

PENGUKURAN PERUBAHAN REGANGAN DAN DEFLEKSI PADA PENGUJIAN STATIK RODA Pendaratan UTAMA PESAWAT TERBANG TANPA AWAK LSU05

(MEASUREMENT OF CHANGES IN STRAIN AND DEFLECTION ON UNMANNED AERIAL VEHICLE MAIN LANDING GEAR LSU05 STATIC TEST)

Aryandi Marta, Encung Sumarna
Pusat Teknologi Penerbangan – LAPAN
Pos El : aryandi.marta@lapan.go.id, encung.sumarna@lapan.go.id

Abstrak

Dalam pengujian statik roda pendaratan utama pesawat terbang tanpa awak LSU05, dipasang beberapa sensor strain gauge untuk mengukur perubahan regangan dan displacement transducer untuk mengukur perubahan defleksi. Terdapat lima titik pengukuran regangan yang dipasangi sensor strain gauge dengan konfigurasi jembatan penuh, dua titik pengukuran regangan menggunakan strain gauge rosette, dan tiga titik pengukuran defleksi. Roda pendaratan utama ini akan diberi beban tekan secara bertahap hingga mencapai load factor 3 yang setara dengan 2250 N. Data pengukuran dari tiap pembebanan dihimpun dalam data akuisisi LabVIEW 2014 dan TML DC-204R. Hasil pengujian statik menunjukkan bahwa nilai perubahan regangan pada pembebanan 2250 N sebesar 7085,98 mikrostrain dengan defleksi yang terjadi sebesar 9,23 mm. Sedangkan dari pembacaan strain gauge rosette diketahui bahwa arah sudut regangan utama untuk rosette 1 dan rosette 2, relatif terhadap sumbu 1, adalah sebesar 23,27° dan 18,09°.

Kata Kunci : roda pendaratan utama, strain gauge, displacement transducer, load factor, rosette.

Abstract

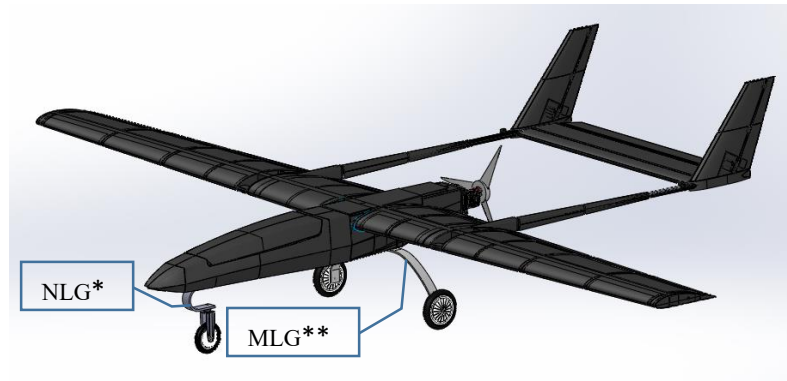
In the static test of unmanned aircraft LSU05's main landing gear, mounted some strain gauge sensors to measured strain changes and displacement transducer to measured deflection changes. There are five point of strain measurement which mounted with full bridge configuration strain gauge, two point of strain measurement which used rosette strain gauge, and three point of deflection measurement. This main landing gear will be given compressive load gradually until it reached load factor 3 which was equivalent to 2250 N. The measured data from each weighting collected in the LabVIEW 2014 and TML DC-204R data acquisition. The static test results showed that the change value of strain in 2250 N loaded was 7085.98 microstrain with 9.23 mm deflection. Meanwhile, from rosette strain gauge result was known that the angle direction of principal strain for rosette 1 and rosette 2, relative to the axis 1, was 23.27° dan 18.09°.

Keywords : main landing gear, strain gauge, displacement transducer, load factor, rosette.

1. PENDAHULUAN

Roda pendaratan merupakan bagian utama dari struktur sebuah pesawat. Bagian ini menjadi penopang bobot pesawat saat di darat sekaligus mempunyai fungsi vital sebagai penyerap energi pendaratan, penahan beban vertikal dan horizontal saat pengereman, serta mengendalikan kestabilan pesawat saat *runway taxi* [1] [2]. Roda pendaratan menjadi bagian dari pesawat yang pertama menyentuh landasan. Seluruh energi yang dimiliki pesawat saat mendarat akan diterima oleh roda pendaratan untuk diredam agar tidak merusak struktur lainnya.

Pesawat terbang tanpa awak LSU05 menggunakan roda pendaratan dengan tipe *fixed tricycle*, yaitu mempunyai satu roda pendaratan di depan (*nose gear*) dan dua roda pendaratan di bawah sayap (*main gear*) [3]. Struktur roda pendaratan utama ini dirancang untuk dapat lepas landas dan mendarat pada landasan perintis baik berupa tanah, pasir, maupun rumput [4]. Sebagai bagian yang kritikal pada tahap lepas landas dan mendarat, struktur roda pendaratan utama LSU05 harus dibuat kuat, handal namun tetap ringan agar tidak menambah bobot pesawat [5].



*NLG = Nose Landing Gear; **MLG = Main Landing Gear

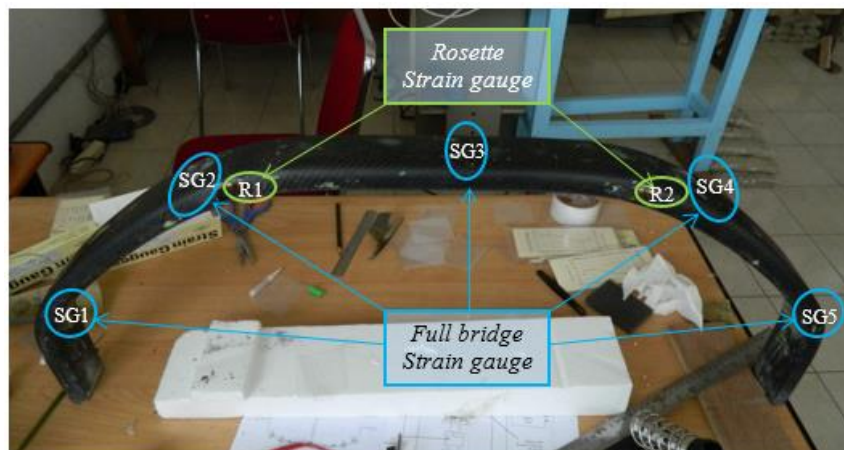
Gambar 1-1 Gambar 3D LSU-05 [5]

Struktur roda pendaratan utama yang telah selesai diproduksi akan diuji statik untuk mengetahui pengaruh beban tekan pada roda pendaratan. Beban yang diberikan berasal dari piston hidrolis dengan arah beban vertikal hingga mencapai 2250 N. Nilai beban ini setara dengan *load factor* 3 yang berasal dari tiga kali berat maksimum lepas landas LSU05, yaitu sebesar 750 N. Untuk mengetahui karakteristik perubahan yang terjadi saat pengujian, dipasang beberapa sensor *strain gauge* dan *displacement transducer*. Data perubahan dari tiap sensor akan dihimpun dan dianalisis sebagai bahan kajian dalam pengembangan struktur roda pendaratan utama LSU05 yang optimal. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur dan mengetahui karakteristik statik dari struktur roda pendaratan utama LSU05.

2. PERSIAPAN PENGUJIAN STATIK

2.1 Pemasangan Sensor

Untuk mengukur perubahan regangan yang terjadi saat pembebanan dipasang sensor *strain gauge* di beberapa sisi roda pendaratan utama. Terdapat lima titik pengukuran regangan yang dipasang *strain gauge* dengan konfigurasi jembatan penuh (*full bridge*) dan dua titik pengukuran menggunakan *strain gauge* tipe *rectangular rosette*. Penentuan posisi tujuh titik pengukuran ini mengacu pada kegiatan pengujian kehandalan struktur landing gear pesawat udara nir awak (PUNA) yang dilakukan oleh Kadir [6]. Posisi pemasangan *strain gauge* pada roda pendaratan utama dapat dilihat pada gambar 2-1.



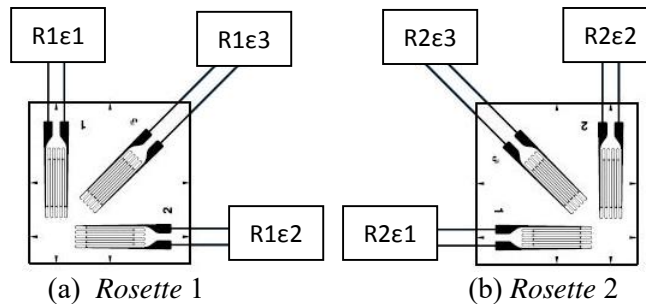
Keterangan : SG = Strain gauge; R = Rosette

Gambar 2-1 Posisi Pemasangan Strain gauge [7]

Strain gauge yang dipasang dengan konfigurasi *full bridge* menggunakan merk TML tipe BFLA-5-8 dengan resistansi 120 ohm, sedangkan untuk *strain gauge rosette* menggunakan tipe BRCA-5-8 dengan resistansi 120 ohm. Kedua jenis *strain gauge* ini dikhususkan untuk mengukur regangan pada material komposit. Bentuk kedua tipe *strain gauge* tersebut ditunjukkan pada gambar 2-2.



Gambar 2-2 Strain gauge TML Tipe Single dan Rosette



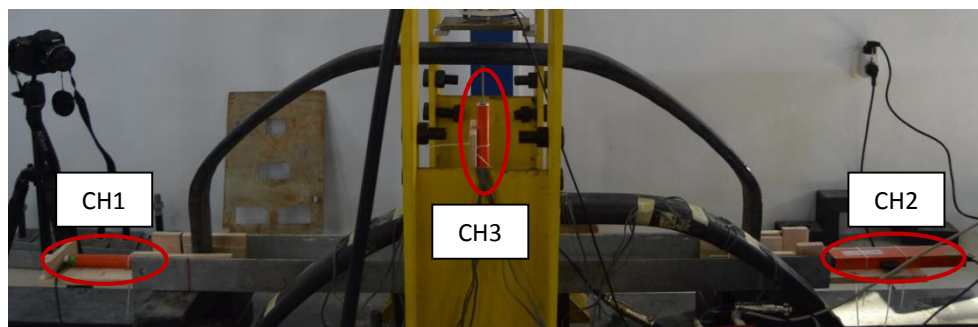
Gambar 2-3 Posisi Peletakan Strain gauge Rosette

Arah orientasi peletakan *strain gauge rosette* pada sisi ketebalan roda pendaratan utama ditunjukkan pada gambar 2-3. *Rosette* yang digunakan bertipe rectangular dengan sudut 45°. Dari data perubahan regangan tiap elemen tunggal *strain gauge*, dapat ditentukan nilai maksimum dan minimum regangan utama (*max, min principal strain*) beserta arahnya (θ). Persamaan matematis yang digunakan adalah sebagai berikut [8]:

$$\varepsilon_{max,min} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\varepsilon_1 + \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2)^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\varepsilon_1 - 2\varepsilon_3 + \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Selain *strain gauge*, juga dipasang sensor *displacement transducer* untuk mengukur perubahan defleksi akibat pembebanan. Sensor ini diletakan dibagian bawah dan dikedua ujung roda pendaratan utama. Sensor yang digunakan menggunakan merk TML dengan rentang pengukuran 50 mm dan 100 mm. Posisi peletakan *displacement transducer* pada pengujian dapat dilihat pada gambar 2-4.



Gambar 2-4 Posisi Displacement transducer [7]

2.2 Data Akuisisi

Untuk menghimpun data perubahan regangan digunakan data akuisisi LabVIEW dan sedangkan untuk menyimpan data perubahan defleksi digunakan TML DC-204R. Modul pengukuran regangan yang digunakan pada LabVIEW yaitu NI 9237 dan NI 9235. NI 9237 merupakan modul yang digunakan untuk mengukur regangan dengan berbagai konfigurasi rangkaian *strain gauge* [9], sedangkan NI 9235

dikhususkan untuk mengukur regangan dengan konfigurasi *quarter bridge* sehingga cocok untuk digunakan pada *strain gauge rosette* [10]. LabVIEW diatur untuk dapat membaca 1000 sample data dengan kecepatan 10.000 Hz, sedangkan TML DC-204R diatur untuk mengambil sample data tiap 10 milidetik.

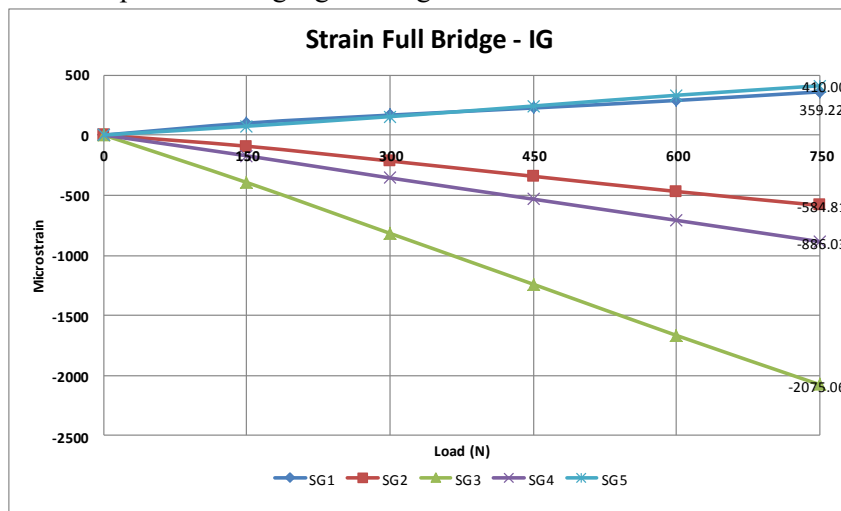
2.3 Prosedur Pengujian

Pengujian statik roda pendaratan utama LSU05 dilakukan menggunakan piston hidrolik dengan kapasitas 2 ton. Pada bagian ujung hidrolik, dipasang sebuah *load cell* dengan kapasitas 5 kN untuk memantau besarnya beban tekan yang telah diberikan pada roda pendaratan utama. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap pembebanan *load factor* 1 (750 N), *load factor* 2 (1500 N), dan *load factor* 3 (2250 N). Tiap pembebanan dilakukan secara bertahap dengan pembagian lima kali penambahan beban. Saat kondisi pengukuran telah stabil maka data perubahan regangan akan disimpan sedangkan data perubahan defleksi akan terus disimpan hingga pengujian selesai.

3. HASIL PENGUJIAN STATIK DAN ANALISIS

3.1 Pembebanan *Load factor* 1

Nilai pembebanan *load factor* 1 diambil dari data konfigurasi LSU05 untuk bobot lepas landas maksimum (*maximum take off weight/MTOW*) yaitu sebesar 735 N, dan dibulatkan keatas menjadi 750 N untuk menyederhanakan perhitungan [4]. Nilai ini akan dibagi menjadi lima kali pembebanan sehingga akan dilakukan penambahan beban setiap 150 N. Setelah dilakukan tiga kali pengujian diperoleh grafik rata – rata perubahan regangan sebagai berikut :



Gambar 3-1 Perubahan Regangan Pada *Load factor* 1

Posisi pemasangan *strain gauge full bridge* pada roda pendaratan utama dilakukan secara simetris sehingga idealnya nilai perubahan pada SG1 akan sama dengan SG5, dan SG2 sama dengan SG4. Berdasarkan gambar 3-1, SG1 dan SG 5 mengalami beban tarik dengan perbedaan nilai (delta) sebesar 50,78 ue, sedangkan SG2 dan SG4 mengalami beban tekan dengan delta sebesar 301,23 ue. Pada pembebanan ini, titik pusat roda pendaratan mengalami beban tekan sehingga mengalami perubahan regangan sebesar 2075,06 ue.

Tabel 3-1 Perubahan Regangan *Rosette* 1 dan 2 Pada *Load Factor* 1

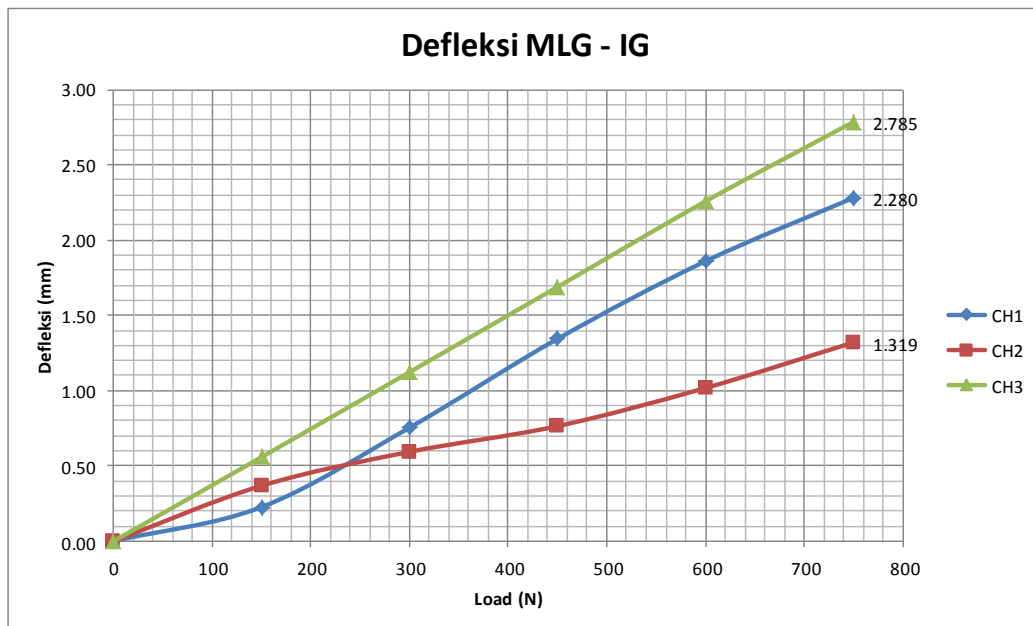
Tekanan (N)	Nilai rata-rata strain					
	R1ε1	R1ε2	R1ε3	R2ε1	R2ε2	R2ε3
0	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
150	7.69	-19.56	-20.62	30.19		-15.99
300	16.81	-41.93	-42.56	62.09		-32.46
450	26.41	-63.53	-63.41	94.19		-48.71
600	34.68	-85.79	-85.07	126.63		-65.65
750	44.72	-106.77	-105.36	159.68		-81.23

Tabel 3-1 menunjukkan data perubahan regangan yang terjadi pada *strain gauge rosette* 1 dan 2 untuk setiap elemen *strain gauge* tunggalnya. Saat pengujian, terjadi kesalahan pembacaan perubahan regangan pada data akuisisi sehingga data pada elemen tunggal 2 *rosette* 2 tidak dapat ditampilkan. Dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 diperoleh nilai ϵ_{max} , ϵ_{min} , dan Φ yang ditunjukkan dalam tabel 3-2.

Tabel 3-2 Perubahan ϵ_{max} , ϵ_{min} , dan Φ *Rosette* 1 Pada *Load factor* 1

Tekanan (N)	ϵ_{max}	ϵ_{min}	Φ
0	0.00	0.00	-
150	14.09	-25.97	23.57
300	29.42	-54.54	22.80
450	44.95	-82.07	22.46
600	59.12	-110.23	22.33
750	75.10	-137.15	22.23

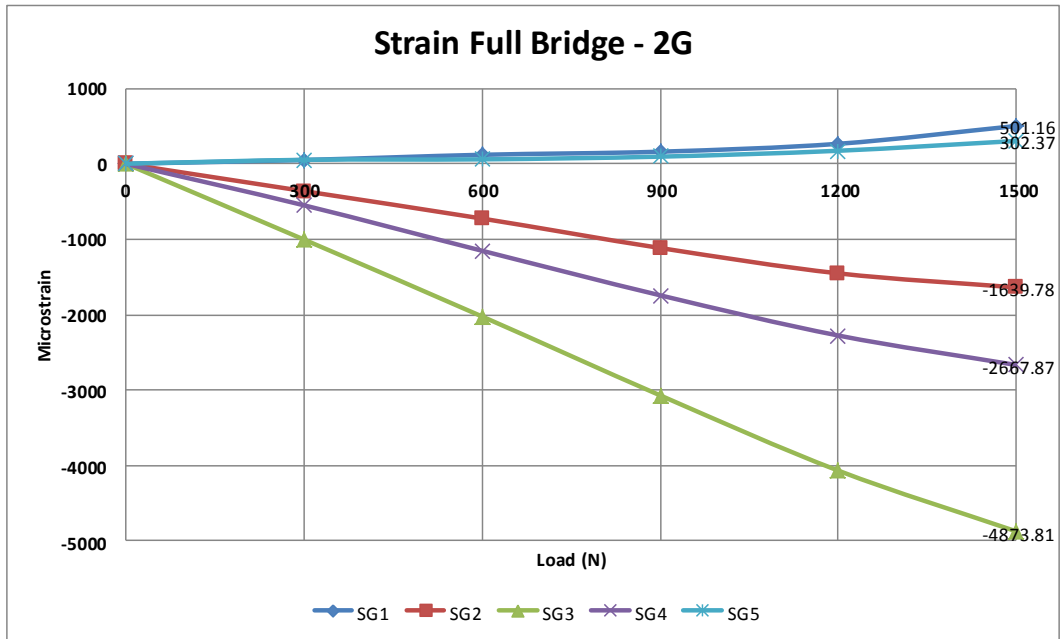
Untuk perubahan defleksi yang terjadi pada *load factor* 1 dapat dilihat pada gambar 3-2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa defleksi yang terjadi pada titik pusat roda pendaratan utama sebesar 2.785 mm (CH3). Terdapat perbedaan defleksi yang cukup signifikan dikedua sisi roda pendaratan. Hal ini disebabkan karena perbedaan kekasaran lantai pengujian sehingga menyebabkan salah satu sisi roda pendaratan sulit bergerak.



Gambar 3-2 Perubahan Defleksi Pada *Load Factor* 1

3.2 Pembebanan *Load factor* 2

Nilai pembebanan *load factor* 2 adalah 1500 N. Nilai ini akan dibagi menjadi lima kali pembebanan sehingga akan dilakukan penambahan beban setiap 300 N. Setelah dilakukan tiga kali pengujian diperoleh grafik rata – rata perubahan regangan sebagai berikut :



Gambar 3-3 Perubahan Regangan Pada Load factor 2

Berdasarkan gambar 3-3, SG1 dan SG 5 mengalami beban tarik dengan perbedaan nilai (delta) sebesar 198,79 ue, sedangkan SG2 dan SG4 mengalami beban tekan dengan delta sebesar 1028,09 ue. Pada pembebanan ini, titik pusat roda pendaratan mengalami beban tekan sehingga mengalami perubahan regangan sebesar 4878,81 ue. Untuk data hasil pengukuran *strain gauge rosette* ditampilkan dalam tabel 3-3 dan tabel 3-4.

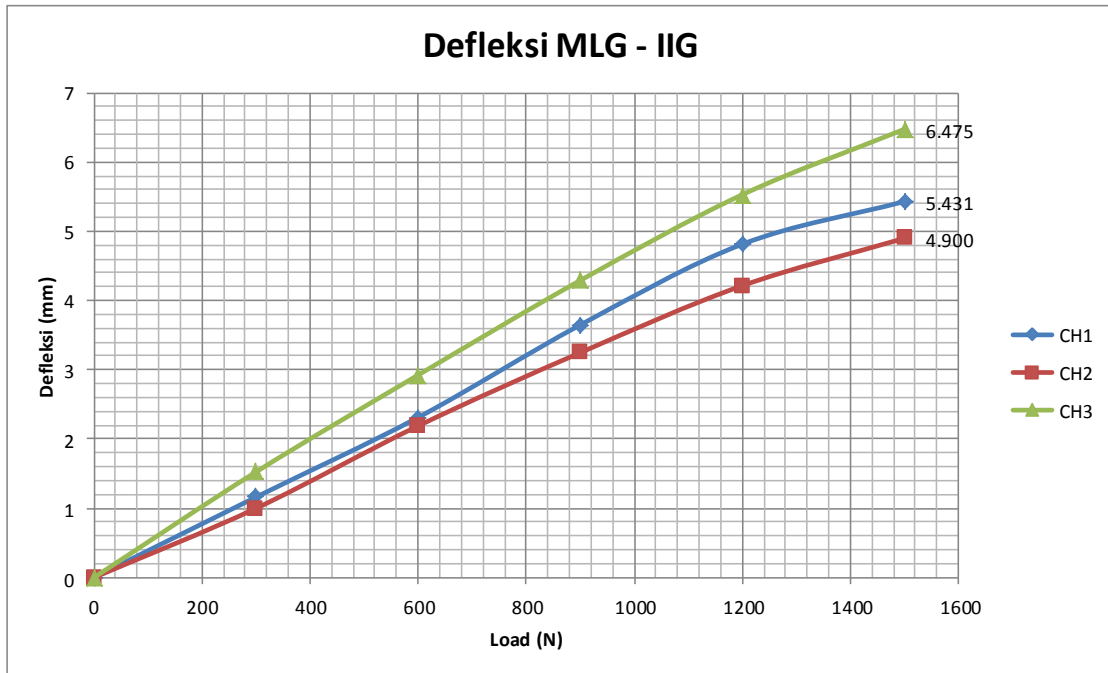
Tabel 3-3 Perubahan Regangan Rosette 1 dan 2 Pada Load Factor 2

Tekanan (N)	Nilai rata-rata strain					
	R1ε1	R1ε2	R1ε3	R2ε1	R2ε2	R2ε3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300	32.94	-48.31	-49.69	101.99	-43.75	-22.80
600	64.54	-96.70	-100.66	214.02	-89.95	-43.57
900	97.63	-147.04	-152.38	326.62	-134.37	-64.90
1200	126.03	-192.93	-201.53	431.17	-173.70	-85.68
1500	144.16	-226.11	-241.43	513.07	-201.53	-102.98

Tabel 3-4 Perubahan ϵ_{max} , ϵ_{min} , dan Φ Rosette 1 dan 2 Pada Load factor 2

Tekanan (N)	Rosette 1			Rosette 2		
	ϵ_{max}	ϵ_{min}	Φ	ϵ_{max}	ϵ_{min}	Φ
0	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-
300	50.75	-66.12	22.98	118.59	-60.36	17.73
600	100.77	-132.93	23.19	247.10	-123.03	17.40
900	152.11	-201.53	23.11	377.30	-185.04	17.47
1200	198.25	-265.15	23.25	499.46	-241.99	17.67
1500	231.89	-313.84	23.64	596.93	-285.38	17.96

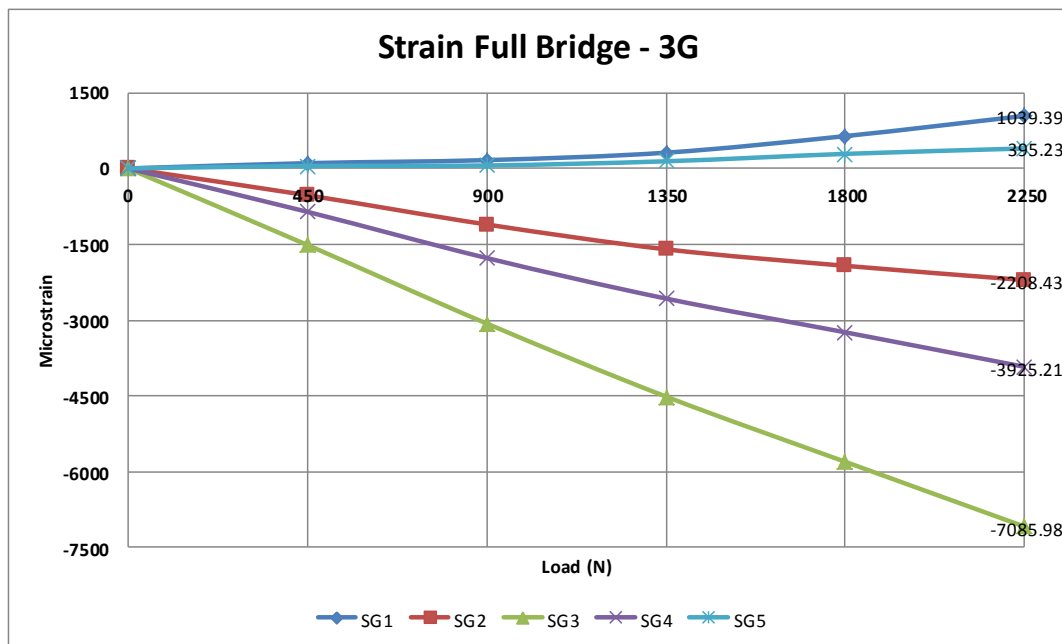
Untuk perubahan defleksi yang terjadi pada *load factor 2* dapat dilihat pada gambar 3-4. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa defleksi yang terjadi pada titik pusat roda pendaratan utama sebesar 6,475 mm (CH3). Perbedaan defleksi antara CH1 dan CH2 mulai berkurang karena kondisi lantai telah diberi pelumas (oli).



Gambar 3-4 Perubahan Defleksi Pada Load Factor 2

3.3 Pembebanan Load factor 3

Nilai pembebanan *load factor* 3 adalah 2250 N. Nilai ini akan dibagi menjadi lima kali pembebanan sehingga akan dilakukan penambahan beban setiap 750 N. Setelah dilakukan tiga kali pengujian diperoleh grafik rata – rata perubahan regangan sebagai berikut :



Gambar 3-5 Perubahan Regangan Pada Load factor 3

Berdasarkan gambar 3-5, SG1 dan SG 5 mengalami beban tarik dengan perbedaan nilai (delta) sebesar 644,16 ue, sedangkan SG2 dan SG4 mengalami beban tekan dengan delta sebesar 1716,78 ue. Pada pembebanan ini, titik pusat roda pendaratan mengalami beban tekan sehingga mengalami perubahan regangan sebesar 7085,98 ue. Untuk data hasil pengukuran *strain gauge rosette* ditampilkan dalam tabel 3-5 dan tabel 3-6.

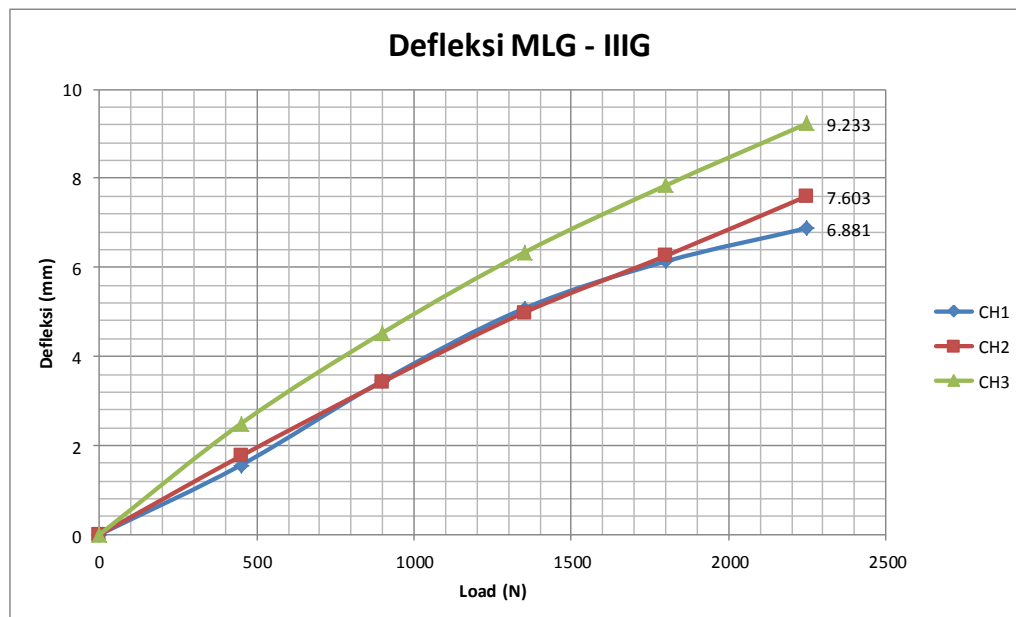
Tabel 3-5 Perubahan Regangan *Rosette* 1 dan 2 Pada *Load Factor* 3

Tekanan (N)	Nilai rata-rata strain					
	R1ε1	R1ε2	R1ε3	R2ε1	R2ε2	R2ε3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
450	43.52	-70.39	-75.10	150.56	-66.26	-38.37
900	89.14	-143.81	-151.87	314.23	-133.21	-74.71
1350	126.86	-209.72	-223.66	462.39	-189.64	-109.11
1800	152.75	-263.57	-289.59	591.24	-234.81	-139.13
2250	173.88	-313.46	-352.97	719.85	-278.88	-167.96

Tabel 3-6 Perubahan ϵ_{max} , ϵ_{min} , dan Φ *Rosette* 1 dan 2 Pada *Load factor* 3

Tekanan (N)	<i>Rosette</i> 1			<i>Rosette</i> 2		
	ϵ_{max}	ϵ_{min}	Φ	ϵ_{max}	ϵ_{min}	Φ
0	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-
450	70.52	-97.38	23.64	177.19	-92.89	18.30
900	143.18	-197.85	23.46	368.62	-187.61	18.22
1350	206.62	-289.48	23.64	544.49	-271.73	18.49
1800	257.91	-368.73	24.18	699.07	-342.65	18.77
2250	303.79	-443.38	24.64	853.14	-412.17	18.94

Untuk perubahan defleksi yang terjadi pada *load factor* 3 dapat dilihat pada gambar 3-6. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa defleksi yang terjadi pada titik pusat roda pendaratan utama sebesar 9,233 mm (CH3). Perubahan defleksi antara CH1 dan CH2 selama pengujian tidak signifikan karena posisi penempatan roda pendaratan pada alat uji lebih presisi dan gesekan dengan lantai cukup kecil.



Gambar 3-6 Perubahan Defleksi Pada *Load Factor* 3

4. KESIMPULAN

Pengujian statik roda pendaratan utama LSU05 dilakukan untuk mengetahui karakteristik statik dari struktur yang telah dibuat. Dari hasil pengujian, roda pendaratan ini mampu menahan beban hingga tiga kali berat lepas landasnya yaitu sebesar 2250 N. Defleksi yang terjadi pada pembebanan ini sebesar 9,2 mm pada titik pusat dan ± 7 mm pada bagian kaki roda pendaratan, dengan perubahan regangan terbesar mencapai 7085.98 ue. Pemasangan *strain gauge rosette* pada sisi ketebalan roda pendaratan

menunjukkan bahwa arah sudut regangan utama berkisar antara $18^\circ - 23^\circ$ dari sumbu 1 elemen tunggalnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan dan penyelesaian makalah ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Teknis Aerosturktur PUSTEKBANG – LAPAN yang menyiapkan benda uji roda pendaratan utama LSU05 dan segala keperluan pengujian lainnya. Serta kepada Arfan Fajri atas kesediaannya memberikan aplikasi pengukuran strain di LabVIEW sehingga penulis dapat menggunakan dan mengembangkan aplikasi tersebut untuk keperluan pengujian.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggungjawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) A. Jha, "*Landing Gear Layout Design for Unmanned Aerial Vehicle*" in *14th National Conference on Machines and Mechanisms (NaCoMM)*, Durgapur, India, 2009.
- 2) AEROSPAZIALE, "*Landing Gear System*" in *AIRCRAFT SYSTEMS*, Milan, DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA AEROSPAZIALE, 2004, pp. 7.1 - 7.13.
- 3) A. Riki, H. Dony and N. Afid, "*Design and Analysis of Main Landing Gear Frame of LSU-05 By Finite Element Methode*" in *International Seminar of Aerospace Science and Technology*, Tangerang, 2014.
- 4) Tim LSU 05, "*Conceptual Design Report LAPAN Surveillance UAV (LSU) 05*", LAPAN, Bogor, 2013.
- 5) F. A. Wandono, R. Ardiansyah and D. Hidayat, "*Evaluasi Kriteria Kegagalan Tsai-Hill Pada Struktur Rangka Main Landing Gear LSU-05*", in *Seminar Nasional Iptek Dirgantara (SIPTEKGAN)*, Bogor, 2014.
- 6) A. M. Kadir dkk, "*Aplikasi Material Komposit Untuk Peningkatan Keandalan Struktur Landing Gear Pesawat Udara Nir Awak (PUNA)*", Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) - BPPT, Tangerang, 2012.
- 7) A. Marta, "*Uji Statik Main Landing Gear LSU05*", PUSTEKBANG - LAPAN, Bogor, 2014.
- 8) J. Craig, "*Strain Transformation and Rosette Gage Theory*", The Daniel Guggenheim School of Aerospace Engineering, Georgia, 2013.
- 9) National Instruments, "NI 9237," [Online]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/208791>. [Accessed 29 Juni 2015].
- 10) National Instruments, "NI 9235," [Online]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/208790>. [Accessed 29 Juni 2015].