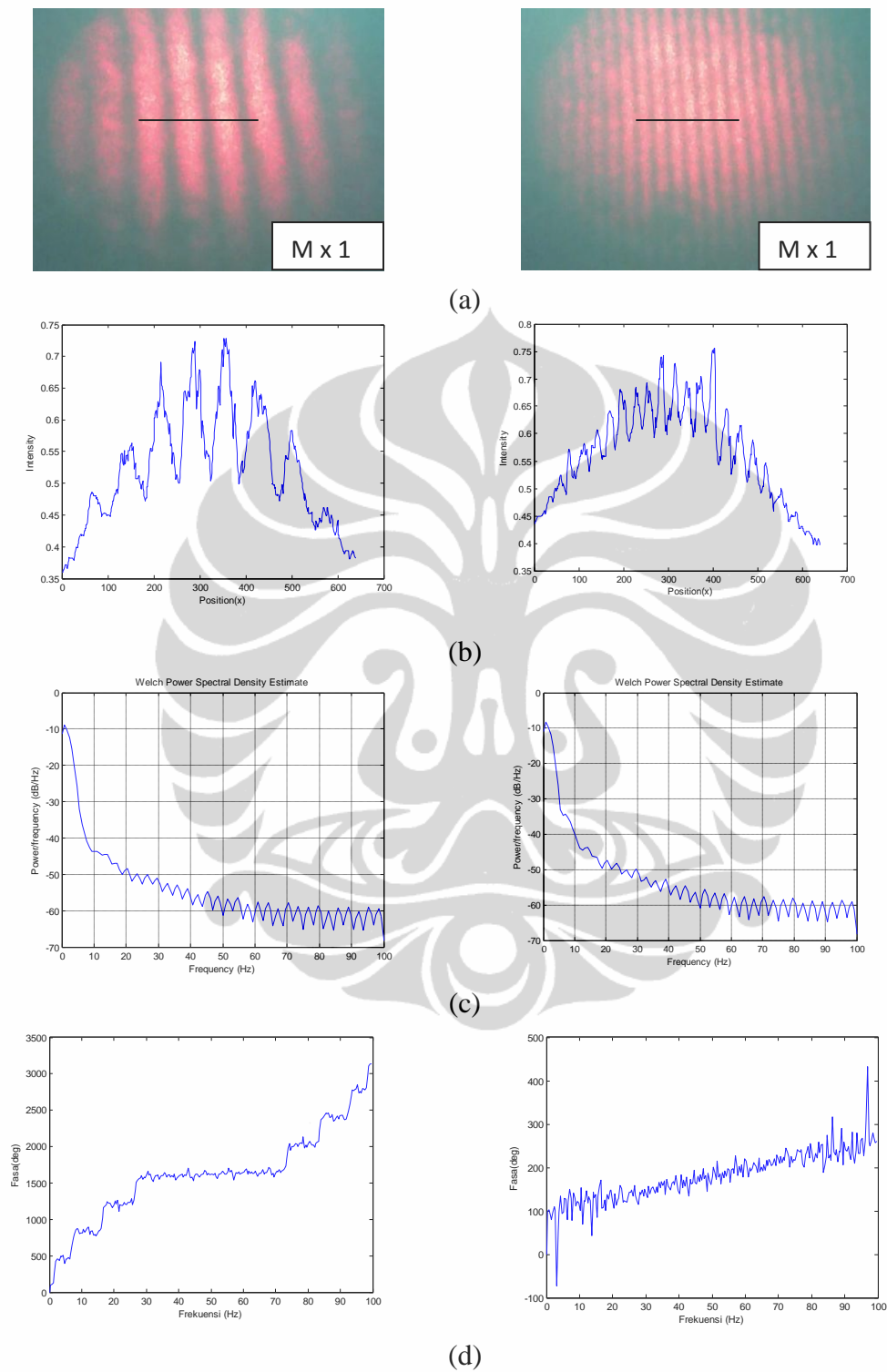


Gambar 4.7 Kurva beda fasa absolut (ϕ_a) versus kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) (secara eksperimental, diambil pada $f = 50 \text{ Hz}$) [22].

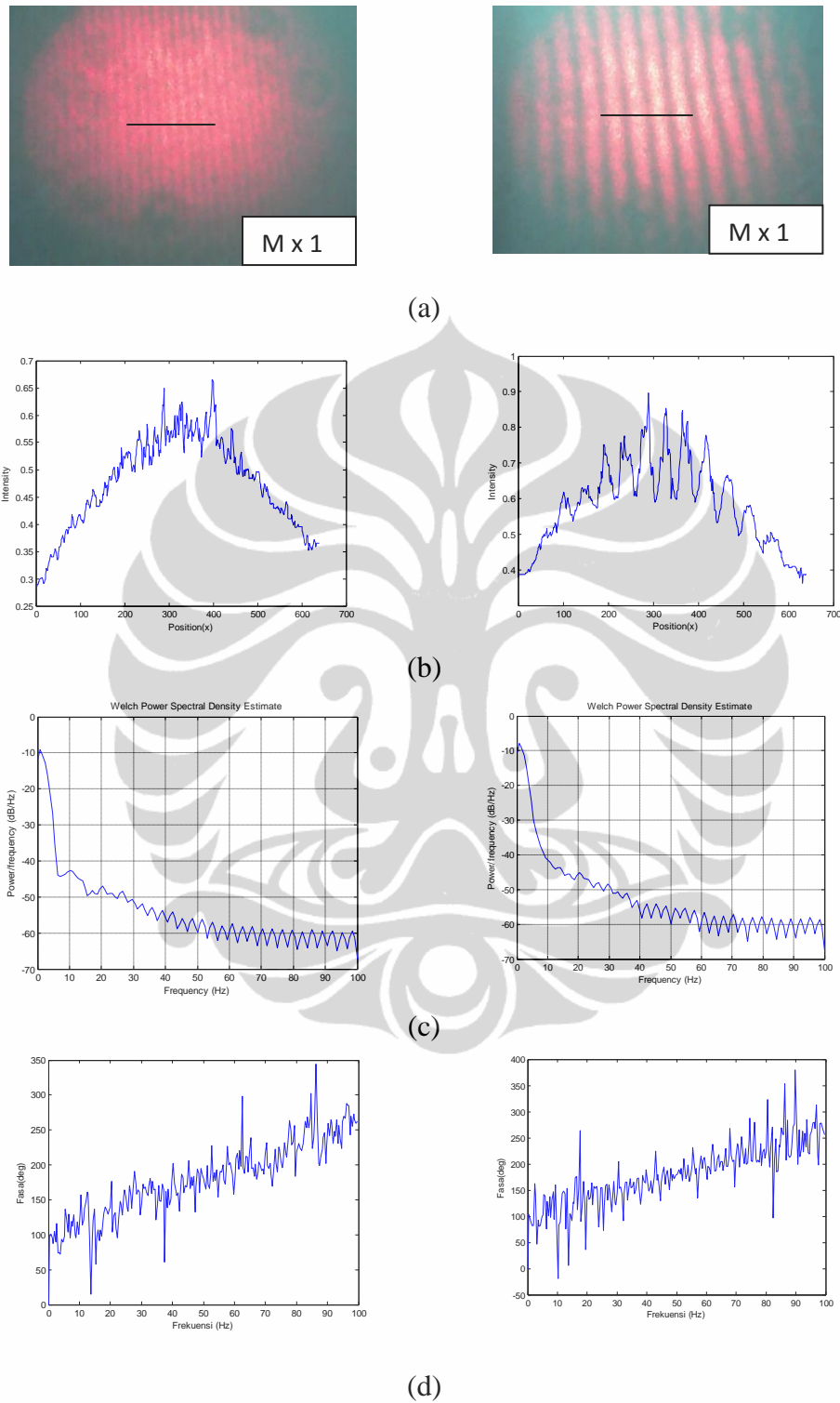


Gambar 4.8 Kurva beda fasa (ϕ) versus kecepatan sudut rotasi *platform* (Ω) (secara teoretikal).

Gambar 4.9 (a), (b), (c), (d) dan Gambar 4.10 (a), (b), (c), (d) terlihat pola interferensi frinji, pola spasial, *PSD* dan beda fasa absolut (ϕ) versus frekuensi fundamental (f).



Gambar 4.9 (a), (b), (c), (d) Pola interferensi frinji, pola spasial, PSD dan beda fasa absolut (φ) per frame file PDVG_6.bmp pada $\Omega = 18$ putaran per menit; PDVH_2.bmp pada $\Omega = 25$ putaran per menit. Keterangan ____: matriks baris $[M \times 1]$.



Gambar 4.10 (a), (b), (c), (d) Pola interferensi frinji, pola spasial, PSD dan beda fasa absolut (ϕ) per frame file PDVI_5.bmp pada $\Omega=30$ putaran per menit dan PDVF_4.bmp pada $\Omega=16$ putaran per menit. Keterangan ____: matriks baris $[M \times 1]$.