



Kajian Motor Tak Serempak Tiga Phasa sebagai Generator Satu Phasa dalam Penerapan Teknologi Efisiensi Energi

Pelpinus Sinay *

Politeknik Negeri Ambon, Indonesia

Email: nussinay20@gmail.com

Alamat : Jl. Ir. M. Putuhena, Wailela, Ambon

Korespondensi penulis: nussinay20@gmail.com *

Abstract- *Asynchronous motors, commonly known as induction motors, are widely utilized due to their robustness, reliability, and efficiency in both industrial and household applications. These motors typically operate by converting electrical energy into mechanical energy through the interaction between a rotating magnetic field and the rotor. Under normal operating conditions, the rotor speed is always slightly less than the speed of the magnetic field, which is known as "slip." However, when the slip becomes negative, meaning that the rotor speed exceeds the speed of the rotating magnetic field, the motor begins to function as a generator. This condition occurs when the motor is driven above its synchronous speed by an external mechanical force, causing the rotor to generate electrical power. Using an asynchronous motor as a generator offers several notable advantages. One of the key benefits is its ability to produce a pure sine wave voltage, which is crucial for various applications that require stable and high-quality electrical power. Since these motors do not use brushes, they are free from the problems associated with brush wear and maintenance. Moreover, they do not generate radio frequency interference (RFI), making them suitable for environments sensitive to electromagnetic disturbances. The use of an asynchronous motor as a generator also provides the ability to function as a rotary phase converter. This is especially beneficial in applications where three-phase power is unavailable, but the load requires it. To facilitate this process, a capacitive voltage is required to induce excitation in the rotor. The capacitive current is supplied by an additional capacitor, which is installed in parallel with the motor output. This capacitor helps maintain the necessary phase shift and enables the motor to generate the required three-phase power.*

Keywords : *Asynchronous Motor, Excitation Capacitor, RFI, rotary phase converter, Single Phase Generator*

Abstract- Motor asinkron, umumnya dikenal sebagai motor induksi, banyak digunakan karena ketahanan, keandalan, dan efisiensinya, baik dalam aplikasi industri maupun rumah tangga. Motor ini biasanya beroperasi dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi antara medan magnet berputar dan rotor. Dalam kondisi operasi normal, kecepatan rotor selalu sedikit lebih rendah daripada kecepatan medan magnet, yang dikenal sebagai "slip". Namun, ketika slip menjadi negatif, yang berarti kecepatan rotor melebihi kecepatan medan magnet berputar, motor mulai berfungsi sebagai generator. Kondisi ini terjadi ketika motor digerakkan di atas kecepatan sinkronnya oleh gaya mekanik eksternal, yang menyebabkan rotor menghasilkan daya listrik. Menggunakan motor asinkron sebagai generator menawarkan beberapa keuntungan penting. Salah satu manfaat utamanya adalah kemampuannya menghasilkan tegangan gelombang sinus murni, yang krusial untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan daya listrik yang stabil dan berkualitas tinggi. Karena motor ini tidak menggunakan sikat, motor ini bebas dari masalah yang terkait dengan keausan dan perawatan sikat. Selain itu, motor ini tidak menghasilkan interferensi frekuensi radio (RFI), sehingga cocok untuk lingkungan yang sensitif terhadap gangguan elektromagnetik. Penggunaan motor asinkron sebagai generator juga memungkinkan fungsi konverter fase putar. Hal ini khususnya bermanfaat dalam aplikasi di mana daya tiga fase tidak tersedia, tetapi beban membutuhkannya. Untuk memfasilitasi proses ini, tegangan kapasitif diperlukan untuk menginduksi eksitasi pada rotor. Arus kapasitif disuplai oleh kapasitor tambahan, yang dipasang paralel dengan keluaran motor. Kapasitor ini membantu mempertahankan pergeseran fase yang diperlukan dan memungkinkan motor menghasilkan daya tiga fase yang dibutuhkan.

Kata kunci : Generator 1 Phasa, Kapasitor Exitasi, Motor Tak Serempak, RFI, *rotary phase converter*

1. LATAR BELAKANG

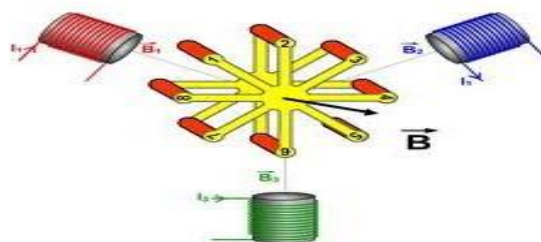
Sejarah perjalanan kehidupan manusia selalu menggunakan energi listrik sebagai sumber utama dalam menunjang aktifitas sehari-hari. Karena itu manusia dan energi listrik sudah tidak dapat terpisahkan satu sama lain. Seperti diketahui bahwa pada umumnya sumber energi listrik tegangan rendah terbagi atas dua bagian yaitu sumber tegangan listrik satu phase (220 Volt) dan sumber tegangan listrik tiga phase (380 Volt). Jika ditinjau dari segi pemanfaatan, tegangan listrik satu phase lebih sering digunakan khususnya dalam kebutuhan sehari-hari misalnya kebutuhan listrik akan rumah tinggal, pertokoan, perkantoran, dan lain-lain.

Bagaimana penggunaan jasa peralatan listrik ditempat yang jauh dari sumber listrik satu phase, sering kali jasa peralatan listrik yang menggunakan sumber tegangan satu phase selalu terabaikan dalam hal ini dikarenakan sumber tegangan listrik yang terpasangkan adalah 3 phase (380 Volt).

Dilihat dari kasus diatas maka penulis mencoba membuat sebuah alat yang dapat mengatasi masalah tersebut dengan membuat *Rotary Phase Converter* untuk mengkonversi tegangan listrik tiga phase ke tegangan listrik satu phase. Yaitu dengan menggunakan motor tak serempak tiga phase yang digunakan sebagai motor generator satu phase digerakan oleh sumber listrik tiga phase. Dan oleh karena itu digunakan kapasitor untuk mendapatkan resultan agar motor dapat distart, kapasitor juga digunakan untuk mendapatkan daya reaktif untuk keperluan excitasi medan pada rotor sehingga ketika motor berputar motor juga akan berfungsi sebagai generator.

2. KAJIAN TEORITIS

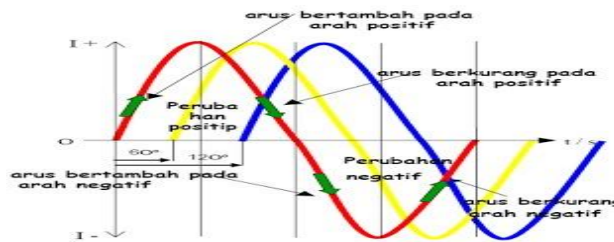
Motor Listrik 3 Phase



Gambar 1. Prinsip Kerja Motor 3 Phase

Menurut. A Insy Ansori. (2013), menjelaskan bahwa Motor AC 3 phase bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa sumber untuk menimbulkan gaya putar pada rotornya. Jika pada motor AC 1 phase untuk menghasilkan beda phase diperlukan penambahan komponen

Kapasitor, pada motor 3 phase perbedaan phase sudah didapat langsung dari sumber seperti terlihat pada gambar arus 3 phase berikut ini:



Gambar 2. Grafik Arus 3 Phase

Pada gambar di atas, arus 3 phase memiliki perbedaan phase 60 derajat antar phasanya. Dengan perbedaan ini, maka penambahan kapasitor tidak diperlukan.

Konstruksi Motor Listrik 3 Fasa

Motor tak serempak tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor, bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara yang sempit (air gap) dengan jarak antara 0,4 mm sampai 4 mm. Tipe dari motor tak serempak tiga fasa berdasarkan lilitan pada rotor dibagi menjadi dua macam yaitu rotor belitan (wound rotor) adalah tipe motor tak serempak yang memiliki rotor terbuat dari lilitan yang sama dengan lilitan statornya dan rotor sangkar tupai (Squirrel-cage rotor) yaitu tipe motor induksi dimana konstruksi rotor tersusun oleh beberapa batangan logam yang dimasukkan melewati slot-slot yang ada pada rotor motor tak serempak, kemudian setiap bagian disatukan oleh cincin sehingga membuat batangan logam terhubung singkat dengan batangan logam yang lain.



Gambar 3. Konstruksi Motor Listrik 3 Fasa

Prinsip Kerja Motor Listrik 3 Fasa

Apabila sumber tegangan 3 phase dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan seperti rumus berikut:

$$N_s = 120 f/P \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

N_s = Kecepatan Putar

f = Frekuensi Sumber

P = Kutub motor

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul Gaya Gerak listrik (GGL) induksi. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka Gaya Gerak Listrik (GGL) akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. Gaya gerak listrik (GGL) induksi timbul karena terpotong gaya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r). Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s), dinyatakan dengan

$$S = (n_s - n_r) / n_s \dots \dots \dots (2)$$

Bila $n_r = n_s$, gaya gerak listrik (GGL) induksi tidak akan timbul dan arus tidak mengalir pada batang konduktor (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Dilihat dari cara kerjanya, motor tak serempak disebut juga sebagai motor induksi atau asinkron.

Hubungan Antara Beban, Kecepatan dan Torsi

Berikut ini beberapa hubungan antara torque - kecepatan dengan arus pada motor induksi 3 phase:

- a. Motor mulai jalan ternyata terdapat arus start yang tinggi akan tetapi torque-nya rendah.
- b. Saat motor mencapai 80% dari kecepatan penuh, torque-nya mencapai titik tertinggi dan arusnya mulai menurun.
- c. Pada saat motor sudah mencapai kecepatan penuh, atau kecepatan sinkron, arus torque dan stator turun ke nol.

Keuntungan dan Kerugian Motor Listrik 3 Fasa

Keuntungan Penggunaan Motor Tak Serempak 3 fasa:

- a. Konstruksi sangat kuat dan sederhana terutama bila motor dengan rotor sangkar.
- b. Harganya relatif murah dan keandalannya tinggi.
- c. Efisiensi relatif tinggi pada keadaan normal, tidak ada sikat sehingga rugi gesekan kecil.
- d. Biaya pemeliharaan rendah karena pemeliharaan motor hampir tidak diperlukan.

Kerugian Penggunaan Motor Tak Serempak 3 Fasa:

- a. Kecepatan tidak mudah dikontrol
- b. Power faktor rendah pada beban ringan
- c. Arus start biasanya 5 sampai 7 kali dari arus nominal

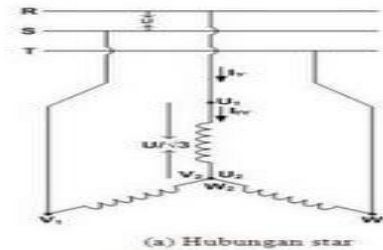
Pengasutan Motor Listrik 3 Fasa

Pengasutan merupakan metoda penyambungan kumparan-kumparan dalam motor 3 fasa. Ada 2 model penyambungan kumparan pada motor 3 fasa:

- Sambungan Bintang/Star/Y
- Sambungan Segitiga/Delta/ Δ

Sambungan Bintang/Star

Sambungan star/bintang, seperti terlampir pada gambar .4 sebagai berikut

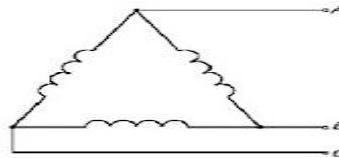


Gambar 4. Sambungan Bintang

Sambungan bintang/ star dibentuk dengan menghubungkan salah satu ujung dari ketiga kumparan menjadi satu. Ujung kumparan yang digabung tersebut menjadi titik netral, karena sifat arus 3 phase yang jika dijumlahkan ketiganya hasilnya netral atau nol. Nilai tegangan phase pada sambungan bintang = $\frac{1}{\sqrt{3}}$ x tegangan antar phase.

Sambungan Delta/Segitiga

Sambungan delta, seperti terlampir pada gambar.5 sebagai berikut



Gambar 5. Sambungan Delta

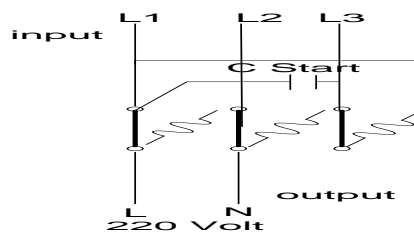
Sambungan delta atau segitiga didapat dengan menghubungkan kumparan-kumparan motor sehingga membentuk segitiga. Pada sambungan delta tegangan kumparan = tegangan antar phase akan tetapi arus jaringan sebesar $\frac{1}{\sqrt{3}}$ arus line.

Sistem Motor Tak Serempak 3 Fasa Sebagai Generator

Pengoperasian motor tak serempak tiga fasa pada sistim tenaga listrik AC tiga fasa sangat dibutuhkan pada daerah pertanian, industri kecil dan penyedia jasa peralatan listrik untuk kebutuhan tegangan listrik satu fasa, sedangkan mereka membutuhkan motor penggerak dengan daya yang besar (motor tak serempak tiga fasa) yang secara normal harus dioperasikan pada sistim tenaga tiga fasa.

Walaupun tidak lazim, motor tiga fasa kadang-kadang juga digunakan sebagai motor satu fasa. Tetapi hanya untuk motor-motor kecil saja. Motor-motor fasa kecil biasanya dibuat untuk tegangan 220/380 Volt.

Salah satu cara agar motor tak serempak tiga fasa dapat digunakan dengan baik pada kondisi ini adalah dengan mengoperasikan motor tak serempak tiga fasa pada sistim tenaga tiga fasa dengan menggunakan kapasitor. Dalam pengoperasian motor tak serempak tiga fasa pada sistim tenaga tiga fasa dengan menggunakan kapasitor, hubungannya seperti gambar 2.6. paralel dengan salah satu kumparan yang dihubungkan sebuah kondensator kerja (start). Untuk startnya kadang-kadang masih menggunakan sebuah kondensator asut yang kemudian diputuskan kalau digunakan sebagai generator fasa satu kontinunya kira-kira 80% - 90% dari daya fasa tiganya. Kopel asutnya tidak bisa lebih dari 25% dari kopel nominalnya, kapasitas kondensator kerja yang harus digunakan sama dengan $60\mu f - 80\mu f$ per KW. Sehingga output motor generator tegangan satu fasa, seperti terlampir pada gambar 6. sebagai berikut



Gambar 6. Output Motor Generator Tegangan Saru Fasa

Rotary Phase Converter

Menurut Irving L. Kosow, Phd. 1972, menjelaskan bahwa *Rotary phase converter* adalah suatu mesin berputar yang mengubah listrik tiga fasa menjadi satu fasa. Bilamana hanya tersedia sumber tegangan tiga fasa sementara peralatan yang akan digunakan atau membutuhkan sumber daya satu fasa maka diperlukan sebuah *rotary phase converter* untuk mengubah listrik tiga fasa tersebut menjadi satu fasa agar dapat digunakan untuk menjalankan peralatan listrik satu fasa.

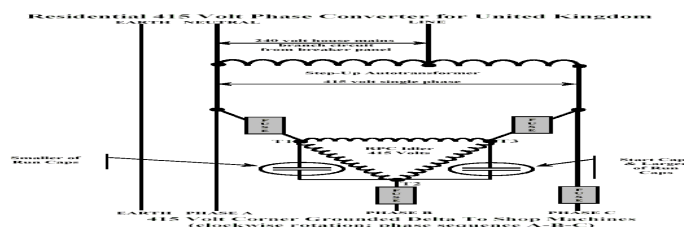
Rotary phase converter umumnya menggunakan motor tak serempak tiga fasa yang dioperasikan sebagai motor generator. Pada konfigurasinya motor tidak dapat distart karena listrik satu fasa tidak menghasilkan medan putar. Agar motor tak serempak tiga fasa dapat berfungsi sebagai motor generator, maka perlu ditambahkan suatu kapasitor jalan agar listrik satu fasa dapat menghasilkan resultan yang menyebabkan motor start sekaligus juga kapasitor tersebut menyediakan daya reaktif untuk exitasi medan pada rotor sehingga motor dapat berfungsi sebagai generator.

Gunakan saklar motor starter magnetic, Sebuah saklar magnetik berisi elektromagnet yang memegang saklar di posisi setelah arus mengalir, dan jauh lebih aman untuk kedua operator dan peralatan dalam hal kegagalan daya, karena sekali listrik hidup kembali dengan peralatan akan tetap mati sampai diaktifkan kembali. Ini jelas lebih aman bagi *user*, tetapi juga membantu untuk melindungi peralatan listrik tiga fasa, dan mencegah kebakaran. Sebuah motor yang tepat Starter juga melindungi *rotary phasa converter*. Sebuah pemutus sirkuit tidak dimaksudkan untuk bertindak sebagai saklar on/off atau untuk melindungi motor.

Kapasitor start harus memiliki nilai setidaknya 250 Volt dan antara 50-100 per mikrofarad dari nilai tenaga kuda motor tak serempak kapasitor awal melalui *switch* sesaat sendiri. Sakala magnetik untuk menghubungkan *rotary phasa converter* dengan beban peralatan listrik satu fasa. Ada konfigurasi yang menggunakan kapasitor yang sama baik sebagai memulai dan menjalankan kapasitor tambahkan *runing kapasitor*. Sebuah konverter fasa akan bekerja dengan baik tanpa menjalankan kapasitor, tetapi mereka akan meningkatkan kinerja dan efisiensi untuk beberapa derajat. Kapasitor start harus bekerja kontinu pada tegangan tinggi (330-370 Volt) dan terhubung secara permanen antara dengan terminal motor tak serempak tiga fasa.

Keseimbangan tegangan ideal sulit dicapai tanpa beberapa jenis penyesuaian dinamis, karena beban peralatan negara yang berbeda akan membutuhkan konfigurasi yang berbeda dari menjalankan kapasitor. Tapi itu benar-benar tidak berpengaruh dalam kebanyakan kasus untuk beban bermotor. Hanya menggunakan sekitar 12-16 mikrofarad per nilai tenaga kuda motor tak serempak tiga fasa sebagai aturan umum.

Phase converter dapat pula menggunakan autotransfomator dengan tegangan kerja pada sistim satu fasa yang dikonversikan ke tiga fasa melalui autotransfomator dan running capasitor sebagai penyedia daya reaktif dan menghasilkan exitasi medan sehingga pada saat autotransfomator dihubungkan pada sistim tenaga satu fasa maka tegangan akan dihasilkan running kapasitor dan autotransfomator dapat dilihat pada gambar 7. sebagai berikut.



Gambar 7. Autotransfomator Sebagai Fasa Converter

Kapasitor

Menurut Dedy. Rusmadi, (2007), menjelaskan bahwa kondensator atau sering disebut sebagai kapasitor adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kondensator memiliki satuan yang disebut Farrad (F) dari nama Michael Faraday yang merupakan penemu kapasitor (1791-1867).

Satu Farad = $9 \times 10^{11} \text{ cm}^2$ yang artinya luas permukaan kepingan tersebut. Kondensator juga dikenal sebagai "kapasitor", namun kata "kondensator" masih dipakai hingga saat ini.

Pertama disebut oleh Alessandro Volta seorang ilmuwan Italia pada tahun 1782 (dari bahasa Itali *condensatore*), berkenaan dengan kemampuan alat untuk menyimpan suatu muatan listrik yang tinggi dibanding komponen lainnya. Kebanyakan bahasa dan negara yang tidak menggunakan bahasa Inggris masih mengacu pada perkataan bahasa Italia "condensatore", bahasa Perancis *condensateur*, Indonesia dan Jerman *Kondensator* atau Spanyol *Condensador*.

Kapasitor atau kondensator adalah alat (komponen) yang dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik yang besar untuk sementara waktu. Sebuah kapasitor terdiri atas keping-keping logam yang disekat satu sama lain dengan isolator. Isolator penyekat disebut zat dielektrik. Simbol yang digunakan untuk menampilkan sebuah kapasitor dalam suatu rangkaian listrik adalah dengan huruf "C".

Satuan kapasitor disebut Farad (F). Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi.

Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan. Kondensator diidentikkan mempunyai dua kaki dan dua kutub yaitu positif dan negatif serta memiliki cairan elektrolit dan biasanya berbentuk tabung.

Ada dua cara pemasangan kapasitor, yaitu tanpa memerhatikan kutub-kutubnya (untuk kapasitor nonpolar) dan dengan memperhatikan kutub-kutubnya (untuk kapasitor polar).

Beberapa kegunaan kapasitor, antara lain sebagai berikut:

1. Menyimpan muatan listrik,
2. Memilih gelombang radio (tuning),
3. Sebagai perata arus pada rectifier,
4. Sebagai komponen rangkaian starter kendaraan bermotor,
5. Memadamkan bunga api pada sistem pengapian mobil,
6. Sebagai filter dalam catu daya (*power supply*).

Kapasitansi kapasitor adalah suatu kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan. Misalkan Q coulomb adalah besar muatan yang diberikan pada dua keping sejajar dan jika V adalah beda potensial antara kedua keping sejajar tersebut.

Dalam perawatan itu perhatian harus dilakukan pada tempat yang lembab yang tidak terlindungi dari debu dan kotoran. Sebelum melakukan pemeriksaan pastikan bahwa kapasitor tidak terhubung lagi dengan sumber. Kemudian karena kapasitor ini masih mengandung muatan berarti masih ada arus/tegangan listrik maka kapasitor itu harus dihubung singkatkan supaya muatannya hilang.

Penggunaan Motor Tak Serempak 3 Fasa Sebagai Generator

Menurut Sugiharjo, 2000, menerangkan bahwa Pada motor tak serempak kecepatan putar rotor n_r selalu lebih kecil dari kecepatan putar stator n_s . sedangkan pada generator tak serempak harus dibuat lebih besar dari n_s sehingga energy listrik akan dikembalikan pada sistem jala-jala. Proses perubahan motor tak serempak menjadi generator tak serempak membutuhkan daya reaktif atau daya magnetisasi untuk membangkitkan tegangan pada terminal keluaran.

Syarat utama terbangkitnya tegangan generator induksi adalah adanya remanensi di rotor atau kapasitor exitasi yang digunakan harus sudah mempunyai muatan listrik terlebih dahulu. Remanensi atau muatan kapasitor merupakan tegangan awal yang diperlukan untuk proses pembangkitan tegangan selanjutnya. Dengan menghubungkan kapasitor ke terminal stator, akan terbentuk suatu rangkaian tertutup, dengan adanya tegangan awal tadi, di rangkaian akan mengalir arus. Arus tersebut akan mengalirkan fluks ke celah udara, sehingga di stator akan terbangkit tegangan induksi.

Bilamana sebuah motor tak serempak dihubungkan pada tegangan AC maka arus yang mengalir ke motor menghasilkan medan putar pada stator. Medan putar ini akan memotong batang konduktor yang terhubung singkat pada rotor sehingga menghasilkan arus rotor. Arus rotor yang berada pada medan putar stator menghasilkan torsi yang menyebabkan rotor berputar. Agar tegangan menghasilkan tegangan induksi ke rotor maka harus ada perbedaan relative antara medan putar stator dan putaran rotor.

Perbedaan relatif antara medan putar stator dan putaran rotor disebut slip dan didefinisikan sebagai:

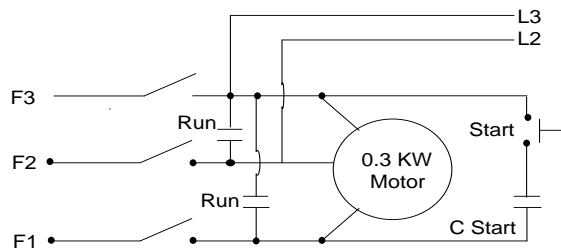
$$SLIP. (S) = \frac{(N_r - N_s)}{N_s} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : N_s = putaran sinkron
 N_r = putaran rotor.

Menurut Thedy Afdullah Fandy, (2003), menerangkan bahwa Untuk dapat beroperasi sebagai generator maka motor tak serempak harus dijalankan diatas putaran sinkronnya oleh suatu penggerak mula. Dengan demikian torsi dan slip dibuat negative

($n_r > n_s$). Agar dapat membangkitkan tegangan pada terminal keluaran generator tak serempak maka dibutuhkan daya reaktif sesuai dengan kebutuhan daya reaktif mesin induksi tersebut. Kebutuhan daya reaktif dapat dipenuhi dengan memasang suatu unit kapasitor pada terminal keluaran generator tak serempak yang dipasang paralel dengan beban.

Pada generator tak serempak terdapat fluks sisa (fluks remanent) atau medan magnet pada kumparan stator. Proses pembangkitan tegangan tidak akan terjadi jika tidak terdapat fluksi remanent. Pada penelitian ini kapasitor untuk kebutuhan daya reaktif untuk exitasi medan terhubung secara paralel pada belitan bantu seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian Generator

Penentuan Kapasitas Exitasi

Suatu perhitungan kapasitansi yang tepat untuk menghasilkan suatu tegangan yang dihasilkan oleh generator tak serempak dibawah kondisi – kondisi beban yang spesifik hanyalah mungkin dengan satu pengetahuan yang teliti tentang parameter- parameter elektrik dari mesin tak serempak yang termasuk variasi parameter – parameter dengan tegangan. Parameter - parameter tersebut dapat diperoleh dari sejumlah pengujian – pengujian yang standar, tetapi diperlukan peralatan yang mahal. Dalam praktek cukup mengkalkulasi suatu pendekatan nilai kapasitansi exitasi dan melakukan penyesuaian kecepatan penggerak mula sampai tegangan sistem yang diperlukan diperoleh.

Ini akan berarti bahwa frekuensi operasi harus berbeda dari nilai frekuensi motor induksi, namun dapat diterima dengan ketentuan bahwa frekuensi itu dijaga di dalam batas – batas yang layak.

Dua metoda yang direkomendasikan dalam penentuan nilai exitasi yaitu (1) Pengujian Elektrik, (2) Penggunaan Data Penampilan Motor.

Pengujian Beban Nol

Menurut Nigel Smith, 1997, menerangkan bahwa Metode pengujian elektrik terdiri dari pengujian beban nol mesin tak serempak baik sebagai motor maupun sebagai generator. Hasil pengujian beban nol dapat digunakan untuk mengitung kapasitan reaktif karena apparent power pada pengujian beban nol hampir sama dengan daya reaktif yang dibutuhkan generator mendekati beban penuh.

Dari pengujian beban nol dapat persamaan:

$$S_{no\ load} = Q = V_{no\ load} \times I_{no\ load} \dots\dots\dots(4)$$

$$I_c = \frac{Q}{V_{noload}} \dots\dots\dots(5)$$

$$X_c = \frac{V_{noload}}{I_c} = \frac{I}{2\pi FC} \dots\dots\dots(6)$$

$$C = \frac{I_c}{2\pi FV} \dots\dots\dots(7)$$

Penggunaan Data Penampilan Motor

Metode yang kedua adalah menggunakan data spesifikasi motor untuk menentukan daya reaktif dari kapasitor melalui data arus beban penuh dan faktor daya. Raektansi kapasitif untuk koreksi faktor daya penuh dapat diperoleh dari informasi dan tegangan nominal ini.

Dari data spesifikasi motor didapat:

$$S = V \times I \dots\dots\dots(8)$$

$$P = V \times I \times Cosp \dots\dots\dots(9)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots\dots(10)$$

$$I_c = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots(11)$$

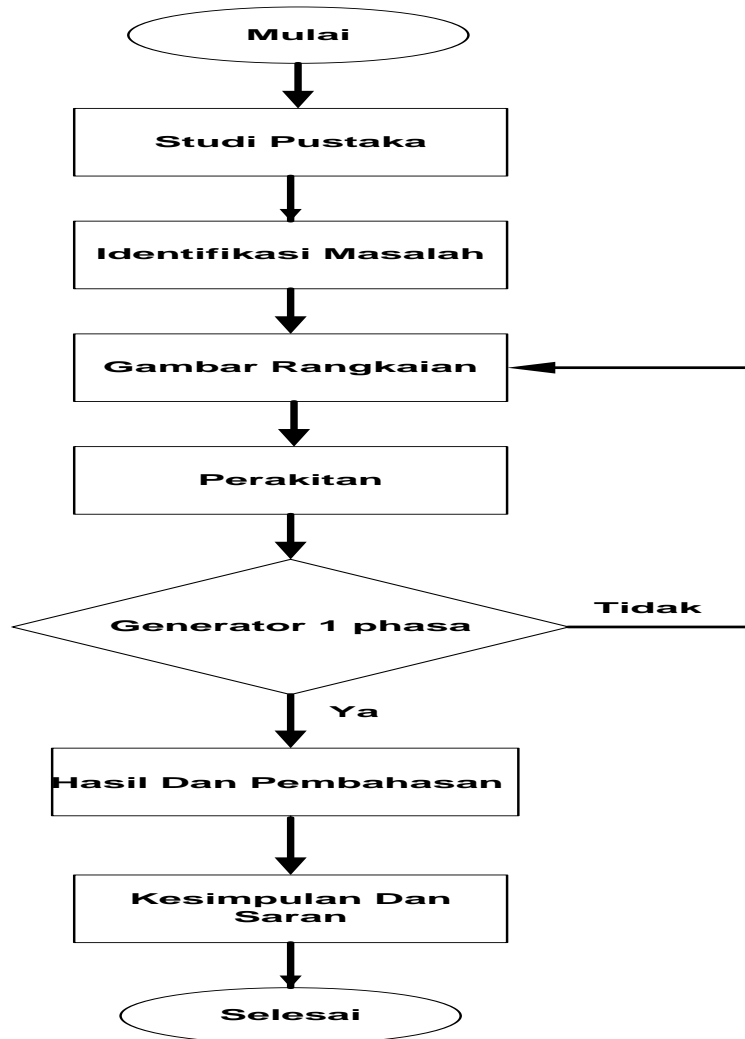
3. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Studi ini menggunakan metode penelitian deskriptif analitik dengan penekanan analisis pada data hasil perencanaan dan hasil survei lapangan.

Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Penggunaan motor tak serempak 3 fasa sebagai generator 1 fasa, yang digunakan dalam penyusunan laporan akhir ini digambarkan dalam flowcard berikut:

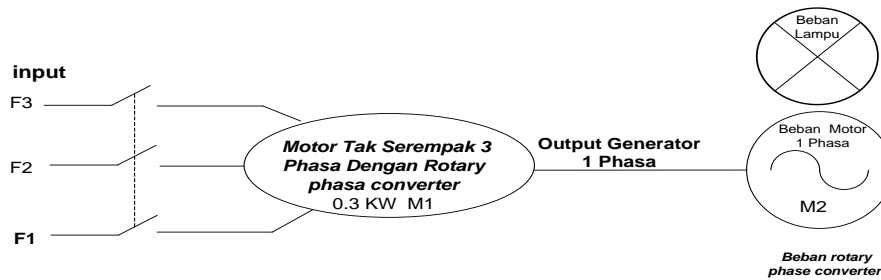


Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

Kerangka Pikir/Konsep Penelitian

Pengoperasian motor tak serempak/induksi 3 fasa yang dikomversikan sebagai generator tak serempak 1 fasa, akan menghasilkan tegangan output 1 fasa yaitu L2,L3 atau L,N sebesar 220 Volt, artinya *rotary phase converter* terhubung dalam hubungan segitiga/delta. Apabila motor tak serempak 3 fasa dengan *rotary phase converter* terhubung delta maka akan memperoleh tegangan keluaran 220 volt, sehingga beban lampu 1 fasa yang

tersambung akan menyala dengan normal pada setiap kondisi jenis lampu itu sendiri. Hal ini terjadi pula pada beban motor tak serempak/induksi 1phasa, karena pada saat motor tak serempak 3 fasa dihubungkan pada sumber 3 phasa, maka beban motor induksi/ tak serempak 1phasa yang terhubung akan beropersai dengan normal sama saja dicatu pada tegangan 1 phasa 220 Volt. Diagram blok kerangka pikir penelitian ini, seperti yang tampak pada gambar 10 di bawah ini.

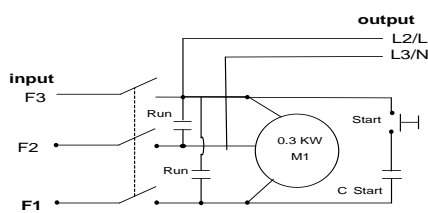


Gambar 10. Diagram Blok Kerangka Pikir Penelitian

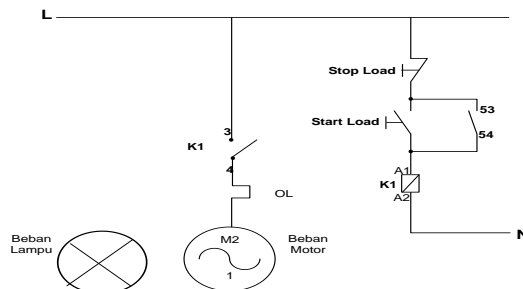
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Gambar Rangkaian

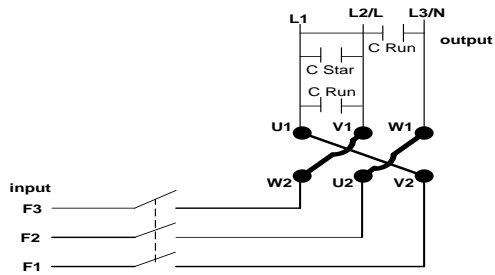
Tahap awal dalam melakukan penelitian ini adalah dengan mendesain rangkaian pengujian yang terdiri dari beberapa komponen yang dirangkai menjadi satu sistim rangkaian. Proses desaian dimulai dengan menggambarkan rangkaian *Rotary Phasa Converter* dan beban seperti pada gamabar 11, 12, 13 dan 14 berikut:



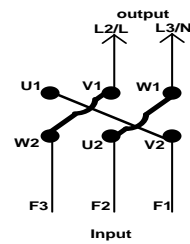
Gambar 11 Motor Tak Serempak 3 Phasa Dengan Rotary Phase converter



Gambar 12 Beban Rotary Phase Converter



Gambar 13 Rangkaian Terpasang Pada Terminal Rotary Phase Converter



Gambar 14 Output Generator 1Fasa Ke Beban Lampu Atau Motor 1 Fasa

Keterangan Gambar :

L : Sumber tegangan output 1 fasa 220V yang dihasilkan

N : Sumber tegangan netral

M1 : Motor tak serempak 3 Fasa sebagai generator yang diubah menjadi generator 1 fasa

OL : Over Load

C Run : Kapasitor running

C Start : Kapasitor start

S1 : Tombol start

3 : Kontak terminal utama kontaktor

4 : Kontak terminal sambungan ke beban

A1 A2 : Coil kontaktor

L1 L2 L3 : Sumber terminal input tegangan 3 fasa

Start Kapasitor : Start generator tak serempak

Start Load : Start beban

Stop Load : Stop beban

M2 : Motor tak serempak 1 fasa sebagai beban

Data Motor Tak Serempak 3 Fasa Sebagai Generator

Motor tak serempak 3 fasa yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut: tegangan 220/380V, hubungan Y/ Δ arus beban penuh 1.4/0.8 A, daya 0.3 KW, putaran 1400/1690 RPM, frekwensi 50/60 Hz. Parameter mesin yang akan ditentukan berdasarkan data percobaan adalah : Tegangan output perfasa atau fasa netral, sistim pembebanan.

Langkah Pelaksanaan Pengujian

Langkah pengujian rangkaian *rotary Fasa Converter* ditunjukkan pada gambar 11s/d14 adalah sebagai berikut :

1. Pertama-tama hubungkan motor tak serempak yang bertindak sebagai generator dengan sumber tegangan 3 fasa dan jalankan motor tak serempak beberapa saat agar pada motor tersebut mendapatkan magnet parmanen pada saat nanti digunakan sebagai generator induksi.
2. Tekan tombol start capasitor maka generator tak serempak mulai bekerja dan membangkitkan tegangan
3. Tekan saklar start load maka beban motor tak serempak dan lampu akan beropersi untuk setiap pembebanan yang diuji dapat dilihat pada table 1,2
4. Tekan stop load maka beban motor induksi akan berhenti demikian pula beban lampu.
5. Matikan tombol power maka generator tak serempak akan berhenti.

Data Hasil Pengujian Generator Tak Serempak

Table 1.2 Pengujian tanpa beban dan berbeban lampu 15w sampai 120 watt dan motor tak serempak 300 watt. Data hasil pengujian pada penelitian ini, seperti yang terlampir pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1 Data Hasil Pengujian

P(Watt) BEBAN	V (Volt)
	V terukur L2, L3/ L,N
0	225 v
15 w	225 v
45 w	225 v
75 w	225 v
120 w	225 v
Motor 300 w	214 v

Respon Tegangan Keluaran dari Pengolahan Data Hasil Pengujian

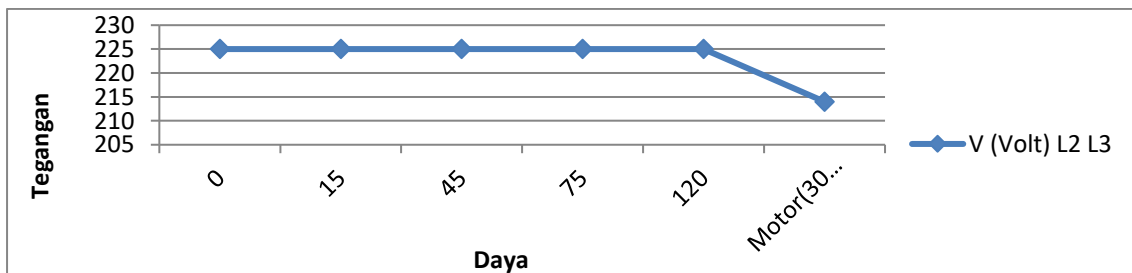
Data pengujian pada tabel diatas memperlihatkan tegangan pada fasa yang dihasilkan dari generator tak serempak. Apabila generator tak serempak beroperasi tanpa beban maka tegangan terukur pada L2,L3/L,N yaitu sebesar 225 Volt sedangkan pada kondisi riilnya tegangan pada fasa harus sama yaitu pada 220 Volt.

Data pengujian generator tak serempak pada beban lampu 15w, 45w, 75w, 120 w dan beban motor 300 w. Pengolahan data, seperti yang terlampir pada tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2 Pengolahan Data Hasil Pengujian

P(Watt) BEBAN	V (Volt)
	V terukur L2, L3/ L,N
0	225 v
15 w	225 v
45 w	225 v
75 w	225 v
120 w	225 v
Motor 300 w	214 v

Kondisi tegangan keluran dari sistem berupa grafik karakteristik beban perphasa atau fasa dan netral, seperti yang terlampir pada gambar grafik 15 di bawah ini:



Gambar 15. Grafik Karakteristik Dari Beban Perphasa Atau Fasa Dan Netral

Gambar 15 memperlihatkan kondisi tegangan pada fasa/fasa (L2,L3) atau Line-Netral (L,N) yang dihasilkan oleh generator tak serempak. Pada kondisi ini terlihat bahwa tegangan maksimum adalah 225 Volt dan tegangan minimum 214 volt.

Pembahasan Pengaruh Kapasitas Kondensator Terhadap Daya dan Tegangan Generator Tak Serempak

Pembahasan utama dalam pengoperasian motor tak serempak/ induksi 3 fasa yang diubah sebagai generator tak serempak/ induksi 1 fasa, akan menghasilkan tegangan output 1phasa yaitu L2,L3 atau L,N sebesar 220 Volt, artinya *rotary phase converter* terhubung dalam hubungan segitiga/delta.

Apabila motor tak serempak 3 fasa dengan *rotary phase converter* terhubung delta maka akan memperoleh tegangan keluaran 220 volt, sehingga beban lampu 1phasa yang tersambung akan menyala dengan normal pada setiap kondisi jenis lampu itu sendiri. Hal ini terjadi pula pada beban motor tak serempak/induksi 1 fasa, karena pada saat motor tak serempak 3 fasa dihubungkan pada sumber 3 fasa, maka beban motor induksi/ tak serempak

1phasa yang terhubung akan beropersai dengan normal sama seperti dicatu pada tegangan 1 phasa 220 Volt hal ini karena pada hubungan segitiga berlaku persamaan berikut ini : $220 \text{ Volt} \times I = 220 \text{ Volt}$. Sehingga bilamana beban motor tak serempak satu phase dihubungkan pada tegangan 220 Volt motor akan tetap constant.

Pada tabel dibawah ini menunjukkan pengaruh jenis beban terhadap tegangan pada beban motor tak serempak satu phasa dan beban lampu 15 w, 45w, 75w, 120 watt. Dimana perbedaan tegangan pada beban motor tak serempak satu phase tidak berbeda jauh dengan beban lampu karena tidak memiliki kompensasi, sehingga pengaruh kapasitas kondensator terhadap daya dan tegangan , seperti yang terlampir pada tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3 Pengaruh Kapasitas Kondensator Terhadap Daya dan Tegangan

P(Watt) BEBAN	V (Volt)
	V terukur L2, L3/L,N
0	225 v
15 w	225 v
45 w	225 v
75 w	225 v
120 w	225 v
Motor 300 w	214 v

Menurut Hairul Gagarin Irianto, (2004) menjelaskan bahwa Motor tak serempak tiga phasa bekerja dengan memanfaatkan perbedaan phasa sumber untuk menimbulkan gaya putar pada rotornya. Jika pada motor AC 1 phasa untuk menghasilkan beda phasa diperlukan penambahan komponen kapasitor, pada motor tiga phasa perbedaan phasa sudah didapat langsung dari sumber tiga phasa, arus tiga phasa memiliki perbedaan phasa 60 derajat listrik antar phasanya. Dengan perbedaan ini maka penambahan kapasitor tidak di perlukan.

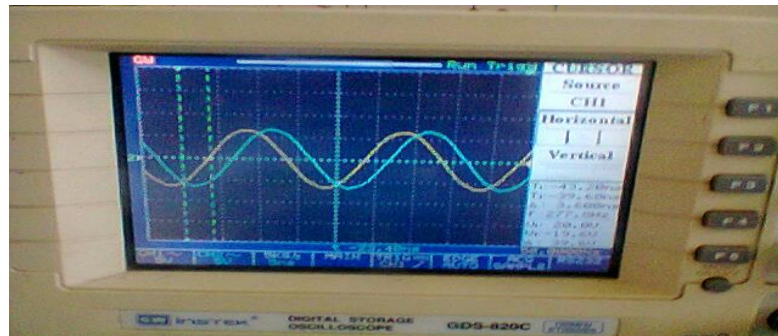
Sehingga motor tak serempak 3 fasa bila bekerja pada tegangan satu fasa sebagai generator jika disediakan daya reaktif pada terminalnya dan bila generator induksi tidak dihubungkan langsung ke jala-jala maka daya reaktif bisa disediakan oleh kapasitor atau bila motor tak serempak bekerja melebihi kecepatan sinkronnya maka dapat berfungsi sebagai generator.

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan kapasitor exitasi dengan rumus Capasiotor exitasi dengan nilai sebagai berikut:

$$C = \frac{I}{2\pi \times f \times V}$$
$$= \frac{0.05 A}{69080}$$
$$= 0,00000072379849 f \times 10^6$$
$$C = 7,23\mu f, (8 \mu f)$$

Daya nominal yang dapat dihasilkan generator tak serempak pada kondisi ini adalah 220 volt pada fasa L2/L dan fasa L3/N. Sebagai catatan bahwa daya motor yang digunakan sebagai generator tak serempak sesuai name plate adalah 0.3 Kw dan daya maksimum yang dapat dihasilkan adalah $0.8 \times 0.3 \text{ Kw} (300\text{W}) = 240 \text{ Watt}$.

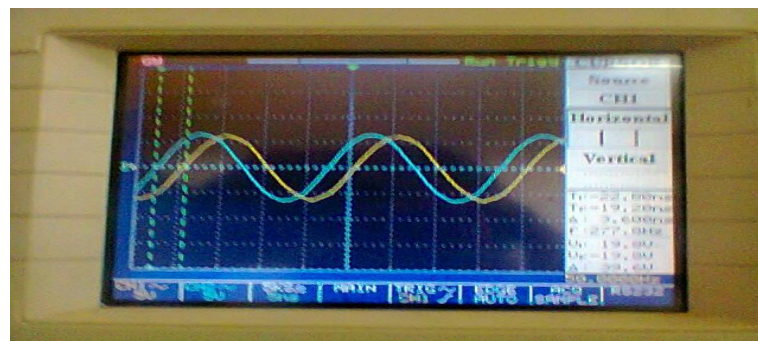
Data perbedaan sudut fasa beban nol, dengan menggunakan osiloskop dalam penelitian ini diperlihatkan pada gambar 16 sebagai berikut:



Gambar 16. Fasa L2/L dan Fasa L3/N

Pada gambar 16 menunjukkan perbedaan sudut fasa yang terukur pada terminal fasa L2/L dan fasa L3/N *rotary phase converter* yaitu sebesar 64,8 derajat listrik sama, Dimana dalam kondisi riil semestinya perbedaan sudut fasa adalah 60 derajat listrik antara fasa L2/L dan fasa L3/N

Pengukuran perbedaan sudut fasa berbeban lampu pijar 15, 45, 75, 120 watt dengan hubungan delta da 300 Watt untuk motor tak serempak satu fasa diperlihatkan oleh gambar 17 sebagai berikut:



Gambar 17. Fasa L2/L dan Fasa L3/N

Pada gambar 17 memperlihatkan perbedaan sudut fasa yang terukur pada terminal fasa L2/L dan fasa L3/N *rotary phase converter* adalah sebesar 64,8 derajat listrik ini sama seperti gambar 4.6 dimana seharusnya adalah 60 derajat listrik.

Dari hasil pengukuran pada gambar 16 dan gambar 17 dapat disimpulkan bahwa *rotary phase converter* dapat digunakan untuk mengoperasikan peralatan listrik 1 fasa pada sumber tegangan 3 fasa, ini karena saat *rotary phase converter* di beri beban, maka peralatan listrik 1 fasa beroperasi dengan baik dimana tidak terjadi panas atau putaran yang tidak stabil dan juga melindungi *rotary phase converter*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dengan memperhatikan uraian pada bab-bab sebelumnya dari penulisan ini maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Rotary phase converter* merupakan suatu mesin berputar yang mengubah/mengkonversikan listrik tiga fasa menjadi satu fasa.
2. *Rotary phase converter* pada umumnya menggunakan motor tak serempak tiga fasa yang dioperasikan sebagai motor generator 1 fasa
3. *Rotary phase converter* sangat bermanfaat jika digunakan sebagai alternative apabila tidak tersedia tegangan listrik satu fasa saat melakukan test terhadap peralatan listrik satu fasa.
4. *Rotary phase converter* dapat digunakan untuk mengoperasikan jasa peralatan listrik 1 fasa pada sumber tegangan 3 fasa, ini karena saat *rotary phase converter* di beri beban, maka peralatan listrik 1 fasa beroperasi dengan baik dimana tidak terjadi panas atau putaran yang tidak stabil dan juga melindungi *rotary phase converter*.

Saran

Beberapa hal disarankan pada penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam mengoperasikan *rotary phase converter* pada saat start maupun mematikan *rotary phase converter* semua beban harus diputuskan.
2. Agar *rotary phase converter* bekerja maksimal gunakanlah magnetic kontaktor dan *thermal overload relay* untuk menghubungkan beban, Dan sekaligus mengamankan beban peralatan listrik 1 fasa dengan *rotary phase converter*.

DAFTAR REFERENSI

- Aris Budiman, Dkk. (2010). *Pemanfaatan generator tak serempak sebagai pembangkit listrik tenaga angin skala rumah tangga di Mbulak Baru Kabupaten Jepara*.
- Bagia, I. Nyoman, & I Made Parsa. (2018). *Motor-Motor Listrik*. Kupang: CV. Rasi Terbit.
- Berlianti, Rahmi. (2015). *Analisis Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 4(1). <https://doi.org/10.25077/jnte.v4n1.135.2015>
- Chapman, S. J. (2005). *Electric Machinery Fundamentals*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Dedy Rusmadi. (2007). *Dasar-Dasar Elektronika Untuk Pemula*. Pionir Jaya, Bandung.
- Drs. Daryanto. (2005). *Pengetahuan Teknik Elektronika*. Penerbit Bumi Aksara, Bandung.
- Fitzgerald, A. E., dkk. (2003). *Electric Machinery*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hairul Gagarin Irianto. (2004). *Studi Penggunaan Motor Tak Serempak Sebagai Generator*.
- Hakim, Wan Fadhli. (2017). *Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Generator*. Laporan Proyek Akhir. Politeknik Negeri Batam, Batam.
- Hutagaol, Julius. (2010). *Analisis Karakteristik Tegangan Dan Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Generator Induksi Dengan Keluaran Satu Fasa*. Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- I Ketut Perdana Putra, dkk. (2004). *Penggunaan Kapasitor dalam Unjuk Kerja Motor Tak Serempak Sebagai Generator*.
- Ion, C. P., & Marinescu, C. (2013). *Three-phase induction generators for single-phase power generation: An overview*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.031>
- Ir. Sardono Sarwito M.Sc, dkk. (2007). *Perancangan Generator Tak Serempak Bertegangan 220 VAC Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2016). *Media Komunikasi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*. *Jurnal Energi*.
- Khan, M. F., & Khan, M. R. (2014). *Evaluation of Excitation Capacitance for a Single-Phase Two Winding Self Excited Induction Generator*. IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). <https://doi.org/10.1109/PEDES.2014.7042157>
- Kholiq, I. (2015). *Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM*. *Jurnal IPTEK*, 19(2).
- Kim, S.-H. (2017). *Electric Motor Control*. Elsevier Science: Elsevier Inc.

- Masykur Sjani, dkk. (2013). *Analisa Pengaruh Besar Nilai Kapasitor Eksitasi Terhadap Karakteristik Beban Nol Dan Berbeban Pada Motor Tak Terempak Listrik Sebagai Generator Penguat Sendiri*.
- Mehta, V. K. *Principles of Electrical Machines*.
<https://nemasumit.files.wordpress.com/2017/08/246613252-principles-of-electric-machines-and-power-electronics.pdf>
- Parastiwi, A. (2014). *Pengaturan Tegangan Dan Frekuensi Pada Motor Induksi Sebagai Generator*. *Jurnal ELTEK*, 12(02). PSGC Mechatronic Department. Three Phase Motor Induction. https://www.academia.edu/26275174/Motor_Induksi_Tiga_Fasa
- Ridwansyah, I., dkk. (2014). *Potensi Sumber Daya Air Untuk Pengembangan PLTMH Di DAS Cisadane Hulu Berdasarkan Pemodelan Hidrologi SWAT*. *LIMNOTEK*, 22(1), 1-111.
- Rosi, A. F. D. (2016). *Analisis Kinerja Mesin Induksi Tiga Fasa sebagai Generator Induksi Satu Fasa dengan Variasi Beban*. Skripsi. Universitas Jember, Jember.
- Sibuea, J. E. (2011). *Analisis Karakteristik Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Generator (Aplikasi Pada P4TK Medan)*. Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Singh, G. K. (2017). *Self-Excited Induction Generator for Renewable Applications*. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, Volume 4.
- Smith, N. (1994). *Motors as Generators for Micro-Hydro Power*. London: Intermediate Technology Development Group. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10132-0>
- Sofia, D., & Suchyo, I. (2017). *Pengukuran Kapasitansi Kapasitor Dengan Memanfaatkan Elektrometer Hasil Rancangan Berbasis Mikrokontroler*. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 6(01).
- Sudaryanto Sudirman. (2002). *Analisis Rangkaian Listrik*. Penerbit ITB, Bandung.
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D)*. Alfabeta: Bandung.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Pendidikan*. Edisi ke-23. Bandung: CV. Alfabeta.
- Supardi, A., dkk. (2015). *Karakteristik Keluaran Generator Induksi 1 Fase Pada Sistem Pembangkit Pikohidro*. Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT) 3.
- Suprihardi, dkk. (2018). *Pengaturan Kapasitor Pada Generator Induksi Untuk Mendapatkan Tegangan dan Frekuensi Tetap*. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol: 2(1).
- Triyono, B., dkk. (2014). *Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Head Rendah dan Portable*. IRWNS.
- Utama, H. S., & Kusriyanto, M. (2018). *Prototype Pembangkit Mikrohidro Terintegrasi Beban Komplemen*. *Teknoin*, 24(1). <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol24.iss1.art6>