



Analisa Rugi Rugi Tenaga Listrik pada Terminasi Cubicle 20kV SF6 ke LVMDP (Low Voltage Main Distribution Panel)

Bambang Apriyanto^{1*}, Djoko Anwar Mardiono², Fandy Iood³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Batam, Batam, Indonesia

*Korespondensi penulis: bambang.apriyanto71@gmail.com

ARTICLE INFO

Genesis Artikel:

Diterima, 21-2 2022

Direvisi, 7 Maret 2022

Disetujui, 24 Maret 2022

Keyword:

Termination losses, harmonic distortion, 20kv cubicles, sf6, 200kva transformers, lvmdp panel

Kata Kunci:

Rugi-rugi terminasi, distorsi harmonisa, kubikel 20kv, sf6, trafo 200kva, panel lvmdp

ABSTRACT

In this study, electricity losses that have the potential to occur in electrical protection system installed in medium voltage are analysed. These losses must be taken account in order to achieve a reliable and efficient electricity system. Therefore, to find out this potential loss, it is necessary to calculate and measure the installation network from the 20KV SF6 Cubicle to the Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP) after it is installed. The results of the calculations and measurements show that the total harmonic distortion (THD) for both current and voltage is still within the tolerance limits according to the IEEE standard. Thus, the part of the protection system that was analysed for losses was verified to be within normal limits and suitable for use in this medium voltage network installations.

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, dianalisa rugi-rugi ketenagalistrikan yang berpotensi terjadi pada sistim pengaman listrik tegangan menengah. Rugi-rugi ini harus dipertimbangkan demi tercapainya sistim ketenagalistrikan yang handal dan efisien. Oleh karena itu untuk mengetahui potensi kerugian ini, perlu dilakukan perhitungan dan pengukuran pada instalasi dari Cubicle 20KV SF6 ke Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP) setelah disambungkan. Hasil dari perhitungan dan pengukuran menunjukkan total harmonic distortion (THD) baik pada arus dan tegangan masih dalam batas toleransi sesuai dengan standar IEEE. Dengan demikian, bagian sistim pengaman yang dianalisa kerugiannya diverifikasi masih dalam batas normal dan layak dipakai pada instalasi jaringan tegangan menengah ini.

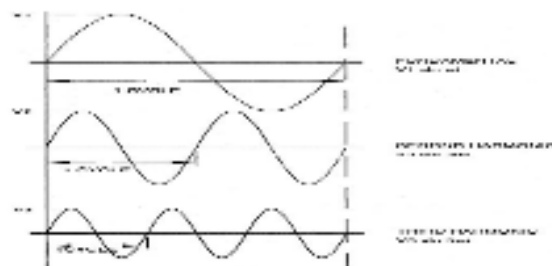
This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2021 by Author. Published by Universitas Batam.



PENDAHULUAN

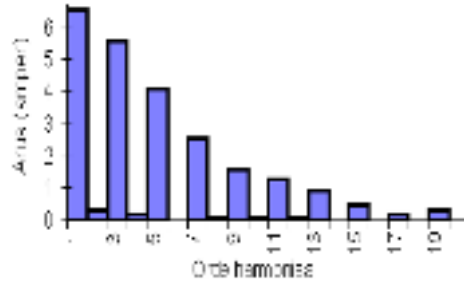
Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamental-nya yaitu 50 Hz atau 60 Hz [1].



Gambar 1. Signal Sinusoidal Dasar dan Terdistorsi

Dalam sistem tenaga listrik, arus dan tegangan selalu mengandung harmonisa, karena harmonisa memiliki frekuensi yang berkelipatan integer dari komponen gelombang dasarnya [2].

Gelombang harmonisa yang ketiga terbentuknya menjadi 3(tiga) periode gelombang yang berulang saat gelombang fundamentalnya masih berlangsung dalam satu periode untuk harmonisa ke-3 dan ke-5 (gambar-1). Harmonisa berdasarkan dari urutan ordennya dapat dibedakan menjadi harmonisa ganjil dan harmonisa genap (Sankaran, p75). Sesuai dengan namanya harmonisa ganjil adalah harmonisa ke 1, 3, 5, 7, 9 dan seterusnya [3]. Perpaduan harmonisa ganjil dengan harmonisa kosong adalah yang paling berbahaya dan merugikan. Harmonisa-harmonisa yang dimaksudkan adalah harmonisa ke 3, 9, 15 dan seterusnya (gambar-2) [4].



Gambar 2. Spektrum Urutan Orde Harmonisa

Teori yang dipakai untuk memahami gelombang harmonisa adalah Teori dari deret fourier. Dalam metode fourier series dapat menunjukkan komponen yang genap dan ganjil. Bentuk umum dari persamaan fourier series dapat ditunjukkan ke dalam rumus sebagai berikut [5]:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + B_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right)] \quad (1)$$

Rumus diatas diperuntukkan untuk gelombang yang berperiode kontinyu yang mana didalam teori fourier menyatakan hal-hal yang mengacu pada persamaan 2 yaitu A_0 (nilai rata-rata dari fungsi $x(t)$), A_n dan B_n (koefisien deret) ketiga koefisien tersebut didapat dengan persamaan :

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (2)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} f(t) \cos n\omega t dt \quad (3)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} f(t) \sin n\omega t dt \quad (4)$$

Dimana : $n = 1, 2, 3, \dots$ harmonisa

Berdasarkan persamaan diatas, secara umum harmonisa tegangan dan arus dinyatakan dalam deret fourier :

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t - \theta_n) \quad (5)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos(n\omega t - \theta_n) \quad (6)$$

Dimana n adalah orde harmonisa, yaitu bilangan 1, 2, 3, ... dst.

Total Distorsi Harmonisa (THD) merupakan rasio nilai rms dari komponen harmonisa ke nilai rms dari komponen dasar yang biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks tersebut digunakan untuk mengukur deviasi dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus sempurna.

Total Distorsi Harmonisa (THD) tegangan dan arus yaitu :

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n V_n^2}}{V_1} \quad (7)$$

Dimana :

V_n = Nilai tegangan harmonisa

V_1 = Nilai fundamental

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^n I_n^2}}{I_1} \quad (8)$$

Dimana :

I_n = Nilai arus harmonisa

I_1 = Nilai fundamental

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

Distorsi harmonisa individu (IHD) adalah rasio antara nilai rms dari harmonisa individual terhadap nilai rms dari dasar. Standar harmonisa yang digunakan adalah standar IEEE-519. Ada dua kreteria yang biasa digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu; batasan harmonisa pada arus dan batasan harmonisa tegangan. Presentasi (%) I_{THD} adalah presentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. Untuk menentukan presentasi (%) I_{THD} tergantung dari besarnya rasio dari I_{sc} dan I_L . V_{THD} adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. Presentasi (%) V_{THD} ditentukan tergantung pada tegangan sistem yang dipakai.

Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonisa adalah panas lebih pada kawat netral dan transformator serta penurunan efisiensi atau terjadi kerugian daya pada transformator.

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan peningkatan panas pada transformator yang merupakan akibat dari distorsi harmonisa seperti kenaikan arus rms menyebabkan arus yang mengalir pada trasformator melebihi arus ratingnya, peningkatan rugi-rugi arus Eddy yang mengalir pada seluruh bagian transformator yang terbuat dari bahan penghantar sehingga menyebabkan pemanasan tambahan dan rugi histerisis yang bergantung pada pengaruh harmonisa pada tegangan yang diberikan dan rancangan inti transformator.

Pada dasarnya transformator dirancang untuk menyalurkan daya ke beban dengan rugi-rugi sekecil mungkin pada frekuensi dasar. Namun secara pendekatan umum jika nilai distorsi pada suatu transformator melebihi 5%, maka ini adalah tanda bahwa transformator tersebut mengalami penurunan kinerja (derating) akibat harmonisa.

Untuk mengidentifikasi kehadiran harmonisa pada sistem distribusi dapat menggunakan acuan dan langkah-langkah sebagai berikut [6]: Pertama adalah dengan melakukan pemeriksaan nilai arus sekunder pada fasa dan netral transformer yang apabila arus netralnya lebih besar, maka dapat diperkirakan adanya triplen harmonisa. Kedua adalah dengan melakukan pemeriksaan tegangan netral-tanah yang untuk sistim 3 fasa dan 4 kawat apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 V, maka terdapat indikasi adanya masalah harmonisa. Ketiga adalah melakukan identifikasi jenis beban dan menginventarisir peralatan-peralatan yang berpotensi menimbulkan harmonisa pada instalasi konsumen.

Pada penelitian kali ini fokus pada analisa rugi distorsi mulai dari kubikel 20kV sampai LVMDV setelah dilakukannya proses terminasi dengan permodelan beban tidak linier.

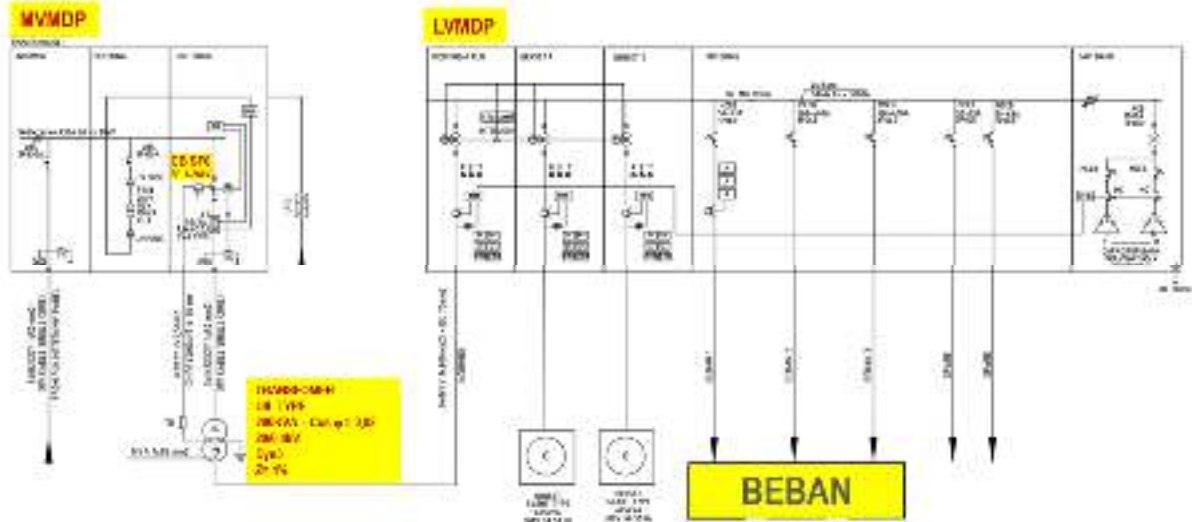
METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini meliputi pengambilan dan pengumpulan data baik dari lapangan (unit terpasang) maupun dari data-data referensi pabrikan, kemudian data awal tersebut di ambil menjadi data primer atau data input yang meliputi: spesifikasi teknis dari peralatan kubikel dan LVMDP, jenis jenis terminal yang digunakan yang melekat menjadi satu kesatuan pabrikan, desain ruangan atau gardu yang digunakan dan hal hal teknis lainnya.

Untuk data sekunder yakni standarisasi manufaktur/ pabrikan kubikle dan LVMDP, standarisasi industri seperti IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), BS (British Standards), JIS (Japanese Industrial

Standards) dan Nasional standarisasi seperti SPLN (Standar Perusahaan Listrik Negara), PUIL (peraturan umum instalasi listrik).

Berikut sistim jaringan mulai SF6 ke LVMDP dan beban yang akan dijadikan objek penelitian ini.



Gambar 3. Jaringan Distribusi Menengah

Kandungan harmonisa arus dan tegangan listrik pada penelitian ini ditentukan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur Power Quality Analyzer Fluke 43B. Dan pengambilan data melalui pengukuran yang dilakukan pada peralatan beban penuh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah pengukuran harmonisa arus dan tegangan pada Kubikel SF6 dengan transformator 200 kVA di fasa R, S dan T pada waktu pukul 08.00, 09.00 dan 12.00 WIB.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Harmonisa Arus dan Tegangan

Elemen	Tegangan			Elemen	Tegangan			Elemen	Tegangan		
	08.00	09.00	12.00		08.00	09.00	12.00		08.00	09.00	12.00
Tegangan rms (V)	222,8	217,8	221,8	Tegangan rms (V)	222,8	217,8	221,8	Tegangan rms (V)	222,8	217,8	221,8
Arus rms (A)	48,5	47,1	48,5	Arus rms (A)	48,5	47,1	48,5	Arus rms (A)	48,5	47,1	48,5
Waktu (s)	4,2	4,2	4,2	Waktu (s)	4,2	4,2	4,2	Waktu (s)	4,2	4,2	4,2
Waktu (s)	4,2	4,2	4,2	Waktu (s)	4,2	4,2	4,2	Waktu (s)	4,2	4,2	4,2
Harmonisa (%)	2,8	2,8	2,8	Harmonisa (%)	2,8	2,8	2,8	Harmonisa (%)	2,8	2,8	2,8

Berikut dibawah ini adalah data hasil pengukuran I_{THD} dan V_{THD} dari orde 1 sampai 13. Pengukuran dilakukan pada waktu jam 12.00 WIB.

Tabel 2. Hasil Pengukuran I_{THD} dan V_{THD} dari orde 1 sampai 13

Orde	Arus (A)			Orde	Tegangan (V)		
	R	S	T		R	S	T
1	48,5	47,1	48,5	1	222,8	217,8	221,8
2	1,2	1,2	1,2	2	4,2	4,2	4,2
3	0,8	0,8	0,8	3	4,2	4,2	4,2
4	0,6	0,6	0,6	4	0,6	0,6	0,6
5	0,5	0,5	0,5	5	0,5	0,5	0,5
6	0,4	0,4	0,4	6	0,4	0,4	0,4
7	0,3	0,3	0,3	7	0,3	0,3	0,3
8	0,2	0,2	0,2	8	0,2	0,2	0,2
9	0,1	0,1	0,1	9	0,1	0,1	0,1
10	0,1	0,1	0,1	10	0,1	0,1	0,1
11	0,1	0,1	0,1	11	0,1	0,1	0,1
12	0,1	0,1	0,1	12	0,1	0,1	0,1
13	0,1	0,1	0,1	13	0,1	0,1	0,1
I_{THD}	2,8%	2,8%	2,8%	V_{THD}	2,8%	2,8%	2,8%
V_{THD}	2,8%	2,8%	2,8%				

Untuk perhitungan I_{THD} dan V_{THD} fasa R menggunakan persamaan (7) dan (8) sebagai berikut :

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{52^2 + 0,8^2 + 0,6^2 + 0,6^2 + 0,4^2}}{102,5} \times 100\% \quad V_{THD} = \frac{\sqrt{0,4^2 + 0,6^2 + 0,6^2}}{221,3} \times 100\%$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{25 + 0,64 + 0,36 + 0,36 + 0,16}}{102,5} \times 100\% \quad V_{THD} = \frac{\sqrt{0,16 + 0,36 + 0,36}}{221,3} \times 100\%$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{27,16}}{102,5} \times 100\% = 5,08\% \quad V_{THD} = \frac{\sqrt{0,88}}{221,3} \times 100\% = 0,42\%$$

Tabel 3. Perbandingan Pengukuran, Perhitungan dan Evaluasi pada fasa R jam 12.00

% (THD) Arus			Standar IEEE	Evaluasi
Pengukuran	Perhitungan			
5,2	5,08		10%	Melampaui standar

% (THD) Tegangan			Standar IEEE	Evaluasi
Pengukuran	Perhitungan			
0,42	0,42		5%	Melampaui standar

Perhitungan rugi-rugi faktor daya yang dapat menyebabkan terjadinya rugi-rugi trafo adalah adanya I_{THD} pada trafo tersebut. Analisisnya dapat dilakukan tanpa pengaruh harmonisa yang berdasarkan SPLN 50 : 1997 tentang spesifikasi transformator distribusi. Jika diketahui kapasitas transformator (S) 200 kVA memiliki rugi besi P_i sebesar 480 W, rugi tembaga (P_{CU}) sebesar 2500 W. Sehingga dapat dihitung Total rugi-ruginya sebagai berikut :

$$P_{total} = P_i + P_{CU}$$

$$= 480 + 2500$$

$$= 2980 \text{ W} = 2,98 \text{ kW}$$

Analisa akibat pengaruh harmonisa berdasarkan hasil pengukuran sebagai berikut :

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \Rightarrow S_{1\phi} = (V \times I) / \sqrt{3}$$

$$S_{3\phi} = 200 \text{ kVA} \Rightarrow S_{1\phi} = 200 \text{ kVA} / \sqrt{3} = 115,5 \text{ kVA}$$

Untuk $\text{Cos } \phi = 0,92$

Maka :

$$P_{1\phi} = S_{1\phi} \times \text{Cos } \phi = 115,5 \times 0,92 = 106,24 \text{ kW}$$

Tabel 4. Perhitungan Harmonisa Arus pada fasa R

Order Harmonisa	Ih (A)	Ih (p.u)	Ih ² (p.u)	Ih ² x R ² (p.u)
1	102,5	1,00000	1,000000	1,000000
3	0,8	0,00785	6,16210e-5	6,32141e-5
5	0,6	0,00588	3,45760e-5	3,58152e-5
7	0,6	0,00588	3,45760e-5	3,58152e-5
9	0,6	0,00588	3,45760e-5	3,58152e-5
11	0,6	0,00588	3,45760e-5	3,58152e-5
13	0,6	0,00588	3,45760e-5	3,58152e-5
Total			1,002585	1,03542

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa rugi tembaga (I^2R) mengalami peningkatan sebesar 0,0025851

Perhitungan PR dalam satuan kW dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_R \text{ (kW)} = P_{CU} \text{ (p.u)} \times P_{1\phi} \text{ (kW)}$$

$$P_R = 0,0025851 \text{ p.u} \times 106,24 \text{ kW}$$

$$P_R = 0,275 \text{ kW}$$

Sedangkan rugi arus eddy (P_{EC}) mengalami peningkatan sebesar 0,03542 p.u atau dalam satuan kW dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{EC} \text{ (kW)} = P_{EC-f} \times P_E \text{ (p.u)} \times P_{1\phi} \text{ (kW)} \quad P_{EC} = 1\% \times 0,03542 \text{ p.u} \times 106,24 \text{ kW} \quad P_{EC} = 0,0376 \text{ kW}$$

Untuk menghitung rugi histerisis dapat dihitung sebagai berikut :
 $P_h = 0,26 \times 5 \times 3 = 3,9 \text{ Watt}$

Tabel 5. Rugi Histerisis pada fasa R

Order Harmonis	$I_n (A)$	$P_h (Watt)$
1	190,5	25,65
3	57	3,9
5	38	1,39
7	27	1,05
9	19	0,94
11	17	0,66
13	14	0,57
Total		39,87

Jadi, Total rugi-rugi daya transformator akibat harmonisa pada fasa R adalah :

$$P_{total} = P_R + P_{EC} + P_h$$

$$P_{total} = 0,275 + 0,0376 + 0,0109 = \mathbf{0,324kW}$$

Berikut dibawah ini adalah data hasil analisa perhitungan rugi-rugi daya pada phasa R, S dan T. Perhitungan dibuat dari data pengukuran yang dilakukan pada waktu jam 12.00 WIB.

Tabel 6. Rugi Daya Akibat HArmonisa

Order Harmonisa	Rugi rugi Daya Akibat Harmonisa			
	$P_R (kW)$	$P_{EC} (kW)$	$P_h (kW)$	Total (kW)
Fasa R	0,275	0,0376	0,0109	0,324
Fasa S	0,175	0,0245	0,0072	0,207
Fasa T	0,175	0,0245	0,0072	0,207
Jumlah				1,865
% Kontribusi				2,19

$$\text{Kontribusi \% akibat harmonisa} = \frac{1,865}{85,15} \times 100\% = 2,19\%$$

$$\text{Kontribusi \% akibat beban} = \frac{85,15}{85,15} \times 100\% = 100\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dimana rugi-rugi daya pada instalasi Cubicle 20 KV ke panel SF6 LVMDP akibat beban non linier membuktikan bahwa komponen harmonisa turut menyebabkan bertambahnya rugi-rugi daya yang terjadi dari Cubicle 20 KV SF6 ke panel LVMDP saat bekerja melayani beban non linear.

Hal ini diakibatkan oleh bertambahnya nilai rugi-rugi daya yang terdiri atas rugi tembaga, rugi arus eddy dan rugi-rugi histerisis yang selalu terdapat pada transformator saat bekerja melayani beban non linier.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pengukuran pada transformator diperoleh bahwa nilai total harmonic distortion (THD) baik pada arus dan tegangan tidak memiliki perbedaan yang berarti.

Hasil pengukuran nilai THD tertinggi pada arus sebesar 7,2%, sedangkan berdasarkan hasil perhitungan nilai THD arus sebesar 5,54% dan nilai keduanya masih dalam batas toleransi standar IEEE 519-1992 yaitu sebesar 15%.

Sedangkan hasil pengukuran nilai THD pada tegangan adalah 0,9% dan hasil perhitungan nilai THD tegangan sebesar 0,42% dimana nilai keduanya masih dalam batas toleransi standar IEEE 519-1992 yaitu sebesar 5%.

Rugi-rugi secara teknis pada transformator sebelum adanya pengaruh harmonisa adalah sebesar 2,98 kW, sedangkan setelah terpengaruh harmonisa menjadi 4,036 kW atau meningkat 2,19% ruginya.

REFERENSI

- Arrilaga, Jos and Watson.(2003). Power System Harmonics. *Neville*. Chicester: John Walley and Sons.
- Skvarenia, Timothy.L and Dewitt, William.E. (2001). Electrical Power and Controls. *New Jersey : Prentice hall*.
- Sankaran, C. (2002). Power Quality. *Florida : CRC Press LLC*.
- Buhron, Hernadi and Sutanto, Justin. (2007). Implikasi Harmonisa Dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya. PLN Distribusi Jabar. http://www.plnkc.or.id/library/download/attach_harmonisa%20yus_her_pln_20%jabar.doc.
- Dugan, Roger.C and McGranaghan, Mark.F.(2003). Electrical Power Systems Quality. *New York : McGraw-Hill*.
- Febri Ramadhan, J. F. (2019). Sistem Informasi Nilai Siswa Di Sekolah SMA Berbasis Android. *Zona Komputer*, 9(Agustus).
- Friadi, J. (2021). Design of Religious Tourism Information System in the Batam City Based on Android Smartphone *Corresponding Author : 17–22*.
- Friadi, J., & Gulo, J. R. (2020). Pengembangan Sistem Informasi Monitoring Prakrind Dengan Model Rapid Application Development. 222–229.
- Friadi, J., Agestira, D., Rumayar, M. A., Dewiwin, N., & Friadi, J. (2022). Sosialisasi dan Penyuluhan Strategi Pemasaran Digital Pada UMKM Baby Smart Bubur Bayi Berbasis E-Commerce. *Jurnal Pengabdian Bareleng*, 4(1), 71–77.
- Haries, T. M., Husnan, R., & Friadi, J. (2021). *Pengembangan E-Commerce UMKM Ikan Cupang Hias AJO BETA dengan Metode SWOT*. 15(2), 36–40.
- Kurniawan, D. E., Iqbal, M., Friadi, J., Hidayat, F., & Permatasari, R. D. (2021). Login Security Using One Time Password (OTP) Application with Encryption Algorithm Performance. *Journal of Physics: Conference Series*, 1783(1), 6–11. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1783/1/012041>
- Muslem, J. F. (2020). Membangun Sistem Pembelajaran Elektronik Berbasis Android. *Zona Komputer*, 10(Desember).
- Noval Alfiyan Jaya, Dwi Wahyuni , Dwi Arfinanta, John Friadi, S. (2021). Perancangan & Implementasi Aplikasi E-Commerce Pemasaran UMKM Alpokat Kocok Mr. Black Berbasis Web. *Jurnal Tikar*, 2(2), 102–106.
- Tribuana, Nanand and Wanhar.(1999). Pengaruh Harmonik Pada Transformator Distribusi. 20 Januari 2007. <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener25.html>.
- Syafrudin, Masri.(2004).Pemodelan dan Prediksi Distorsi Harmonisa Pada Utiliti Listrik Perumahan Yang Disebabkan Oleh Beban Tidak linier. 2004. 8 Januari 2007. <http://www.Ies.Eepis-its.edu> *Jurnal EECCIS Vol. III No. 1 Juni 2009*.