

## ESTIMASI JARAK DAN KECEPATAN PADA ALAT UJI STATIS ROKET LATIH *EXPERIMENT* DENGAN PEDEKATAN GAYA DORONG OPTIMAL

Erik Roma Hurmuzi

**Abstrak:** Dalam proses pengujian kerja roket, salah satu cara dapat dilakukan dengan uji statis roket. Istilah “uji statis” mengandung pengertian pengujian dalam keadaan statis/diam. Hasil yang didapat dari proses pengujian tersebut salah satunya adalah gaya dorong roket (*thrust*). Sehingga perlu dirancang sebuah alat ukur tekanan gaya dorong (*thrust*) dengan menggunakan sensor loadcell yang kemudian ditampilkan ke laptop berupa data grafik dan tabel yang dapat dilihat secara *realtime*, sehingga bisa dihitung estimasi atau perkiraan jarak dan kecepatan roket menggunakan metode pendekatan gaya dorong optimal, kemudian data tersebut disimpan didalam database menggunakan microsoft access dan juga tersimpan pada micro SD agar memudahkan dalam fleksibilitas pemindahan data ke perangkat lain.

**Kata kunci :** sensor loadcell, *thrust*, uji statis.

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, sehingga berdampak pula terhadap modernisasi alat utama sistem persenjataan dalam bidang pertahanan suatu negara. Sehingga kekuatan pertahanan suatu negara juga sangat dipengaruhi oleh kekuatan militer yang dimiliki. Sedangkan kekuatan militer itu bergantung pula terhadap alat dan persenjataan yang digunakan, kemampuan personil, serta latihan yang optimal. Berkembangnya zaman yang didukung dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat dan teknologi militer yang berkembang semakin mutakhir. Salah satu contohnya perkembangan roket di Indonesia sendiri, telah mempunyai lembaga yang berhasil membuat dan meluncurkan roket-roket yang produksinya. Pengembangan penelitian roket di Indonesia sedikit demi sedikit telah menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Hal ini didukung oleh perkembangan sistem telemetri, sistem navigasi, dan sistem aktuatornya. Dengan perkembangan teknologi roket yang cukup pesat ini, dunia militer juga tidak mau ketinggalan. Dalam bidang militer, roket digunakan sebagai media penghantar bahan peledak kepada sasaran yang dituju dengan daya hancur yang hebat. Sehingga militer khususnya di satuan-satuan TNI AD sedikit demi sedikit mulai mengganti alutsista mereka dari yang konvensional menjadi roket.

Sebagaimana dalam penelitian S. S. M. Chung (S. S. M. Chung ,2017) pada dasarnya roket merupakan wahana peluncur untuk menempatkan muatan pada target yang telah ditetapkan. Bahan bakarnya adalah propelan. Ada dua macam propelan yang digunakan, yaitu propelan padat dan propelan cair. Struktur roket propelan padat lebih sederhana dibandingkan dengan roket propelan cair. Dalam proses pengujian kerja roket, salah satu cara dapat dilakukan dengan uji statis roket. Istilah “uji statis” mengandung pengertian pengujian dalam keadaan statis. Hasil yang didapat dari proses pengujian statis roket salah satunya adalah gaya dorong roket (*thrust*).

Pembahasan mengenai teknologi alat utama sistem senjata (alutsista) dengan memanfaatkan teknologi elektronika ini pernah dibahas oleh peneliti sebelumnya, namun masih banyak kekurangan. Proses pembahasan gaya dorong roket (*thrust*) memerlukan penelitian yang mendalam dan teliti. Dimana peneliti sebelumnya masih menggunakan pengukuran analog dan data dicatat secara manual belum secara *realtime*, walaupun ada yang sudah menggunakan komputerisasi akan tetapi tidak membahas gaya dorong (*thrust*) secara mendalam. Oleh karena itu pada penelitian ini dimulai dengan merancang alat ukur tekanan gaya dorong (*thrust*) dengan menggunakan sensor *loadcell* yang kemudian ditampilkan ke laptop berupa data grafik dan tabel yang dapat dilihat

secara *realtime*, kemudian data tersebut disimpan didalam *database* menggunakan *microsoft access* dan juga tersimpan pada micro SD agar memudahkan dalam fleksibilitas pemindahan data ke perangkat lain.

**METODE**

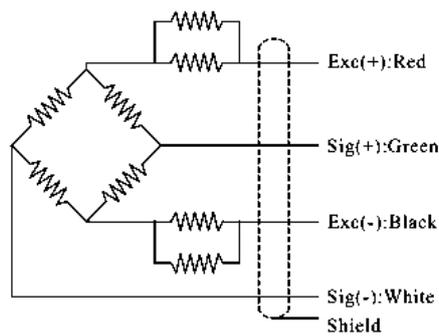
Penelitian ini menggunakan sebuah metode pendekatan untuk menganalisa hasil gaya dorong yang diperoleh dari pengukuran. Gaya dorong roket merupakan hasil reaksi massa terhadap momentum yang berasal dari gas buang hasil pembakaran propelan. Metode pendekatan gaya dorong optimal menggunakan nilai puncak dari gaya dorong yang diperoleh tiap perubahan waktu (Satrya Errya, 2013). Dari nilai puncak itu bisa dihitung estimasi jarak capai roket dan juga estimasi kecepatan roket. Berdasarkan estimasi-estimasi tersebut maka bisa ditentukan sebuah konfigurasi yang optimum untuk sebuah roket.

**Pembuatan Rangkaian Sensor Loadcell**

Dalam penelitian ini perancangan rangkaian sensor loadcell menggunakan gabungan dari modul ADC HX711 dan sensor loadcell.

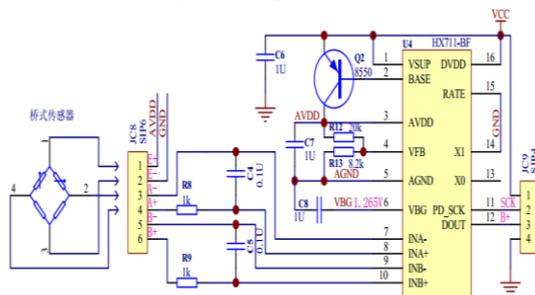
**Rangkaian Sensor Loadcell**

Prinsip kerja dari loadcell adalah menggunakan perlawanan listrik ke tegangan logam foil yang saling berhubungan, dititik maksimum tegangan elemen tersebut diukur kemudian dikonversi mejadi tegangan listrik proporsional (Y. Fujioka, J. Sun and T. Ono, 2002). Rangkaian sensor ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Sensor

Keluaran sinyal yang diperoleh akan menjadi sinyal masukan untuk Arduino. Untuk mendukung rangkaian sensor, sebagaimana dalam penelitian Walden R.H. (Walden R.H., 1999) diperlukan rangkaian penunjang berupa rangkaian ADC menggunakan IC HX711 sebagai pengkonversi perubahan terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversikannya kedalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada. IC HX711 struktur yang sederhana, mudah dalam penggunaan, hasil yang stabil dan *reliable*, memiliki sensitivitas tinggi dan mampu mengukur perubahan dengan cepat. Rangkaian ADC HX711 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian ADC (Analog to Digital Converter) HX711

Di dalam HX711, ADC yang disediakan adalah ADC 24 bit sehingga *range output* yang dihasilkan adalah  $2^{24}$  atau sama dengan 16.777.216. Untuk mencari tegangan output dari yang terbaca oleh ADC, didapat dari Persamaan 1.

$$\text{Konversi ADC} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times 16.777.215 \quad (1)$$

Rentang pengukuran nilai tekanan loadcell yang dibuat mulai dari 0 mV sampai 10 mV. Untuk mendapatkan kenaikan nilai tekanan loadcell setiap 1 bit dengan Persamaan 2.

$$\text{Step loadcell} = \frac{\text{Range}}{\text{Total bit}} = \frac{10}{16.777.215} = 0,000000596 \quad (2)$$

### Pembuatan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dibuat menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 adalah suatu mikrokontroler dengan ATMEGA 2560 yang mempunyai 54 input output digital dimana 16 pin digunakan sebagai PWM, 16 input analog (Kadir Abdul, 2013).

Program dibuat menggunakan *software* Arduino IDE. Selanjutnya, di *upload* ke Arduino. Untuk simulator data grafik menggunakan *software* Delphi seperti pada Gambar 4.

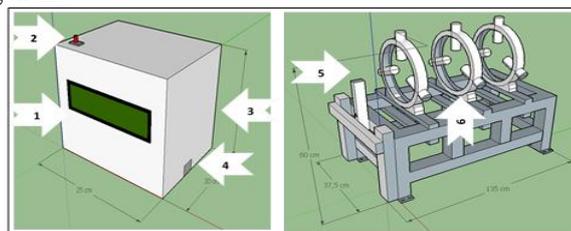


Gambar 4. Simulator Pengolahan Data

Data gaya dorong yang dikirim melalui kabel USB akan diterima oleh laptop kemudian data tersebut akan disimpan didalam *database* kemudian ditampilkan di dalam bentuk grafik dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Dephi 7.0. Di dalam aplikasi tersebut akan tercatat lamanya proses pembakaran dan gaya dorong (*thrust*) dan dapat di lihat melalui grafik dan tabel, kemudian data hasil uji coba tersebut akan secara otomatis tersimpan didalam *database* dan hasilnya dapat langsung dicetak dengan menekan tombol *print* pada aplikasinya.

### Instalasi dan Pengujian

Setelah rangkaian sensor loadcell dan program selesai dibuat, kemudian dipasang pada instrumen pengujian gaya dorong. Gabungan rangkaian sensor loadcell, Arduino, LCD, IC HX711 dan modul micro SD ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan 5(b). Selanjutnya data ditampilkan ke dalam layar LCD dan diinterfacekan ke laptop untuk mendapatkan grafik.



(a)

(b)

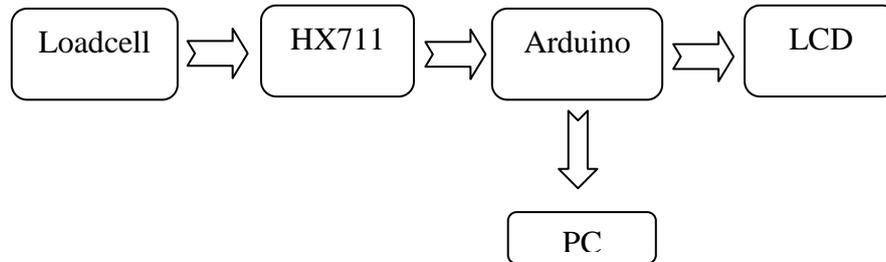
Gambar 5. Desain Mekanik Instrumen Uji Gaya Dorong

Adapun bentuk dari instrumen pada pembuatan sistem ini yaitu memiliki ukuran panjang <sup>(p)</sup> = 135 cm, lebar <sup>(l)</sup> = 37,5 cm, tinggi <sup>(t)</sup> = 60 cm, serta memiliki mekanik *type roll* pada tengah mekanik terdapat 9 roda yang dapat berputar sebagai lintasan atau dudukan roket yang akan diukur.

**PEMBAHASAN**

**Hasil Perancangan Penelitian**

Blok diagram dari hasil perancangan seperti Gambar 6 berikut :



Gambar 6. Blok Diagram Perancangan

Prinsip kerja alat pengujian gaya dorong ini adalah memonitor gaya dorong yang dihasilkan oleh roket, sehingga bekerja jika sensor membaca gaya dorong dari roket uji. Untuk mendapatkan keluaran tegangan ADC yang sesuai, diperlukan rangkaian ADC yang dibuat dari IC HX711. Hal ini untuk mengatur keluaran tegangan ADC yang masuk pada Arduino. Kemudian Arduino mengolah data yang akan ditampilkan pada LCD 20x4 dan yang akan dikirim ke laptop.

**Hasil Pengujian**

Hasil pengujian diperoleh bahwa rangkaian sensor loadcell dapat bekerja dengan baik. Untuk komposisi bahan propelannya terdiri dari Ammonium Perklorat, Alumunium Powder dan Epoxy (HTPB) dengan persentase seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Propelan

Massa (kg)	Ammonium Perklorat 80% (gr)	Alumunium Powder 5% (gr)	Epoxy / HTPB 15% (gr)	
			Resin 80% (gr)	Hard 20% (gr)
0,2	160	10	24	6
0,3	240	15	36	9

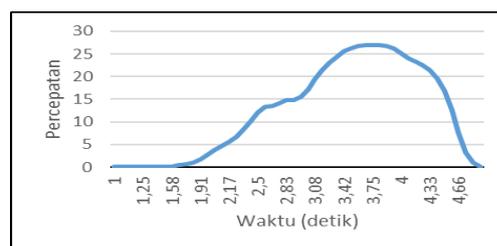
Hasil pengukuran sensor berupa data nilai gaya dorong yang tertampil pada aplikasi monitoring seperti pada Tabel 2 menggunakan propelan 0,2 kg.

Tabel 2. Hasil pengukuran gaya dorong dengan propelan 0,2 kg

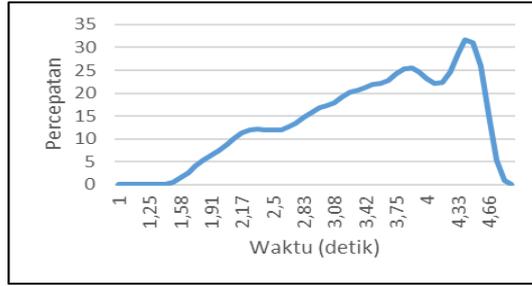
Waktu (detik)	Gaya Dorong (newton)		
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
1.33	0	0	0
1.41	0	0.53	0
1.5	0	3.14	0
1.58	0.72	8.59	0.33
1.66	2.44	15.7	3.48
1.75	3.62	24.05	7.81
1.83	5.76	31.72	11.56
1.91	10.37	38.13	20.67
2	16.42	44.99	31.83

Waktu (detik)	Gaya Dorong (newton)		
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
2	22.12	52.68	44.65
2.08	27.57	60.88	56.77
2.17	33.62	68.05	70.47
2.25	40.15	71.79	84.73
2.33	48.55	72.27	96.84
2.41	59.71	71.85	105.19
2.5	72.05	71	110.38
2.58	80.36	71.7	113.94
2.66	81.3	75.13	117.84
2.75	84.48	80.69	123.75
2.83	88.44	87.78	129.52
2.91	88.64	95.07	133.38
3	92.98	100.34	135.73
3	103.03	103.05	137.34
3.08	115.9	107.47	138.82
3.17	129.1	115.08	141.28
3.25	138.07	121.21	144.4
3.33	146.24	124.27	146.97
3.42	153.44	127.4	148.06
3.5	157.78	131.25	144.17
3.58	160.62	132.81	139.52
3.67	161.76	136.69	140.93
3.75	161.41	145.03	146.79
3.83	161.77	151.46	151.89
3.91	160.84	153.42	163.48
4	157.12	148.3	167.47
4	150.33	139.48	170.59
4.08	143.94	133.36	173.21
4.17	139.35	133.96	175.35
4.25	134.82	147.84	178.02
4.33	128.29	172.04	180.51
4.41	117.78	190.38	179.3
4.5	100.61	186.9	157.53
4.58	75.29	155.26	86.5
4.66	45.3	91.57	19.62
4.75	19.7	32.23	0
4.83	5.54	4.89	0
4.91	0	0	0

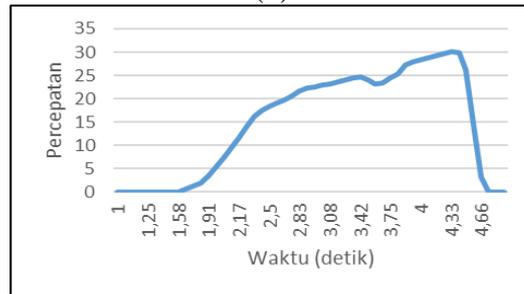
Berdasarkan Tabel 2 dari 3 kali pengujian diperoleh gaya dorong tertinggi sebesar 190,38 newton. Dari Tabel 2 juga akan didapatkan grafik percepatan terhadap waktu pembakaran propelan yang kita uji seperti pada Gambar 7.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Grafik percepatan pada propelan 200 gram

Gambar 7(a), 7(b) dan 7(c) menunjukkan grafik yang tidak linier karena pada beberapa waktu mengalami penurunan dan tidak stabil.

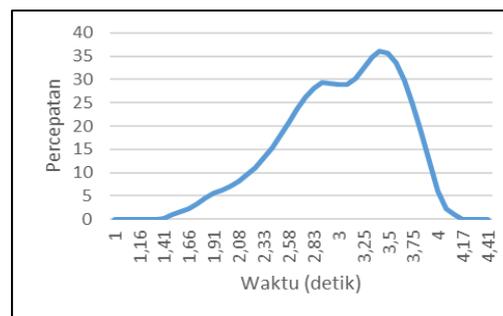
Hasil pengukuran sensor berupa data nilai gaya dorong yang menggunakan propelan 0,3 kg tertampil pada aplikasi monitoring seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran gaya dorong dengan propelan 0,3 kg

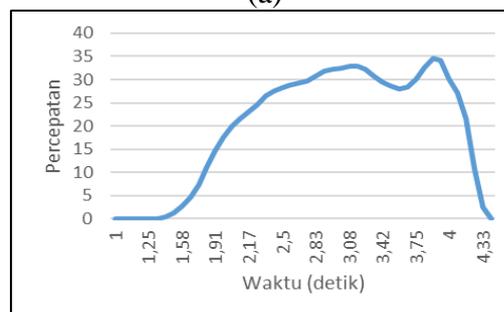
Waktu (detik)	Gaya Dorong (newton)		
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
1	0	0	0
1.02	0	0	0
1.08	0	0	0.19
1.16	0	0	1.78
1.25	0	0	6.17
1.33	0	0.36	9.55
1.41	0.89	2.37	12.86
1.5	5.64	7.62	21.33
1.58	9.09	17.01	35.7
1.66	13.13	28.25	53.49
1.75	20.05	45.04	73.2
1.83	27.86	66.71	91.87
1.91	33.34	87.82	105.81
2	37.18	105.06	113.45
2	42.3	119.03	115.74
2.08	49.29	130.1	117.66
2.17	57.23	138.68	122.97
2.25	66.91	148.06	130.28
2.33	78.55	158.51	136.68
2.41	92.07	165.65	141.83
2.5	107.86	169.32	147.95
2.58	124.76	172.57	154.17
2.66	141.86	174.99	159.33

Waktu (detik)	Gaya Dorong (newton)		
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
2.75	157.76	178.57	164.48
2.83	169.21	185.16	171.08
2.91	175.61	190.87	178.7
3	175.53	193.58	185.77
3	173.33	195.05	190.74
3.08	174.01	197.5	189.75
3.17	181.46	197.61	181.61
3.25	195.24	192.95	174.81
3.33	208.5	184.99	175.01
3.42	216.5	177.22	181.17
3.5	214.04	171.41	195.05
3.58	201.54	167.88	195.17
3.67	179.16	170.54	166.03
3.75	147.76	181.03	104.03
3.83	112.09	195.92	38.59
3.91	73.39	207.18	5.44
4	36.11	204.32	0
4	13.91	180.55	0
4.08	5.52	162.88	0
4.17	0	130.26	0
4.25	0	65.04	0
4.33	0	15.15	0
4.41	0	0	0

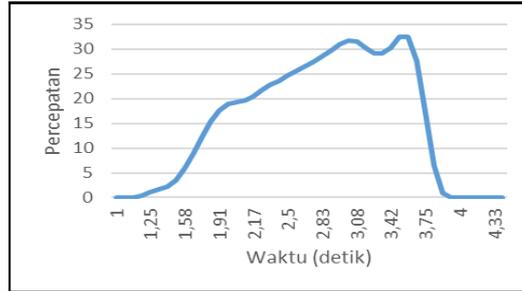
Berdasarkan Tabel 3 dari 3 kali pengujian diperoleh gaya dorong tertinggi sebesar 216,5 newton. Dari Tabel 3 juga akan didapatkan grafik percepatan terhadap waktu pembakaran propelan yang kita uji seperti pada Gambar 8.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. Grafik percepatan pada propelan 300 gram

Gambar 8(a), 8(b) dan 8(c) juga menunjukkan grafik yang tidak linier karena pada beberapa waktu mengalami penurunan dan tidak stabil.

Dari pengujian tersebut kita bisa mencari estimasi jarak dan kecepatan sebuah roket. Untuk menghitung estimasi jarak dan kecepatan menggunakan metode integral numerik yaitu menggunakan fungsi trapezoid dengan cara membagi luasan daerah pada grafik di setiap titik satuan waktu untuk menentukan batas kanan dan kiri (minimal 2 titik). Perhitungan tersebut dapat dirumuskan menjadi persamaan berikut

$$F = m \times a \tag{1}$$

$$v = \int_a^b a \, dt \tag{2}$$

$$s = \int_a^b v \, dt \tag{3}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Gaya Dorong Propelan 0,2 kg

Percobaan	1	2	3
Gaya dorong maksimal (N)	161,77	190,38	180,51
Percepatan maksimal (m/s <sup>2</sup> )	26,96	31,73	30,085
Waktu maksimal (detik)	4,91		
Estimasi jarak capai roket (meter)	71,83	80,78	92,64
Estimasi kecepatan roket (m/s)	51,03	56,419	61,74

Tabel 4. Hasil Perhitungan Gaya Dorong Propelan 0,3 kg

Percobaan	1	2	3
Gaya dorong maksimal (N)	216,5	207,18	195,2
Percepatan maksimal (m/s <sup>2</sup> )	36,67	34,53	32,52
Waktu maksimal (detik)	4,41		
Estimasi jarak capai roket (meter)	70,32	101,96	95,56
Estimasi kecepatan roket (m/s)	49,58	73,104	56,65

**KESIMPULAN**

1. Berdasarkan perhitungan data hasil pengujian sensor *loadcell* yang digunakan telah dapat mengukur gaya dorong hasil pembakaran propelan pada *chamber* sebanyak 3 kali percobaan sebesar 216,5 N, 207,18 N dan 195,2 N untuk massa propelan 0,3 kg dan juga sebanyak 3 kali percobaan sebesar 161,77 N, 190,38 N dan 180,51 N untuk massa propelan 0,2 kg.
2. Berdasarkan nilai estimasi kecepatan roket dan persamaan (5) maka diperoleh nilai estimasi jarak capai roket sebanyak 3 kali percobaan sebesar 71,83 m, 80,76 m dan 92,64 m untuk propelan 0,2 kg dan juga sebanyak 3 kali percobaan sebesar 70,32 m, 101,96 m dan 95,56 m untuk propelan 0,3 kg.

3. Berdasarkan nilai percepatan roket dan persamaan (3) maka diperoleh nilai estimasi kecepatan roket sebanyak 3 kali percobaan sebesar 51,03 m/s, 56,42 m/s dan 61,74 m/s untuk propelan 0,2 kg dan juga sebanyak 3 kali percobaan sebesar 49,58 m/s, 73,10 m/s dan 56,65 m/s untuk propelan 0,3 kg.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Budiman Haris, *Analisis Pengujian Tarik pada Baja ST37 dengan Alat Bantu Ukur Loadcell*, Jurnal J-Ensitec Vol. 03, No. 01, November 2016.
- Kadir Abdul, *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*, Jakarta : Penerbit Andi Publisher, 2013.
- Satrya Errya, *Kajian Tentang Rancangan Motor Roket RX 100 Menggunakan Pendekatan Gaya Dorong Optimal*, Jurnal Mat Stat Vol. 13, No.1, Januari 2013.
- S. S. M. Chung, "Parametric Simulation on Reduction of \$\$\$ -Band Rear Bistatic Radar Cross Section of Jet Engine With Vector Thrust Nozzle via Plasmatized Exhaust," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 45, no. 3, pp. 388-404, March 2017.
- Walden R.H., *Analog to Digital Converter Survey and Analysis*, IEEE Journal on Selected Areas in Communication Vol. 17, No. 4, Apr 1999.
- Y. Fujioka, J. Sun and T. Ono, "High accurate weighing system used under the vibration-like moving conditions - on estimation of angular velocities," *Proceedings of the 41st SICE Annual Conference. SICE 2002.*, 2002, pp. 483-488 vol.1.