

Diagnosis Kerusakan Sistem *Magnet Lock* pada Digital Radiography Philips SRO 33100 Menggunakan Metode Isolasi Blok: Studi Kasus

Rifqi Sulthon Auliya

Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang

Pramesti Kusumaningtyas

Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang

Imam Tri Harsoyo

Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang

Alamat : Kawasan ATEM Technopark Jl. Kolonel Warsito Sugiarto KM. 2,5 Sadeng,
Gunungpati, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia.

Korespodensi Penulis: rifqiauliya27@gmail.com

Abstract. *The complexity of electromechanical subsystems in Digital Radiography (DR) systems requires a structured diagnostic approach to prevent extensive downtime and avoid unnecessary disassembly. This study aims to apply the Fault Detection and Isolation (FDI) principle, using the block isolation method, to diagnose and resolve a malfunction in the magnetic lock system of the patient table on a Philips SRO 33100 unit. The FDI approach was implemented by systematically separating the electrical control block from the mechanical actuator block and by conducting a comparative analysis of two identical actuators. Electrical measurements confirmed that both left and right magnetic lock units received a normal input voltage of 23.48 V. A relative correction calculation yielded a value of 2.5%, well within the safe tolerance limit of 10%, validating the integrity of the electrical control block. However, the comparative analysis revealed a complete absence of mechanical response in the left unit, allowing the fault to be precisely isolated to an internal actuator failure without dismantling the intact control circuitry. Based on this definitive diagnosis, corrective action was taken through component replacement and gap-adjustment calibration. Post-repair functional testing recorded a stable operational voltage of 23.45 V and demonstrated a fully synchronized mechanical response, restoring the 4-way floating movement. This study demonstrates that the proposed FDI-based block isolation framework provides an effective, evidence-based strategy for localizing electromechanical faults, thereby minimizing the need for invasive troubleshooting procedures. Consequently, this approach is a highly effective diagnostic method that eliminates the need for extensive disassembly, offering a reliable framework that can be widely adopted for troubleshooting other medical equipment.*

Keywords: *Digital Radiography, Fault Detection and Isolation (FDI), Magnetic Lock, Patient Table, Philips SRO 33100*

Received Mei 26, 2026; Revised Juni 10, 2026; Accepted Juni 15, 2026

*Corresponding author, rifqiauliya27@gmail.com

Abstrak. Kompleksitas subsistem elektromekanis pada sistem Radiografi Digital (DR) menuntut pendekatan diagnostik yang terstruktur untuk mencegah waktu henti yang lama dan menghindari pembongkaran yang tidak perlu. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan prinsip Deteksi dan Isolasi Kerusakan (FDI), dengan menggunakan metode isolasi blok, guna mendiagnosis dan mengatasi gangguan pada sistem pengunci magnetik meja pasien pada unit Philips SRO 33100. Pendekatan FDI diterapkan dengan memisahkan blok kontrol listrik dari blok aktuator mekanis secara sistematis, serta melakukan analisis perbandingan terhadap dua aktuator yang identik. Pengukuran listrik menunjukkan bahwa kedua unit kunci magnetik kiri dan kanan menerima tegangan masukan normal sebesar 23,48 V. Perhitungan koreksi relatif menghasilkan nilai 2,5%, yang masih berada dalam batas toleransi aman sebesar 10%, sehingga mengonfirmasi integritas blok kontrol listrik. Namun, analisis perbandingan mengungkapkan ketidakhadiran respons mekanis yang lengkap pada unit kiri, memungkinkan kesalahan diisolasi secara tepat ke kegagalan aktuator internal tanpa membongkar sirkuit kontrol yang utuh. Berdasarkan diagnosis definitif ini, tindakan korektif diambil melalui penggantian komponen dan kalibrasi penyesuaian celah. Uji fungsional pasca-perbaikan mencatat tegangan operasional stabil sebesar 23,45 V dan menunjukkan respons mekanis yang sepenuhnya sinkron, memulihkan gerakan mengambang empat arah. Studi ini menunjukkan bahwa kerangka kerja isolasi blok berbasis FDI yang diusulkan menyediakan strategi yang efektif dan berbasis bukti untuk mengidentifikasi kegagalan elektromekanis, sehingga meminimalkan kebutuhan akan prosedur pemecahan masalah yang invasif. Akibatnya, pendekatan ini merupakan metode diagnostik yang sangat efektif yang menghilangkan kebutuhan akan pembongkaran yang luas, menawarkan kerangka kerja yang andal yang dapat diterapkan secara luas untuk pemecahan masalah peralatan medis lainnya.

Kata Kunci : Radiografi Digital, Deteksi dan Isolasi Gangguan (FDI), Pengunci Magnetik, Meja Pasien, Philips SRO 33100

PENDAHULUAN

Instalasi radiologi memiliki peran sentral dalam menopang akurasi diagnosis klinis dan penentuan tindakan medis di fasilitas pelayanan kesehatan modern. Seiring dengan berkembangnya teknologi pencitraan, sistem *Digital Radiography (DR)* telah menggantikan peralatan konvensional berbasis film karena keunggulannya dalam menghasilkan citra berkualitas tinggi, efisiensi alur kerja (*workflow*), serta minimnya kebutuhan paparan radiasi berulang (Kemenkes RI, 2024). Sistem *DR* bukan sekadar perangkat pembangkit sinar-X, melainkan sebuah integrasi kompleks yang melibatkan komponen pembangkit tegangan tinggi, detektor digital, perangkat lunak pengolahan citra, dan tidak ketinggalan, sistem mekanik pendukung (Statkiewicz *et al.*, 2021). Pada rumah sakit dengan intensitas kunjungan pasien yang tinggi, peralatan *DR* dioperasikan secara masif dan dinamis setiap hari, sebuah kondisi yang secara langsung meningkatkan

probabilistik terjadinya degradasi fungsi, baik pada tataran sistem kelistrikan maupun aktuator mekanis. Regulasi nasional secara tegas mengamanatkan bahwa setiap peralatan medis harus dipelihara dan dikalibrasi secara berkala guna menjamin keselamatan pasien dan keberlangsungan kontinuitas pelayanan (Slattery *et al.*, 2022).

Salah satu komponen mekanik pada sistem *DR* yang seringkali terabaikan namun memiliki peran krusial adalah meja pemeriksaan pasien. Meja pada pesawat *DR Philips SRO 33100* dirancang dengan mekanisme pergerakan *4-way floating* yang memungkinkan pergeseran *longitudinal* dan *transversal* tanpa memindahkan posisi tubuh pasien secara manual (Kats *et al.*, 2026). Stabilitas dan presisi mekanisme *floating* ini sangat bergantung pada performa unit pengunci elektromagnetik atau *magnetic lock* yang berbasis prinsip *solenoid Normally Closed (NC)* (Yunas *et al.*, 2020). Secara teori elektromagnetik, saat pedal release diaktifkan, modul kontrol mengirimkan tegangan ke kumparan (*coil*) untuk menginduksi *fluks magnet* yang menarik *plunger* melawan tekanan pegas pembalik (*return spring*), sehingga rem friksi pada *linear guide* terlepas dan meja dapat digerakkan. Jika terjadi kegagalan pada konversi energi listrik menjadi gerak mekanis ini, posisi pasien tidak dapat dioptimalkan, yang berujung pada penurunan kualitas citra diagnostik, peningkatan durasi pemeriksaan, dan gangguan signifikan pada alur kerja radiologi (Yunas *et al.*, 2020; Mohammadi *et al.*, 2017).

Kegagalan operasional pada aktuator *solenoid* pada meja pemeriksaan sering kali dipicu oleh pola kerusakan spesifik, seperti hambatan mekanis (*mechanical jamming*) akibat degradasi material atau putusnya lilitan kumparan internal (*open coil*) (Hussain *et al.*, 2017). Ketika mal fungsi ini terjadi, tantangan terbesar bagi teknisi elektromedis bukanlah pada tahap perbaikan fisiknya, melainkan pada tahap diagnostik awal. Tanpa pendekatan yang sistematis, seorang teknisi berisiko melakukan pembongkaran massal (*unnecessary disassembly*) yang justru dapat merusak komponen lain atau memperpanjang waktu *downtime* alat (Hussain *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2022). Penelitian terdahulu di bidang pemeliharaan alat kesehatan lebih banyak difokuskan pada analisis *output* tegangan tabung sinar-X atau perbaikan sistem kolimator, serta penanganan kode *error* pada unit generator (Andriani & Tsania, 2024; Tohiri & Muttaqin, 2022). Belum banyak kajian yang secara spesifik mengeksplorasi metode diagnostik kelistrikan terhadap kegagalan mekanis pada subsistem *magnetic lock* meja *DR* menggunakan pendekatan pemisahan blok sistem (Maican *et al.*, 2025).

Penerapan prinsip *Fault Detection and Isolation (FDI)* menjadi pendekatan kunci dalam penelitian ini guna mengatasi kompleksitas diagnosa kegagalan pada sistem elektromekanik modern. Prinsip *FDI*, yang secara luas digunakan dalam sistem kontrol dan proses industri untuk analisis keandalan, berfokus pada kemampuan mendeteksi mal fungsi sistem secara dini dan mengisolasi area yang bermasalah hingga level komponen spesifik (Thirumarimurugan *et al.*, 2016), (Gonzalez-Jimenez *et al.*, 2021a). Dalam konteks pemeliharaan peralatan medis yang ketat, penerapan prinsip ini bertujuan untuk menghindari praktik pembongkaran masif (*unnecessary disassembly*) yang berisiko mengurangi keandalan komponen lain. Pendekatan *FDI* dalam penelitian ini diimplementasikan melalui strategi pemisahan sistem menjadi blok-blok fungsi yang terisolasi (*block isolation*) serta analisis komparatif antar aktuator yang identik. Jika parameter input pada suatu blok telah terbukti valid namun respons mekanis tidak terjadi, maka secara logika sistem, *fault* dapat diisolasi secara absolut pada internal komponen aktuator tersebut, sehingga meminimalkan waktu henti (*downtime*) alat (Thirumarimurugan *et al.*, 2016), (Bras *et al.*, 2012).

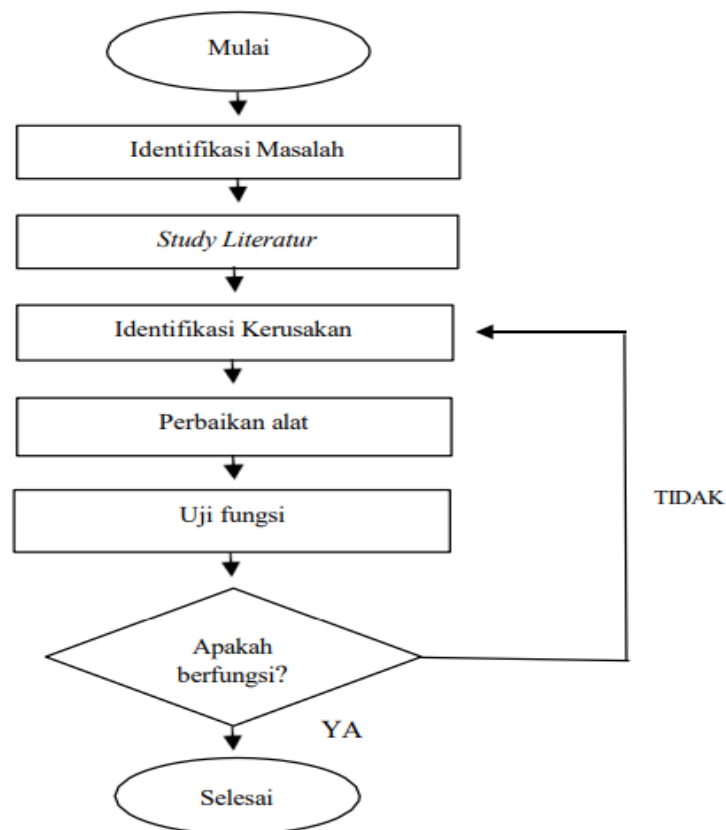
Berdasarkan landasan teoritis tersebut, fokus penelitian ini adalah mengaplikasikan prinsip *FDI* untuk mendiagnosa kegagalan pada sistem *magnetic lock* meja pemeriksaan *Digital Radiography (DR) Philips SRO 33100* di RS. XXX Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan prinsip *FDI* dengan metode isolasi blok dapat menganalisis akar penyebab pada kasus kerusakan meja pemeriksaan *Digital Radiography (DR) Philips SRO 33100* di RS. XXX Semarang. Dengan membedakan secara tegas antara blok sistem kendali kelistrikan dan blok aktuator mekanis, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi pemeliharaan yang lebih presisi dan berbasis bukti data elektrikal. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi langsung bagi unit pemeliharaan sarana rumah sakit dalam mengembalikan fungsi meja pemeriksaan secara optimal, sehingga mampu mendukung presisi *positioning* pasien serta keamanan pelayanan radiologi.

Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya dapat membantu menyelesaikan masalah kegagalan fungsi sistem *magnetik lock* pada meja pemeriksaan *Digital Radiography* di RS. XXX Semarang, tetapi juga dapat menjadi acuan bagi rumah sakit dan lembaga kesehatan lain untuk menangani masalah diagnostik kegagalan elektromekanik yang serupa. Teknisi elektromedis dapat meningkatkan efisiensi pemeliharaan peralatan melalui proses diagnosa yang tepat sasaran dengan menerapkan

prinsip *FDI* melalui metode isolasi blok tanpa perlu melakukan pembongkaran besar yang berisiko merusak komponen lain. Selain itu, diharapkan bahwa penelitian ini akan berfungsi sebagai referensi untuk penelitian lanjutan yang berkaitan dengan teknik diagnostik pada peralatan medis dan masalah kegagalan sistem elektromekanik serupa.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian terapan yang berorientasi pada penyelesaian permasalahan teknis secara langsung serta penerapan teori dalam situasi praktis di lapangan. Pendekatan ini dipilih agar kajian tidak hanya berhenti pada pengembangan ranah akademis, melainkan mampu menghasilkan solusi teknis yang aplikatif dan berkontribusi nyata. Pelaksanaan seluruh proses perbaikan mengacu secara ketat pada *Standar Operasional Prosedur (SOP)* untuk menjamin ketepatan setiap tahapan intervensi (Dabukke *et al.*, 2023; Baraneetharan, 2020). Keseluruhan mekanisme diagnostik hingga tindakan korektif dijalankan melalui alur kerja yang terstruktur dan sistematis guna memaksimalkan validitas hasil pemulihan fungsi peralatan. Berikut merupakan flowchart pada penelitian ini ditampilkan pada Bagan 1. sebagai berikut.



Bagan 1. Flowchart Penelitian

Alur penelitian diinisiasi melalui tahapan identifikasi masalah secara langsung di RS. XXX Semarang untuk memetakan kondisi kerusakan pada meja *DR X-Ray*. Temuan awal ini dijadikan dasar untuk pengumpulan data dalam melaksanakan kajian pustaka guna merumuskan solusi diagnostik yang relevan dan terukur. Berpijak pada landasan teoritis tersebut, dilakukan identifikasi kerusakan teknis yang lebih spesifik pada unit *DuraDiagnost tipe SRO 33100*. Tahapan kritis berupa pelaksanaan perbaikan dilaksanakan sesuai dengan hasil analisis kerusakan yang telah diperoleh. Keberhasilan intervensi teknis ini kemudian diverifikasi melalui serangkaian uji fungsi untuk memastikan peralatan kembali beroperasi secara optimal, menandai keberhasilan dan berakhirnya seluruh rangkaian proses penelitian.

Pengumpulan data diawali dengan analisis kerusakan pada meja *DR X-Ray*. Berdasarkan laporan radiografer, terdapat kegagalan fungsi pergerakan *floating* pada meja pemeriksaan. Inspeksi fisik awal sesuai Standar Operasional Prosedur (SOP) tidak menemukan kerusakan yang terlihat secara kasat mata pada struktur mekanis luar. Proses isolasi gangguan dilanjutkan pada lapisan perangkat lunak melalui inialisasi ulang sistem kontrol berbasis PC (*workstation*) dan unit generator. Kendala pergerakan meja yang tetap terjadi pasca-*reset* mengeliminasi kemungkinan *software glitch* atau kegagalan komunikasi data (*interlock error*), sehingga fokus diagnostik digeser pada potensi kegagalan komponen aktuator elektromagnetik.

Pendekatan diagnostik yang diterapkan dalam penelitian ini adalah pendekatan *FDI* yang diimplementasikan melalui metode isolasi blok (*block isolation method*). Metode ini membagi sistem ke dalam subsistem yang lebih kecil dan terpisah secara logis, biasanya memisahkan blok sistem kontrol kelistrikan (yang mencakup modul, relay, dan pengkabelan) dari blok aktuator mekanis (yang berupa komponen solenoid atau magnetic lock). Prinsip dasar dari isolasi blok ini adalah memverifikasi integritas masing-masing bagian secara independen; jika input ke blok aktuator sudah valid namun output mekanis tidak terjadi, maka *fault* dapat diisolasi secara pasti berada pada internal aktuator tersebut (Thirumarimurugan *et al.*, 2016).

Kriteria diagnosis normal ditetapkan berdasarkan parameter elektrikal dan mekanikal aktuator elektromagnetik yang meliputi tegangan input, kondisi kontinuitas kumparan, dan respons mekanis plunger. Aktuator dinyatakan normal apabila tegangan kerja berada pada rentang 21,60–26,40 VDC (24 VDC $\pm 10\%$), kumparan tidak

menunjukkan indikasi putus (*open circuit*) maupun hubung singkat (*short circuit*), serta plunger mampu bergerak dan melepaskan mekanisme pengunci ketika diberikan tegangan kerja (http://chunma.koreasme.com/eng/product/product_02_4.html. Diakses pada 8 Juni 2026). Kriteria tersebut digunakan sebagai acuan dalam proses *Fault Detection and Isolation (FDI)* untuk membedakan kerusakan yang berasal dari blok kendali kelistrikan maupun dari aktuator *magnetic lock*.

Untuk menguatkan diagnosis *fault*, penelitian ini menggabungkan metode isolasi blok dengan analisis komparatif antar aktuator. Pada sistem meja pemeriksaan *DR Philips SRO 33100* terdapat dua unit *magnetic lock* yang identik, yaitu di sisi kiri dan kanan, yang bekerja secara simultan. Analisis komparatif dilakukan dengan membandingkan respons fungsional dan parameter elektrik kedua aktuator saat menerima sinyal input yang sama. Integritas saluran distribusi daya diverifikasi melalui pengukuran tegangan input pada terminal *magnetic lock* sisi kanan dan sisi kiri menggunakan multimeter digital. Hasil pengukuran selanjutnya dibandingkan dengan kriteria diagnosis normal yang telah ditetapkan dan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran Tegangan Input dan Respons Mekanis *Magnetic Lock*

Kondisi Pedal	<i>Magnetic Lock</i> Kanan	Keterangan “pedal ditekan”	<i>Magnetic Lock</i> Kiri	Keterangan “pedal ditekan”
Pedal ditekan	23,48 volt	Pulse naik turun	23,44 volt	Tidak ada pulse naik turun
Pedal tidak ditekan	0,417 volt	Ada suara lock “Cetak cetok”	0,552 volt	Tidak ada suara lock “Cetak Cetok”

Data pada Tabel 1 menunjukkan kedua komponen menerima suplai tegangan setara saat pedal *release* diaktifkan, namun disertai perbedaan respons fungsional yang signifikan. Kelayakan nilai tegangan terukur diformulasikan melalui perhitungan koreksi relatif terhadap tegangan setting 24 Volt DC dengan mengacu pada batas toleransi standar komponen sebesar 10%(Pinto et al., 2023), seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$Koreksi\ relatif = \left(\frac{Setting - Hasil\ Ukur}{Setting} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Substitusi nilai tegangan hasil ukur sebesar 23,48 Volt DC menghasilkan koreksi relatif sebesar 2,5%. Nilai ini berada jauh di bawah ambang batas toleransi, membuktikan secara matematis bahwa seluruh rangkaian *wiring*, *relay*, dan *fuse* pada blok sistem kendali berfungsi normal tanpa adanya penurunan tegangan (*voltage drop*), namun komponen tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik atau error.

Untuk mengevaluasi efektivitas pendekatan FDI berbasis isolasi blok yang diterapkan dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan konseptual dan operasional dengan metode diagnostik konvensional yang umum digunakan oleh teknisi elektromedis di lapangan. Metode konvensional yang dimaksud adalah pendekatan *trial-and-error* berbasis pembongkaran sekuensial (*sequential disassembly*), di mana teknisi membongkar komponen dari sirkuit terluar menuju komponen terdalam secara bergantian hingga sumber kerusakan ditemukan (Hussain et al., 2017). Perbandingan kedua metode disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Metode FDI Isolasi Blok dengan Metode Konvensional

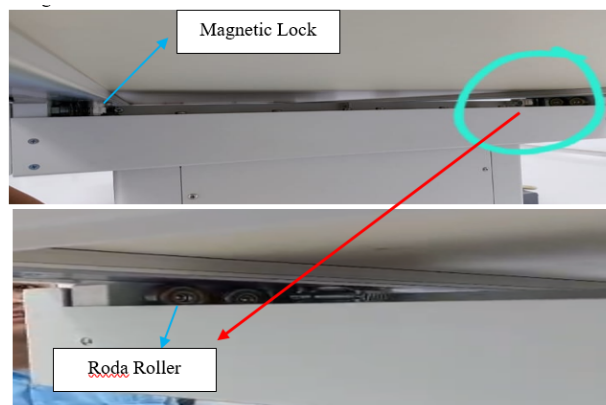
Aspek Penilaian	Metode Konvensional (<i>Trial-and-Error</i>)	Metode FDI Isolasi Blok (Penelitian Ini)
Pendekatan Diagnostik	Membongkar komponen secara berurutan dari luar ke dalam memisahkan blok secara logis,	Memisahkan blok secara logis, mengukur parameter tiap blok tanpa bongkar
Kebutuhan Pembongkaran	Pembongkaran masif panel, kabel <i>drag chain</i> , dan modul relay	Minimal; hanya bongkar setelah <i>fault</i> terisolasi pada blok aktuator
Waktu Diagnostik	Relatif lama (karena bergantung pada kecepatan bongkar-pasang berulang)	Relatif singkat (fokus pada pengukuran elektrikal langsung di terminal)
Risiko Kerusakan Sekunder	Tinggi (komponen intak berisiko rusak akibat pembongkaran paksa)	Sangat rendah (sistem kontrol intak tetap utuh dan terhindar dari invasi mekanis)
Tingkat Akurasi Lokalisasi <i>Fault</i>	Rendah–Sedang (sangat bergantung pada intuisi dan pengalaman teknisi)	Tinggi (berbasis bukti kuantitatif data elektrikal)

Sumber : (Hussain et al., 2017; Maican et al., 2025; Thirumarimurugan et al., 2016)

Berdasarkan Tabel 2., metode *FDI* menunjukkan keunggulan dalam mengidentifikasi domain kerusakan, baik pada sistem kelistrikan maupun mekanis, tanpa memerlukan intervensi fisik yang berlebihan (Gonzalez-Jimenez *et al.*, 2021b). Berbeda dengan metode konvensional yang umumnya memerlukan pembongkaran panel akses, penelusuran jalur kabel, serta pemeriksaan modul kontrol sebelum mencapai komponen magnetic lock, pendekatan ini mampu mempercepat proses diagnosis sekaligus mengurangi risiko kerusakan sekunder akibat pembongkaran berulang (Hussain *et al.*, 2017).

Pada penelitian ini, validasi tegangan input pada terminal aktuator menunjukkan bahwa blok kendali kelistrikan masih bekerja normal. Ketidaksesuaian antara parameter elektrikal yang memenuhi standar dengan tidak adanya respons mekanis memungkinkan sumber kerusakan diisolasi secara langsung pada internal magnetic lock. Hasil tersebut sejalan dengan perkembangan metode diagnosis modern yang memanfaatkan data kuantitatif untuk meningkatkan akurasi lokalisasi fault pada sistem elektromekanis yang kompleks (Ma *et al.*, 2022; Maican *et al.*, 2025). Oleh karena itu, metode *FDI* dapat dianggap lebih efektif, efisien, dan aman dibandingkan metode konvensional dalam mendukung kegiatan pemeliharaan peralatan medis.

Kesesuaian parameter elektrikal yang kontras dengan ketiadaan respons mekanis pada unit kiri mempersempit analisis pada aspek internal aktuator. Secara prinsip elektromagnetik, kegagalan konversi energi listrik menjadi gerakan aksial *plunger* di tengah suplai tegangan yang memadai mengindikasikan putusannya lilitan (*open coil*) atau hambatan mekanis (*mechanical jamming*) (Cunningham *et al.*, 2017). Observasi visual pada kesatuan sistem mekanis meja yang terintegrasi oleh *magnetic lock*, *roller*, dan *guide rail* memperkuat temuan ini.



Gambar 1. Pengecekan *Magnetic Lock*

Terlihat pada Gambar 1. yang ditandai dengan lingkaran menunjukkan *Magnetic Lock* sebelah kanan dapat berfungsi sebagaimana yang berarti kondisinya berada di NO mestinya sedangkan yang kiri tidak menunjukkan pergerakan sama sekali yang berarti kondisinya masih berada di NC. Evaluasi aliran kerja sistem menegaskan bahwa *magnetic lock* bertindak sebagai beban akhir sirkuit listrik dengan prinsip operasi *Normally Closed* (NC). Kegagalan unit kiri dalam melakukan transisi mekanis saat diberi sinyal listrik menetapkan secara definitif bahwa akar masalah terletak pada degradasi struktural internal aktuator, bukan pada kegagalan jalur kontrol kelistrikan.

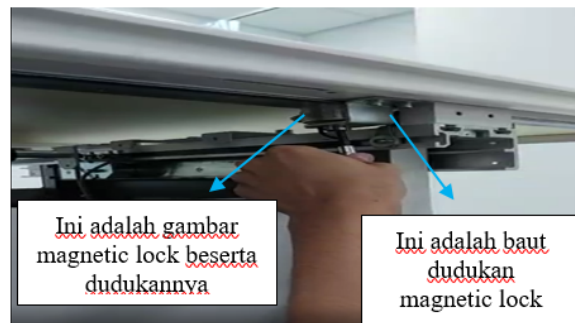
HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara elektromagnetik, *magnetic lock* bekerja berdasarkan prinsip pembentukan medan magnet pada kumparan ketika dialiri arus listrik. Medan magnet yang terbentuk menghasilkan gaya tarik terhadap plunger sehingga mekanisme pengunci dapat dilepaskan. Pada penelitian ini, tegangan masukan yang terukur sebesar 23,48 V menunjukkan bahwa energi listrik telah sampai ke kumparan. Akan tetapi, tidak muncul respons mekanis pada unit kiri. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik tidak berlangsung sebagaimana mestinya. Kemungkinan penyebabnya adalah putusannya lilitan kumparan (*open coil*), peningkatan hambatan internal, atau terjadinya *mechanical jamming* yang menghambat pergerakan plunger.

Gaya tarik solenoid dipengaruhi oleh jumlah lilitan, besar arus yang mengalir, permeabilitas inti, dan jarak celah (*air gap*) antara inti magnet dengan bagian yang ditarik. Semakin besar arus yang mengalir maka semakin besar fluks magnet yang dihasilkan sehingga gaya tarik meningkat. Sebaliknya, apabila terjadi peningkatan hambatan atau kerusakan kumparan maka arus yang mengalir akan berkurang sehingga gaya elektromagnetik tidak cukup untuk menggerakkan plunger (Yang *et al.*, 2022).

Beberapa temuan diagnostik tersebut, penulis mulai melakukan proses perbaikan. Proses ini diawali dengan pemutusan total aliran daya utama pada pesawat DR untuk menjamin keselamatan kerja dan mencegah risiko kegagalan elektrik atau induksi listrik saat pengerjaan. Area kerja disiapkan dengan peralatan ukur dan peralatan bongkar pasang yang steril dari hambatan fisik. Pelepasan panel penutup samping meja pemeriksaan dilakukan secara presisi dengan membuka baut satu per satu untuk menjaga

integritas fisik panel agar terhindar dari deformasi yang dapat mengurangi fungsi estetika dan proteksinya. Upaya awal berupa pembersihan dan pelumasan pada *magnetic lock* sebelah kiri gagal mengembalikan respons induksi elektromagnetik, mengarah pada kesimpulan adanya kerusakan permanen pada bagian dalam kumparan. Tindakan korektif diambil melalui penggantian unit komponen, dimulai dengan melakukan diskoneksi terminal kabel yang menghubungkan modul kontrol. Komponen yang rusak kemudian diekstraksi dari dudukan meja dengan ekstra hati-hati untuk mempertahankan posisi



presisi pada *rel linear guide*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Pelepasan Komponen *Magnetic lock*

Satu unit *magnetic lock* pengganti dengan spesifikasi teknis yang identik dengan standar pabrikan Philips dipasang pada dudukan meja. Pada tahap ini, keakuratan penempatan posisi menjadi fokus utama untuk memastikan komponen terletak tepat di titik tengah (*center alignment*). Penentuan posisi yang presisi diperlukan agar mekanisme penguncian pada unit baru mampu beroperasi secara sinkron dengan *magnetic lock* di sisi kanan, seperti yang divisualisasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemasangan Komponen Baru

Instalasi kelistrikan dikembalikan melalui penyambungan ulang jalur pengabelan (*re-wiring*) dengan penerapan kekencangan pada setiap terminal secara optimal. Langkah ini memiliki tujuan krusial untuk meniadakan potensi hambatan kontak (*contact resistance*) yang sering kali memicu akumulasi panas berlebih pada komponen aktuator.

Optimasi daya tarik medan magnet selanjutnya dikalibrasi melalui pengaturan jarak renggang (*gap adjustment*) antara inti magnet dan lempengan besi pengunci. Jarak ditentukan sedemikian rupa agar gaya magnet yang dihasilkan cukup kuat untuk menarik pengunci saat pedal ditekan, namun tetap memungkinkan mekanisme pengembalian berjalan secara instan saat arus diputus (Silveira *et al.*, 2021). Validasi awal dilakukan dengan memastikan seluruh komponen dapat bergerak responsif secara manual sebelum seluruh modul ditutup kembali menggunakan panel akses, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.



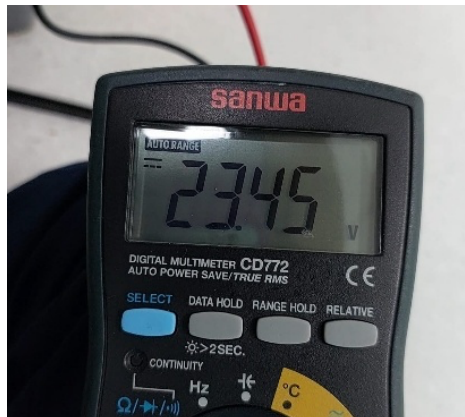
Gambar 4. Hasil Sebelum dilakukan Perakitan Kembali

Verifikasi akhir diimplementasikan melalui serangkaian uji fungsi untuk memastikan pemulihan standar operasional pabrikan. Uji aktivasi *release* melalui penekanan pedal menunjukkan kerja yang sinkron dan responsif dari kedua unit *magnetic lock*. Meja pemeriksaan berhasil digerakkan secara *floating* ke arah longitudinal maupun transversal dengan lancar tanpa adanya hambatan mekanis pada *guide linear*. Sistem keamanan penguncian diverifikasi melalui *locking test* untuk memastikan *plunger* pada komponen baru kembali ke posisi terkunci secara instan dan kuat saat pedal dilepaskan. Kestabilan posisi meja secara statis saat menerima tekanan pada uji ini sangat krusial untuk menjamin ketajaman citra radiografi dan keselamatan pasien selama prosedur paparan sinar-X, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Uji Keamanan Penguncian (*Locking Test*)

Adapun tahapan terakhir dalam setiap alat yang dilakukan perbaikan adalah dengan pengukuran tegangan alat. Penulis melakukan pengukuran tegangan pada terminal *magnetic lock* baru saat kondisi aktif. Didapatkan hasil pengukuran yang stabil di angka 23,45 Volt DC seperti pada Gambar 6., yang mengindikasikan bahwa beban kerja komponen baru tersebut telah sesuai dengan *output* dari modul kontrol dan tidak terjadi lonjakan arus (*spike*) yang membahayakan sistem.



Gambar 6. Pengukuran Parameter Elektrikal Akhir

Seluruh pengukuran tegangan pada terminal magnetic lock dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan pada setiap kondisi (pedal ditekan dan pedal tidak ditekan) untuk kedua unit (kiri dan kanan), guna memperoleh nilai yang representatif secara statistik sesuai rekomendasi Wang et al. (2024) dalam prosedur diagnostik aktuator elektromagnetik pada peralatan klinis.

Validasi kelayakan nilai tegangan dirumuskan melalui Persamaan (2), (3) dan (4) menggunakan nilai *Mean*, *SD* dan *SE* :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- \bar{x} = rata-rata
- x_i = data pengukuran
- Σ = penjumlahan seluruh data
- n = jumlah pengukuran

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- x_i = data pengukuran
- \bar{x} = rata-rata
- n = jumlah pengukuran

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- SE = Standard Error
- SD = Standard Deviasi
- n = jumlah pengukuran

Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Kondisi pedal ditekan *magnetic lock* kanan:

Nilai rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{23,45+23,46+23,48}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{70,39}{3}$$

$$\bar{x} = 23,4633V$$

$$\bar{x} \approx 23,46 V$$

Nilai Standar Deviasi (SD) :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{0,000467}{3 - 1}}$$

$$SD = \sqrt{0,00023335}$$

$$SD = 0,01528V$$

$$SD \approx 0,015 V$$

Nilai Standar Error (SE) :

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$SE = \frac{0,01528}{\sqrt{3}}$$

$$SE = \frac{0,01528}{1,732}$$

$$SE = 0,00882V$$

$$SE \approx 0,009 V$$

2. Kondisi pedal ditekan *magnetic lock* kiri:

Nilai rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{23,44+23,44+23,45}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{70,33}{3}$$

$$\bar{x} = 23,4433V$$

$$\bar{x} \approx 23,44 V$$

Nilai Standar Deviasi (SD) :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{0,0000666}{3 - 1}}$$

$$SD = \sqrt{0,0000333}$$

$$SD = 0,00577V$$

$$SD \approx 0,006 V$$

Nilai Standar Error (SE) :

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$SE = \frac{0,00577}{\sqrt{3}}$$

$$SE = \frac{0,00577}{1,732}$$

$$SE = 0,00333V$$

$$SE \approx 0,003 V$$

3. Kondisi pedal tidak ditekan *magnetic lock* kanan:

Nilai rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{0,41+0,42+0,42}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{1,25}{3}$$

$$\bar{x} = 0,416V$$

$$\bar{x} \approx 0,42 V$$

Nilai Standar Deviasi (SD) :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{0,0000666}{3 - 1}}$$

$$SD = \sqrt{0,0000333}$$

$$SD = 0,00577V$$

$$SD \approx 0,006 V$$

Nilai Standar Error (SE) :

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$SE = \frac{0,00577}{\sqrt{3}}$$

$$SE = \frac{0,00577}{1,732}$$

$$SE = 0,00333V$$

$$SE \approx 0,003 V$$

4. Kondisi pedal tidak ditekan *magnetic lock* kanan:

Nilai rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{0,55+0,55+0,56}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{1,66}{3}$$

$$\bar{x} = 0,5533V$$

$$\bar{x} \approx 0,55 V$$

Nilai Standar Deviasi (SD) :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{0,0000666}{3 - 1}}$$

$$SD = \sqrt{0,0000333}$$

$$SD = 0,00577V$$

$$SD \approx 0,006 V$$

Nilai Standar Error (SE) :

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$SE = \frac{0,00577}{\sqrt{3}}$$

$$SE = \frac{0,00577}{1,732}$$

$$SE = 0,00333V$$

$$SE \approx 0,003 V$$

Data mentah hasil pengukuran dan analisis statistiknya dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran *Magnetic Lock*

Kondisi	<i>Magnetic Lock</i>	Pengukuran 1 (V)	Pengukuran 2 (V)	Pengukuran 3 (V)	Mean (V)	SD (V)	SE (V)
Pedal Ditekan	Kanan	23,45	23,46	23,48	23,46	0,015	0,009
	Kiri	23,44	23,44	23,45	23,44	0,006	0,003
Pedal tidak Ditekan	Kanan	0,41	0,42	0,42	0,42	0,006	0,003
	Kiri	0,55	0,55	0,56	0,55	0,006	0,003

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kedua komponen menerima suplai tegangan setara saat pedal release diaktifkan, dengan nilai mean tegangan unit kanan sebesar $23,46 \pm 0,015 V$ dan unit kiri sebesar $23,44 \pm 0,006 V$. Nilai standar error (SE) yang sangat kecil (masing-masing $0,009 V$ dan $0,003 V$) mengindikasikan konsistensi pengukuran yang tinggi dan reproduibilitas data yang baik meskipun hanya dilakukan tiga kali pengulangan. Perbedaan kecil antara hasil pengukuran sesaat sebesar $23,48 V$, hasil pengukuran setelah penggantian komponen sebesar $23,45 V$, dan nilai rata-rata pengukuran berulang sebesar $23,46 V$ disebabkan oleh variasi pengukuran dan toleransi instrumen ukur. Seluruh nilai yang diperoleh masih berada dalam rentang tegangan kerja normal $24 VDC \pm 10\%$. Selain itu, respons mekanis yang sepenuhnya sinkron pada kedua unit mengkonfirmasi bahwa sistem meja telah kembali layak operasional.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menerapkan metode *Fault Detection and Isolation (FDI)* berbasis isolasi blok untuk mendiagnosis kerusakan sistem *magnetic lock* pada meja pemeriksaan *Digital Radiography Philips SRO 33100*. Melalui pemisahan antara blok kontrol kelistrikan dan blok aktuator elektromagnetik, sumber gangguan dapat diidentifikasi tanpa melakukan pembongkaran menyeluruh pada sistem.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan suplai pada *magnetic lock* kanan dan kiri masing-masing sebesar $23,46 \pm 0,015$ V dan $23,44 \pm 0,006$ V, sehingga masih berada dalam rentang batas normal 24 Volt DC $\pm 10\%$. Temuan ini mengindikasikan bahwa blok kontrol dan catu daya berfungsi dengan baik. Kerusakan teridentifikasi berasal dari aktuator *magnetic lock* kanan yang mengalami kegagalan mekanis internal, dibuktikan dengan tidak adanya gaya penguncian meskipun tegangan kerja normal tersedia.

Penggantian *magnetic lock* yang disertai proses *gap adjustment* berhasil mengembalikan fungsi *floating table* dan sinkronisasi mekanisme penguncian secara normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode *FDI* mampu membantu proses identifikasi lokasi kerusakan secara sistematis, efisien, dan berbasis data pengukuran, sehingga berpotensi diterapkan sebagai pendekatan diagnostik dalam kegiatan pemeliharaan peralatan elektromekanik di fasilitas pelayanan kesehatan.

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan strategi pemeliharaan peralatan di masa mendatang, yakni penerapan program pemeliharaan preventif rutin yang berfokus pada pembersihan area rel dan aktuator *magnetic lock* untuk menekan risiko *mechanical jamming* akibat akumulasi debu. Selain itu, perlu dilakukan inspeksi berkala terhadap integritas koneksi terminal kabel pada modul kontrol guna mencegah degradasi hambatan kontak yang dapat mengganggu distribusi suplai tegangan ke blok aktuator, serta peningkatan kesadaran operasional bagi radiografer agar tidak memaksakan pergerakan mekanis saat sistem pengunci dalam kondisi aktif guna memperpanjang usia pakai komponen

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak ATEM RS. XXX Semarang yang terkait dalam penelitian karena telah membantu peneliti selama masa penelitian.

DAFTAR REFERENSI

- Chunma PMB 24 V DC Magnetic Brake. Accessed June 4, 2026. Available from:
https://chunma.koreasme.com/eng/product/product_02_4.html
- Andriani, I., & Tsania, N. P. (2024). Pengujian Kolimator Di Instalasi Radiologi Rsu Qim Batang. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(4), 13678–13684.
<https://doi.org/10.31004/jkt.v5i4.34106>
- Bras, S., Rosa, P., Silvestre, C., & Oliveira, P. (2012). Fault detection and isolation for inertial measurement units. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 600–605. <https://doi.org/10.1109/CDC.2012.6426831>
- Cunningham, I. A., Nano, T. F., & Escartin, T. (2017). Image Quality. In *Handbook of X-ray Imaging: Physics and Technology*. <https://doi.org/10.1201/9781351228251-14>
- Dabukke, H., Sijabat, S., Studi Teknologi Elektro-medis, P., & Pendidikan Vokasi Universitas Sari Mutiara Indonesia, F. (2023). Sosialisasi Pemeliharaan Korektif Pada Syringe Pump Di Rumah Sakit Umum Sari Mutiara Lubuk Pakam. *Journal Abdimas Mutiara*, 5(1), 116–124. <http://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/JAM>
- Dr. E. Baraneetharan. (2020). Role of Machine Learning Algorithms Intrusion Detection in WSNs: A Survey. *Journal of Information Technology and Digital World*, 02(03), 161–173. <https://doi.org/10.36548/JITDW.2020.3.004>
- Gonzalez-Jimenez, D., Del-Olmo, J., Poza, J., Garramiola, F., & Madina, P. (2021a). Data-driven fault diagnosis for electric drives: A review. *Sensors*, 21(12). <https://doi.org/10.3390/S21124024>
- Gonzalez-Jimenez, D., Del-Olmo, J., Poza, J., Garramiola, F., & Madina, P. (2021b). Data-Driven Fault Diagnosis for Electric Drives: A Review. *Sensors 2021, Vol. 21, Page 4024*, 21(12), 4024. <https://doi.org/10.3390/S21124024>
- Hussain, Y. M., Burrow, S., Henson, L., & Keogh, P. (2017). Evaluating Strategies to Mitigate Jamming in Electromechanical Actuators for Safety Critical Applications. *PHM Society Asia-Pacific Conference*, 1(1), 559–567. <https://doi.org/10.36001/phmap.2017.v1i1.1856>
- Kats, E., Geissler, K., Mensing, D., Senegas, J., Hirsch, J. G., Heldman, S., & Heinrich, M. P. (2026). *Depth to Anatomy: Organ Localization from Depth Images for Automated Patient Table Positioning in Radiology Workflow*. <https://arxiv.org/pdf/2601.18260>

- Kemenkes RI. (2024). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tahun 2024. *Jakarta*, 253.
- Ma, D., Liu, Z., Gao, Q., & Huang, T. (2022). Fault Diagnosis of a Solenoid Valve Based on Multi-Feature Fusion. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 5904, 12(12), 5904. <https://doi.org/10.3390/APP12125904>
- Maican, C. A., Pană, C. F., Pătrașcu-Pană, D. M., & Rădulescu, V. M. (2025). Review of Fault Detection and Diagnosis Methods in Power Plants: Algorithms, Architectures, and Trends. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/APP15116334>
- Mohammadi, A., Samsonas, D., & Leong, F. (2017). Modelling and Control of Local Electromagnetic Actuation for Robotic-Assisted Surgical Devices. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 6, 2449–2460. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2017.2764465>
- Pinto, L., Coutinho, F., & Silva, J. (2023). Cardiac Surgery Equipment - Operation Principles and Maintenance Procedures. *2023 IEEE 7th Portuguese Meeting on Bioengineering, ENBENG 2023*, 179–182. <https://doi.org/10.1109/ENBENG58165.2023.10175362>
- Silveira, P., Teixeira, A. P., Figueira, J. R., & Guedes Soares, C. (2021). A multicriteria outranking approach for ship collision risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107789>
- Slattery, O., Trubetskaya, A., Moore, S., & McDermott, O. (2022). A Review of Lean Methodology Application and Its Integration in Medical Device New Product Introduction Processes. *Processes* 2022, Vol. 10, Page 2005, 10(10), 2005. <https://doi.org/10.3390/PR10102005>
- Statkiewicz Sherer AS, R. F. M. A., Ritenour PhD, D. F. F. E. R., & Statkiewicz Sherer AS, R. F. M. A. P. D. P. J. . (2021). *Radiation Protection in Medical Radiography - E-Book*.
- The Essential Physics of Medical Imaging - Jerrold T. Bushberg, John M. Boone - Google Buku.* (n.d.). Retrieved May 11, 2026, from <https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=tqM8IG3f8bsC&oi=fnd&pg=PR1&dq=J.+T.+Bushberg+and+J.+M.+Boone,+The+Essential+Physics+of+Medical+Imaging,+4th+ed.+Philadelphia,+PA,+USA:+Lippincott+Williams+%26+Wilkins,+2024.&ots=9poB0WlQmj&sig=vhRHooz->

- Thirumarimurugan, M., Bagyalakshmi, N., & Paarkavi, P. (2016). Comparison of fault detection and isolation methods: A review. *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2016*. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2016.7726957>
- Tohiri, N., & Muttaqin, A. (2022). Uji Kesesuaian Kinerja Generator dan Tabung Pesawat Sinar-X Merek Siemens di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand*, 11(1), 37–43. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.1.37-43.2022>
- Yang, L., Gao, T., Du, X., Zhai, F., Lu, C., & Kong, X. (2022). Electromagnetic Characteristics Analysis and Structure Optimization of High-Speed Fuel Solenoid Valves. *Machines* 2022, Vol. 10, Page 964, 10(10), 964. <https://doi.org/10.3390/MACHINES10100964>
- Yunas, J., Mulyanti, B., Hamidah, I., Said, M. M., Pawinanto, R. E., Wan Ali, W. A. F., Subandi, A., Hamzah, A. A., Latif, R., & Majlis, B. Y. (2020). Polymer-Based MEMS Electromagnetic Actuator for Biomedical Application: A Review. *Polymers* 2020, Vol. 12, Page 1184, 12(5), 1184. <https://doi.org/10.3390/POLYM12051184>