

Desain Perangkat *Ride-Through* pada Bus Dc *Variable Speed Drive* untuk Menanggulangi Terjadinya Trip pada Saat Timbulnya Gangguan Dip Tegangan yang Berat

Yeremia Martin, Dedet Candra Riawan, dan Soedibyo
 Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
E-mail: dedet@ee.its.ac.id

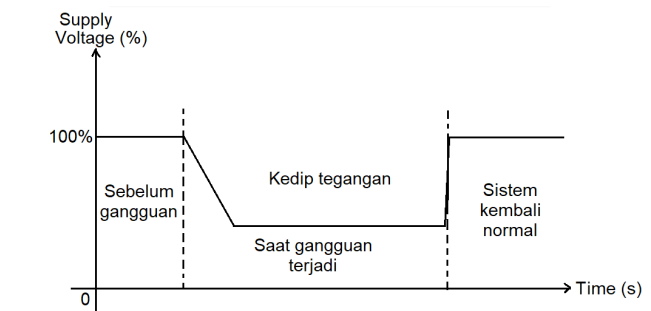
Abstrak—Gangguan tegangan kedip merupakan suatu masalah yang sering di muncul di perindustrian dan sudah banyak menimbulkan suatu maalah dan kerugian yang besar bagi pemilik perusahaan. Hal yang kerat dihubungkan dengan masalah tegangan kedip adalah perangkat elektronika daya dan yang sering digunakan di perindustrian adalah *Variable Speed Drive (VSD)*. VSD sering sekali terganggu kinerjanya terhadap gangguan berupa tegangan kedip yang dimana dapat merusak komponen – komponen pada drive tersebut, akan tetapi sekarang ini para manufaktur VSD telah membuat solusi untuk masalah tegangan kedip untuk tegangan kedip yang ringan yang dimana masih rentan mengalami trip terhadap tegangan kedip yang berat. Maka dari itu, dibuatlah sebuah desain berupa perangkat *ride-through* untuk menanggulangi terjadinya trip terhadap tegangan kedip yang berat yaitu dengan menggunakan sumber daya cadangan eksternal tambahan berupa superkapasitor dan boost konverter sistem *close-loop* yang di koneksi pada saluran bus DC VSD dengan menggunakan aplikasi PSIM. Hal ini bertujuan untuk membuat sebuah desain VSD yang dapat mengkompensasi hilangnya daya saat terjadinya gangguan tegangan kedip yang berat dan menghindari terjadinya trip pada VSD untuk tegangan kedip yang berkategori berat. Dengan di lakukannya simulasi pada aplikasi PSIM didapatkan bahwa VSD dengan perangkat *ride-through* dapat mengkompensasi tegangan kedip lebih baik dibandingkan VSD tanpa perangkat *ride-through* dan dapat mempertahankan sistem VSD untuk tidak mengalami trip.

Kata Kunci—*Ride-Through*, Kompensasi, *Variable Speed Drive*, Tegangan Kedip, Boost Konverter, Superkapasitor, PSIM.

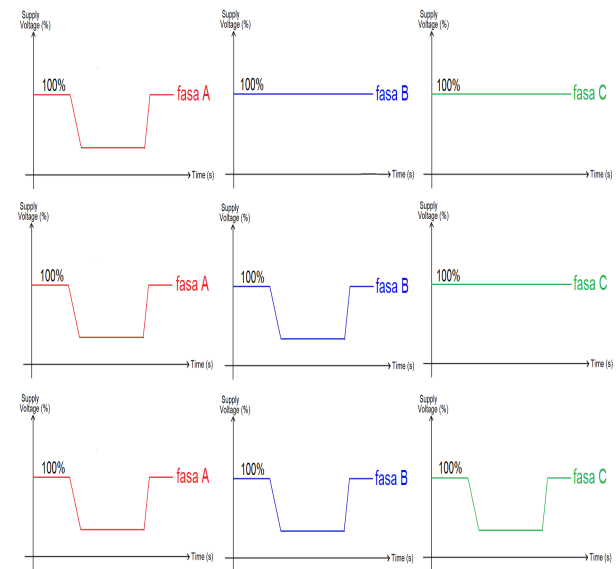
I. PENDAHULUAN

PADA zaman sekarang dengan semakin berkembangnya teknologi semakin besar pula permintaan kebutuhan akan teknologi itu sendiri. Oleh karena itu perkembangan teknologi khusus nya di sektor perindustrian semakin meningkat yang dapat diartikan bahwa kebutuhan akan alat seperti motor khususnya di industri pemerosesan. Terkait hal tersebut biasanya pada beban yang berupa motor sering digunakannya alat power elektronik seperti *variable speed drives (VSDs)* hal ini diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dari motor tersebut dan membantu menghemat pengoperasian dari motor.

Pada sistem tenaga listrik pastinya ada timbulnya gangguan seperti hubung singkat atau sistem tidak seimbang dan lainnya. Masalah yang sering terjadi dan umum adalah mengenai kedip tegangan atau *voltage sag* yang dimana tegangan menurun dari tegangan nominal/normalnya dengan waktu yang singkat. Gangguan dari *dip voltage* sangatlah mempengaruhi kinerja dari perangkat power elektronik

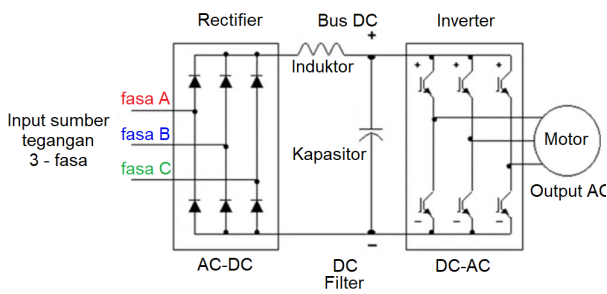


Gambar 1. Tegangan kedip.

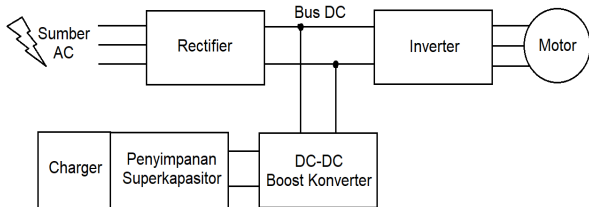


Gambar 2. Tegangan kedip terhadap 1-fasa, 2-fasa, dan 3-fasa.

terutama kinerja dari *Variable Speed Drive (VSD)*. Pada setiap alat power elektronik seperti VSD pada bus DC nya memiliki kemampuan untuk bertahan terhadap terjadinya gangguan seperti *power loss* hal ini biasanya disebut *ride-through capability* dan lamanya VSD dapat bertahan itu bergantung pada kapasitansi dari bus DC dan durasi gangguan yang terjadi [1]. Contohnya sebuah VSD memiliki ketahanan atau *ride-through* sekitar 20-30 ms, sedangkan gangguan *dip voltage* yang ringan terjadi dengan kisaran 20-30 ms dengan tegangan terendah 90% maka dari itu device bertahan dan melewati gangguan dan masih terus beroperasi dikarenakan kompensasi pada saat *ride-through* dapat terpenuhi [2]. Akan tetapi jika gangguan *dip voltage* sangat berat atau ber magnitude tinggi dan durasi yang lama maka VSD biasanya akan trip dan motor pun berhenti beroperasi karena VSD memiliki setting *undervoltage* untuk proteksi



Gambar 3. Topologi variable speed drive (VSD).



Gambar 4. Topologi mitigasi tegangan kedip dengan metode penyimpanan eksternal.

alat agar tidak rusak, jika tegangan pada bus DC dari VSD dibawah threshold tegangan yang tersetting karena tidak dapat mengkompensasi gangguan dip voltage pada saat ride-through, maka drive akan trip sehingga motor tidak dapat tersuplai [3].

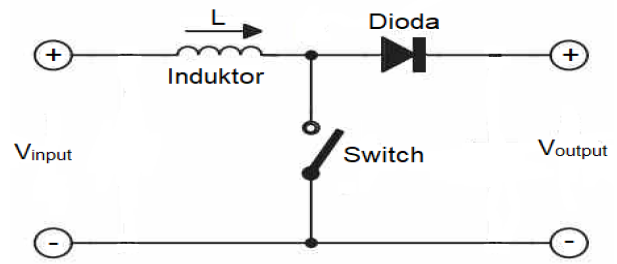
Maka dari itu pada perusahaan atau industri jika terjadi gangguan dip voltage yang berat maka VSD akan trip apalagi pada suatu sistem kelistrikan yang kritis sehingga motor berhenti bekerja menyebabkan kerugian produksi yang sangat besar. Oleh karena itu dibuatlah dilakukanlah sebuah penelitian tugas akhir berjudul “Desain Perangkat Ride-through Pada Bus DC Variable Speed Drive Untuk Menanggulangi Terjadinya Trip Pada Saat Timbulnya Gangguan Dip Tegangan Yang Berat”.

II. TINJAUAN PUSTAKA

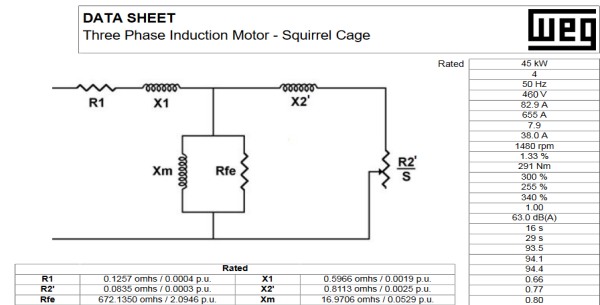
A. Tegangan Kedip

Tegangan kedip merupakan kejadian berkurangnya tegangan dari sumber tegangan penyuplai dan pada umumnya didefinisikan sebagai berkurangnya magnitudo tegangan rms. Tegangan kedip dikategorikan menurut besar dan durasi, biasanya bermagnitudo 0.1 p.u. hingga 0.9 p.u. dan berdurasi dengan jenjang dari 10 milisekon hingga paling lama 1 menit [4].

Pada Gambar 1 terlihat grafik dari terjadinya tegangan kedip. Penyebab utama tegangan kedip ditimbulkan dari ketidakstabilan dari sistem itu sendiri yang biasanya berawal dari gangguan – gangguan berupa sambaran petir, faktor dari luar seperti pohon jatuh, dan gangguan hewan. Dari gangguan – gangguan tersebut terjadilah hubung singkat, hubung singkat menghasilkan arus hubung singkat [5]. Arus hubung singkat tadilah yang menimbulkan drop tegangan. Jadi selama arus hubung singkat itu mengalir maka kedip tegangan akan terus berlangsung. Besar dari tegangan kedip itu sesuai dengan impedansi gangguan dan lokasi dari terjadinya gangguan dari sistem tersebut dan durasi dari kedip tegangan sesuai dengan bagusnya alat proteksi yang dimiliki



Gambar 5. Rangkaian boost converter.



Gambar 6. Parameter motor induksi.

sistem yaitu seberapa cepat mengatasi gangguan hubung singkat tersebut [3-4].

Pada tegangan kedip terutama pada sistem tiga fasa terbagi menjadi beberapa variasi tegangan kedip yang dihadapi VSD. Banyaknya variasi tegangan kedip berbeda – beda tergantung dari penelitiannya, tetapi pada umumnya klasifikasi tegangan kedip didasarkan dari perbedaan magnitudo, durasi, dan perubahan sudut fasanya. Variasi tegangan kedip menurut magnitudo adalah sebagai Gambar 2.

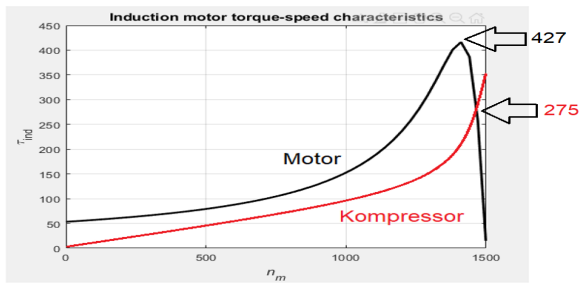
B. Dampak Tegangan Kedip Terhadap VSD

Efek dari terjadinya tegangan kedip terhadap VSD adalah yang pertama yang paling ingin diantisipasi dan ditanggulangi adalah terjadinya tripping pada VSD. Trip pada VSD pada umumnya terjadi dibagian bus dc dari VSD itu sendiri dimana merupakan penghubung antara rectifier dan inverter yang berfungsi menyimpan daya tegangan dc pada VSD. Sebelum meninjau efek dari tegangan kedip terhadap VSD, perlu diketahui terlebih dahulu apa itu VSD atau variable speed drive dari fungsi dan skema penyusun dari VSD itu sendiri.

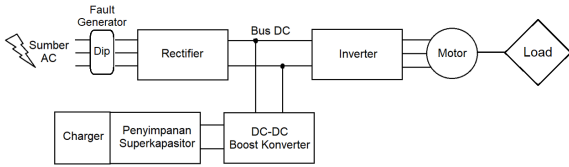
Dapat terlihat pada Gambar 3, bagian bus dc merupakan tempat dimana biasanya dipasang pemutus arus atau fuse sehingga bagian tersebut tempat yang rawan terjadinya trip terhadap gangguan tegangan kedip sehingga bagian yang ditinjau saat gangguan terjadi adalah bagian bus dc VSD yaitu tegangan dan arus dari bus dc.

1) Dampak Tegangan Kedip Asimetri

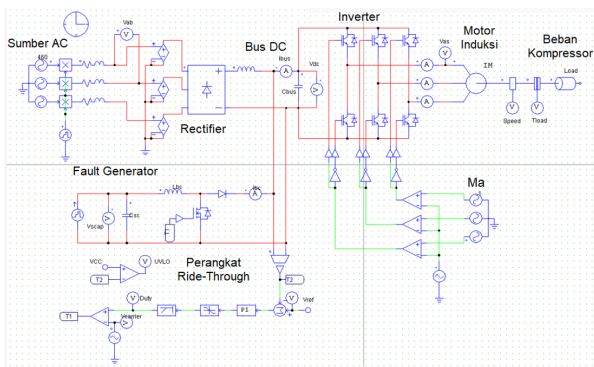
Efek yang disebabkan oleh tegangan kedip yang tidak seimbang adalah tegangan kedip variasi pertama dan tegangan kedip variasi kedua. Pada tegangan kedip variasi pertama dengan penurunan tegangan pada salah satu fasanya menyebabkan efek pada VSD berupa berubahnya kinerja dari dioda pada rectifier yang terkena efek tegangan kedip dimana dioda tidak akan mengalirkan arus untuk mengisi kapasitor melainkan akan discharging sehingga rectifier pada bus DC tidak bekerja secara tiga fasa lagi. Discharging dari kapasitor tersebut menyebabkan



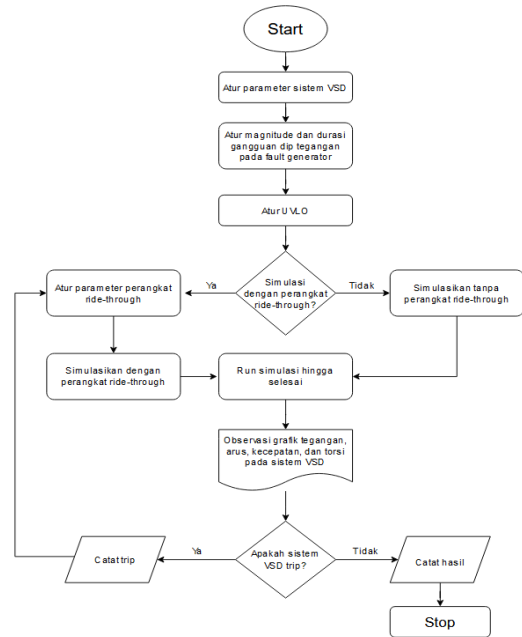
Gambar 7. Kurva torque-speed terhadap beban compressor.



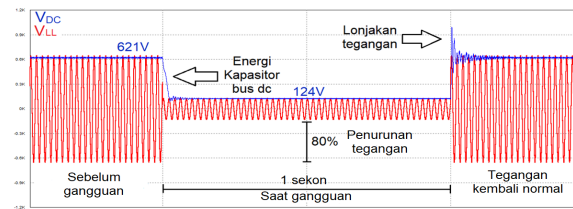
Gambar 8. Blok diagram VSD dengan perangkat ride-through.



Gambar 9. Rangkaian VSD dengan perangkat ride-through pada PSIM.



Gambar 10. Flowchart urutan pelaksanaan simulasi.



Gambar 11. Tegangan line to line sumber (V_{LL}) dan tegangan bus dc (V_{DC}).

2) Dampak Tegangan Kedip Simetri

Efek yang disebabkan oleh tegangan kedip yang seimbang adalah tegangan kedip variasi ketiga yaitu penurunan tegangan pada ketiga fasa gelombangnya. Tegangan kedip variasi ini memiliki penurunan tegangan yang sangat tinggi dikarenakan seluruh fasa dari gelombang mengalami penurunan dan dioda dari ketiga fasa akan reverse bias menyebabkan tidak adanya pengisian atau charging pada kapasitor pada bus DC sehingga hal ini sangat mengganggu VSD dan menimbulkan terjadinya trip pada VSD dikarenakan kekurangan tegangan atau tegangan berada dibawah threshold VSD untuk beroperasi [2-3], [6].

C. Komponen Penyusun Peralatan Mitigasi Tegangan Kedip

Salah satu yang diusulkan pada penelitian tugas akhir ini adalah dengan membuat alat mitigasi berupa sumber daya cadangan berisikan superkapasitor yang dikoneksikan pada bus dc VSD dengan menggunakan boost konverter. Alat mitigasi ini disebut perangkat ride-through. Perangkat ride-through memberikan dampak penanggulangan berupa kompensasi penurunan tegangan bus dc pada VSD sehingga ketika gangguan tegangan kedip terjadi alat mitigasi ini dapat memitigasi terjadinya undervoltage atau trip pada sistem.

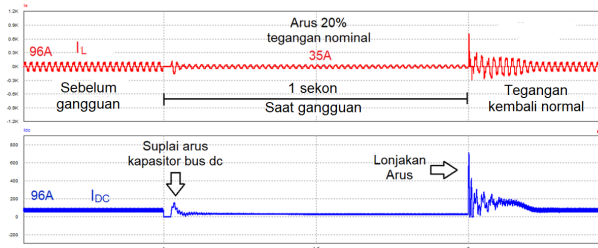
Seperti terlihat pada Gambar 4, penyimpanan eksternal menggunakan superkapasitor sebagai sumber energinya. Penggunaan superkapasitor merupakan opsi terbaik dikarenakan memiliki beberapa keunggulan yang dianggap lebih menguntungkan yaitu memiliki kerapatan daya lebih

tinggi, pengisian lebih pendek, dan siklus hidup dan umur simpan yang lebih lama dibandingkan baterai, karakteristik gangguan tegangan kedip yang singkat lebih cocok dengan pengisian superkapasitor, dan sekarang ini harga superkapasitor pun mulai menurun tiap tahunnya sehingga dapat memungkinkan penggunaan superkapasitor dengan kuantitas yang lebih besar.

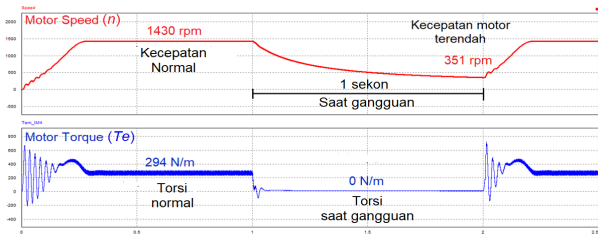
Pada penyambungan penyimpanan superkapasitor ke saluran bus dc VSD terdapat dua opsi yaitu penyambungan secara langsung dengan menggunakan dioda sebagai pemblokir tegangan antara penyimpanan superkapasitor dan saluran bus dc. Opsi kedua adalah menggunakan perangkat step-up tegangan atau biasa disebut boost konverter. Penggunaan boost konverter merupakan opsi yang lebih direkomendasikan dikarenakan penggunaan superkapasitor yang lebih dikit dibandingkan dengan penyambungan secara langsung. Hal ini dikarenakan tegangan pada penyimpanan superkapasitor akan di step-up sehingga membutuhkan tegangan yang lebih kecil dari tegangan yang diperlukan bus dc. Metode ini sangat ramah biaya dibandingkan dengan cara dihubungkan secara langsung dimana memerlukan tegangan superkapasitor mendekati tegangan bus dc alhasil membutuhkan superkapasitor lebih banyak.

D. Topologi Boost Konverter

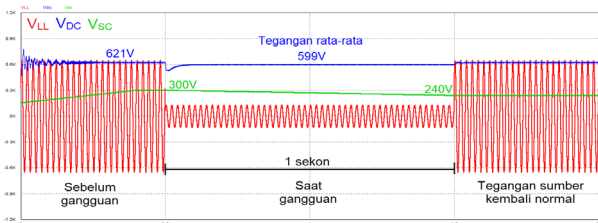
Boost konverter adalah salah satu dari sekian banyak jenis konverter DC ke DC. Boost konverter telah dikenal selama bertahun-tahun dan diterapkan pada berbagai banyak kebutuhan di perindustrian, yang biasa digunakan dalam



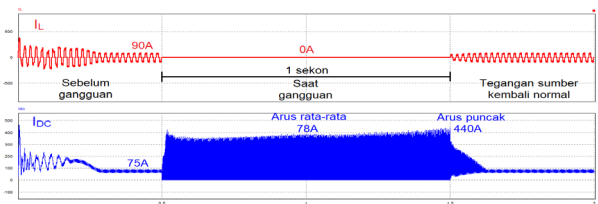
Gambar 12. Arus line sumber (I_L) dan arus bus dc (I_{DC}).



Gambar 13. Kecepatan (n) dan torsi elektrik motor (T_e).



Gambar 14. Tegangan bus dc (V_{DC}) dan tegangan superkapasitor (V_{sc}).



Gambar 15. Arus line sumber (I_L) dan arus bus dc (I_{DC}) dengan perangkat ride-through.

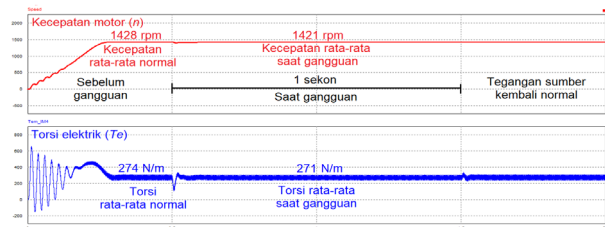
sistem loop terbuka untuk menaikkan level tegangan. Rangkaian Boost converter mampu memberikan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan masukan. Dengan mengatur set point dari *duty cycle*, kita dapat menentukan besarnya tegangan keluaran yang diinginkan pada beban statis.

Dapat terlihat pada Gambar 5 sebagai acuan, prinsip kerja boost converter adalah terletak pada kinerja induktor untuk menyimpan energi berupa medan elektromagnetik. Ketika switch menutup dioda akan reverse bias dimana akan memblokir arus menuju output, maka arus akan mengalir mengisi induktor dan menyimpan energi elektromagnetik. Ketika switch dibuka, maka dioda akan forward bias mengalirkan arus menuju output dengan tegangan yang lebih besar sehingga tegangan output meningkat menyesuaikan tegangan input boost converter ditambah energi yang tersimpan pada induktor.

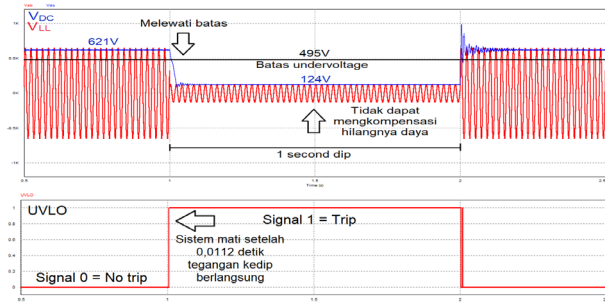
III. PERANCANGAN DAN SIZING SISTEM VSD

A. Data Spesifikasi VSD dan Gangguan Tegangan Kedip

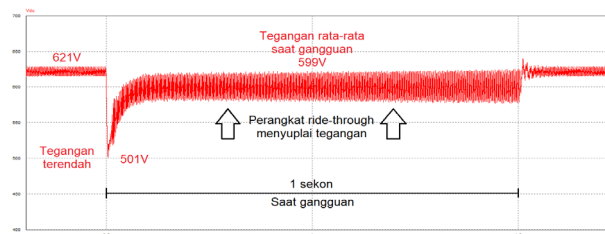
Pada pengumpulan data terdapat dua bagian data yang diperlukan yang pertama adalah data spesifikasi alat yaitu data Variable Speed Drive dan motor induksi berupa data



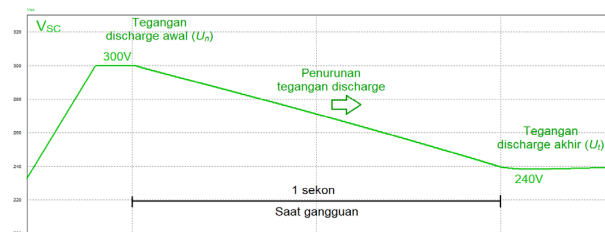
Gambar 16. Kecepatan (n) dan torsi elektrik (T_e) motor dengan perangkat ride-through.



Gambar 17. Analisa trip VSD tanpa perangkat ride-through.



Gambar 18. Grafik tegangan bus dc (V_{DC}).



Gambar 19. Grafik discharge tegangan superkapasitor (V_{sc}).

input tegangan, daya, dan lainnya yang didapat dari datasheet dan kemudian data kedua yang diperlukan adalah data tegangan kedip yang akan di implementasikan dan di simulasikan pada PSIM.

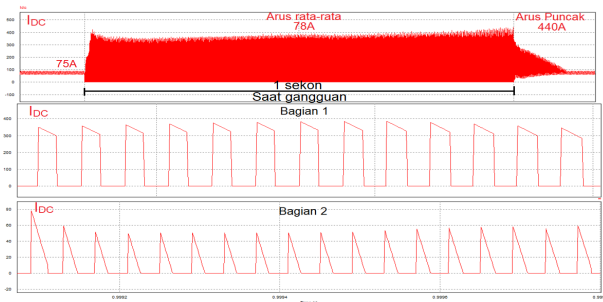
VSD bertipe ABB ACS850-04-035A-2 dengan berkemampuan 45 kW (60 HP) dengan nominal tegangan input 460 volt AC dan memiliki kapasitansi dc bus sebesar 2000 μ F.

Pada motor induksi 3-fasa digunakan sebuah motor bermanufacturkan WEG. Data berupa parameter dan datasheet dari motor induksi mengikuti sesuai dengan data yang didapat pada Gambar 6 sebagai.

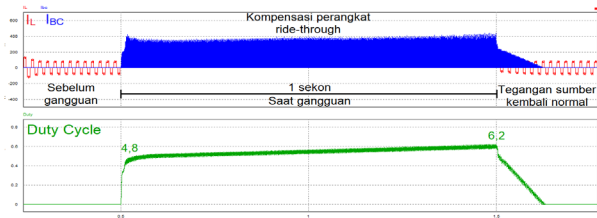
Pengambilan data tegangan kedip didapatkan atau diperoleh dari Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (*Grid Code*) PLN yaitu tegangan kedip bermagnitudo sebesar 0.8 p.u. yang dapat diartikan penurunan tegangan sebesar 80% dari tegangan nominalnya.

B. Sizing Parameter Sistem VSD

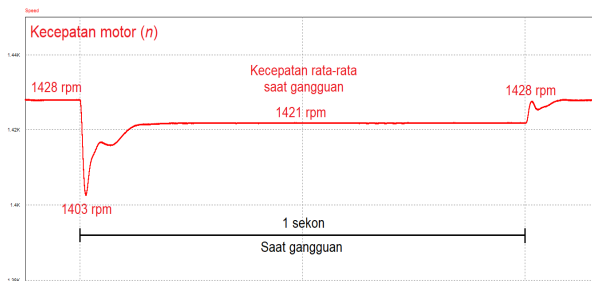
Pada simulasi gangguan tegangan kedip pada Variable Speed Drive, beban motor yang diberikan adalah beban berupa kompressor, sehingga torsi bebannya tidak konstan.



Gambar 20. Grafik arus bus DC VSD (I_{DC}).



Gambar 21. Grafik perbandingan arus line sumber (I_L) dan arus suplai boost konverter (I_{BC}) dan suplai duty cycle (D).



Gambar 22. Grafik kecepatan motor (n).

Dalam simulasi VSD, beban full load berkapasitas 60HP atau 45kW dan berikut perhitungan nilai torsi beban 60HP menggunakan persamaan berikut:

$$T_{Load} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_m}{n} \tag{1}$$

Dimana,

- T_{Load} = Torsi Beban (N/m)
- P_m = Kapasitas daya motor (W)
- N = Kecepatan motor (rpm)

$$\omega_m = \frac{2 \times \pi \times n}{60s} \tag{2}$$

Dimana,

- ω_m = Kecepatan sudut (rad/s)
- n = Kecepatan motor (rpm)

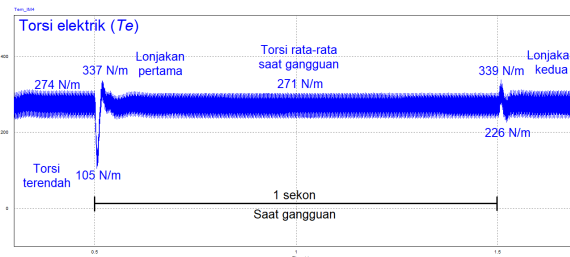
$$T_{load} = K \times \omega_m^2 \tag{3}$$

Dimana,

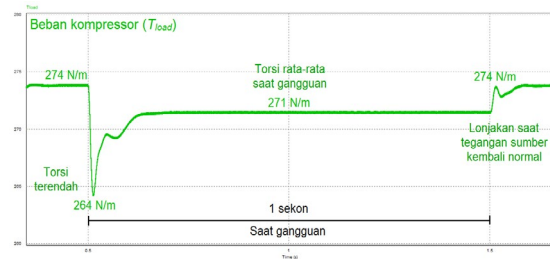
- T_{Load} = Torsi Beban (N/m)
- ω_m = Kecepatan sudut (rad/s)
- K = Koefisiensi beban kompresor

Setelah didapatkan nilai koefisiensi beban kompresor, selanjutnya adalah membuat plot kurva relasi torsi dan speed terhadap beban kompresor yang didapat. Hal ini bertujuan untuk menentukan titik potong torsi motor dan torsi beban kompresor yang dimana merupakan titik operasi motor dan didapatkan hasil plot kurva pada Gambar 7.

Pada sizing superkapasitor dilakukan sesuai hukum kekekalan energi. Berikut adalah persamaan untuk mencari nilai kapasitansi superkapasitor:



Gambar 23. Grafik torsi elektrik motor (T_e).



Gambar 24. Grafik beban kompresor (T_{Load}).



Gambar 25. Lonjakan atau surge pada grafik kecepatan motor, kompresor, dan torsi motor.

$$W_{SC} = \frac{1}{2} C_{SC} (U_n^2 - U_t^2) \tag{4}$$

Dimana,

- W_{SC} = Energi yang di discharge superkapasitor (J)
- U_n = Tegangan awal discharge superkapasitor (V)
- U_t = Tegangan akhir discharge superkapasitor (V)
- C_{SC} = Kapasitansi superkapasitor pada perangkat ride-through (F)

Pada sisi motor, konsumsi energi yang diperlukan pada saat gangguan tegangan kedip adalah sesuai persamaan berikut:

$$W_m = P_{Load} \times t \tag{5}$$

Dimana,

- W_m = Konsumsi energi beban motor (J)
- P_{Load} = Daya yang diperlukan motor untuk menggerakkan beban (W)
- t = durasi dari tegangan kedip (s)

Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka dapat diartikan bahwa energi yang di discharge superkapasitor pada bus dc (V_{DC}) adalah sama dengan energi yang dikonsumsi oleh beban motor, maka didapat persamaan:

$$W_m = W_{SC} \tag{6}$$

Dari perhitungan didapatkan energi yang dibutuhkan superkapasitor (W_{SC}) pada bus dc VSD (V_{DC}) untuk menjalankan beban 60HP selama 1 detik adalah sebesar 45,000 Joule.

Dengan tegangan sumber (V_{RMS}) 460V maka tegangan bus dc (V_{DC}) adalah 620V dengan adanya beban, dikarenakan perangkat ride-through menggunakan boost konverter maka

tegangan superkapasitor harus lebih kecil dari tegangan bus dc ($V_{sc} < V_{dc}$) untuk menghindari gangguan kinerja discharge superkapasitor.

Tegangan kedip dengan penurunan daya sebesar 80% tegangan nominal yaitu didapat kehilangan tegangan sekitar 496V dengan adanya boost konverter maka dari itu tegangan awal discharge superkapasitor (U_n) akan di set sebesar 300V dengan penurunan tegangan akhir discharge (U_i) sebesar 80% tegangan discharge awal superkapsitor. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan energi yang di discharge perangkat ride-through. Dari perhitungan didapatkan kapasitansi superkapasitor sebesar 2,77 farad dengan tegangan 300V.

C. Perancangan Rangkaian VSD Pada PSIM

Pertama membuat skema blok diagram dari Variable Speed Drive (VSD) dengan perangkat ride-through dari berbagai referensi yang telah di dapat. Hal ini dilakukan untuk memudahkan rencana dalam menyimulasikan sistem VSD pada aplikasi PSIM. Gambar 8 adalah skema yang digunakan untuk menanggulangi gangguan tegangan kedip pada VSD.

Setelah itu, melakukan perancangan Variable Speed Drive dengan perangkat ride-through beserta komponen – komponen yang akan digunakan untuk merancang sistem VSD dengan perangkat ride-through pada aplikasi PSIM sesuai skema yang telah dikemukakan.

Pada rangkaian yang terlihat pada Gambar 9, tegangan sumber menyuplai tegangan ke rectifier 3-fasa, dari rectifier dihasilkan tegangan dc yang disalurkan ke bus dc (V_{DC}). Pada bus dc terdapat induktor (L_{bus}) dan kapasitor (C_{bus}) yang berguna sebagai filter. Dari bus dc, tegangan diteruskan ke inverter 3-fasa yang dikendalikan dengan metode PWM dan diubah menjadi tegangan AC untuk menyuplai motor. Pada rangkaian terdapat komponen tambahan berupa fault generator berfungsi untuk memunculkan gangguan tegangan kedip dan sebuah perangkat ride-through komponen utama untuk menanggulangi trip saat terjadinya gangguan tegangan kedip.

D. Simulasi Gangguan Tegangan Kedip Pada VSD di PSIM

Pengaturan kapasitas pada simulasi menggunakan kapasitas maksimum VSD. Pada simulasi diperlukan kinerja penuh dari VSD yang dimana berkapasitas 60HP atau 45kW dan akan diaplikasikan dengan beban penuh yaitu 100% load. Hal ini bertujuan untuk menguji skenario terburuk dari sistem VSD ketika terjadi gangguan tegangan kedip yang berat.

Dalam menentukan batasan nilai dari trip pada kinerja VSD diambil suatu tolak ukur bahwa trip pada VSD berkisar pada tegangan nominal antara 80% hingga 70% untuk tegangan kedip 3-fasa dan bahwa VSD akan masih bertahan pada keadaan beban ringan berlebih dengan arus dc dibawah 110-120% arus rated nya dan tegangan bus 80-90% diatas tegangan rated nya [7]. Maka diambil tegangan sebesar 80% tegangan nominal sebagai batas trip yaitu sebagai berikut:

$$UVLO = (V_{DC} \times 80\%) - 1 \quad (7)$$

$$V_{DC} = V_{RMS} \times \sqrt{2} \quad (8)$$

Dimana,

UVLO = Tegangan undervoltage atau trip (V)

VDC = Tegangan bus dc VSD (V)

VRMS = Tegangan rms sumber suplai (V)

Sehingga didapatkan sistem akan trip saat tegangan bus (VDC) menyentuh tegangan 495V. Dalam melaksanakan simulasi pada Variable Speed Drive, dilakukan simulasi pada dua buah kondisi yang berbeda yaitu, VSD tanpa bantuan perangkat ride-through dan VSD dengan bantuan perangkat ride-through. Dalam simulasi gangguan tegangan kedip berkategori berat, tegangan kedip yang dimaksud adalah tegangan kedip dengan penurunan magnitudo yang besar dan berdurasi cukup lama, maka dipilihlah gangguan tegangan kedip dengan durasi 1 sekon, dimana pada beberapa penelitian beberapa jurnal, gangguan tegangan kedip yang berdurasi 1 detik keatas dan magnitudo mendekati 1 p.u. adalah tegangan kedip yang berat.

Dalam simulasi pertama-tama dilakukan simulasi pada VSD dengan tanpa adanya perangkat ride-through. Jika UVLO menunjukan angka 1 maka sistem dianggap trip, dan dilanjutkan dengan simulasi VSD dengan perangkat ride-through. Jika VSD masih mengalami trip maka dilakukan sizing ulang pada perangkat ride-through dan jika tidak terjadi trip pada sistem maka simulasi dihentikan. Adapun urutan pelaksanaan simulasi dapat dilihat pada flowchart yang telah dirancang pada Gambar 10.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA GRAFIK

A. Hasil Simulasi VSD pada PSIM

Pertama dilakukan simulasi terlebih dahulu pada Variable Speed Drive tanpa perangkat ride-through dengan diberikannya gangguan tegangan kedip sesuai magnitudo dan durasi yang telah disampaikan yaitu penurunan tegangan sebesar 80% dan durasi tegangan kedip selama 1 detik, didapatkanlah hasil pada Gambar 11.

Pada Gambar 11 terlihat grafik tegangan bus dc VSD (V_{DC}) berwarna biru dan tegangan line to line (V_{LL}) berwarna merah.

Pada Gambar 12 terlihat grafik arus line sumber (I_L) berwarna merah dan arus bus dc VSD (I_{DC}) berwarna biru. Pada Gambar 13 terlihat grafik kecepatan motor induksi 3-fasa (n) berwarna merah dan torsi elektrik motor induksi 3-fasa (T_e) berwarna biru.

Setelah dilakukan simulasi pada VSD tanpa perangkat ride-through lalu dilakukan lah simulasi dengan perangkat ride-through dengan penurunan tegangan yang sama dan durasi yang sama, didapatkanlah hasil pada Gambar 14. Pada Gambar 14 terlihat grafik tegangan bus dc VSD (V_{DC}) berwarna biru, tegangan line to line (V_{LL}) berwarna merah, dan tegangan superkapasitor perangkat ride-through (V_{sc}). Pada Gambar 15 terlihat grafik arus line sumber (I_L) berwarna merah dan arus bus dc VSD (I_{DC}) berwarna biru. Pada Gambar 16 terlihat grafik kecepatan motor induksi 3-fasa (n) berwarna merah dan torsi elektrik motor induksi 3-fasa (T_e) berwarna biru.

B. Analisa Grafik VSD Pada PSIM

Dalam simulasi dengan gangguan tegangan kedip pada VSD tanpa perangkat ride-through dengan durasi 1 detik, dilakukanlah analisa terhadap timbulnya gangguan tegangan kedip pada Gambar 17. Pada hasil simulasi gangguan tegangan kedip pada VSD tanpa perangkat ride-through berbeban 60HP dengan diberikannya penurunan tegangan

sebesar 80% dengan durasi gangguan selama 1 sekon, pada Gambar 17 didapatkan tegangan bus dc VSD (V_{DC}) menyentuh batas undervoltage dan hanya dapat bertahan selama 0,0112 detik. Energi dari kapasitor bus dc dan juga energi kinetik dari perputaran massa motor yang dimana dapat membantu hilangnya daya pada motor tidak dapat mengkompensasi penurunan tegangan yang diakibatkan gangguan kedip tersebut. Maka dapat diasumsikan bahwa VSD tanpa perangkat ride-through tidak dapat bertahan dibawah gangguan tegangan kedip.

Dalam simulasi dengan gangguan tegangan kedip pada VSD dengan perangkat ride-through dengan durasi 1 detik, dilakukanlah analisa terhadap timbulnya gangguan tegangan kedip pada Gambar 18.

Pada hasil simulasi gangguan tegangan kedip pada VSD dengan perangkat ride-through berbeban 60HP dan diberikannya penurunan tegangan sebesar 80% dengan durasi gangguan selama 1 sekon, pada Gambar 18 didapatkan tegangan bus dc VSD (V_{DC}) tidak menyentuh batas undervoltage selama gangguan tegangan kedip terjadi. Terlihat pada grafik tegangan terendah dari bus dc adalah 523V yaitu pada saat sistem perangkat ride-through mendeteksi penurunan tegangan akibat gangguan, lalu tegangan discharge dari superkapasitor menahan tegangan bus dc secara konstan dari 599V dimana hal tersebut masih jauh diatas batas UVLO yaitu 495V.

Pada penyimpanan superkapasitor perangkat ride-through terlihat pada Gambar 19 tegangan discharge superkapasitor (V_{SC}) mengalami penurunan tegangan dari 300V hingga ke 240V. Penurunan tersebut sesuai mendekati dengan kalkulasi tegangan menurut perhitungan dalam mencari kapasitansi superkapasitor (V_{SC}) yang diperlukan superkapasitor untuk mengkompensasi gangguan dengan beban motor sebesar 60HP.

Pada Gambar 20 arus bus dc (I_{DC}) terlihat bahwa saat gangguan tegangan kedip terjadi, terdapat peningkatan arus yang berasal dari discharge superkapasitor (V_{SC}) perangkat ride-through saat gangguan terjadi dimana memiliki arus puncak sebesar 440 ampere. Terlihat juga pada arus induktor boost konverter bekerja secara *Continuous Conduction Mode* (CCM) dan *Discontinuos Conduction Mode* (DCM). Hal ini dikarenakan penurunan tegangan pada bus dc VSD, dimana pada saat arus puncak ripple induktor boost konverter lebih besar dari arus bus DC maka arus akan menyentuh nilai 0 saat menginduksi (bagian 2), dan sebaliknya pada saat arus puncak ripple induktor boost konverter lebih kecil dari arus bus DC maka arus dioda selalu positif dan tidak akan menyentuh nilai 0 pada mode (Bagian 1).

Pada Gambar 21 arus sumber (I_L) dioda rectifier menutup arus dari sumber disaat gangguan tegangan kedip terjadi bersamaan dengan menyuplainya arus dari boost konverter (I_{BC}). Saat tegangan kedip terjadi arus boost konverter yang awalnya memiliki nilai 0A menyuplai dengan arus rata-arat 78A. Terlihat juga pada boost konverter, ketika terjadi gangguan duty cycle memiliki rentang nilai berbeda menyesuaikan input tegangan suplai superkapasitor perangkat ride-through untuk menyuplai tegangan secara konstan pada bus DC VSD (V_{DC}). Hal ini dapat dipastikan boost konverter bekerja disaat terjadi penurunan tegangan pada bus dc.

Pada Gambar 22 kecepatan motor (n) mengalami penurunan pada awal terjadinya gangguan tegangan kedip dimana terlihat pada grafik menurun ke angka 1403 rpm, setelah itu kecepatan kembali stabil dan konstan pada kecepatan rata-rata 1421 rpm. Pada akhir gangguan ketika tegangan kembali normal kecepatan pun kembali melonjak ke nilai 1428 rpm dan kemudian kembali ke kecepatan normal operasi.

Pada Gambar 23 torsi elektrik motor (T_e), terlihat pada grafik bahwa torsi terendah saat terjadinya gangguan, torsi motor berada di nilai 105 N/m dan ketika perangkat ride-through menyuplai, torsi motor meningkat dengan torsi puncak sebesar 337 N/m. Setelah itu torsi menurun dan konstan dengan rata-rata sebesar 271 N/m selama gangguan terjadi. Pada akhir gangguan saat tegangan kembali normal, torsi motor mengalami lonjakan dengan kenaikan torsi sebesar 339 N/m dan kembali beroperasi secara normal.

Kemudian pada Gambar 24 beban berupa kompressor (T_{Load}), Terlihat pada grafik mengalami penurunan pada awal dan akhir terjadinya gangguan. Pada awal gangguan saat perangkat ride-through hendak menyuplai beban turun ke nilai 264 N/m dan kembali konstan dengan torsi beban rata-rata sebesar 271 N/m, kemudian mengalami lonjakan kembali pada akhir gangguan ketika tegangan sumber kembali normal dimana terdapat kenaikan torsi beban ke 274 N/m, lalu kembali beroperasi secara normal. Grafik dari torsi beban kompressor berikut memiliki kesamaan pola dengan grafik dari kecepatan motor. Hal ini dapat diasumsikan bahwa kecepatan dari motor mempengaruhi kinerja dari kompressor. Terlihat pada Gambar 25 pada awal dan akhir terjadinya gangguan tegangan kedip, kecepatan dan torsi motor terdapat lonjakan yang dimana hal ini dapat mempengaruhi proses kinerja dari kompressor yang dimana memiliki kerentanan yang sangat sensitif terhadap kedip tegangan.

Hal yang mempengaruhi kompressor yaitu timbulnya lonjakan pada saat awal terjadinya gangguan dan lonjakan pada saat sistem kembali normal. Hal ini disebut "Surge" pada sistem yang melingkupi beban berupa kompressor yang dimana merupakan suatu fenomena ketidakstabilan yang berbahaya. Menurut jurnal penelitian beberapa jurnal, jika gangguan kedip tegangan yang berat terjadi secara terus menerus yang dimana menimbulkan lonjakan atau *surge* maka hal tersebut dapat merusak kompressor dengan parah hingga dapat shutdown keseluruhan [8].

V. KESIMPULAN

Pada tugas akhir ini yang berjudul "Desain Perangkat Ride-Through Pada Bus Dc Variable Speed Drive (VSD) Untuk Menanggulangi Terjadinya Trip Pada Saat Terjadinya Gangguan Dip Tegangan Yang Berat" dilakukanlah simulasi pada Variable Speed Drive (VSD) tanpa perangkat ride-through dan VSD yang telah di desain dengan perangkat ride-through yang diberikan beban 60HP dengan gangguan tegangan kedip bermagnitudo 0.8 p.u. atau 80% dari tegangan nominal dan durasi 1 detik pada aplikasi PSIM ver. 9.0 didapatkan kesimpulan sebagai berikut: (1) Simulasi VSD tanpa bantuan perangkat ride-through tidak dapat mengkompensasi hilangnya daya pada bus dc dan tegangan VSD menyentuh batas trip, dimana VSD hanya bertahan

selama 0,0112 detik saja ketika berada dibawah gangguan tegangan kedip yang berat. (2) Simulasi VSD dengan bantuan perangkat ride-through dengan superkapasitor berkapasitansi total 2,77 Farad dapat mengkompensasi hilangnya daya pada bus dc selama 1 detik gangguan dip tegangan, dan tegangan bus dc VSD bertahan secara konstan dengan tegangan rata-rata 599V, dimana perangkat ride-through dapat mengkompensasi hilangnya daya pada bus dc VSD, sehingga sistem VSD tidak mengalami trip ketika berada dibawah gangguan tegangan kedip yang berat. (3) Arus induktor beroperasi dengan mode CCM dan DCM saat menyuplai tegangan secara konstan pada bus dc VSD. Boost konverter bekerja secara CCM ketika penurunan tegangan VDC pada bus menyentuh titik terendah dimana energi yang dibutuhkan lebih besar untuk mencapai tegangan referensi, dan sebaliknya boost konverter bekerja secara DCM ketika penurunan tegangan VDC mendekati titik tegangan referensi dimana energi yang dibutuhkan lebih kecil untuk mencapai tegangan referensi. (4) Perangkat ride-through sangat diperlukan pada sistem yang memiliki beban berupa kompressor dimana kompressor memiliki kerentanan yang sangat sensitif terhadap gangguan berupa tegangan kedip yang berat yang dimana diakibatkan timbulnya lonjakan atau Surge saat awal terjadinya gangguan ketika superkapasitor menyuplai tegangan dan saat tegangan kembali normal. Hal ini mengganggu proses kompressor saat beroperasi dan jika gangguan tegangan kedip terjadi berulang – ulang, hal ini berpotensi dapat merusak sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] É. M. Motoki, J. M. de C. Filho, P. M. da Silveira, N. B. Pereira, and P. V. G. de Souza, "Cost of industrial process shutdowns due to voltage sag and short interruption," *Energies*, vol. 14, no. 10, p. 2874, 2021, doi: 10.3390/en14102874.
- [2] D. J. Carnovale, J. Biternas, T. J. Dionise, and D. D. Shipp, "Design, Development, and Testing of A Voltage Ride-thru Solution for Variable Speed Drives in Oil Field Applications," in *2007 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference*, 2007, pp. 1–7. doi: 10.1109/PCICON.2007.4365775.
- [3] D. R. Almeida and J. C. Cebrian, "Effects of Voltage Sags on Industrial Processes: Case Study," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2021, pp. 565–573.
- [4] R. L. Narayanan, "Behaviour of Variable Speed Drives Under the Influence of Voltage Sags," School of Electrical, Computer and Telecommunications Engineering, University of Wollongong, 1999.
- [5] Y. Han, Y. Feng, P. Yang, L. Xu, Y. Xu, and F. Blaabjerg, "Cause, classification of voltage sag, and voltage sag emulators and applications: A comprehensive overview," *IEEE Access*, vol. 8, no. 1, pp. 1922–1934, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2958965.
- [6] S. Hardi, R. Harahap, S. Ahmad, and M. Isa, "Ride through testing of variable speed drive due to voltage sag types (Types I, II and III)," *Int J Pow Elec Dri Syst ISSN*, vol. 2088, no. 8694, p. 8694, 2019.
- [7] Q. Han, K. Zhu, W. Shi, K. Wu, and K. Chen, "Research on the Supercapacitor Support Schemes for LVRT of Variable-Frequency Drive in the Thermal Power Plant," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 121, no. 4, p. 42021. doi: 10.1088/1755-1315/121/4/042021.
- [8] P. Lipnicki, D. Lewandowski, A. Kaczmarek Michałand Cortinovic, and D. Pareschi, "Voltage Dips Influence on Time to Surge in Compressor Application," in *Advanced Solutions in Diagnostics and fault Tolerant control*, 2018, pp. 347–356. doi: 10.1007/978-3-319-64474-5_29.