RANCANG BANGUN SISTEM INSTRUMEN ALAT *WEIGHT AND BALANCE* PESAWAT CESSNA 172N BERBASIS WEB

Muhammad Ridwan Firdaus[1], Mochammad Lutfhi[2], Tria Mariz Arief[3]
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung
muhammad.ridwan.aer18@polban.ac.id[1], mluthfi@polban.ac.id[2], tria@polban.ac.id[3]

Abstract

The factor of safety and stability during aircraft operating conditions is influenced by the location of the center of gravity (CG) which is measured in the weight and balance (W&B) process. Therefore, an instrument system is needed to assist and facilitate the process of W&B aircraft in determining its CG range. The results of the analysis of literature studies and observations resulted in the design of electronic system circuit designs and W&B instrument web programs. Load cell calibration is done by determining the calibration factor, then entered into the Arduino program for conditioning the measurement values. Testing the instrument system is carried out by weighing the basic empty weight of the Cessna 172N aircraft directly and displaying the measurement value on the web. The onboard weight configuration and CG location calculations are based on the Pilot's Operating Handbooks (POH) and Cessna 172N Type Certificate Data Sheet (TCDS) documents. The W&B measuring instrument system will process the data and display the results of the calculation of the CG location calculation in the form of a web display. Some of the conditions that will be displayed are the conditions of ramp weight, take-off weight, and landing weight in the CG range chart.

Keywords : Weight and balance, Center of gravity, Cessna 172N, Instrumen, Electronic, Web

1. PENDAHULUAN

Weight and balance (W&B) merupakan faktor penting dalam memberikan pengaruh terhadap kelayakan pada pesawat udara. Konfigurasi berat pembebanan fluktuatif yaitu jumlah fuel, penumpang, barang-barang di bagasi, dan lain-lain akan berdampak pada perubahan letak *center of gravity* (CG) pesawat udara. Secara umum kecelakaan pesawat udara yang disebabkan faktor W&B yakni sebesar 22.30% karena salahnya pencatatan *load sheet* konfigurasi beban yang diisi sebelum penerbangan berlangsung. Mayoritas (lebih dari 90%) masalah yang disebabkan W&B dapat dieliminasi dengan pengembangan sistem pencatatan (W&B *record*) berbasis *automatic on board weight and balance system*. Oleh karena itu, pengembangan alat ukur W&B dengan sistem intrumen otomatis untuk membaca nilai berat pesawat udara sangat dibutuhkan. Berkembangnya era modernisasi, sistem pengolahan data semakin praktis ditampilkan dalam bentuk web pada browser *smartphone* atau komputer. Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan sistem instrumen dan pemograman *weight and balance* berbasis web. Hasil konfigurasi berat pembebanam pesawat Cessna 172N yang akan ditimbang oleh *load cell* akan diproses oleh modul *amplifier* dan data konfigurasi beban tersebut akan diinput pada sistem pemograman perhitungan *center of gravity* pada berbagai kondisi pada *website* serta ditampilkan dalam bentuk visualisasi tampilan grafik *CG range* pada *website* tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian mengenai pengembangan alat *weight and balance* sebelumnya yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Nafhan, 2019. Dengan judul *"Rancang Bangun Alat Simulasi Penentuan Letak Center of Gravity Pesawat Udara"*, pada penelitiannya tersebut dilakukan

pembuatan alat simulasi W&B pesawat model dengan penambahan konfigurasi pendistribusian beban dan dilakukan perhitungan letak CG pesawat model tersebut.

2. Magribie, 2019. Dengan judul *"Pembuatan Program Penentuan Letak Center of Gravity Pesawat Udara untuk Alat Simulasi Weight and Balance"*, dalam penelitiannya tersebut dilakukan pembuatan program penentuan letak CG untuk alat simulasi W&B berbasis tampilan web. Dilakukan perhitungan kalkulasi dari data yang didapat dari simulasi beban pesawat Cessna 172N.

3. METODE PENELITIAN

Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian literatur-literatur penunjang sebagai bahan pengkajian dan referensi, dimulai dengan data-data dan informasi dari penelitian tentang pembuatan alat simulasi *weight and balance* dan program penentuan letak CG, buku-buku, *Pilot Operating Hanbook* (POH), FAA *handbook, Advisory Circular 43,* dan *Type Certificate Data Sheet* (TCDS)

Observasi

Pada tahap ini mempelajari serta mengkaji mengenai instrumen sistem elektronik dan program dari alat pengukur berat *weight and balance* serta perhitungan letak *center of gravity* pesawat. Dimana program *code* yang dipublikasikan di situs *github.com* dipelajari dan diinterprestasikan menjadi program tampilan serta perhitungan letak *center of gravity* pada *website* dengan data yang didapat dari sistem instumen elektonik *load cell*, modul *amplifier*, dan *wifi module arduino.*

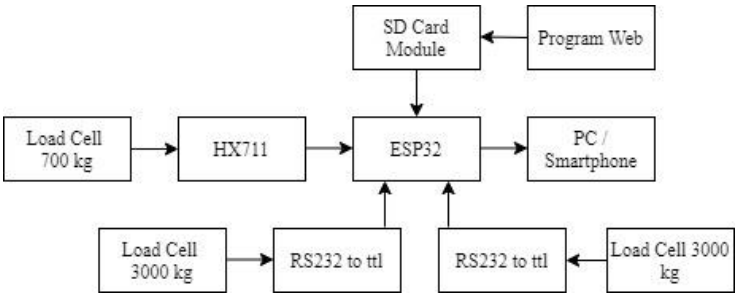
Design Requirement Objects (DRO)

Setelah melakukan studi literatur dan observasi, dilanjutkan dengan menentukkan *Design Requirement Objects* (DRO) yang disesuaikan dengan kebutuhan dari sistem intrumen alat pengukur berat *weight and balance,* seperti yang tercantum pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. *Design Requirement Objects* (DRO)

Kapasitas *load cell*	700 kg (pada *nose landing gear*) 3000 kg (pada *main landing gear*)
Adaptor untuk sumber tegangan mikrokontroller dan load cell	5 V
Maksimum weight pada grafik CG *range*	1043.26 kg
Limit arm pada grafik CG *range*	(+38.5) s/d (+47.3) pada 1043.26 kg (+35) s/d (+47.3) pada ≤884.51 kg
Software untuk pemograman pengambilan data berat dari load cell	Arduino IDE
Akses pengguna untuk kalkulasi penentuan letak CG dalam berbagai kondisi	Menggunakan browser dengan mengakses *IP Adress* mikrokontroller ESP32 (192.168.4.1)
Grafik yang ditampilkan dalam berbagai kondisi	*Ramp weight, Take-off weight, Landing weight*

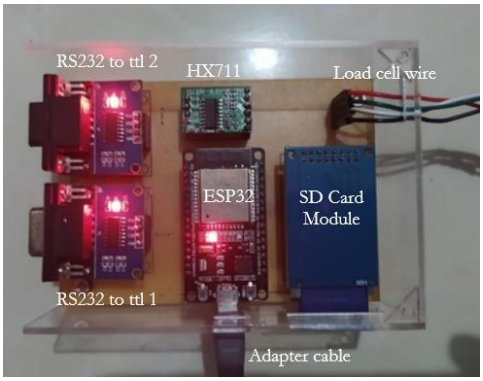
Analisis dan Desain



Gambar 1. *Diagram blok sistem instrumen weight and balance*

Informasi yang didapat hasil studi literatur dan observasi kemudian dianalis dan dilakukan pembuatan desain rangkaian sistem intrumen alat ukur W&B pada web. Tahap analisis merupakan tahap menganalis substansi hasil yang dapat dicapai sistem intrumen. Setelah itu, dilakukan desain rangkaian sistem instrumen pada web yakni pembuatan desain diagram skematik dan pemograman tampilan web yang diinginkan.

Pembuatan dan Perakitan Sistem Elektronik



Gambar 2. *Rangakain elektronik sistem instrumen weight and balance*

Untuk melakukan pembuatan alat ukur W&B dibutuhkan sistem elektronik instrumen yang mendukung kinerja dari alat ukur tersebut. Setelah dilakukan pembuatan desain rangkaian skematik elektronik sistem instrumen, selanjutnya komponen dirangkai dan dikoneksikan antar pin menggunakan kabel jumper dan *breadboard.* Setelah sistem instrumen berjalan baik, dilakukan pembuatan PCB sistem instrumen elektronik untuk meminimalisasi penggunaan kabel. Sistem yang diperlukan untuk dapat membaca alat ukur ini adalah komponen *strain gauge* yang terpasang di *load cell.* Ketika menerima beban, *strain gauge* akan mengalami deformasi. Oleh karena itu nilai resistansi akan mengalami perubahan berdasarkan prinsip *wheatstone bridge*. Perubahan ini akan dibaca oleh modul *amplifier* HX711 dengan mengoversinya menjadi nilai tegangan dan data digital. Kemudian mikrokontroller ESP32 akan mengolahnya dengan memasukkan program yang dibuat untuk ditampikan pada program *web server*. Program web yang sebelumnya dibuat, dimasukkan ke modul *SD card* sebagai data program tampilan web server *localhost* yang nantinya akan diakses. Data dari beban berat pesawat selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan CG pesawat pada berbagai kondisi seperti *ramp weight, take-off weight,* dan *landing weight* dalam bentuk grafik CG *range.*

Pembuatan Program Web Instrumen

Pada tahap pembuatan web ini merupakan tahap implementasi dari hasil analisis dan desain menjadi sebuah program tampilan berbasis web. Tahapan ini merupakan output tampilan hasil pengukuran yang dilakukan pada oleh sistem elektronik instrumen agar data dan informasi yang diolah dapat ditampilkan dalam bentuk program web.

a. *Configuration and Aircaraft Data*

Pada menu ini ditampilkan data spesifikasi dari pesawat Cessna 172N secara garis besar. Pemilihan untuk konfigurasi satuan oleh *user/*pengguna yang dapat memilih antara Satuan Internasional (meter dan kilogram) atau *Imperial* (*inches* dan *pounds*). Pada menu ini juga ditampilkan riwayat terakhir data W&B seperti *Empty Weight* dan *CG Arm* dari pesawat Cessna 172N PK-SDQ.

b. *Weight Data*

Pada menu ini data yang didapat dari timbangan *load cell* ditampilkan pada tampilan *web* setelah diproses oleh komponen-komponen sistem elektronik instrumen dari setiap data berat ketiga *load cell* pada setiap *landing gear* yang nantinya akan diinput pada menu *CG Determination* untuk diproses dalam penentuan letak CG.

c. *CG Determination*

Pada menu *CG Determination* data-data beban berat dan *arm* pada setiap konfigurasi pendistribusian beban, diinput pada kolom-kolom dan hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk grafik CG *range* (berdasarkan *weight* terhadap *range arm*-nya).

d. *Documentation*

Tampilan data dan hasil dari proses perhitungan penentuan letak CG selanjutnya akan dikonversi ke bentuk gambar grafik CG *range* sebagai rincian dan kesimpulan dari hasil penentuan letak CG pesawat apakah masih dalam kategori batas aman atau keluar kategori batas aman, yang nantinya dapat disimpan dan diunduh oleh operator *user/*pengguna.

e. *Convertor*

Pada menu ini, setiap satuan dari *Fuel Quantity, Weight,* dan *Distance* dapat dikonversikan dalam beberapa satuan terkait seperti satuan SI ke *imperial* ataupun sebaliknya. Hal ini berguna untuk membantu pengguna/*user* dalam mengonversikan satuan data-data yang diterima dan langsung mengonversikannya di web secara langsung.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi *Load Cell* Kapasitas 700 Kg (*Nose Landing Gear*)

Kalibrasi dilakukan dengan cara melakukan perbandingan pengukuran anak timbangan (standar) yang telah diketahui nilainya dengan hasil pengukuran sistem instrumen yang akan dikalibrasi. Kalibrasi dilakukan untuk menentukkan *calibration factor* yang nantinya dimasukkan ke dalam program arduino untuk menyesuaikan nilai pengukuran.

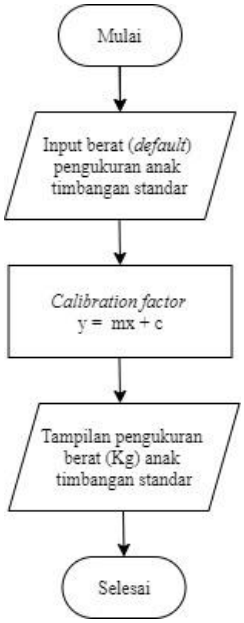
Pada dasarnya untuk menentukkan *calibration factor* dari *load cell* digunakan pendekatan rumus dari persamaan garis lurus.

Rumus Persamaan Garis Lurus:

$$y = mx + c \quad (1)$$

$$x = \frac{y-c}{m} \quad (2)$$

Untuk melakukan kalibrasi, terlebih dahulu dilakukan perograman arduino untuk menampilkan nilai *defaults* pengukuran *load cell.* Berikut merupakan program arduino yang di-*upload* pada mikrokontroller ESP32 dengan disambungkan pada HX711 yang sudah terkoneksi dengan *load cell*-nya.



Gambar 3. *Flowchart* algoritma program kalibrasi *load cell*

Setelah program di-*upload* maka selanjutnya nilai *default* pengukuran *load cell* pada serial monitor arduino akan tampil dan pengambilan data dimulai ketika tidak diberi beban sampai dengan pemberian beban yang bervariasi. Berikut data hasil pengukuran nilai *default load cell* kapasitas 700 kg.

Tabel 2. *Pengujian kalibrasi load cell kapasitas 700 kg menaik*

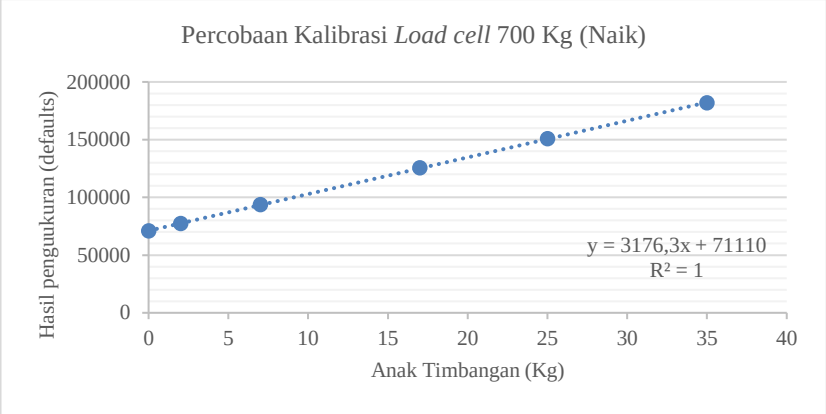
No.	Percobaan ke- (Naik)					
	1	2	3	4	5	6
	0 Kg	2 Kg	7 Kg	17 Kg	25 Kg	35 Kg
1	70868	77276	93706	125571	150972	181933
2	70862	77267	93653	125579	150937	181936
3	70821	77281	93567	125505	150871	181961
4	70866	77295	93567	125502	150755	181936
5	70844	77237	93508	125487	150741	181936
6	70865	77288	93553	125464	150666	181927
7	70872	77282	93551	125412	150614	181897
8	70876	77253	93565	125401	150593	181897
9	70889	77261	93549	125382	150548	181902
10	70873	77214	93575	125348	150562	181906
Rata2	70863.60	77265.40	93579.40	125465.10	150725.90	181923.10

Tabel 3. *Pengujian kalibrasi load cell kapasitas 700 kg menurun*

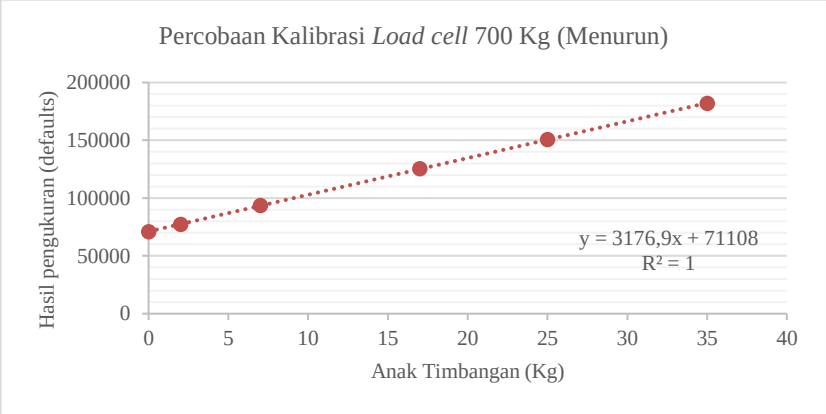
No.	**Percobaan ke- (Menurun)**					
	7	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
	35 Kg	25 Kg	17 Kg	7 Kg	2 Kg	0 Kg
1	181915	150943	125509	93729	77257	70833
2	181944	150976	125538	93657	77278	70866
3	181958	150847	125589	93532	77232	70895
4	181989	150759	125556	93576	77289	70825
5	181917	150778	125449	93509	77270	70878
6	181939	150691	125432	93587	77292	70823
7	181914	150619	125467	93571	77294	70893
8	181977	150588	125412	93533	77212	70872
9	181981	150582	125334	93548	77278	70895
10	181928	150552	125389	93563	77259	70874
Rata2	**181946.20**	**150733.50**	**125467.50**	**93580.50**	**77266.10**	**70865.40**

Pada percobaan pengujian kalibrasi *load cell* 700 kg, dilakukan dengan menimbang anak timbangan terstandarisasi. Percobaan dilakukan dengan mengambil data penambahan

beban anak timbangan (percobaan naik) dan pengurangan beban anak timbangan (percobaan menurun). Data diambil 10 sampel pada tiap-tiap pengukuran anak timbangan 2 kg, 7 kg, 17 kg, 25 kg, dan 35 kg. Hasil pengukuran pada *serial monitor* arduino merupakan nilai *default* dari *load cell*. Setelah itu didapat rata-ratanya dan kemudian dimasukkan ke dalam grafik berikut.



Gambar 4. *Grafik pengujian kalibrasi load cell 700 Kg dengan beban menaik*



Gambar 5. *Grafik pengujian kalibrasi load cell 700 Kg dengan beban menurun*

Berdasarkan grafik, diperoleh persamaan regresi linear sederhana yakni Y = 3176.3X + 71110 pada percobaan penambahan beban menaik dan Y = 3176.9X + 71108 pada percobaan pengurangan beban menurun. Percobaan kalibrasi alat dengan hasil pengukuran penambahan dan penurunan relatif sama serta perubahannya sangat kecil dan tidak terlalu signifikan. Sehingga dapat diartikan pada persamaan Y = 3176.3X + 71110 bahwa setiap kenaikkan satu satuan variabel X maka akan terjadi kenaikkan 3176.3 variabel Y dan jika nilai X = 0 maka rata-rata satuan Y adalah 71110. Untuk persamaan Y = 3176.9X + 71108 setiap kenaikkan satu satuan variabel X maka akan terjadi kenaikkan 3176.3 variabel Y dan jika nilai X = 0 maka rata-rata satuan Y adalah 71108.

R^2=1 merupakan koefisien determinasi, artinya anak timbangan mampu menjelaskan akurasi variasi data terhadap hasil pengukuran. Jadi intinya alat mampu memprediksi dengan baik hasil pengukuran. Dari grafik di atas didapatkan persamaan linear yang nantinya dimasukkan dalam program arduino untuk menentukkan *calibration factor* yang sesuai.

Untuk dua timbangan *load cell* dengan kapasitas 3000 kg merupakan timbangan pengukur berat yang sudah terkalibrasi oleh pabrikan dan hanya tinggal mengatur konfigurasi yang diinginkan dengan menekan tombol yang ada di *lcd monitor* alat. Untuk *load cell* kapasitas 700 kg akan di tempatkan pada *nose landing gear* dan kedua *load cell* kapasitas 3000 kg akan ditempatkan pada masing-masing *main landing gear* kanan dan kiri.

Pengujian Load cell Kapasitas 700 kg (*Nose Landing Gear*)

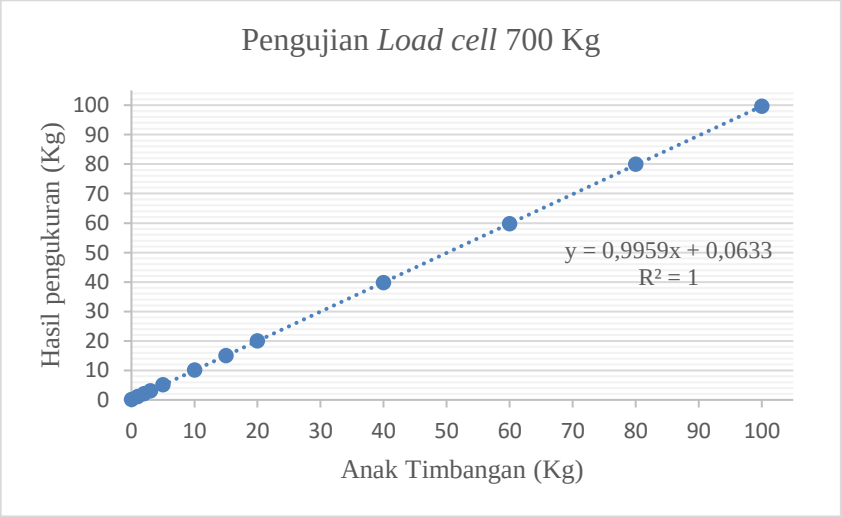
Untuk *load cell* kapasitas 700 kg dilakukkan pengujian dengan menimbang anak timbangan terstandarisasi dari Badan Metrologi Kota Bandung yakni 1 kg, 2 kg, 3 kg, 5 kg,

10 kg, 15 kg, 20 kg, 40 kg, 60 kg, 80 kg, dan 100 kg yang hasilnya ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. *Pengujian pengukuran variasi beban load cell kapasitas 700 kg*

No.	Percobaan ke-					
	1	2	3	4	5	6
	0 Kg	1 Kg	2 Kg	3 Kg	5 Kg	10 Kg
1	0.08	0.92	2.07	2.99	5.10	10.04
2	0.05	1.07	2.05	3.05	5.08	10.03
3	0.02	1.04	1.87	3.08	5.06	10.2
4	0.05	0.98	2.00	3.03	4.93	10.16
5	0.09	1.06	2.02	3.04	5.07	10.70
6	0.09	1.05	2.03	3.07	5.14	10.11
7	0.07	1.10	2.00	2.99	5.12	9.92
8	0.17	1.10	2.07	3.07	5.04	10.08
9	0.11	1.03	1.96	3.02	5.08	10.13
10	0.03	1.10	2.05	3.07	5.09	9.98
Rata2	**0.08**	**1.05**	**2.01**	**3.04**	**5.07**	**10.14**

No.	Percobaan ke-					
	7	8	9	10	11	12
	15 Kg	20 Kg	40 Kg	60 Kg	80 Kg	100 Kg
1	14.94	19.99	39.69	59.88	80.04	99.42
2	15.18	20.01	39.84	59.77	80.05	99.56
3	15.13	19.99	39.67	59.69	79.98	99.62
4	15.12	20.05	39.76	59.66	80.04	99.67
5	15.04	20.05	39.68	59.58	79.99	99.67
6	15.15	20.00	39.67	59.77	79.89	99.63
7	15.15	20.06	39.78	59. 68	79.93	99.72
8	15.11	20.01	39.69	59.52	79.85	99.64
9	15.13	19.85	39.83	59.71	79.92	99.57
10	15.09	19.91	39.80	59.58	79.89	99.62
Rata2	**15.01**	**19.99**	**39.74**	**59.68**	**79.96**	**99.61**



Gambar 6. *Grafik pengujian load cell 700 Kg dengan anak timbangan (standar)*

Dari tabel 4 dapat dihitung % *error* atau kesalahan pada alat dengan rumus:

$$\%Error = \left|\frac{nilai\ standar\ -\ nilai\ rata{-}rata\ percobaan}{nilai\ standar}\right| x100\% \quad (3)$$

Percobaan 1=$\left|\frac{0-0.08}{0}\right|$x100%=0.00%

Percobaan 2=$\left|\frac{1-1.05}{1}\right|$x100%=5.00%

Percobaan 3=$\left|\frac{2-2.01}{2}\right|$x100%=0.50%

Percobaan 4=$\left|\frac{3-3.04}{3}\right|$x100%=1.33%

Percobaan 5=$\left|\frac{5-5.07}{5}\right|$x100%=1.40%

Percobaan 6=$\left|\frac{10-10.14}{10}\right|$x100%=1.40%

Percobaan 7=$\left|\frac{15-15.01}{15}\right|$x100%=0.06%

Percobaan 8=$\left|\frac{20-19.99}{20}\right|$x100%=0.05%

Percobaan 9=$\left|\frac{40-39.74}{40}\right|$x100%=0.65%

Percobaan 10=$\left|\frac{60-59.68}{60}\right|$x100%=0.53%

Percobaan 11=$\left|\frac{80-79.96}{80}\right|$x100%=0.05%

Percobaan 12=$\left|\frac{100-99.61}{100}\right|$x100%=0.39%

Perbandingan hasil percobaan menghasilkan rata-rata nilai *error* atau kesalahan pengukuran alat sebesar 0.95%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil nilai pengukuran alat masih dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh regulasi kementerian perhubungan yakni ± 1%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa alat sudah mampu membaca nilai pengukuran dengan baik.

Pengujian Sistem Instrumen Alat W&B pada Pengukuran Berat Pesawat Cessna 172N

Pada pengujian sistem instrumen alat W&B untuk pengukuran berat pesawat Cessna 172N dilakukan dengan menimbang secara langsung pesawat di Hanggar Teknik Aeronautika POLBAN untuk mendapatkan nilai dari total *empty weight*-nya.

Weight Data (Kg)

Left Main Landing Gear	Nose Landing Gear	Right Main Landing Gear	Total Weight
280.5	175.02	283	738.5

Gambar 7. *Tampilan hasil pengukuran berat ketiga load cell*

Pada gambar di atas didapatkan nilai total *empty weight* pesawat Cessna 172N PK-SDQ sebesar 738.52 kg. Selisih nilai berat pada *left* dan *right landing gear* sebesar 2.5 kg, hal ini dapat dikarenakan adanya *fuel* yang masih tersisa pada sayap ataupun parameter lain yang menyebabkan ketidakseimbangan berat pada sumbu lateral. Setelah itu nilai total yang terbaca *load cell* akan dimasukkan pada kolom *weight section aircraft empty weight*.

Pengujian Individual dan Sistematis pada Text box Tampilan Web

Pada tahap pengujian individual pada tiap kolom *text box* dilakukan dengan memasukkan nilai beban pada tiap-tiap kolom *weight* dan ketika menginput data tersebut apakah hasil nilai pada momen akan tampil atau tidak, sesuai atau tidak nilainya ketika dikalikan dengan *arm*-nya seperti dengan nilai perhitungan momen. Hasilnya untuk pengujian individual pada tiap kolom ternyata program sudah berjalan dengan baik dan sesuai dengan perhitungan.

Pada tahap pengujian sistematis data dari total berat dan momen akan dikalkulasikan dan letak CG pada kondisi *ramp weight, take-off weight,* dan *landing weight* dapat ditampilkan nilainya. Letak CG pada berbagai kondisi tersebut pada akhirnya dapat ditampilkan pada grafik CG *range* atau CG *envelop* pesawat Cessna 172N.

Description	Max	Volume (l)	Weight (kg)	Arm (m)	Moment (kg·m)
Aircraft Empty Weight (kg)	-	-	738.52	0.89	657.28
Fuel (l)	162.77	75.71	54.59	1.22	66.6
Front Seats (kg)	-	-	120	0.94	112.8
Passenger Seats (kg)	-	-	60	1.85	111
Baggage Area 1 (kg)	54.3	-	50	2.41	120.5
Baggage Area 2 (kg)	54.3	-	0	3.12	0

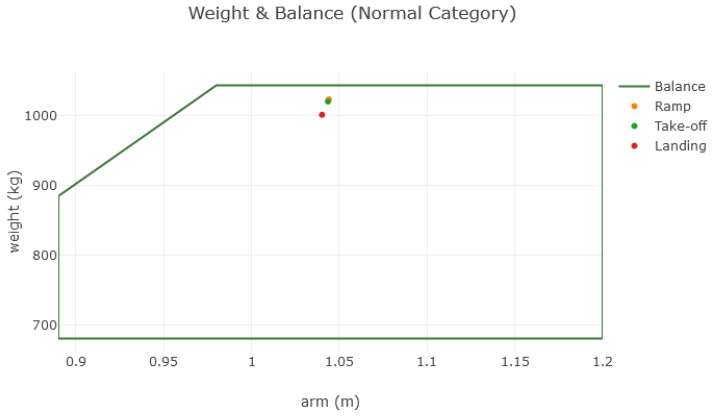
Gambar 8. *Pengujian text box pada tampilan web untuk kalkulasi letak CG*

Simulasi penentuan letak CG pada kondisi *ramp weight, take-off weight,* dan *landing weight* dilakukan dengan menggunakan data-data pesawat ketika beroperasi dari Bandara Husein Sastranegara ke Bandara Soekarno-Hatta. Untuk perhitungan nilai *fuel consumption* ketika *taxiing, cruising,* dan total pengoperasian pesawat sampai *landing* akan data konfigurasi pembebanan di dalam pesawat dikalkulasikan didapat nilai *ramp weight, take-off weight,* dan *landing weight* seperti pada gambar IV.7 berikut.

Ramp Weight (kg)	**1043.26**	**-**	**1023.11**	**1.04**	**1068.18**
Taxi Fuel (l)	-	4.2	-3.03	1.22	-3.69
Take-off Weight (kg)	**1043.26**	**-**	**1020.08**	**1.04**	**1064.48**
Trip Fuel (l)	-	26.31	-18.97	1.22	-23.14
Landing Weight (kg)	**-**	**-**	**1001.11**	**1.04**	**1041.34**

Gambar 9. *Pengujian text box pada tampilan web untuk kalkulasi letak CG*

Setelah data *ramp weight, take-off weight,* dan *landing weight* didapat letak CG pada kondisi tersebut dengan tampilan grafik CG *range* seperti pada gambar IV.8. Berdasarkan gambar grafik CG *range* tersebut dapat disimpulkan bahwa simulasi pembebanan yang dihitung pada lampiran C.2, pesawat Cessna 172N dalam batas limit CG *range.*



Gambar 10. *Grafik CG range hasil pengujian*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem instrumen alat ukur W&B pesawat Cessna 172N POLBAN, dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian ini dapat tercapai yakni sistem instrumen dapat menampilkan berat pembebanan ketiga *load cell* pada tiap *landing gear* pada web.

Kalibrasi *load cell* dengan kapasitas 700 kg dilakukan dengan menimbang anak timbangan dengan berat yang bervariasi untuk menentukkan *calibration factor*-nya. Didapat persamaan linear y = 3176.3x + 71110 dengan koefisien determinasi R^2 = 1, menunjukkan sistem intrumen alat sudah dapat memprediksi nilai pengukuran secara akurat. Perbandingan hasil percobaan pengukuran anak timbangan dengan berat yang bervariasi menghasilkan rata-

rata nilai *error* atau kesalahan pengukuran alat sebesar 0.95%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil nilai pengukuran alat dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh regulasi kementerian perhubungan yakni ± 1%. Hasil pengujian praktik W&B pesawat Cessna 172N mendapatkan letak CG pada kondisi *basic empty weight* yakni pada 0.89 meter di belakang datum. Pengukuran berat total *basic empty weight* oleh tiap-tiap *load cell* yakni 738.52 kg.

Pada kondisi penerbangan yang diasumsikan dari Bandara Husein Sastranegara ke Bandara Soekarno-Hatta mempunyai jarak 72 nm. Jumlah *fuel* yang digunakan 1.1 *gallons* untuk *taxi* dan *takeoff* berdasarkan dokumen POH. C*limb* dengan jarak ketinggian 5000 ft dan kondisi *cruise* pada ketinggian 8000 ft mendapatkan data letak CG pada kondisi *ramp weight* yakni 1.04405 meter, letak CG pada kondisi *take-off weight* yakni 1.04353 meter, dan letak CG pada kondisi *landing weight* yakni 1.04019 meter. Data tersebut pada tampilan grafik CG *range* masih dalam kondisi batas limit CG spesifikasi pesawat Cessna 172N. Oleh karena itu, program web sudah berjalan dengan baik dan sudah mampu mensimulasikan letak CG pada berbagai kondisi tersebut.

Penggunaan program web dapat memudahkan pengguna untuk mengetahui berat total *empty weight* pesawat dan menentukan letak CG pada berbagai kondisi hanya dengan mengakses program dari PC/Laptop/*Smartphone,* sehingga sistem instrumen W&B mudah digunakan dan *user friendly.* Pada akhirnya setelah pengujian yang dilakukan, hasil data-data yang didapat menunjukkan sistem instrumen sudah berjalan dengan baik. Komponen elektronik dan program web sudah dapat diintegrasikan sehingga menghasilkan tampilan web perhitungan letak CG yang sudah dikembangkan dan siap untuk menunjang kegiatan praktik W&B pesawat Cessna 172N.

Saran

1. Penambahan tampilan *LCD* monitor pada timbangan kapasitas 700 kg dengan pengaturan *zero adjustment.*
2. Pembuatan menu kalibrasi pada rangkain elektronik sistem instrumen.
3. Penambahan *loading graph* dan *CG* in %MAC pada tampilan web.
4. Penambahan menu konversi satuan grafik dari satuan *metric* menjadi satuan *imperial* ataupun sebaliknya.
5. Pembuatan program dengan input parameter lain yang mempengaruhi CG pesawat seperti kecepatan angin, temperatur, dan ketinggian pesawat beroperasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

Cessna Aircraft Company. 1977. *Cessna 172N Skyhawk Pilots Operating Handbook.* Kansas: Cessna Aircraft Company.

Ditjen Perhubungan Udara. 2018. *Petunjuk Teknis Bagian 8900-3.4 - Weight and Balance Control.* Jakarta: Kemenhub

Federal Aviation Administration. 2016. *Weight and Balance Handbook.* Oklahoma City : U.S. Department of Administration.

Federal Aviation Administration. 2015. *Type Certificate Data Sheet No. 3A12, Rev. 84.* Oklahoma City : U.S. Department of Administration.

Magribie, Muhammad Salman. 2016. *Pembuatan Program Penentuan Letak Center of Gravity Pesawat Udara untuk Alat Simulasi Weight and Balance.* Bandung: POLBAN.

Nafhan, Naufal. 2016**.** *Rancang Bangun Alat Simulasi Penentuan Letak Center of Gravity Pesawat Udara.* Bandung: POLBAN.