

APLIKASI KONTROL PROPOTIONAL INTEGRAL (PI) PADA SISTEM DYNAMIC VOLTAGE RESTORER

Reza Istoni^{1*}, Nur Alam², Wibby Aldryani Astuti P³

¹Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada,

²Jurusan Elektronika Industri, Politeknik Negeri Jakarta,

³Jurusan Elektro Fakultas Teknik, Universitas Pertahanan,

Jl. Taman Malaka Selatan No.22, Pondok Kelapa, Duren Sawit, DKI Jakarta, Indonesia 13450

*Koresponden: reza.istoni@mail.ru

Abstrak

Penyebab masalah kualitas daya adalah ketidakstabilan (tegangan, arus, dan frekuensi). Penurunan tegangan dan pembengkakan tegangan adalah gangguan tegangan yang umum terjadi. Mereka disebabkan oleh kesalahan, gangguan yang timbul dalam sistem transmisi, dll. Makalah ini membahas kompensasi ketidakstabilan tegangan dari beban sensitif linier oleh pemulih tegangan dinamis (DVR) menggunakan teori daya sesaat. Hasil praktikum diperoleh dengan menggunakan data oscilloscope yang memiliki data komunikasi data socket dan software LabVIEW. Desain dapat mengkompensasi tegangan sebesar $\pm 15,1\%$ dari nilai nominal untuk dua kondisi sag/swell. Selain itu, pengontrol yang dirancang meningkatkan respons overshoot kurang dari 110,1% pada waktu tunda kurang dari 0,21 detik.

Kata kunci: Dynamic Voltage Restorer (DVR), Teori daya sesaat, (Sag dan Swell), pengontrol PI, Kualitas Daya, Oscilloscope

Abstract

The causes of power quality problems are instability (voltage, current, and frequency). Voltage sag and swell are common voltage disturbances that occur. They are caused by errors, disturbances arising in the transmission system, etc. This paper discusses the compensation of voltage instability for sensitive linear loads by using a Dynamic Voltage Restorer (DVR) based on the Instantaneous Power Theory. Experimental results were obtained using oscilloscope data with socket data communication and LabVIEW software. The design can compensate for voltage up to $\pm 15.1\%$ of the nominal value for two sag/swell conditions. Moreover, the designed controller enhances the response overshoot to less than 110.1% with a delay time of less than 0.21 second.

Keywords: Dynamic Voltage Restorer (DVR), Instantaneous Power Theory, (Sag and Swell), PI Controller, Power Quality, Oscilloscope.

1. Pendahuluan

Sistem tenaga modern adalah jaringan tenaga yang kompleks dimana jaringan transmisi atau distribusi saling menghubungkan ratusan beban pembangkit [1]. Menyediakan catu daya yang andal dan berkualitas merupakan pekerjaan utama untuk pelanggan, tetapi produksi catu daya cukup stabil sementara kualitas daya bisa buruk di negara maju. Sistem catu daya yang baik yaitu tegangan sinusoidal yang stabil pada besaran dan frekuensi tegangan yang merupakan bagian energi yang berkelanjutan [2]. Masalah kualitas daya muncul dengan (voltage sage/swell, voltage unbalance, flicker, harmonik, masalah, dan interupsi). Sebagai akibat dari peralihan beban, start motor, gangguan, beban non-linier, petir, dll. Ini memiliki dampak yang baik pada beban berbasis mikroprosesor ataupun beban sensitif [3]. Kedip tegangan menurun pada level tegangan normal antara 10,1% dan 90,01% tegangan nominal (RMS) pada frekuensi kontrol, untuk periode 0,51 siklus hingga 1 menit. Peningkatan voltase RMS pada frekuensi daya untuk durasi dari 0,51 siklus hingga 1 menit yang menghasilkan nilai antara 1,1 dan 1,8 pu[4].

Berbagai jenis perangkat daya khusus digunakan untuk meningkatkan penurunan tegangan dan lonjakan pada beban, seperti transformator dengan tap changer, transformator

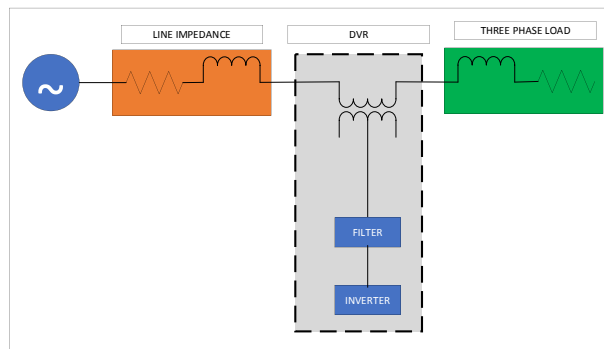
tegangan konstan (Ferro-resonant), penstabil tegangan yang dikendalikan servo, menghubungkan beban besar ke titik umum. Beberapa kelemahan dari metode ini adalah sakelar transfer statis dan salah satu bentuk mitigasi kedip tegangan. Instrumen ini akan memindahkan beban dari penyulang suplai biasa ke suplai alternatif dalam waktu setengah siklus setelah mengidentifikasi kedip tegangan [5].

2. Dynamic Voltage Restorer (DVR)

Selain itu ada teknik kompensasi lain, seperti (SVC, TCSC, STATCOM dan UPFC) [7]. Dynamic voltage restorer (DVR) adalah sistem FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems) yang mengkompensasi penurunan tegangan dan lonjakan sesaat tegangan yang terjadi pada saluran transmisi DVR digunakan untuk keselamatan beban kritis dari masalah berbasis tegangan dengan kualitas daya [6]. Dynamic voltage restorer adalah sirkuit yang terdiri dari dioda dan thyristor, yang merupakan perangkat elektronik daya. Perangkat DVR ini banyak digunakan karena ukurannya yang kecil dan layanan yang efektif. Mempertahankan level tegangan di saluran transmisi dalam batas yang ditentukan sangat penting karena kondisinya kelebihan beban yang akan menyebabkan semua komponen mati.

Dynamic Voltage Regulator (DVR) setara dengan TCSC. Meskipun keduanya digunakan untuk mengkompensasi penurunan tegangan seri, konsep pengoperasiannya berbeda. Tegangan seimbang dijalankan secara seri oleh kompensator seri sinkron statis. Perangkat DVR, di sisi lain, mengkompensasi tegangan suplai yang tidak seimbang antara fase [7]. Tegangan beban lebih rendah dari nilai nominal selama sag. Untuk memastikan tegangan yang stabil pada beban, DVR menginjeksikan tegangan yang sesuai ke dalam rangkaian (arah tegangan yang diinjeksi sama dengan arah tegangan beban) [8]. Tegangan beban lebih tinggi dari nilai nominal selama pembengkakan. DVR menginjeksikan tegangan yang dibutuhkan ke dalam sistem (arah tegangan yang diinjeksikan berlawanan dengan arah tegangan sumber) untuk mempertahankan tegangan yang stabil melalui beban [9].

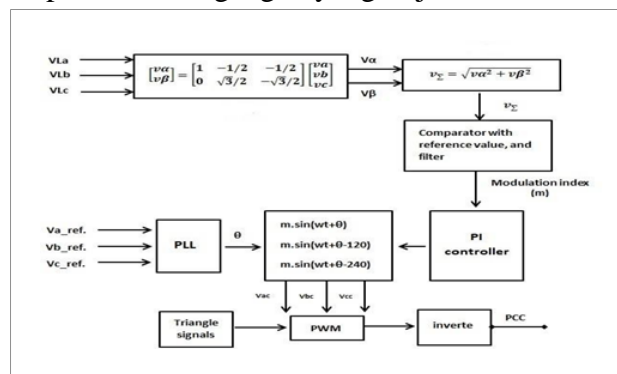
Teknik kompensasi dalam pemulih tegangan dinamis bergantung terutama pada faktor-faktor yang ditentukan, seperti peringkat daya DVR, kondisi beban yang berbeda, jenis kedip tegangan, dan lonjakan. Beberapa beban non-linier terhadap sudut langkah 1 hop, beberapa rentan terhadap perubahan besaran. Oleh karena itu, strategi pengendalian terutama mengandalkan bentuk karakteristik beban [10]. Ada tiga jenis metode DVR: beberapa rentan terhadap perubahan besaran. Oleh karena itu, strategi pengendalian terutama mengandalkan bentuk karakteristik beban [11]. Ada tiga jenis metode DVR: beberapa rentan terhadap perubahan besaran. Oleh karena itu, strategi pengendalian terutama mengandalkan bentuk karakteristik beban [11]. Ada tiga jenis metode DVR: beberapa rentan terhadap perubahan besaran. Oleh karena itu, strategi pengendalian terutama mengandalkan bentuk karakteristik beban [12]. Ada tiga jenis metode DVR: beberapa rentan terhadap perubahan besaran. Oleh karena itu, strategi pengendalian terutama mengandalkan bentuk karakteristik beban [1].



Gambar 1. Rangkaian DVR

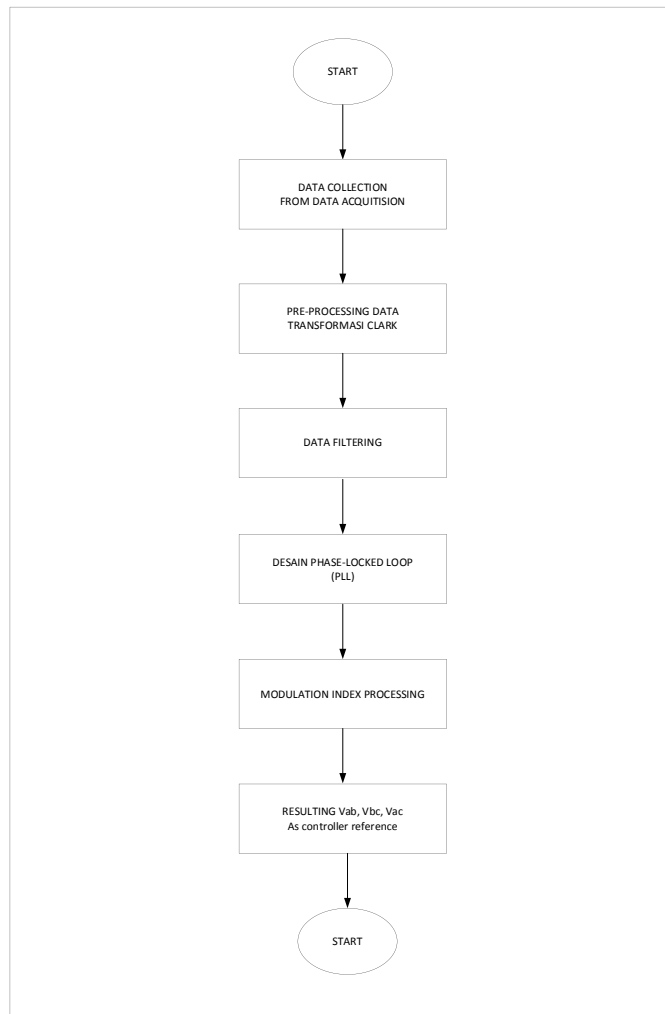
3. Perancangan Sistem Kontrol DVR

Stabilitator tegangan dinamis terdiri dari [13] : Inverter, Seri transformator/transformator injeksi, Filter, Sistem kontrol, dan energi storage(baterai). Berdasarkan kedip tegangan dalam literatur, beberapa penelitian telah disarankan untuk meningkatkan kualitas daya. Pada sistem kontrol DVR menggunakan logika neuro-fuzzy adaptif telah digunakan. Aturan fuzzy Takagi-Sugeno dilatih menggunakan sistem neuro-fuzzy off-line pada kontroler ini. Dalam teori DQ dalam DVR digunakan untuk mendeteksi (sag/swell) dengan sinusoidal pulse width modulation (SPWM) dan voltage supply inverter (VSI). Peneliti mempresentasikan DVR menggunakan modulasi vektor ruang tiga dimensi (3DSVM) dan memvalidasinya dengan simulasi dalam perangkat lunak PSCAD-EMTDC. Sedangkan penulis pada [14] menggunakan kontroler proporsional-integral (PI) untuk (DVR) untuk meningkatkan penurunan tegangan sag. Pada [15] digunakan sebagai STATCOM untuk menyempurnakan profil tegangan. Makalah ini mengusulkan pemulih tegangan dinamis (DVR) berdasarkan teori daya sesaat, dengan peningkatan PI yang membatasi untuk memperbaiki kondisi kedip/fluktuasi tegangan yang terjadi di sistem.



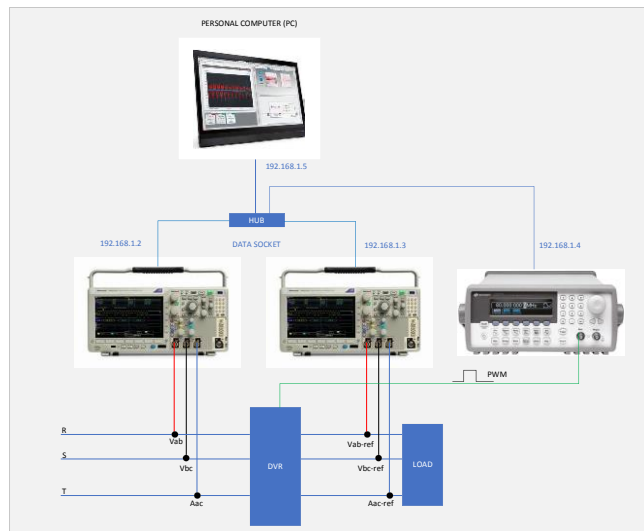
Gambar 2. Blok diagram system kontrol DVR

Dalam penelitian ini memiliki proses tahapan untuk mendapatkan hasil tegangan sebagai referensi untuk membentuk sinyal pwm inverter pada system PQ tegangan sumber 3 fasa di lakukan pre-prosesing data menggunakan transformasi clark untuk menentukan modulasi indeks, pada modulasi index merupakan nilai referensi/set nilai untuk control PI. Sedangkan dari sisi PLL didapatkan dari tegangan sumber referensi dari output inverter. Nilai PLL dna niali control dari PI dijadikan referensi controller untuk membentuk sinyal PWM untuk men-generate inverter. Dalam proses ini dilakukan dengan dianalisa dengan LabVIEW tahapan analisa dideskripsikan dengan flowchart dibawah..



Gambar 3. Flowchart pemograman

Model DVR terdiri dari sumber tiga fase yang merupakan perangkat yang dilengkapi rangkaian kerja dengan tegangan tiga fase yang diimbangi oleh perbedaan fase tetap antara fase 120 derajat, resistensi pada saluran transmisi, induktif pada saluran transmisi, beban tiga fasa, meter listrik tiga fasa, sakelar tiga fasa untuk menambah/menghilangkan beban pada beban scillosc, sensor tegangan, function generator, laptop. Model yang diusulkan diverifikasi dengan menerapkan teori (PQ) menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Hasilnya diperoleh secara real-time oleh oscilloscope. Diagram blok teori (PQ) untuk dynamic voltage restorer (DVR) di LabVIEW seperti gambar dibawah ini.

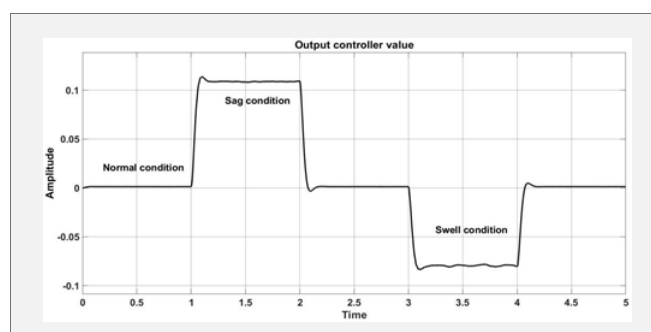


Gambar 4. Skematik Pengukuran

Nilai keluaran kontroler pada kondisi nominal, merupakan nilai yang dihasilkan dari perbandingan antara tegangan referensi dengan tegangan agregat mendekati nol, seperti terlihat pada Gambar 4. Dalam hal ini, nilai nominal diturunkan dengan persentase tertentu sehingga membuat kondisi menurun. Pada kasus ini, nilai unit kontrol output meningkat dari nilai nol untuk mencapai nilai tegangan yang disuntikkan itu bertindak sebagai kompensasi untuk nilai tegangan yang lebih rendah pada beban. Saat nilai nominal meningkat dengan persentase tertentu untuk membuat kondisi tegangan melonjak. Nilai output controller pada kondisi ini menurun dari nol untuk mencapai nilai tegangan injeksi berlawanan yang bertindak sebagai kompensasi nilai tegangan swell pada beban.

4. Pengujian dan Hasil Pembahasan

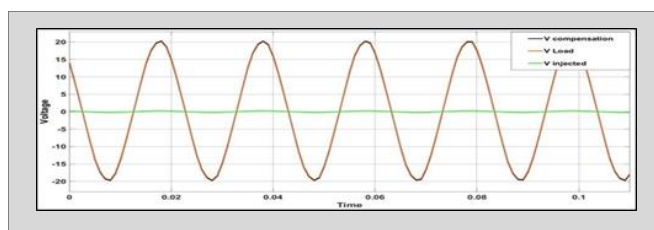
Pada kondisi normal rangkaian dilengkapi dengan catu daya tiga fasa dengan tegangan 20,102 V seperti pada Gambar 6.



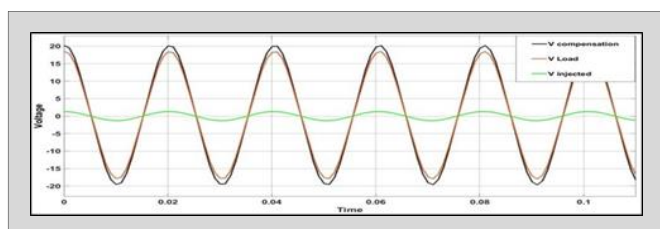
Gambar 5. Simulasi Pengontrolan

Gelombang injeksi yang diwakili oleh garis hijau sama dengan nol, artinya tidak ada injeksi. Pada kondisi menurun dalam hal ini, selama operasi normal, beban mendadak ditambahkan ke beban sensitif. Penurunan 12,65% pada tegangan di ujung beban menjadi 17,571V. Selama penyusutan sesaat ini, tegangan kompensasi akan disuntikkan dari inverter ditunjukkan pada Gambar 7. Gelombang sinus yang diwakili dalam garis merah adalah gelombang Sag. Juga, gelombang sinus diwakili dalam garis hijau adalah gelombang besarnya injeksi yang nilainya 2,01V. Terakhir, gelombang sinus yang direpresentasikan

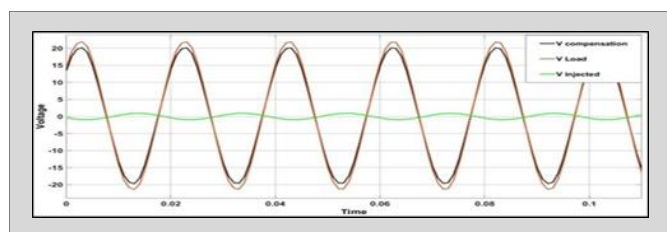
dengan warna hitam adalah jumlah gelombang Sag dan gelombang injeksi. Pada kondisi melonjak dalam hal ini secara tiba-tiba dari beban sensitif. Peningkatan 10.01% pada tegangan pada akhir beban ini menjadi 22,03 V. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, gelombang sinus yang direpresentasikan dengan warna merah adalah gelombang L. Gelombang sinus diwakili dalam warna hijau adalah gelombang injeksi, yang berlawanan dengan gelombang yang meningkat. Gelombang sinus diwakili dalam warna hitam adalah produk dari jumlah dari dua gelombang sebelumnya.



Gambar 6. Kondisi gelombang saat Normal



Gambar 7. Kondisi gelombang saat Sag



Gambar 7. Kondisi gelombang saat Swell

5. Kesimpulan

Penelitian ini menggambarkan performa dari perangkat Dynamic Voltage Restorer (DVR) dalam mengatasi penurunan dan lonjakan tegangan yang merupakan masalah umum kualitas daya yang mempengaruhi beban sensitif. Strategi pengendalian menggunakan teori PQ untuk mengatur injeksi dan kompensasi tegangan. Sistem mencapai tingkat kompensasi sebesar 10,1% (12,5% dari total nilai penurunan) untuk penurunan tegangan dan 8,01% (10,1% dari total nilai lonjakan) untuk pembengkakan tegangan. Rencana penelitian kedepan tentang tegangan yang dikompensasi untuk kondisi penurunan tegangan dan peningkatan pengendali dengan pendekatan adaptif, seperti sistem adaptif Neuro-Fuzz.

Daftar Pustaka

- [1] A. B. Mohammed, M. A. M. Ariff, and S. N. Ramli, "Power quality improvement using dynamic voltage restorer in electrical distribution system: An overview," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 17, no. 1. 2019. doi: 10.11591/ijeecs.v17.i1.pp86-93.

- [2] A. Iqbal, A. Ayoub, A. Waqar, A. Ul-Haq, M. Zahid, and S. Haider, "Voltage stability enhancement in grid-connected microgrid using enhanced dynamic voltage restorer (EDVR)," *AIMS Energy*, vol. 9, no. 1, 2021, doi: 10.3934/ENERGY.2021009.
- [3] M. Farhadi-Kangarlu, E. Babaei, and F. Blaabjerg, "A comprehensive review of dynamic voltage restorers," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 92, 2017. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.04.013.
- [4] M. H. Rizal, "Kualitas Daya Listrik Industri."
- [5] A. Dasgupta and P. Sensarma, "Voltage Sag Mitigation," 2017. doi: 10.1007/978-981-10-3831-0_5.
- [6] D. V. Tien, R. Gono, and Z. Leonowicz, "A multifunctional dynamic voltage restorer for power quality improvement," *Energies (Basel)*, vol. 11, no. 6, 2018, doi: 10.3390/en11061351.
- [7] A. V. Ital and S. A. Borakhade, "Compensation of voltage sags and swells by using Dynamic Voltage Restorer (DVR)," in *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016*, 2016. doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7754936.
- [8] S. K. Singh and S. K. Srivastava, "Enhancement in power quality using dynamic voltage restorer (DVR) in distribution network," in *Proceedings of 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems, ICIIECS 2017*, 2018. doi: 10.1109/ICIIECS.2017.8275918.
- [9] Y. K. Chen, X. Z. Qiu, Y. C. Wu, and C. C. Song, "Compensation of voltage sags and swells using dynamic voltage restorer based on bi-directional h-bridge ac/ac converter," *Processes*, vol. 9, no. 9, 2021, doi: 10.3390/pr9091541.
- [10] F. Muhammad, H. Rasheed, I. Ali, R. Alroobaea, and A. Binmahfoudh, "Design and Control of Modular Multilevel Converter for Voltage Sag Mitigation," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 5, 2022, doi: 10.3390/en15051681.
- [11] S. DaneshvarDehnavi, C. Negri, S. Bayne, and M. Giesselmann, "Dynamic Voltage Restorer (DVR) with a novel robust control strategy," *ISA Trans*, vol. 121, 2022, doi: 10.1016/j.isatra.2021.04.010.
- [12] S. T. Zahra, R. U. Khan, M. F. Ullah, B. Begum, and N. Anwar, "Simulation-based analysis of dynamic voltage restorer with sliding mode controller at optimal voltage for power quality enhancement in distribution system," *Electrical Engineering and Electromechanics*, vol. 2022, no. 1, 2022, doi: 10.20998/2074-272X.2022.1.09.
- [13] A. H. Soomro, A. S. Larik, M. A. Mahar, A. A. Sahito, A. M. Soomro, and G. S. Kaloi, "Dynamic Voltage Restorer—A comprehensive review," *Energy Reports*, vol. 7, 2021. doi: 10.1016/j.egy.2021.09.004.
- [14] A. Farooqi, M. M. Othman, M. A. M. Radzi, I. Musirin, S. Z. M. Noor, and I. Z. Abidin, "Dynamic voltage restorer (DVR) enhancement in power quality mitigation with an adverse impact of unsymmetrical faults," *Energy Reports*, vol. 8, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2021.11.147.
- [15] M. Y. Suliman, "Voltage profile enhancement in distribution network using static synchronous compensator STATCOM," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 10, no. 4, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i4.pp3367-3374.