

RELAY PADA DINAMIKA DAN STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK YANG BERKELANJUTAN

Syahrial Shaddiq¹, Muhammad Rivaldi Akbar² Muhammad Yusri Dzal Yahya³
Magister Ekonomi Pembangunan¹ – Komunikasi Digital² – Magister Teknik Mesin³
Universitas Lambung Mangkurat (ULM)¹
Universitas Insan Cita Indonesia (UICI)²
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)³
Email: syahrial.s@ulm.ac.id

History Article

Submission:
12 May 2025

Revised:
10 June 2025

Accepted:
12 June 2025

Published:
12 June 2025

E-ISSN:

...

Publisher:
LP3KTK

Abstract

Relay adalah suatu peranti yang menggunakan elektromagnet untuk mengoperasikan seperangkat kontak sakelar. Susunan paling sederhana terdiri dari kumparan kawat penghantar yang dililit pada inti besi. Bila kumparan ini dienergikan, medan magnet yang terbentuk menarik armatur berporos yang digunakan sebagai pengungkit mekanisme sakelar.

Kata Kunci : Elektromagnet, kontak, medan magnet, armatur, sakelar.

PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dunia, kebutuhan akan sumber energi listrik semakin tinggi, sehingga kebutuhan akan kapasitas daya listrik juga semakin tinggi dan sistemnya pun harus andal (Shaddiq dkk., 2016). Relay adalah sebuah saklar elektronis yang dapat dikendalikan dari rangkaian elektronik lainnya. Relay terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

1. Koil : lilitan dari relay
2. *Common* : bagian yang tersambung dengan NC (dalam keadaan normal)
3. Kontak : terdiri dari NC dan NO

Membedakan NC dengan NO :

NC (*Normally Closed*) : saklar dari relay yang dalam keadaan normal(relay tidak diberi tegangan) terhubung dengan common.

NO (*Normally Open*) : saklar dari relay yang dalam keadaan normal(relay tidak diberi tegangan) tidak terhubung dengan common.

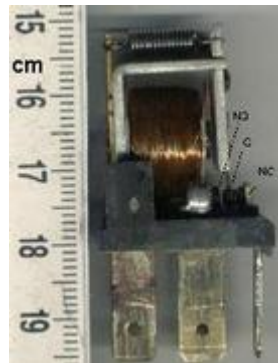
Bagian-bagian relay dapat diketahui dengan 2 cara, yakni :

1. Dengan cara melihat isi dalam relay tersebut
2. Dengan menggunakan multimeter (Ohm)

Cara mengetahui relay tersebut masih berfungsi atau tidak dapat dilakukan dengan cara memberikan tegangan yang sesuai dengan relay tersebut pada bagian koilnya. Jika kontakannya masih bekerja NC-->NO atau NO-->NC, maka dapat dikatakan bahwa relay tersebut masih dalam keadaan baik.

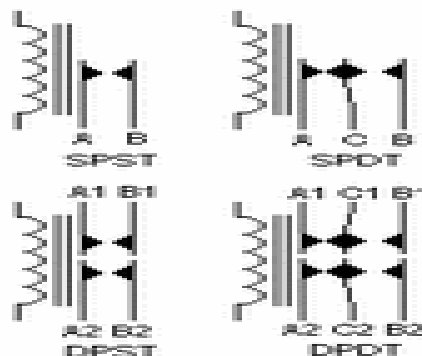
Hubungkan common dan NO jika menginginkan rangkaian ON ketika koil diberi tegangan.

Hubungkan common dan NC jika menginginkan rangkaian ON ketika koil tidak diberi tegangan.



Jenis-jenis Relay :

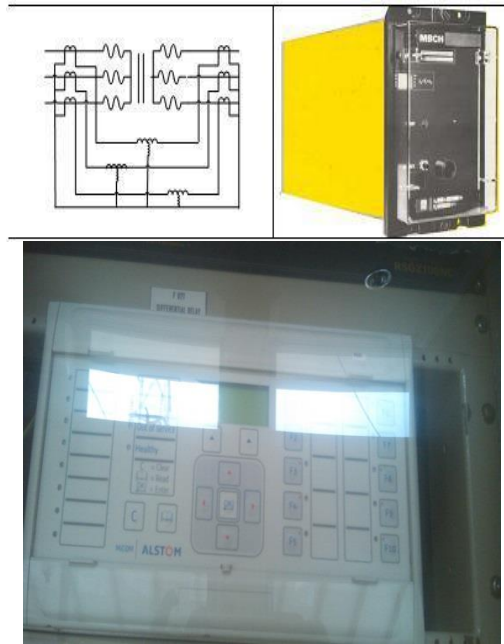
- **SPST** - *Single Pole Single Throw*.
- **SPDT** - *Single Pole Double Throw*. Terdiri dari 5 buah pin, yaitu : (2) koil, (1) *common*, (1) NC, (1) NO.
- **DPST** - *Double Pole Single Throw*. Setara dengan 2 buah saklar atau relay SPST.
- **DPDT** - *Double Pole Double Throw*. Setara dengan 2 buah saklar atau relay SPDT.
- **QPDT** - *Quadruple Pole Double Throw*. Sering disebut sebagai *Quad Pole Double Throw*, atau 4PDT. Setara dengan 4 buah saklar atau relay SPDT atau dua buah relay DPDT. Terdiri dari 14 pin (termasuk 2 buah untuk koil).



METODE

Metodologi adalah ilmu yang mengkaji ketentuan-ketentuan tentang metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk dalam mempelajari macam-macam relay pada sistem tenaga listrik yang berperan penting dalam pengendalian dan perlindungan sistem tersebut (S. Shaddiq, et al., 2016), yaitu:

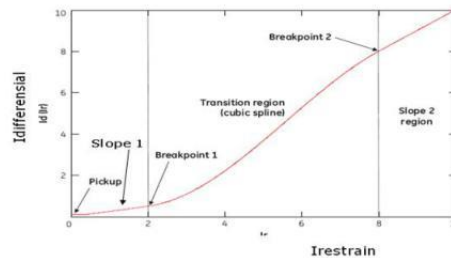
Relai Diferensial



Gambar 2.1 Relai Diferensial

Relai Diferensial berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi didalam daerah pengaman transformator dapat dilihat pada gambar di atas.

Karakteristik Kurva Relai Diferensial



Karakteristiknya :

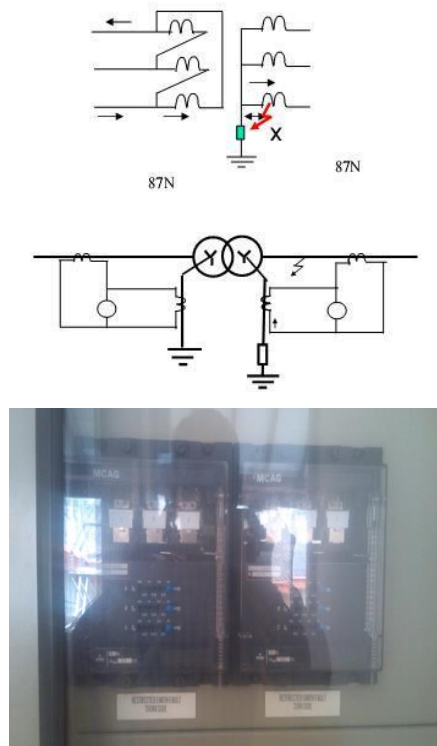
1. Arus diferensial pickup adalah minimum arus yang dibutuhkan supaya rele kerja. Ditentukan dengan memperhatikan error CT dan juga diferensial arus antara pada saat LTC / VR di tap maksimum
2. Arus diferensial didapat dari menjumlahkan komponen arus sekunder di winding 1 dan winding 2 secara vektor. Jika arus berlawanan dalam artian yang satu menuju rele dan yang lain meninggalkan rele, maka akan saling mengurangi dan sebaliknya.
3. Arus restrain didapat dari harga yang paling besar antara arus di winding 1 atau winding 2 yang telah disetarakan ke harga pu.
4. Slope didapat dengan membagi antara Komponen arus diferensial dengan arus restrain
5. Daerah di atas kurva adalah daerah kerja rele diferensial, sedangkan pada daerah di bawah kurva rele tidak akan bekerja.
6. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan restrain pada kondisi normal dan memastikan sensitivitas rele pada saat internal fault dengan arus gangguan yang kecil.
7. Break 1 diset dibawah arus yang menyebabkan CT saturasi oleh komponen DC/residual magnetasi.

8. Break 2 diset dibawah arus yang menyebabkan CT saturasi oleh komponen AC saja
9. Slope 2 berguna supaya rele tidak kerja oleh gangguan eksternal yang berarus sangat besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi. Di set dengan slope lebih dari 50 %.

Parameter diferensial yang umumnya dipergunakan adalah :

1. Nilai arus kerja minimum, merupakan setelan arus minimal yang akan mengerjakan relai pada nilai arus restrain = 0
2. Nilai arus kerja *high set*, merupakan setelan arus kerja *high set* untuk arus gangguan yang besar (bila dilengkapi).
3. Nilai *slope*, merupakan perbandingan pertambahan nilai arus diferensial terhadap pertambahan nilai arus *restraint*.
4. *2nd harmonic restraint*, merupakan nilai minimal harmonisa ke-2 yang akan memblok kerja diferensial relai. Harmonisa ke-2 ini merupakan parameter ada tidaknya *inrush current*. Karena sifatnya memblok kerja diferensial maka, harus diperhatikan nilai setelan akan memblok kerja diferensial ketika terjadi gangguan.
5. *5th harmonic restraint*, merupakan nilai minimal harmonisa ke-5 yang akan memblok kerja diferensial relai. Harmonisa ke-5 ini merupakan parameter ada tidaknya *over eksitasi* pada transformator.

Relai Restricted Earth Fault (REF)



Gambar 2.2 Relai REF

Rele REF berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap tanah didalam daerah pengaman transformator khususnya untuk gangguan didekat titik netral yang tidak dapat dirasakan oleh rele diferensial dapat dilihat pada gambar di atas.

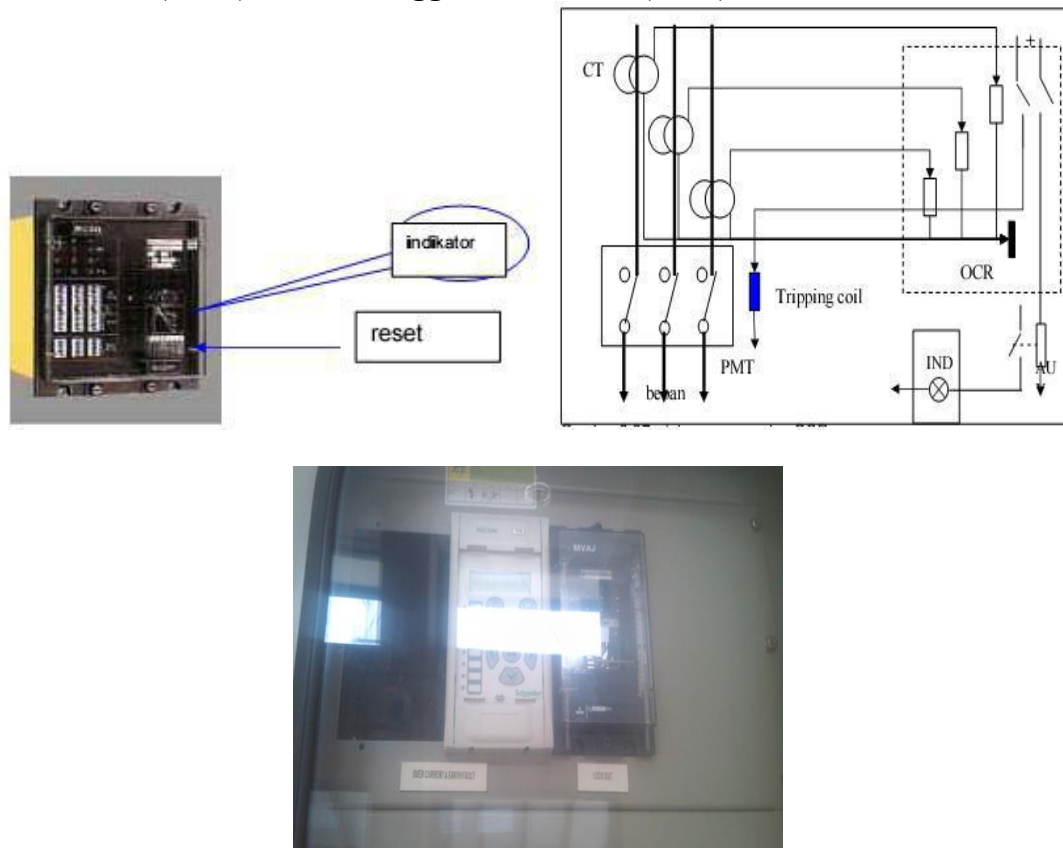
Merupakan salah satu proteksi utama transformator/reaktor yang prinsip kerjanya sama dengan diferensial relai, perbedaannya REF dipergunakan untuk pengamanan

transformator/reaktor terhadap gangguan fasa – tanah, khususnya yang dekat dengan titik bintang transformator/reaktor. REF dipasang pada belitan transformator/reaktor dengan konfigurasi Y yang ditanahkan.

REF terdiri dari 2 jenis, yaitu :

1. REF jenis *low impedance*, parameter kerjanya adalah arus minimum.
2. REF jenis *high impedance*, parameter kerjanya adalah tegangan minimum, ataupun arus minimum.

Relai Arus Lebih (OCR) / Relai Gangguan ke Tanah (GFR)



Gambar 2.3 Relai OCR dan GFR

Rele OCR berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman transformator. Penurunan daya maupun hubung singkat yang tidak stabil akan menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik yang tersedia bagi konsumen (Trio Putra dkk., 2021). Rele ini mempunyai sifat komplementer dengan rele beban lebih. Rele ini berfungsi pula sebagai pengaman cadangan bagi bagian instalasi lainnya. Bentuk rele ini dapat dilihat pada gambar pengawatannya pada gambar diatas. Merupakan proteksi cadangan transformator/reaktor tetapi dapat menjadi proteksi utama pada proteksi kapasitor (Saleem & M.J, 2021).

Rele GFR berfungsi untuk mengamankan transformator gangguan hubung tanah, didalam dan diluar daerah pengaman transformator. Rele arah hubung tanah memerlukan *operating signal* dan *polarising signal*. *Operating signal* diperoleh dari arus residual melalui rangkaian trafo arus penghantar ($I_{op} = 3I_0$) sedangkan *polarising signal* diperoleh dari tegangan residual.

Tegangan residual dapat diperoleh dari rangkaian sekunder *open delta* trafo tegangan seperti pada gambar diatas (Syahrial Shaddiq dkk., 2021).

Parameter OCR/GFR umumnya adalah :

1. Nilai arus kerja minimum, merupakan setelan arus minimal yang akan mengerjakan relai.
2. Nilai arus kerja *high set*, merupakan setelan arus kerja *high set* untuk arus gangguan yang besar.
3. Karakteristik waktu kerja, merupakan parameter pemilihan kurva waktu kerja.
4. Nilai waktu kerja, merupakan setelan waktu kerja relai berdasarkan karakteristik yang telah ditentukan.

Relai OVR / UVR



Gambar 2.4 Relai OCR dan GFR

Untuk keperluan pengoperasian sistem maka relai bay reaktor dan bay kapasitor juga dilengkapi dengan relai tegangan berupa *Under Voltage Relay* (UVR) dan *Over Voltage Relay* (OVR).

UVR dipergunakan untuk melepaskan reaktor secara otomatis ketika tegangan sistem sudah dianggap rendah, sedangkan OVR dipergunakan untuk memasukkan reaktor secara otomatis ketika tegangan sistem dianggap tinggi.

Sedangkan pada bay kapasitor OVR dipergunakan untuk melepaskan kapasitor secara otomatis ketika tegangan sudah dianggap tinggi, dan UVR dipergunakan untuk memasukkan kapasitor ketika tegangan sistem dianggap rendah.

Parameter UVR/OVR yang dipergunakan adalah :

1. Nilai tegangan kerja, merupakan setelan tegangan yang akan mengerjakan relai untuk melepas dan memasukkan reaktor/kapasitor secara otomatis.
2. Karakteristik waktu kerja, merupakan parameter pemilihan kurva waktu kerja.
3. Nilai waktu kerja, merupakan setelan waktu kerja relai berdasarkan karakteristik.

Relai Standby Earth Fault (SBEF) atau Sensitive Earth Fault (SEF)

Merupakan proteksi NGR terhadap arus lebih yang berfungsi untuk mengamankan NGR dari hubung singkat fasa tanah. Oleh karena itu SBEF hanya ada pada transformator yang pentanahannya menggunakan NGR. SBEF ini juga harus dikoordinasikan dengan relai GFR. SBEF harus bekerja paling akhir sebagai pengaman NGR.

Parameter SBEF/SEF umumnya adalah :

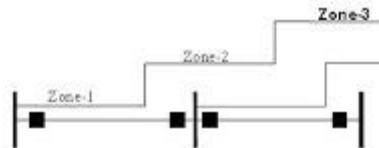
1. Nilai arus kerja minimum, merupakan setelan arus minimal yang akan mengerjakan relai.
2. Karakteristik waktu kerja, merupakan parameter pemilihan kurva waktu kerja.
3. Nilai waktu kerja, merupakan setelan waktu kerja relai berdasarkan karakteristik yang telah ditentukan.

Relai Jarak / Distance Relay



Gambar 2.6 Relai Jarak / Distance Relay

Relai jarak atau distance relay digunakan sebagai pengaman utama (main protection) pada Suatu sistem transmisi, baik SUTT maupun SUTET, dan sebagai cadangan atau backup untuk seksi didepan. Relai jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z), dan transmisi dibagi menjadi beberapa daerah cakupan pengamanan yaitu Zone-1, Zone-2, dan Zone-3, serta dilengkapi juga dengan teleproteksi (TP) sebagai upaya agar proteksi bekerja selalu cepat dan selektif didalam daerah pengamanannya.



Prinsip Kerja Relai Jarak

Relai jarak mengukur tegangan pada titik relai dan arus gangguan yang terlihat dari relai, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Perhitungan impedansi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Z_f = V_f / I_f$$

Dimana :

Z_f	=	Impedansi	(ohm)
V_f	=	Tegangan	(Volt)

I_f = Arus gangguan

Digital Twin untuk Meningkatkan Kinerja Proteksi Relay

Relay proteksi merupakan sebuah alat proteksi yang berfungsi untuk memberikan pengamanan terhadap peralatan listrik pada kondisi yang tidak normal (Saputra dkk., 2020). Melalui pendekatan *digital twin*, setiap relay proteksi konvensional diubah menjadi model virtual yang mencerminkan data historis seperti rekaman gelombang gangguan, nilai arus diferensial, tegangan fase, dan log trip serta informasi *real time* dari sensor IoT dan sistem SCADA. Dengan simulasi di lingkungan digital ini, insinyur dapat menguji berbagai kondisi bebas, perubahan frekuensi atau skenario kegagalan komponen tanpa menghentikan pasokan listrik, sehingga parameter penting seperti arus pemicu (*pickup current*), kurva waktu arus dan sensitivitas jarak dapat diatur ulang secara dinamis. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi *false trip* dan mempercepat isolasi gangguan, tetapi juga mendukung perawatan prediktif melalui analisis data

besar untuk memproyeksikan usia pakai komponen dan merencanakan penggantian sebelum kerusakan nyata terjadi.

Skema Keamanan Siber Menyeluruh Pada Relay Berbasis Mikroprosesor

Untuk memastikan reliabilitas Smart Grid, relay mikroprosesor perlu dilengkapi protokol keamanan siber *end-to-end*, mulai dari penerapan enkripsi pada lapisan aplikasi (TLS/SSL) untuk melindungi perintah trip dan data telemetri, hingga autentikasi berbasis sertifikat digital dan mekanisme *secure boot* agar hanya firmware resmi yang berjalan. Di sisi jaringan, *intrusion detection/prevention system* (IDS/IPS) memantau lalu lintas antara relay, SCADA, dan server pusat guna mendeteksi pola serangan seperti *main-in-the-middle* (Yusri Dzal Yahya dkk., t.t.). Seluruh log peristiwa mulai audit trail, alarm perilaku anomali, hingga catatan syslog yang dikonsolidasikan dalam platform *security information and event management* (SIEM), memungkinkan korelasi insiden dengan cepat dan respons proaktif untuk mencegah gangguan besar pada pasokan listrik.

PENUTUP

Fungsi relay dapat memperkecil kerusakan dan biaya ini dengan cara menyelidiki dengan segera kesalahan dan membuka saklar yang tepat untuk mengisolasi sirkuit yang salah itu. Dengan demikian, jelaslah bahwa *reliabilitas*, *kecepatan*, dan *penselektivan* merupakan cara yang dikehendaki untuk mengetahui kualitas perlindungan relay. Kuantitas dasar listrik dapat berubah apabila terjadi kesalahan berupa arus listrik, (arah) fasa tunggal dan frekwensi. Ada dua perangkat relay yang dipakai, relay utama dan balik (penyokong). Relay utama memperjelas adanya kesalahan dalam seksi yang dilindungi secepat mungkin. Relay penyokong dioperasikan apabila yang lainnya gagal dan biasanya bukan hanya berfungsi melindungi seksi lokal akan tetapi juga seksi sambungan; mereka biasanya mempunyai waktu tunda yang cukup lama untuk memperbolehkan relay utama untuk dioperasikan jika mereka bisa.

Sebuah relay dioperasikan ketika mengukur perubahan kualitas, baik dari nilai normal maupun hubungannya dengan kuantitas lainnya. Kuantitas yang dioperasikan dalam kebanyakan perlindungan relay adalah arus listrik yang memasuki sirkuit yang dilindungi. Relay dapat dioperasikan pada tingkat arus listrik menurut bias atau kendala standar, atau ia dapat dibandingkan dengan kuantitas lain dari sirkuit seperti tegangan bus atau arus listrik yang meninggalkan sirkuit yang dilindungi.

Dalam relay elektromagnetis yang sederhana, dipakai sebagai detektor level, gravitasi atau pegas yang dapat menunjukkan bias tetap atau kuantitas referensi, yang melawan kekuatan yang diproduksi oleh arus yang dioperasikan dalam sebuah elektromagnet. Pegas ini merupakan alat kalibrasi dari relay pengambil arus listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Saleem, & M.J. (2021). This collection of Expert Insights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111498. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111498>
- Saputra, M. R. Y., Winarno, W. W., Henderi, H., & Shaddiq, S. (2020). Evaluation of Maturity Level of the Electronic based Government System in the Department of Industry and Commerce of Banjar Regency. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 1(5). <https://doi.org/10.18196/jrc.1532>
- Shaddiq, S., Santoso, D. B., Alfaro, F. F., Sarjiya, & Hadi, S. P. (2016). Optimal capacity and placement of distributed generation using metaheuristic optimization algorithm to reduce

- power losses in Bantul distribution system, Yogyakarta. *2016 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICITEED.2016.7863279>
- Syahrial Shaddiq, Agustian Ramadhan Putera, Lisda Aisyah, Misnasanti, & Ainun Mahfuzah. (2021). A Nexus among Reliability Improvement of Distribution System with Optimal Placement and Capacity of Wind-Based Distributed Generation Management. *Journals of Information, Control, Telecommunication, and Electrical Engineering (JICTEE)*, 1–19.
- Trio Putra, J., Istiqomah, I., Shaddiq, S., & Diantoro, A. (2021). Optimization of Distributed Generation Placement and Capacity Using Flower Pollination Algorithm Method. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 7(1), 175. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i1.20586>
- Yusri Dzal Yahya, M., Habibie, M., Shaddiq, S., Yusri Dzal Yahya, M., & Bima Tri Wicaksono, A. (t.t.). *Implementation of Quantum Physics in Mechatronics, Electronics, and Informatics: A Systematic Review*. <https://www.researchgate.net/publication/371685228>