

# Modul Pencegah Lonjakan Arus Starting Awal Pada AC (Air Conditioner) Single Split

I Wayan Sutaya<sup>1\*</sup>, Ketut Udy Ariawan<sup>2</sup>, I Gede Nurhayata<sup>3</sup>, I Putu Suka Arsa<sup>4</sup>, I Gede Ratnaya<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia

<sup>4,5</sup> Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia

\* I Wayan Sutaya / [wsutaya@undiksha.ac.id](mailto:wsutaya@undiksha.ac.id)

## ABSTRAK

Paper ini membahas perancangan, pembuatan, dan pengujian modul rangkaian pencegah lonjakan arus pada kompresor AC (Air Conditioner) tipe single split. Lonjakan arus yang terjadi pada saat starting awal merupakan masalah umum yang dapat menyebabkan peningkatan daya secara signifikan, sehingga sistem AC membutuhkan cadangan daya tambahan untuk menghadapinya. Kondisi ini tidak hanya menurunkan efisiensi energi, tetapi juga dapat membebani sumber daya listrik rumah tangga maupun jaringan. Pada penelitian ini dirancang sebuah modul pencegah lonjakan arus dengan memanfaatkan komponen utama berupa TRIAC, DIAC, resistor, dan MOC3063 yang berfungsi mengendalikan aliran arus ketika kompresor pertama kali dinyalakan. Modul kemudian diuji dengan cara mengukur arus dan tegangan sebelum serta sesudah pemasangan rangkaian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa arus starting tanpa modul mencapai 2,15 A, sedangkan setelah dipasang dapat ditekan menjadi hanya 0,13 A. Penurunan lonjakan arus ini sangat penting, terutama pada AC split yang bekerja dengan sistem kontrol otomatis on-off, karena proses starting kompresor terjadi berulang-ulang sesuai kebutuhan pendinginan. Dengan demikian, modul pencegah lonjakan arus tidak hanya terbukti efektif mengurangi kebutuhan daya cadangan pada saat start awal, tetapi juga meningkatkan keandalan operasi, melindungi kompresor dari risiko kerusakan, serta memperpanjang umur pakai sistem AC secara keseluruhan.

**Kata Kunci:** Air Conditioner, lonjakan arus, daya, resistor, modul rangkaian

## 1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin udara (AC) telah menjadi bagian penting dalam kehidupan modern, khususnya di wilayah beriklim tropis dan subtropis di mana suhu udara relatif tinggi sepanjang tahun (Falchetta et al., 2024). Kebutuhan akan kenyamanan termal di rumah, perkantoran, hingga berbagai fasilitas umum telah mendorong peningkatan penggunaan AC secara signifikan (Sherman et al., 2022). Prinsip kerja pendinginan atau refrigerasi pada dasarnya adalah proses pemindahan panas dari suatu ruangan menuju lingkungan luar. Hal ini sejalan dengan hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa energi tidak dapat dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah bentuknya atau dipindahkan dari satu medium ke medium lainnya. Di antara berbagai jenis AC, tipe single split yang terdiri dari satu unit indoor dan satu unit outdoor merupakan sistem yang paling banyak digunakan karena memiliki tingkat efisiensi yang baik serta kemudahan dalam pemasangan. Meski demikian, sistem ini juga memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas, terutama untuk aplikasi di bangunan dengan banyak ruangan yang membutuhkan pengaturan pendinginan lebih kompleks.

Seiring dengan meningkatnya standar hidup dan pertumbuhan ekonomi, kebutuhan akan pendingin udara terus mengalami peningkatan. Menurut laporan International Energy Agency (IEA), permintaan AC di seluruh dunia diproyeksikan akan terus bertambah pesat, terutama di negara-negara berkembang yang memiliki iklim panas dan tingkat urbanisasi tinggi. IEA mencatat bahwa pada tahun 2050 (Falchetta et al., 2024), konsumsi energi global untuk pendinginan ruangan diperkirakan akan meningkat hingga tiga kali lipat dibandingkan dengan tahun 2016. Kondisi ini menimbulkan tantangan besar terkait efisiensi energi dan keandalan sistem pendingin, termasuk pada AC tipe single split yang banyak digunakan di tingkat rumah tangga maupun perkantoran.

Fenomena lonjakan arus saat starting pada AC split merupakan masalah teknis yang umum terjadi ketika kompresor pertama kali bekerja (Cao et al., 2024), (Hammerbauer & Stork, 2022). Pada kondisi ini, arus listrik yang masuk melonjak jauh lebih tinggi dibandingkan arus nominal karena beban awal yang besar diperlukan untuk memutar motor kompresor dan menyeimbangkan tekanan refrigeran. Lonjakan arus yang tidak terkendali dapat menyebabkan penurunan tegangan sesaat (*voltage drop*) pada jaringan listrik, sehingga tidak hanya memengaruhi kinerja AC, tetapi juga perangkat listrik lain yang terhubung

pada sumber daya yang sama (Fox & Collins, 2010). Secara teknis, kondisi ini memberikan dampak serius karena arus inrush berulang pada setiap siklus on-off AC dapat memperpendek umur pakai komponen penting, terutama kapasitor dan motor kompresor, yang bekerja ekstra keras saat start awal. Jika berlangsung terus-menerus, kerusakan komponen tersebut dapat menurunkan efisiensi sistem pendingin, meningkatkan konsumsi energi, bahkan berpotensi menyebabkan kegagalan fungsi AC secara keseluruhan.

Penggunaan AC split yang dilakukan berulang kali sepanjang hari menyebabkan siklus start-stop kompresor terjadi dengan frekuensi tinggi. Kondisi ini otomatis memperbanyak terjadinya lonjakan arus saat starting, sehingga risiko kerusakan komponen dan kegagalan perangkat semakin besar. Selain itu, tuntutan efisiensi energi menjadi faktor penting dalam sistem pendingin modern. Lonjakan arus yang tidak terkendali tidak hanya berdampak pada keandalan kinerja AC, tetapi juga mengurangi efisiensi operasional dan berujung pada meningkatnya konsumsi daya listrik serta biaya energi. Seiring perkembangan teknologi, sistem proteksi elektronik telah dirancang untuk menjawab permasalahan ini dengan memanfaatkan rangkaian pengendali berbasis perangkat keras yang mampu menekan arus inrush pada saat starting. Penerapan teknologi proteksi semacam ini juga selaras dengan standar keselamatan dan regulasi kelistrikan yang mengatur batas maksimum lonjakan arus agar perangkat listrik tetap aman digunakan dalam jangka panjang.

Memodifikasi sistem AC split dengan menambahkan rangkaian pencegah lonjakan arus yang sesuai dengan standar kelistrikan tidak hanya memastikan keandalan yang lebih baik, tetapi juga memberikan manfaat jangka panjang bagi pengguna. Dengan menekan lonjakan arus pada saat starting, kebutuhan daya cadangan yang biasanya cukup besar di rumah tangga dapat dikurangi secara signifikan. Hal ini sangat penting karena sumber daya listrik rumah tangga umumnya memiliki keterbatasan kapasitas, sehingga setiap lonjakan arus yang tinggi dapat mengakibatkan drop tegangan bahkan memicu pemutusan arus listrik. Melalui penerapan rangkaian pencegah lonjakan arus, arus yang masuk ke kompresor saat pertama kali menyala diatur agar lebih stabil dan tidak langsung mencapai nilai puncaknya. Dengan demikian, penggunaan energi menjadi lebih efisien, sistem AC tetap beroperasi dengan baik, dan distribusi daya listrik rumah tangga dapat terjaga tanpa beban berlebih pada saat kompresor melakukan proses starting awal.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

Fenomena lonjakan arus listrik pada saat starting merupakan salah satu persoalan klasik dalam dunia teknik elektro yang hingga saat ini masih banyak mendapat perhatian, terutama pada peralatan rumah tangga yang menggunakan motor induksi sebagai penggerak utamanya. Lonjakan arus atau inrush current ini terjadi ketika motor pertama kali dinyalakan, di mana arus yang ditarik dari jaringan listrik dapat meningkat secara drastis, jauh di atas arus nominal yang seharusnya (Szelag et al., 2024). Pada sistem pendingin udara seperti AC split, kondisi ini sangat menonjol karena kompresor yang digunakan berbasis motor induksi satu fasa dengan kapasitor bantu untuk memulai putaran (Nurhadi & Rozak, 2023). Saat kompresor pertama kali aktif, lonjakan arus dapat berlangsung dalam waktu singkat, tetapi cukup untuk menimbulkan dampak terhadap stabilitas kelistrikan rumah tangga. Akibatnya, kapasitas daya yang tersedia untuk peralatan listrik lainnya menjadi berkurang secara signifikan, sehingga menimbulkan potensi gangguan pada kenyamanan pengguna dan bahkan memicu turunnya keandalan sistem listrik secara keseluruhan.

Sistem AC split sendiri merupakan salah satu teknologi pendingin udara yang paling banyak digunakan, baik di rumah tangga maupun fasilitas umum, karena dianggap memiliki keseimbangan antara efisiensi energi, kenyamanan penggunaan, dan kemudahan dalam pemasangan. Namun, di balik keunggulannya tersebut, terdapat permasalahan mendasar pada kompresor yang menjadi pusat kerja sistem ini. Kompresor AC split, yang berfungsi memampatkan refrigeran agar dapat menyerap panas dari ruangan, memerlukan energi yang besar pada saat pertama kali beroperasi. Proses ini menuntut arus start yang bisa mencapai lima hingga tujuh kali lipat dari arus kerja normal. Karakteristik motor induksi inilah yang menyebabkan lonjakan arus sangat sulit dihindari, terlebih ketika AC dinyalakan berulang kali dalam sehari. Dengan demikian, meskipun teknologi AC split semakin maju, sifat dasar dari motor induksi sebagai penggerak kompresor tetap menjadi tantangan tersendiri dalam menjaga efisiensi energi dan kestabilan suplai daya listrik di rumah tangga.

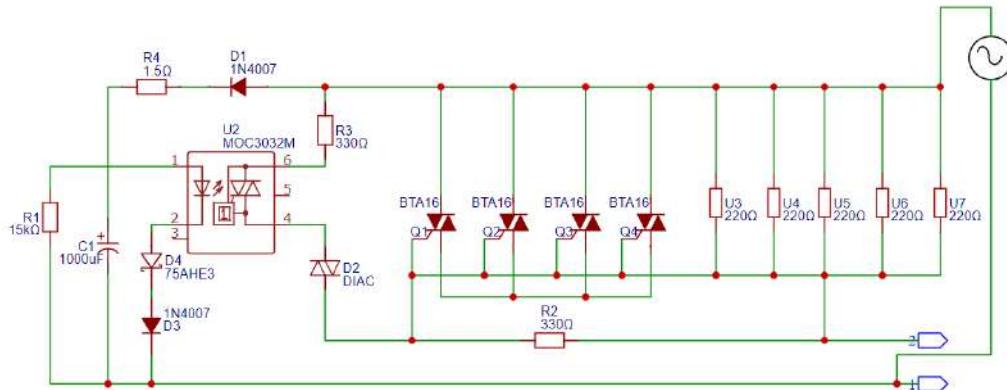
Lebih lanjut, penelitian (Edohen, O. and Omorogiuwa, 2024) mengungkapkan bahwa lonjakan arus pada kompresor AC split tidak hanya berdampak pada penurunan kapasitas daya rumah tangga, tetapi juga berpotensi mempercepat keausan komponen pendukung, seperti kapasitor starting, relay proteksi, dan sistem pengaman termal. Meskipun kerusakan langsung pada kompresor bukanlah akibat utama dari lonjakan arus ini, akumulasi tekanan listrik yang berulang-ulang jelas memperpendek umur sistem kelistrikan di dalam perangkat AC. Dalam konteks operasional sehari-hari, lonjakan arus yang terjadi

berulang kali setiap kali pengguna menyalakan AC dapat menambah beban berlebih pada instalasi listrik rumah tangga. Hal ini bukan hanya memicu penurunan efisiensi penggunaan energi, tetapi juga meningkatkan biaya listrik yang ditanggung pengguna. Oleh sebab itu, penelitian mengenai lonjakan arus starting pada AC split menjadi sangat penting, baik dari sisi teknis, ekonomis, maupun keberlanjutan penggunaan energi.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, berbagai upaya telah dilakukan oleh para peneliti dalam mengembangkan teknologi proteksi dan rangkaian pencegah lonjakan arus. Teknologi ini umumnya menggunakan kombinasi perangkat keras elektronik yang berfungsi mengatur suplai arus masuk pada saat kompresor dinyalakan, sehingga arus yang ditarik dari jaringan listrik tidak melonjak terlalu tinggi. Perangkat semacam ini terbukti mampu meredam arus awal tanpa harus mengorbankan performa pendinginan dari AC split itu sendiri. Selain menjaga keandalan operasional perangkat, penggunaan rangkaian pencegah lonjakan arus juga membantu menciptakan distribusi daya listrik yang lebih stabil di rumah tangga, sehingga perangkat lain yang terhubung pada sistem tidak mengalami drop tegangan. Dengan demikian, rangkaian pencegah lonjakan arus dapat dipandang sebagai solusi praktis yang selaras dengan standar keselamatan kelistrikan, yang menetapkan batas maksimum arus starting agar sistem tetap aman dan andal digunakan dalam jangka panjang (Wang et al., 2019), (Li et al., 2023).

### 3. METODE

Gambar 1 di bawah menunjukkan rangkaian yang berfungsi untuk mencegah lonjakan arus pada saat kompresor AC split pertama kali dinyalakan. Rangkaian ini dirancang agar dapat digabungkan dengan modul AC universal pada unit outdoor. Pada AC split, proses starting sering terjadi karena sistem bekerja dengan metode on and off untuk menjaga suhu ruangan tetap stabil. Kondisi ini menyebabkan kompresor berulang kali mengalami arus inrush yang tinggi. Dengan adanya rangkaian ini, arus yang masuk ke motor kompresor diatur agar tidak langsung penuh, melainkan diberikan secara bertahap dengan tegangan awal yang lebih rendah. Hal tersebut mampu menekan lonjakan arus, mengurangi dampak mekanis maupun listrik pada sistem, serta memperpanjang umur kompresor dan komponen elektronik lainnya sehingga kinerja sistem menjadi lebih stabil dan andal.



**Gambar 1.** Rangkaian pencegah lonjakan arus

Pengurangan arus dilakukan dengan cara menurunkan tegangan pada saat start, sehingga arus yang mengalir ke motor juga ikut berkurang. Hal ini sangat penting untuk menghindari kerusakan dini pada komponen lain dalam sistem kelistrikan, seperti kapasitor, relay, maupun modul kontrol yang umumnya sensitif terhadap lonjakan arus mendadak. Dengan mekanisme ini, rangkaian berperan sebagai pengatur arus transien yang secara efektif menahan beban kejut pada jaringan listrik rumah tangga maupun industri. Setelah motor kompresor mencapai kecepatan penuh dan kondisi kerja stabil, rangkaian ini akan beralih fungsi hanya sebagai jalur konduksi normal yang membiarkan motor beroperasi pada tegangan penuh tanpa hambatan tambahan. Dengan demikian, performa pendinginan tetap optimal, konsumsi energi lebih efisien, serta sistem terlindungi dari potensi kerusakan akibat lonjakan arus yang berulang-ulang setiap kali proses hidup-mati kompresor berlangsung.

Rangkaian di atas dirancang untuk digabungkan pada bagian unit outdoor, tepatnya di jalur kompresor. Lonjakan arus yang biasanya muncul saat start awal kompresor akan ditekan dengan bantuan rangkaian ini. Integrasi dilakukan pada bagian sumber daya sebagaimana ditunjukkan pada gambar,

kemudian dihubungkan ke rangkaian relay. Relay tersebut akan aktif atau “mengunci” ketika menerima perintah dari modul kontrol untuk menyalakan unit outdoor. Dengan demikian, proses starting kompresor tidak lagi langsung menerima tegangan penuh, melainkan melalui tahap pengaturan arus terlebih dahulu oleh rangkaian ini. Mekanisme ini membuat sistem lebih terproteksi dari lonjakan arus mendadak, sekaligus menjaga keandalan kerja relay dan modul kontrol yang berfungsi sebagai pengatur utama operasional unit outdoor.

Untuk penyambungan unit outdoor, jalur akan dihubungkan pada bagian load sebagaimana ditunjukkan pada gambar rangkaian. Proses penyambungan dilakukan dengan menggunakan konektor agar sambungan menjadi lebih kuat, aman, dan terhindar dari kemungkinan lepas akibat getaran maupun arus yang tinggi. Pada rangkaian ini digunakan dua belas resistor yang dirangkai secara paralel, sehingga mampu membagi beban arus secara merata serta mengurangi panas berlebih pada masing-masing komponen. Konfigurasi paralel ini juga memperkuat keandalan sistem, karena apabila salah satu resistor mengalami kerusakan, resistor lainnya tetap dapat menjaga jalur konduksi. Rangkaian ini kemudian dihubungkan langsung dengan tegangan PLN melalui modul universal, di mana tegangan tersebut sudah dikendalikan sebelumnya oleh sistem kontrol pada modul. Dengan mekanisme ini, rangkaian bukan hanya berfungsi sebagai peredam lonjakan arus awal, tetapi juga menjaga kestabilan distribusi daya yang masuk ke kompresor, sehingga unit outdoor dapat beroperasi dengan lebih efisien, aman, dan memiliki usia pakai yang lebih panjang.

Rangkaian tambahan yang diintegrasikan pada modul AC universal ini berfungsi sebagai pencegah lonjakan arus awal (inrush current). Untuk mencapai fungsi tersebut, digunakan sebanyak dua belas buah resistor yang disusun secara paralel, sehingga mampu menahan arus besar pada saat start tanpa menimbulkan panas berlebih pada masing-masing resistor. Pada tahap awal ketika kompresor mulai dinyalakan, arus listrik terlebih dahulu dialirkan melalui rangkaian resistor paralel ini. Mekanisme pengalihan arus dikendalikan oleh transistor yang berperan sebagai saklar elektronik. Saat kondisi start, transistor men-switch jalur sehingga arus mengalir melalui resistor, memberikan efek pembatasan tegangan yang masuk ke kompresor. Setelah kompresor mencapai kondisi operasi normal, transistor akan menghubungkan jalur langsung menuju kompresor tanpa melalui resistor paralel, sehingga aliran daya menjadi penuh dan sistem dapat bekerja secara efisien. Dengan cara ini, rangkaian mampu memberikan proteksi optimal pada saat start sekaligus tetap menjaga performa pendinginan ketika unit outdoor telah beroperasi stabil.

Cara kerja dari rangkaian alat yang telah dibuat adalah sebagai berikut. Saat rangkaian pertama kali dihidupkan, arus listrik akan mengalir melalui resistor 20W menuju perangkat (load). Resistor ini berfungsi untuk membatasi arus inrush atau lonjakan arus yang sangat besar, sehingga perangkat tidak langsung menerima arus penuh pada kondisi awal. Pada saat yang bersamaan, kapasitor yang terhubung ke DIAC dan TRIAC mulai terisi melalui jalur resistor dengan nilai kecil (biasanya berkisar antara  $100\Omega$  hingga  $1k\Omega$ ). Proses pengisian kapasitor ini bertujuan untuk menghasilkan tegangan pemicu pada DIAC. Setelah tegangan kapasitor mencapai nilai ambang (breakover voltage) DIAC, maka DIAC akan menghantarkan arus ke gate TRIAC. Akibatnya, TRIAC mulai aktif menghantarkan arus lebih besar ke arah beban, sehingga perangkat secara bertahap menerima tegangan penuh. Dengan mekanisme ini, lonjakan arus dapat ditekan pada saat start, sementara setelah kondisi stabil tercapai, beban akan menerima suplai daya normal tanpa hambatan tambahan.

Setelah kapasitor mencapai tegangan tertentu (tegangan breakdown pada DIAC), maka DIAC akan memicu gate TRIAC untuk menyala. Ketika TRIAC aktif, jalur arus listrik akan melewati TRIAC sehingga secara otomatis melakukan bypass terhadap resistor 20W. Dengan kondisi ini, resistor tidak lagi berfungsi sebagai pembatas arus, dan perangkat (load) akan menerima tegangan penuh langsung dari sumber. Pada fase operasi normal, TRIAC terus menghantarkan arus sepanjang siklus AC, sedangkan resistor 20W hanya bekerja pada saat awal start untuk menahan lonjakan arus.

Adapun beberapa cara kerja komponen dalam rangkaian ini adalah sebagai berikut. Resistor berfungsi sebagai pembatas arus inrush, kapasitor sebagai penyimpan muatan yang menentukan waktu pemicu DIAC, DIAC sebagai pemicu TRIAC ketika tegangan ambang tercapai, dan TRIAC sebagai saklar utama yang menghubungkan beban ke sumber tegangan penuh setelah kondisi start terlewati. Untuk menghitung nilai total resistor yang disusun paralel, Dengan masing-masing resistor bernilai  $200\Omega$ . Artinya, rangkaian resistor paralel tersebut setara dengan satu resistor berkapasitas  $16,67\Omega$ , namun dengan kemampuan daya yang lebih besar karena distribusi beban arus dibagi rata ke 12 resistor.

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_{12}}$$

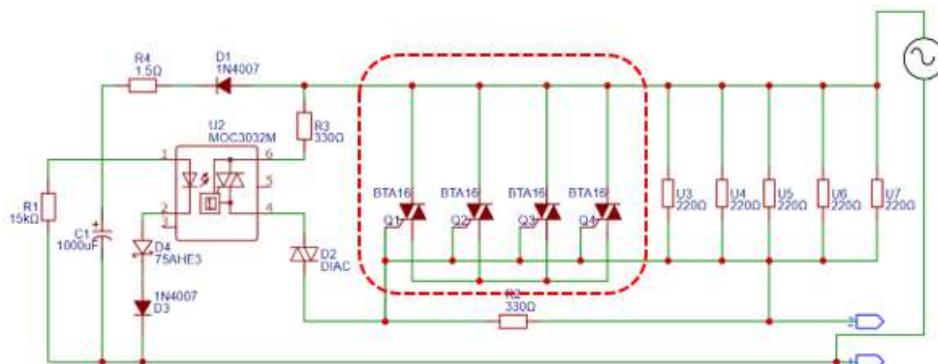
$$\frac{1}{R_{total}} = 12 \times \frac{1}{200}$$

$$\frac{12}{200} = 0.06$$

$$R_{total} = \frac{1}{0.06} \approx 16.67$$

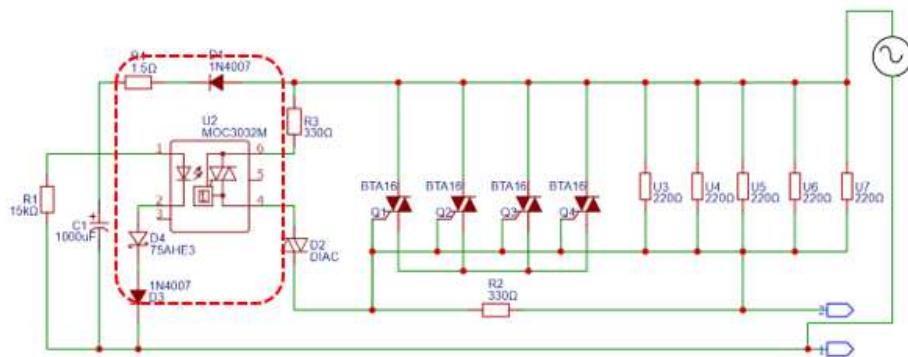
TRIAC BT139 memiliki dua kondisi utama, yaitu off state dan on state. Pada kondisi off state, ketika tidak ada tegangan pemicu pada gate, TRIAC tidak menghantarkan arus sama sekali, sehingga beban tetap terisolasi dari sumber. Sebaliknya, pada kondisi on state, ketika gate menerima tegangan pemicu dari DIAC, TRIAC akan aktif dan menghantarkan arus dari terminal MT1 ke MT2 maupun sebaliknya karena sifatnya yang bidirectional. Setelah aktif, TRIAC akan terus berada dalam kondisi on meskipun tegangan pemicu pada gate sudah dihentikan, selama arus yang mengalir masih berada di atas nilai ambang tertentu yang disebut holding current. Begitu arus turun di bawah nilai holding current, TRIAC akan otomatis kembali ke kondisi off.

Karakteristik ini membuat TRIAC sangat efektif digunakan dalam aplikasi pengendalian arus AC, termasuk dalam rangkaian soft starter kompresor AC split. Dengan memanfaatkan sifat latch-on dan kontrol bidirectional, TRIAC mampu menjaga kestabilan aliran daya pada beban sekaligus memberikan proteksi terhadap lonjakan arus awal. Selain itu, penggunaan TRIAC BT139 pada rangkaian ini juga memberikan kelebihan dalam hal efisiensi, keandalan, serta umur pakai komponen yang lebih panjang, karena beban tidak terus-menerus menerima tegangan penuh sejak awal start.



Gambar 2. Blok komponen triac

Dalam rangkaian ini, pemicu TRIAC BT139 tidak diberikan secara langsung, melainkan melalui optocoupler MOC3032M. Komponen ini berfungsi sebagai penghubung sekaligus isolator antara rangkaian kontrol tegangan rendah pada modul universal dengan rangkaian daya tegangan tinggi yang terhubung ke kompresor. Ketika modul universal mengirimkan sinyal perintah, LED internal pada MOC3032M akan menyala. Cahaya dari LED ini kemudian memicu fototriac di dalam optocoupler, yang selanjutnya mengalirkan arus kecil ke gate TRIAC BT139.



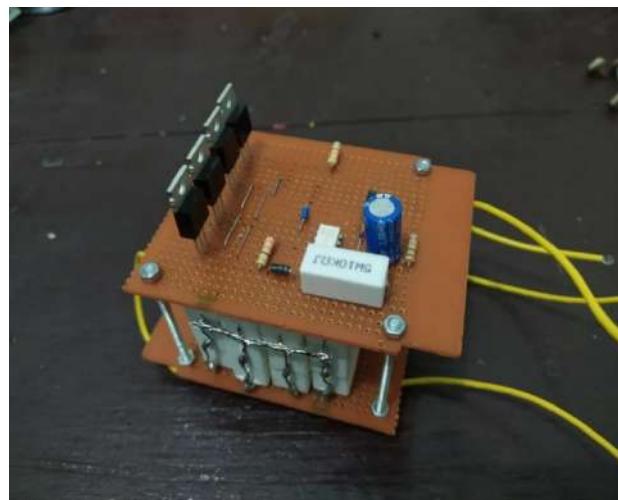
**Gambar 3.** Blok komponen optocoupler

Dengan mekanisme ini, pemicu TRIAC dapat dilakukan tanpa adanya koneksi listrik langsung antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya, sehingga memberikan isolasi galvanik yang sangat penting untuk menjaga keamanan modul kontrol maupun pengguna. Begitu TRIAC BT139 terpicu, arus besar dari sumber PLN dapat mengalir ke beban (kompresor) sesuai mekanisme kerja yang telah dijelaskan sebelumnya. Oleh karena itu, kombinasi antara MOC3032M dan TRIAC BT139 memberikan solusi pengendalian arus yang andal, aman, serta mampu menekan lonjakan arus awal pada kompresor AC split.

#### 4. TEMUAN DAN DISKUSI

##### 4.1 Temuan

Alat yang dibuat dari rangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah. Alat ini dipasang pada jalur suplai listrik menuju kompresor AC split, tepatnya setelah modul kontrol universal dan sebelum masuk ke terminal kompresor. Dengan posisi pemasangan tersebut, seluruh daya listrik dari PLN yang menuju ke kompresor akan terlebih dahulu melewati rangkaian ini. Tujuan utama dari konfigurasi ini adalah agar kompresor tidak langsung menerima tegangan penuh pada saat start, melainkan melalui proses pengaturan arus secara bertahap yang dilakukan oleh resistor paralel, DIAC, dan TRIAC. Dengan adanya alat ini, lonjakan arus (inrush current) dapat ditekan secara signifikan sehingga kompresor terlindungi dari beban kejut yang berulang. Selain itu, alat ini juga membantu memperpanjang umur komponen elektronika pada unit outdoor, menjaga stabilitas sistem kelistrikan rumah tangga, serta memastikan proses pendinginan tetap efisien dan andal.



**Gambar 4.** Rangkaian sistem pencegahan lonjakan arus di sistem AC split

Pengujian arus yang masuk ke kompresor AC dilakukan dalam dua tahap, yaitu sebelum dipasangkan rangkaian pencegah lonjakan arus dan setelah rangkaian tersebut digabungkan ke dalam modul universal. Pada tahap pertama, pengujian dilakukan tanpa rangkaian pencegah, sehingga arus start (inrush current)

yang muncul pada saat kompresor dinyalakan dapat diamati secara langsung. Lonjakan arus ini menunjukkan karakteristik beban induktif kompresor yang biasanya sangat tinggi pada saat start awal. Kondisi tersebut merupakan fenomena yang berpotensi merusak komponen elektronik pendukung jika dibiarkan terjadi berulang-ulang.

Dalam pengujian ini, tekanan kerja kompresor masih berada di bawah batas nominal yang telah ditentukan oleh pabrikan, sehingga hasil pengukuran lebih difokuskan pada besar arus masuk saat proses starting berlangsung. Data pengukuran yang diperoleh pada tahap awal inilah yang kemudian dijadikan acuan atau pembanding terhadap hasil pengukuran setelah rangkaian pencegah lonjakan arus dipasang. Adapun hasil pengukuran arus pada kondisi awal tanpa rangkaian pencegah lonjakan ditunjukkan sebagai berikut.



**Gambar 5.** Pengujian arus running AC split saat refrigeran kosong

Pengukuran arus dilakukan untuk memperoleh data pembanding antara kondisi sebelum dan sesudah modul AC universal digabungkan dengan rangkaian pencegah lonjakan arus. Dengan adanya data ini, dapat terlihat secara jelas sejauh mana efektivitas rangkaian dalam menekan arus inrush pada saat start kompresor. Selain pengukuran arus, dilakukan pula pengukuran tegangan yang masuk ke kompresor untuk memastikan bahwa suplai daya tetap stabil dan tidak mengalami penurunan signifikan meskipun melalui rangkaian tambahan. Hasil dari pengukuran ini akan disajikan dalam bentuk tabel, yang memuat data arus dan tegangan pada kedua kondisi (tanpa rangkaian pencegah lonjakan dan dengan rangkaian pencegah lonjakan). Tabel data pengujian menjadi dasar analisis untuk menilai kinerja rangkaian yang dirancang, sekaligus memberikan bukti kuantitatif mengenai peningkatan keandalan sistem kelistrikan kompresor AC split



**Gambar 6.** Kondisi refrigeran kosong: a. arus start tanpa rangkaian, b. arus start dengan rangkaian

Pengujian yang dilakukan sebelum menggunakan rangkaian pencegah lonjakan arus dimana arus saat starting awal sangat besar dari arus running arus start jika kondisi refrigeran mencapai 60psi maka

lonjakan arus akan membesar berikut diampulkan Gambar 7 yang dimana tekanan refrigeran masih kurang di bawah 60psi. Ketika refrigeran mulai diisi hingga tekanan mencapai 60 psi, arus running kompresor meningkat menjadi sekitar 1,7 A. Pada kondisi ini, AC sudah mengeluarkan hembusan udara dingin, sedangkan arus yang masuk ke kompresor tetap stabil di angka 1,7 A. Berdasarkan nameplate pada unit outdoor, arus maksimal kompresor adalah 2 A, sehingga pengisian refrigeran dilakukan pada batas arus di bawah nilai maksimum tersebut.



**Gambar 7.** Kondisi refrigeran tekanan 60psi: a. tanpa rangkaian pencegah lonjakan arus, b. dengan rangkaian pencegah lonjakan arus

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kondisi pengujian pada tekanan refrigeran 60 psi, yaitu: (a) tanpa menggunakan rangkaian pencegah lonjakan arus dan (b) setelah rangkaian pencegah lonjakan dipasang. Pada kondisi tanpa rangkaian, lonjakan arus saat starting dapat mencapai 2,5 A. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan arus running, bahkan bisa mencapai dua kali lipat dari arus nominal.

Sebaliknya, setelah dipasangkan rangkaian pencegah lonjakan, arus starting dapat ditekan hingga 1,1 A pada tekanan 60 psi. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian bekerja efektif dalam meredam lonjakan arus pada saat awal starting. Dengan demikian, arus starting yang sebelumnya jauh melebihi arus running kini dapat dikendalikan, sehingga nilainya hampir sama dengan arus running kompresor. Kondisi ini membuat kinerja kompresor lebih stabil serta melindungi komponen listrik dari potensi kerusakan akibat lonjakan arus.

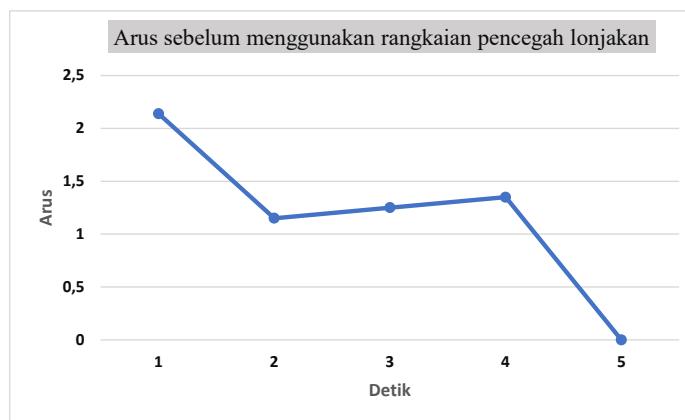
Berikut ditampilkan Tabel 1 hasil pengujian arus serta waktu operasi kompresor. Data ini diperoleh dari proses pengukuran sebelum menggunakan rangkaian pencegah lonjakan arus yang dipasangkan pada modul AC universal. Dari hasil pengukuran, diketahui bahwa pada saat starting awal, tepatnya pada detik pertama, arus yang terukur melalui tang amper mencapai 2,14 A. Nilai ini menunjukkan adanya lonjakan arus yang sangat cepat dalam waktu singkat. Selanjutnya, pada detik ke-2, ke-3, dan ke-4, arus running kompresor secara bertahap menurun dan stabil di sekitar 1,7 A, sesuai dengan kondisi tekanan refrigeran yang telah diisi. Mengingat arus nominal running kompresor tercantum pada nameplate sebesar 2 A, maka hasil pengukuran ini masih berada dalam batas normal. Data rinci mengenai hasil pengukuran arus pada tiap detik dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Pengukuran sebelum menggunakan rangkaian pencegah lonjakan arus

Waktu (s)	Arus (A)	Kondisi
1	2,14	Kompresor Start awal

2	1,15	Kompresor bekerja
3	1,25	Kompresor bekerja
4	1,34	Kompresor bekerja
5	0	Kompresor mati

Pada Gambar 8 grafik di bawah ditunjukkan hasil pengukuran arus mulai dari kondisi lonjakan awal hingga proses kompresor bekerja secara normal. Terlihat bahwa pada saat starting, arus mengalami peningkatan tajam yang kemudian berangsut menurun hingga stabil pada kondisi running. Ketika kompresor berhenti beroperasi, arus yang mengalir ke kompresor juga menurun secara bertahap hingga tidak ada lagi aliran arus menuju beban. Grafik ini menggambarkan karakteristik kerja kompresor AC tanpa adanya rangkaian pencegah lonjakan arus yang terpasang pada modul universal. Hal ini menunjukkan bahwa lonjakan arus saat start masih terjadi cukup signifikan, yang berpotensi mempercepat kerusakan pada komponen kompresor maupun modul kontrol. Dengan demikian, data ini menjadi acuan awal untuk dibandingkan dengan kondisi setelah dipasangkan rangkaian pencegah lonjakan, sehingga dapat terlihat sejauh mana efektivitas rangkaian tambahan tersebut dalam mereduksi lonjakan arus.



**Gambar 8.** Grafik pengukuran sebelum menggunakan rangkaian pencegah lonjakan

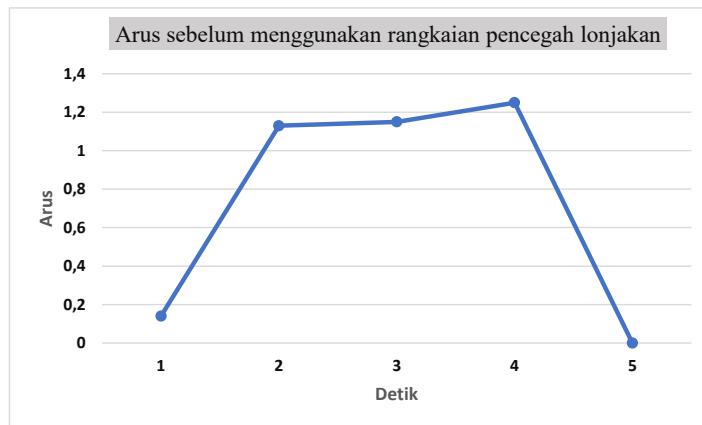
Pengukuran yang ditampilkan pada Tabel 2 di bawah merupakan hasil setelah rangkaian pencegah lonjakan arus dipasang pada modul AC universal. Dari data tersebut terlihat bahwa lonjakan arus awal berhasil ditekan secara signifikan, yaitu hanya sebesar 0,14 A pada detik pertama saat kompresor mulai menyala. Selanjutnya, arus meningkat secara bertahap hingga mencapai 1,13–1,25 A ketika kompresor berada pada kondisi bekerja normal. Setelah proses pendinginan selesai dan kompresor berhenti beroperasi, arus yang mengalir turun menjadi 0 A, menandakan bahwa beban telah benar-benar mati. Hasil ini menunjukkan bahwa rangkaian pencegah lonjakan arus mampu menjaga kestabilan aliran listrik pada kompresor, sehingga beban bekerja lebih halus dan umur pakai komponen dapat lebih panjang.

**Tabel 2.** Pengukuran setelah menggunakan rangkaian pencegah lonjakan

Waktu (s)	Arus (A)	Kondisi
1	0,14	Kompresor Start awal
2	1,13	Kompresor bekerja
3	1,15	Kompresor bekerja
4	1,25	Kompresor bekerja
5	0	Kompresor mati

Grafik pada Gambar 9 yang ditampilkan menunjukkan hasil pengukuran arus setelah dipasangkan rangkaian pencegah lonjakan arus. Terlihat bahwa lonjakan arus pada saat start awal berhasil ditekan hingga sangat kecil jika dibandingkan dengan kondisi sebelum pemasangan rangkaian. Meskipun demikian, arus pada saat kompresor berada pada kondisi bekerja (running) relatif sama dengan hasil pengukuran sebelumnya, yaitu berada pada kisaran arus normal sesuai spesifikasi kompresor. Hal ini menegaskan bahwa pemasangan rangkaian tidak memengaruhi kinerja utama kompresor, melainkan hanya berfungsi mengendalikan arus inrush pada saat start. Selain itu, ketika kompresor berhenti bekerja, arus yang mengalir turun dengan cepat hingga mencapai 0 A, menunjukkan bahwa sistem dapat kembali ke kondisi

mati dengan stabil. Dengan demikian, grafik ini memperlihatkan efektivitas rangkaian pencegah lonjakan arus dalam menjaga kestabilan sistem listrik tanpa mengurangi performa pendinginan dari kompresor AC split.



**Gambar 9.** Grafik pengukuran setelah menggunakan rangkaian pencegahan lonjakan

Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian tegangan yang masuk ke kompresor tanpa menggunakan rangkaian pencegah lonjakan arus. Dari data terlihat bahwa tegangan yang diterima kompresor berada pada kondisi stabil, yaitu sekitar 220 V sejak detik pertama saat kompresor mulai berjalan hingga detik keempat ketika kompresor bekerja dengan normal. Hal ini menunjukkan bahwa suplai tegangan dari sumber listrik ke kompresor tidak mengalami fluktuasi yang signifikan meskipun arus start awal cukup besar. Pada detik kelima, tegangan turun menjadi 0 V seiring dengan berhentinya kinerja kompresor. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama bukan terletak pada kestabilan tegangan, melainkan pada besarnya arus lonjakan saat start awal yang berpotensi mempercepat kerusakan komponen jika tidak dikendalikan.

**Tabel 3.** Hasil pengujian tegangan ke kompresor tanpa rangkaian lonjakan

Waktu (s)	Tegangan (V)	Kondisi
1	220	Kompresor Start awal
2	220	Kompresor bekerja
3	220	Kompresor bekerja
4	220	Kompresor bekerja
5	0	Kompresor mati

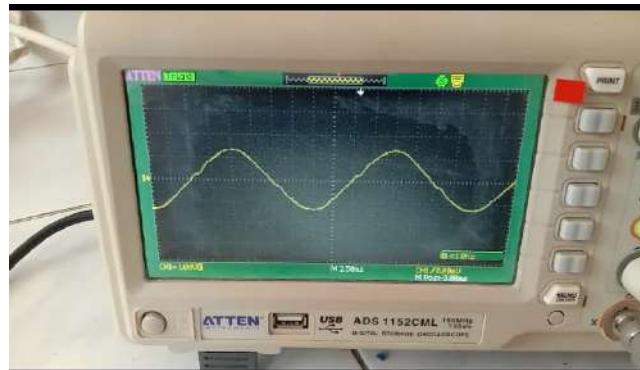
Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian tegangan pada kompresor setelah dipasangkan rangkaian pencegah lonjakan arus. Pada detik pertama saat start awal, tegangan yang masuk ke kompresor tercatat sebesar 210 V, sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa rangkaian. Penurunan tegangan ini terjadi karena adanya pembatasan arus awal oleh resistor paralel yang berfungsi menekan lonjakan arus. Memasuki detik kedua hingga keempat, tegangan perlahan meningkat dari 218 V, 219 V, hingga mencapai kondisi stabil di 220 V ketika kompresor bekerja normal. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tegangan awal sedikit diturunkan untuk membatasi arus inrush, kinerja kompresor tetap terjaga dengan baik pada saat beroperasi. Pada detik kelima, tegangan turun menjadi 0 V seiring berhentinya kompresor. Dengan demikian, data ini memperkuat bahwa rangkaian pencegah lonjakan arus tidak memengaruhi kestabilan tegangan kerja kompresor, melainkan hanya berperan dalam melindungi sistem dari lonjakan arus pada fase start.

**Tabel 4.** Hasil pengujian tegangan ke kompresor setelah diisikan rangkaian pencegah lonjakan

Waktu (s)	Tegangan (V)	Kondisi
1	220	Kompresor Start awal

2	220	Kompresor bekerja
3	220	Kompresor bekerja
4	220	Kompresor bekerja
5	0	Kompresor mati

Pengukuran selanjutnya dilakukan menggunakan osiloskop dengan titik pengukuran ditempatkan pada kabel fasa yang menuju ke kompresor. Pada pengukuran ini digunakan resistor hasil perhitungan sebelumnya, yaitu 12 buah resistor  $200 \Omega/20$  W yang dirangkai paralel sehingga menghasilkan nilai total sekitar  $16,67 \Omega$ . Resistor ini dipasang sebagai shunt untuk mendeteksi jatuh tegangan akibat arus yang mengalir menuju kompresor. Probe osiloskop dihubungkan pada kedua kaki resistor tersebut, sehingga gelombang arus yang masuk dapat diamati secara real-time. Metode ini memberikan gambaran yang jelas mengenai karakteristik lonjakan arus (inrush current) pada saat start kompresor, serta perbandingan kondisi sebelum dan sesudah pemasangan rangkaian pencegah lonjakan arus.



**Gambar 10.** Pengukuran dengan osiloskop sebelum menggunakan rangkaian pencegah lonjakan

#### 4.2 Diskusi

Pengujian arus pada kompresor AC menunjukkan perbedaan yang jelas sebelum dan sesudah dipasangkan rangkaian pencegah lonjakan. Sebelum dipasang, arus start awal mencapai 2,14 A, yang merupakan lonjakan cukup besar dan berpotensi mempercepat kerusakan komponen. Setelah rangkaian dipasang, lonjakan arus awal berhasil ditekan drastis menjadi 0,14 A, lalu meningkat secara bertahap hingga mencapai arus kerja normal sekitar 1,13–1,25 A. Hasil ini memperlihatkan bahwa rangkaian mampu menstabilkan aliran arus ke kompresor, sehingga proses start menjadi lebih halus dan risiko kerusakan akibat inrush current dapat diminimalkan.

Pada sisi pengujian tegangan, baik sebelum maupun sesudah pemasangan rangkaian, kondisi tegangan yang masuk ke kompresor tetap stabil di kisaran 210–220 V. Perbedaan hanya terlihat pada detik pertama setelah rangkaian dipasang, di mana tegangan sedikit turun menjadi 210 V karena pembatasan arus awal. Namun, tegangan segera kembali stabil di 220 V saat kompresor bekerja normal. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian pencegah lonjakan hanya memengaruhi arus pada fase start tanpa mengganggu kestabilan suplai tegangan yang dibutuhkan kompresor untuk beroperasi secara optimal.

Selain itu, pengujian pada tegangan input modul universal dan komponen utama rangkaian seperti relay, resistor kapur, serta TRIAC BT139 juga memperlihatkan hasil yang konsisten. Tegangan input tetap berada di angka 220 V, sedangkan distribusi tegangan pada komponen menunjukkan fungsi proteksi bekerja dengan baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangkaian pencegah lonjakan tidak hanya berhasil menekan arus inrush, tetapi juga mampu melindungi komponen elektronik dalam sistem, meningkatkan keandalan kinerja kompresor, serta memperpanjang umur pakai unit AC secara keseluruhan.

#### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemasangan rangkaian pencegah lonjakan arus pada kompresor AC terbukti efektif dalam mengurangi arus inrush yang biasanya

muncul secara tiba-tiba pada saat proses starting. Keberhasilan ini sangat penting terutama pada unit AC split yang dalam pengoperasiannya menggunakan sistem kontrol suhu otomatis. Pada sistem tersebut, kompresor akan bekerja dengan pola on-off secara terus-menerus sesuai dengan kebutuhan pendinginan ruangan. Kondisi ini menyebabkan proses starting kompresor terjadi berulang-ulang dalam interval waktu tertentu, sehingga tanpa adanya rangkaian pencegah lonjakan, kompresor akan sering menerima arus awal yang sangat tinggi. Jika hal ini berlangsung dalam jangka panjang, maka dapat mempercepat penurunan kinerja, meningkatkan risiko kerusakan pada komponen internal, serta mengurangi umur pakai unit AC secara keseluruhan. Dengan adanya rangkaian pencegah lonjakan, arus awal dapat ditekan ke level yang lebih aman, sehingga kinerja kompresor menjadi lebih stabil, proses pendinginan tetap terjaga, dan sistem AC mampu bekerja lebih andal dan efisien untuk jangka waktu yang lebih lama.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Cao, Y., Xiao, S., Ye, Z., Wu, G., Guo, Y., Gao, G., Sun, C., Liu, J., Chen, Z., Hou, H., Wang, Z., Liu, P., Zhang, Y., & Yu, J. (2024). Analysis and suppression of operational overvoltage and inrush current for high-speed trains by automatic phase-switching technique. *High Voltage*, 9(3), 733–748. <https://doi.org/10.1049/hve2.12417>
- Edohen, O. and Omorogiuwa, S. O. (2024). A Numerical Investigation of Inrush Current Reduction in Induction Motors. *Journal of Energy Technology and Environment*, 6(3), 96–100.
- Falchetta, G., Cian, E. De, Pavanello, F., & Wing, I. S. (2024). Inequalities in global residential cooling energy use to 2050. *Nature Communications*, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52028-8>
- Fox, J. C., & Collins, E. R. (2010). A voltage flicker suppression device for residential air conditioners and heat pumps. *ICHQP 2010 - 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power, October 2010*. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2010.5625337>
- Hammerbauer, J., & Stork, M. (2022). *Electronic System for Reduction of Transient Inrush Current in Transformer*. 46(2), 78–89.
- Li, C., Yang, Y., Li, W., & Li, H. (2023). A Soft-Start-Based Method for Active Suppression of Magnetizing Inrush Current in Transformers. *Electronics (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/electronics12143114>
- Nurhadi, M. Z. R., & Rozak, O. A. (2023). Penerapan Metode Inverter Softstarting pada Motor 1 Phasa untuk Mengurangi Lonjakan Arus. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 11(3), 2830–7062.
- Sherman, P., Lin, H., & McElroy, M. (2022). Projected global demand for air conditioning associated with extreme heat and implications for electricity grids in poorer countries. *Energy and Buildings*, 268, 112198. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112198>
- Szelag, W., Jedryczka, C., & Baranski, M. (2024). A New Method of Reducing the Inrush Current and Improving the Starting Performance of a Line-Start Permanent-Magnet Synchronous Motor. *Energies*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/en17051040>
- Wang, Y., Yin, K., Yuan, Y., & Chen, J. (2019). Current-limiting soft starting method for a high-voltage and high-power motor. *Energies*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/en12163068>