

## SIMULASI DAN REKABENTUK PENUKAR KUASA BOOST DAN PENGESAN TITIK KUASA MAKSIMUM BAGI SISTEM PANEL SURIA

MUSTAFFA KAMAL MORAD\*, YUSHAIZAD YUSOF, MOHD HAIRI MOHD ZAMAN  
*Centre for Integrated Systems Engineering and Advanced Technologies (INTEGRA),  
Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia  
Bangi, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia  
\*mustboya@yahoo.com*

### ABSTRACT

The global electrical energy consumption is steadily rising and consequently there is a demand to increase the power generation capacity. A significant percentage of the required capacity increase can be based on renewable energy sources such as solar photovoltaic (PV), which plays an important part in our future energy supply. However, there are two major barriers for the use of PV systems which is low energy conversion efficiency and high initial cost. In order to improve the energy efficiency, it is important to work PV system always at its maximum power point (MPP) based on the specific voltage and current which can be achieved exclusively by using Maximum Power Point Tracking (MPPT). Electronic power converters will also used to increase the existing PV voltage in order to obtain high efficient PV power output. It then will be match based on the requirements and grid load demand. So far, many researches are conducted and many papers were published and suggested different methods for extracting maximum power point (MPP). The objective of this paper is to propose the simulation and design of Maximum Power Point Tracking (MPPT) using Perturb and Observe algorithm and Boost Converter with proportional integral (PI) controller. Simulation and design will be implemented in MATLAB / SIMULINK.

### ABSTRAK

Tahap penggunaan tenaga elektrik global kini semakin tinggi dan telah menyebabkan terdapat permintaan untuk meningkatkan kapasiti penjanaan kuasa. Sebahagian besar peratusan keperluan peningkatan kapasiti kuasa boleh berdasarkan kepada sumber tenaga boleh diperbaharui seperti solar photovoltaik (PV) yang memainkan peranan penting dalam konteks pembekalan tenaga pada masa hadapan. Walau bagaimanapun terdapat beberapa isu dalam penggunaan tenaga berasaskan kuasa PV iaitu tahap efisiensi penukaran tenaga yang rendah dan kos pemasangan permulaan yang tinggi. Bagi memperbaiki tahap efisiensi, kuasa sistem PV perlu dioperasikan pada titik kuasa maksimum (MPP) berdasarkan nilai voltan dan arus khusus yang mana dapat direalisasikan dengan penggunaan Pengesan Titik Kuasa Maksimum (MPPT). Penukar kuasa elektronik juga akan digunakan bagi meningkatkan nilai voltan PV sedia ada agar memperolehi kuasa keluaran PV yang lebih efisien. Ianya akan dipadankan dengan keperluan permintaan beban dan grid. Berdasarkan kajian sedia ada, terdapat pelbagai teknik algoritma yang digunakan dalam mengenalpasti titik kuasa maksimum (MPP). Objektif kajian ini adalah untuk mencadangkan simulasi dan reka bentuk Pengesan Titik Kuasa Maksimum (MPPT) menggunakan algoritma Perturb and Observe serta Penukar Kuasa Boost AT-AT secara kawalan kamiran-berkadar (PI). Simulasi dan rekabentuk akan dilaksanakan di dalam perisian MATLAB/SIMULINK.

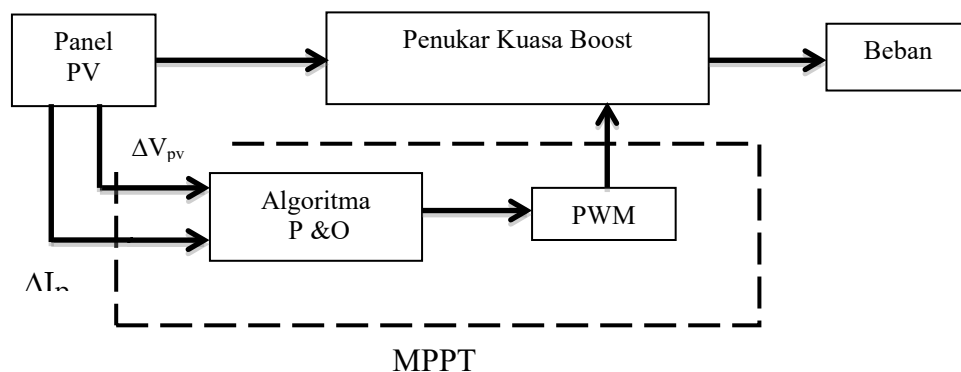
## LATAR BELAKANG KAJIAN

Berdasarkan sumber tenaga konvensional yang semakin berkurangan dan kos tenaga yang semakin meningkat, sumber tenaga photovoltaik (PV) berpotensi tinggi untuk dijadikan sebagai sumber alternatif. Antara kelebihanannya adalah sumber tenaga semulajadi yang berterusan dan tidak mengakibatkan pencemaran alam. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa kelemahan utama iaitu kos pemasangan permulaan yang agak tinggi dan tahap kecekapan penukaran tenaga adalah rendah. Bagi mengatasi masalah ini, terdapat dua kaedah utama yang boleh dilaksanakan iaitu meningkatkan tahap kecekapan penukaran tenaga dan memaksimumkan kuasa keluaran.

Sumber tenaga yang boleh diperbaharui seperti photovoltaic (PV) adalah diketahui tidak stabil dari segi lokasi, masa dan cuaca serta memerlukan kos pemasangan permulaan yang tinggi. Faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam meningkatkan tahap kecekapan sistem kuasa PV adalah dengan mengoperasikan sistem hampir kepada titik kuasa maksimum (MPP). Bagi mencapai kuasa maksimum yang dihasilkan oleh PV, teknik pengesanan titik kuasa maksimum (MPPT) digunakan. Posisi MPP tidak diketahui tetapi boleh dikesan dengan menggunakan algoritma MPPT dalam memperolehi kuasa dari tatasusunan PV. Oleh itu, kajian ini dilaksanakan untuk mereka bentuk pengesanan titik kuasa maksimum (MPPT) menggunakan algoritma Perturb and Observe serta Penukar Kuasa Boost secara kawalan kamiran-berkadar (PI) di dalam sistem PV.

## METODOLOGI

Setelah pengumpulan maklumat dan pemahaman mencukupi, kajian kepustakaan berkaitan enam teknik MPPT, pemilihan penukar kuasa, penyongsang dan kaedah kawalan telah disediakan untuk memberi pemahaman menyeluruh dengan mudah. Kajian kepustakaan ini merangkumi pengenalan kepada modul PV, teknik-teknik algoritma MPPT dan pemilihan penukar kuasa AT-AT. Bab ini akan membincangkan proses yang terlibat untuk penghasilan kajian secara keseluruhannya seperti yang dipaparkan dalam Rajah 1, dan pendekatan yang digunakan semasa proses tersebut. Proses pembangunan penyelidikan merangkumi prosedur, teknik, penghasilan gambarajah blok dan reka bentuk perisian untuk menghasilkan projek yang sempurna.

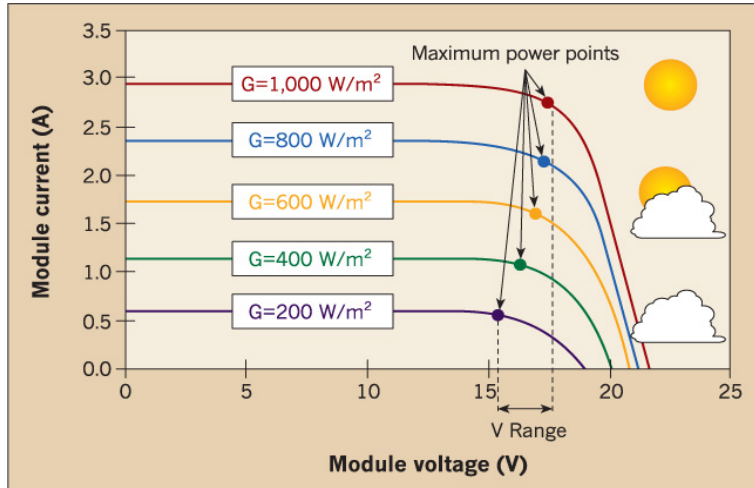


Rajah 1 Blok Rekabentuk Keseluruhan Sistem

## CIRI I-V BAGI PANEL PV

Terdapat pelbagai jenis panel PV di pasaran tetapi panel jenis poly-crystalline yang selalu digunakan. Sebagai rujukan bagi tujuan eksperimen, satu set data atau butiran sel PV telah digunakan. Data tersebut telah diringkaskan yang mengandungi beberapa parameter penting seperti arus litar pintas, sela jalur tenaga, faktor ideal dan pekali

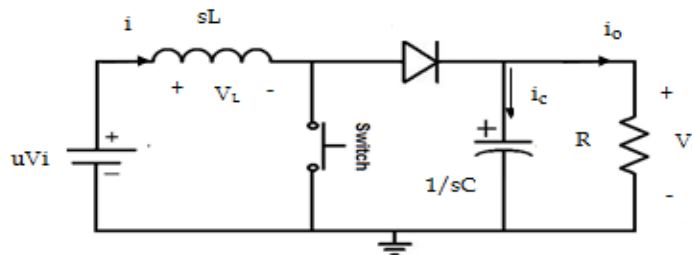
suhu diperlukan dalam menentukan keluk I-V dan keluk P-V bagi panel. Selepas itu, titik kuasa maksimum (MPP) diperolehi dari simulasi dan hasil eksperimen boleh dirujuk dan dibandingkan dengan nilai teori berdasarkan keluk I-V dan P-V seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.



Rajah 2 Rajah lengkung bagi panel suria berdasarkan tahap insolasi yang berubah-ubah

### PEMILIHAN PENUKAR KUASA AT-AT DAN NILAI KOMPONEN

Penukar kuasa boost memberi manfaat yang lebih besar dari segi kos efektif, keringkas dan tahap kecekapan yang tinggi. Justeru, penukar kuasa boost seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3 dipilih untuk projek ini. Nilai komponen seperti peraruh dan kapasitor diperolehi dengan persamaan yang bersesuaian agar mod pengaliran dapat dikekalkan. Tambahan pula, MOSFET akan digunakan sebagai suis kuasa bagi menggantikan IGBT disebabkan dapat berfungsi dengan baik pada frekuensi tinggi, kuasa rendah dan dalam aplikasi arus rendah. Selain itu, frekuensi bagi isyarat PWM yang digunakan dalam projek ini adalah 50 kHz yang mana dikategorikan sebagai frekuensi pensuisan yang tinggi. Oleh itu, MOSFET lebih sesuai digunakan dalam pengendalian frekuensi PWM tahap tinggi.



Rajah 3 Litar Asas Penukar Kuasa Boost

Bagi merealisasikan bahagian penukar mod pensuisan yang merupakan komponen paling penting dalam sesebuah MPPT, penukar Boost telah direkabentuk dengan mempertimbangkan spesifikasi yang diperlukan. Nilai atau parameter komponen adalah penting dalam pelaksanaan simulasi bagi litar asas gelung terbuka penukar kuasa boost samada melalui penggunaan konsep penjana denyut atau PWM. Simulasi penukar kuasa Boost bagi gelung terbuka dan gelung tertutup dilaksanakan menggunakan MATLAB. Walau bagaimanapun, bagi simulasi konsep

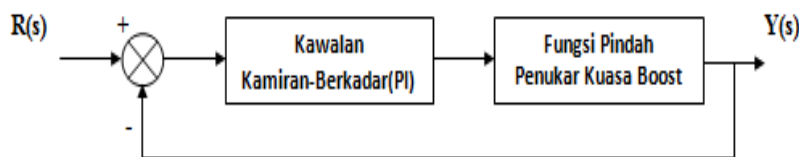
gelung tertutup, persamaan fungsi pindah bagi litar asas penukar kuasa boost. Berdasarkan kepada litar dalam Rajah 3, persamaan-persamaan berikut diperolehi:

$$\begin{aligned}
 uV_i &= V_L + V_o \\
 V_o &= \frac{i_c}{sC} = i_o R \\
 i &= i_c + i_o \\
 i &= sCV_o + \frac{V_o}{R} \\
 uV_i &= sLi + V_o \\
 &= sL(sCV_o + \frac{V_o}{R}) + V_o \\
 &= S^2LCV_o + \frac{SLV_o}{R} + V_o \\
 &= V_o (S^2LC + \frac{SL}{R} + 1)
 \end{aligned}$$

Oleh itu, fungsi pindah adalah,  $\frac{V_o}{uV_i} = \frac{1}{S^2LC + \frac{SL}{R} + 1}$

#### KAWALAN KAMIRAN BERKADAR (PI)

Berdasarkan kajian kepustakaan yang telah dilaksanakan, didapati kawalan secara konvensional mempunyai kelebihan dari aspek keringkasan dan kos efektif. Oleh itu, kawalan secara kamiran-berkadar (PI) akan digunakan di dalam penukar kuasa boost seperti yang dipaparkan dalam Rajah 4. Pelarasan nilai bagi  $K_p$  dan  $K_i$  adalah penting untuk memastikan sistem dalam keadaan stabil dan melenyapkan ralat keadaan mantap. Dalam gelung litar tertutup, sistem kawalan kamiran berkadar adalah merupakan kitar tugas bagi penukar kuasa Boost berbanding litar gelung tertutup yang menggunakan nilai kitar tugas yang tetap. Voltan rujukan akan digunakan sebagai penanda aras kepada voltan keluaran yang dikehendaki.

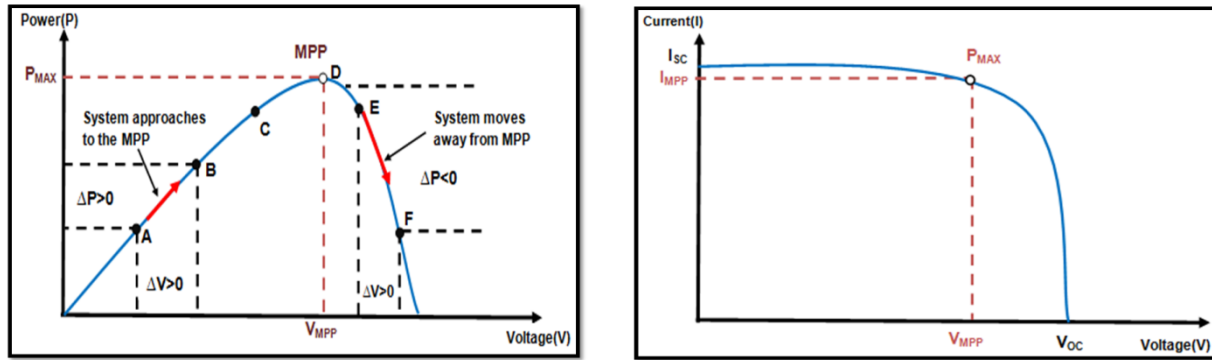


Rajah 4 Blok Kawalan Kamiran Berkadar (PI) bagi Penukar Kuasa Boost

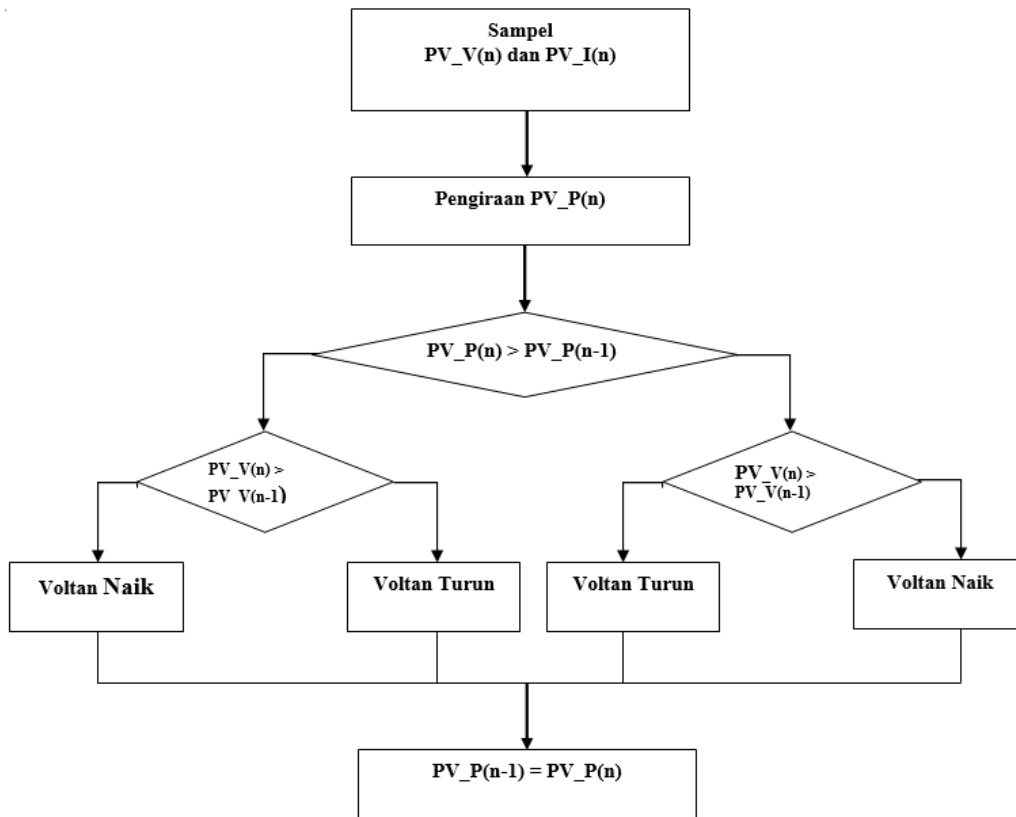
#### TEKNIK PENGESANAN TITIK KUASA MAKSIMUM (MPPT)

Perubahan cuaca dan beban telah mengakibatkan tahap operasi sistem PV berbeza-beza pada setiap masa. Keperluan pengesanan yang dinamik diperlukan dalam memastikan kuasa maksimum diperolehi dari sistem PV panel. Oleh itu, teknik algoritma Perturb and Observe telah dipilih untuk diaplikasikan disebabkan dari segi aspek keringkasan sistem dan melibatkan parameter pengukuran yang kecil. Dalam pendekatan ini, voltan modul akan diberi gangguan secara berkala pada sistem. Keluaran kuasa yang sepadan bagi setiap perubahan voltan modul ( $\Delta V$ ) akan dibandingkan dengan gangguan kitaran yang sebelumnya.

Teknik gangguan ini akan menyebabkan kuasa keluaran panel PV sentiasa berubah-ubah ( $\Delta P$ ). Jika kuasa meningkat terhadap gangguan yang dilaksanakan, gangguan voltan akan diteruskan pada arah yang sama. Setelah kuasa puncak dicapai, kuasa pada MPP menjadi sifar, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5. Gangguan seterusnya akan mengakibatkan penurunan kadar kuasa dan disusuli dengan pembalikan arah gangguan. Walau bagaimanapun, terdapat sedikit kelemahan dalam kaedah ini di mana ralat capaian MPP boleh berlaku sekiranya perubahan drastik tahap insolasi matahari. Bagi meminimumkan ralat tersebut, pemilihan kenaikan tangga kitar tugas, D yang lebih kecil dipilih iaitu 0.001, seperti yang dinyatakan dalam carta alir dalam Rajah 6.



Rajah 5 Ciri-ciri Lengkuk P-V dan I-V bagi Sistem MPPT Perturb and Observe



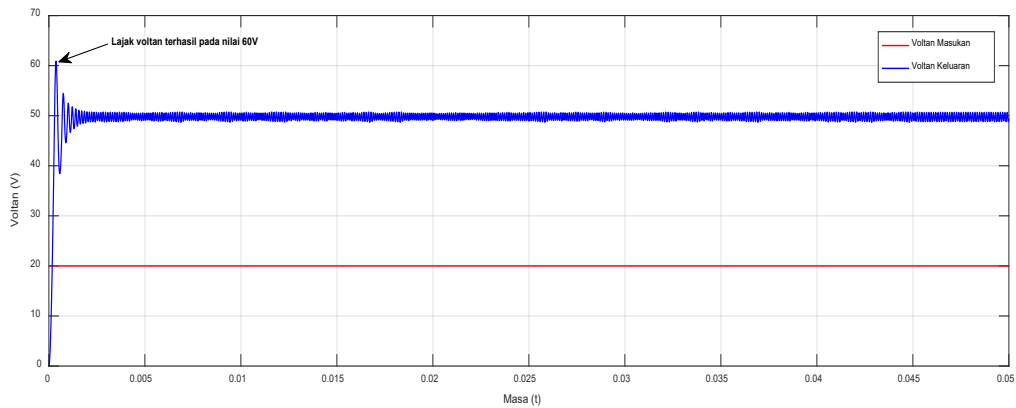
Rajah 6 Carta Alir Algoritma Perturb and Observe

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

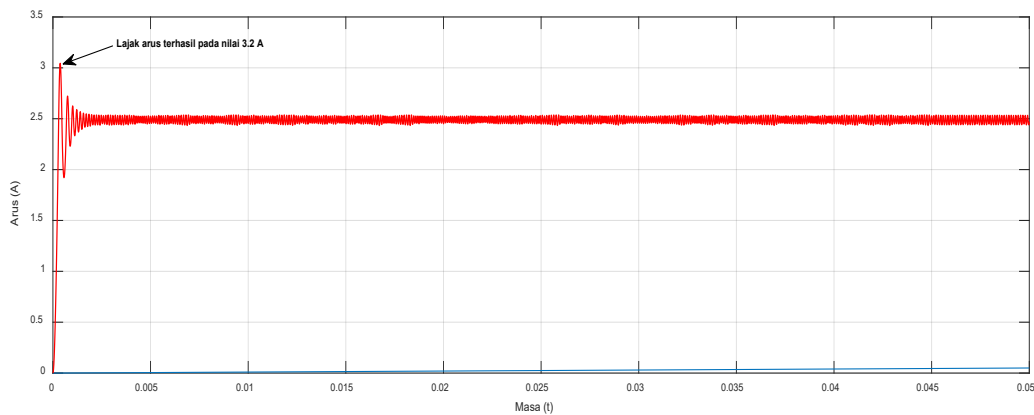
Bahagian ini merupakan hasil keputusan projek berdasarkan simulasi perisian dan perbincangan ringkas mengenai semua keputusan yang diperolehi.

### LITAR GELUNG TERBUKA PENUKAR KUASA BOOST

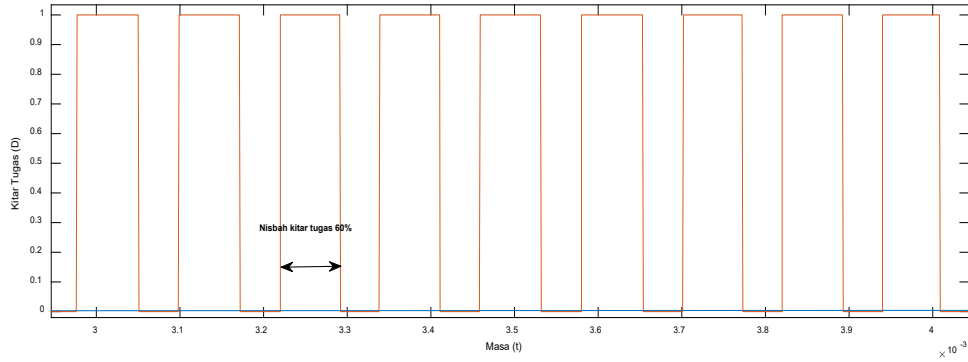
Berdasarkan hasil simulasi seperti yang dipaparkan dalam Rajah 7 hingga 9, voltan masukan bernilai 20V telah ditingkatkan kepada 50V sebagai voltan keluaran telah tercapai. Walau bagaimanapun, terdapat lajak voltan dan arus masing-masing bernilai 60V dan 3.2A dalam tempoh 0.001 saat. Kestabilan nilai voltan dan arus diperolehi selepas tempoh 0.001 saat. Masa penganapan dan keadaan mantap agak lambat dan tidak memuaskan. Bagi mengatasi masalah ini, simulasi litar secara gelung tertutup menggunakan kawalan kamiran berkadar (PI) dilaksanakan.



Rajah 7 Voltan Masukan dan Keluaran bagi Kawalan Secara Gelung Terbuka



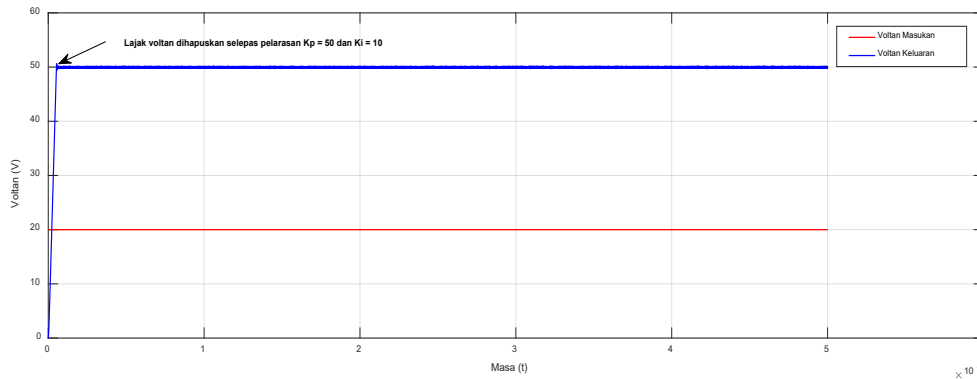
Rajah 8 Arus Keluaran bagi Kawalan Secara Gelung Terbuka



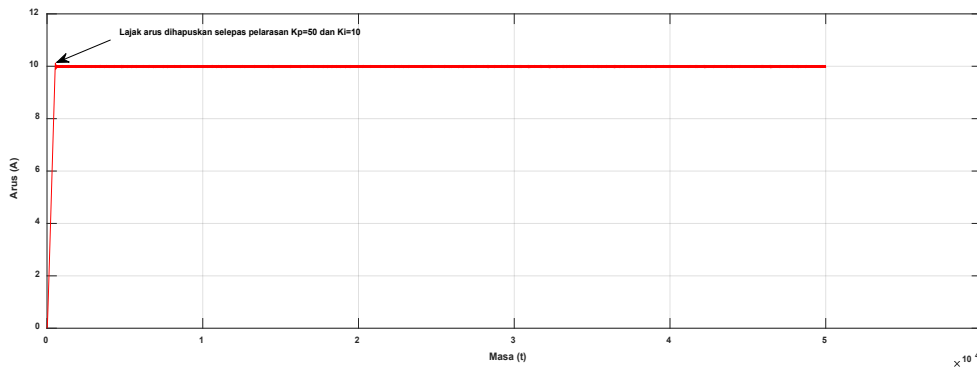
Rajah 9 Kitar tugas yang digunakan dalam Penukar Kuasa Boost

### LITAR GELUNG TERTUTUP PENUKAR KUASA BOOST KAWALAN KAMIRAN BERKADAR (PI)

Sistem kawalan gelung tutup pula mengekalkan hubungan yang telah ditetapkan antara masukan rujukan dan keluaran dengan membandingkan kedua-duanya, lalu menggunakan ralat terhasil sebagai intipati kawalan. Mengikut teknik ini suis dikawal buka tutupnya melalui cara ralat disuap ke dalam kawalan kamiran berkadar (PI) untuk meminimumkannya, kemudian isyarat kawalan yang terhasil dibandingkan dengan isyarat pembawa segitiga berfrekuensi tinggi untuk menjana isyarat modulasi lebar denyut (PWM), yang mewakili kitar tugas, D. Dapatan adalah seperti yang diaparkan dalam Rajah 10 dan 11.



Rajah 10 Voltan Masukan dan Keluaran Selepas Kawalan Gelung Tertutup Secara Kamiran Berkadar (PI)

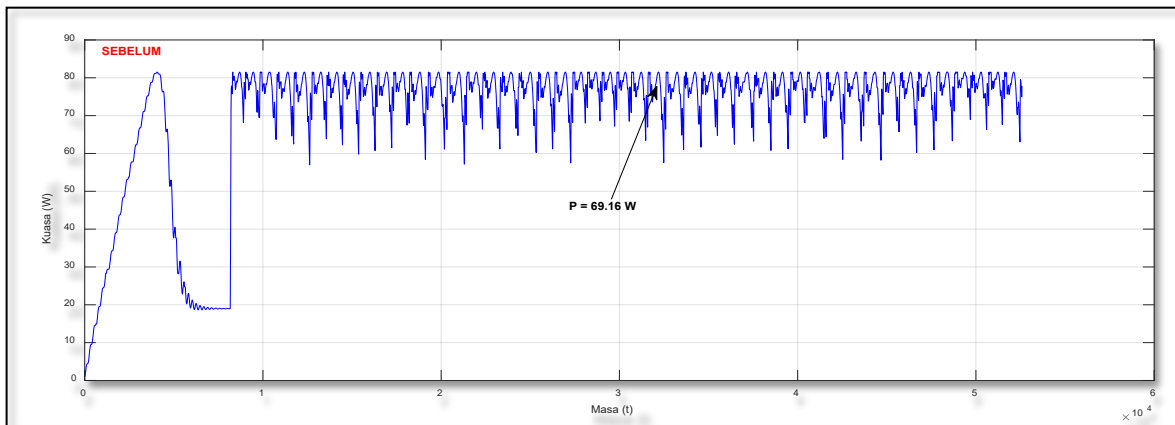


Rajah 11 Arus Keluaran bagi Kawalan Secara Gelung Terbuka Secara Kamiran Berkadar (PI)

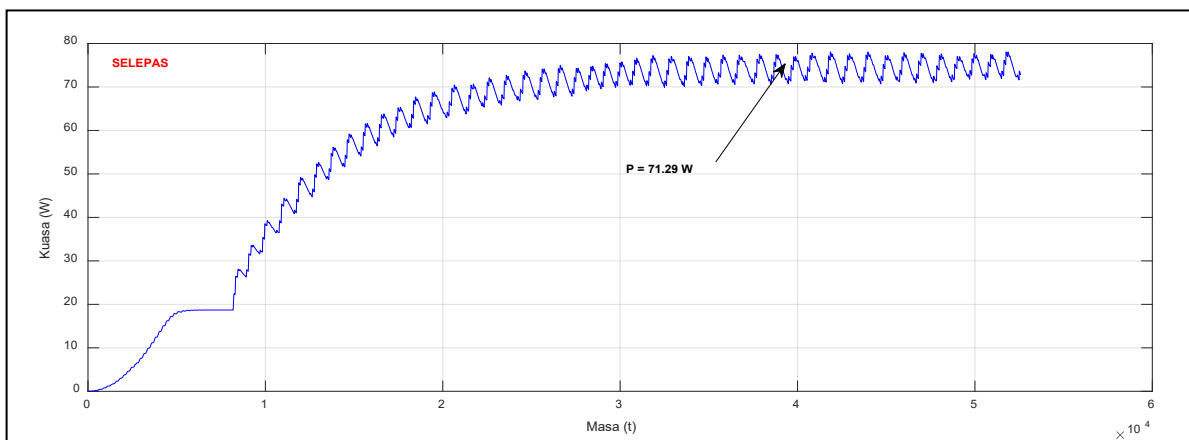
### LITAR INTEGRASI PANEL, MPPT DAN PENUKAR KUASA BOOST

Simulasi litar secara integrasi panel PV, MPPT dan penukar kuasa Boost juga direkabentuk bagi melihat proses pengesanan titik kuasa maksimum (MPP). Dalam simulasi ini, perbandingan nilai keluaran iaitu voltan, arus dan kuasa PV sebelum dan selepas melalui MPPT dan penukar kuasa Boost dilaksanakan bagi melihat perbezaan yang terhasil, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 12 dan 13. Berdasarkan perbandingan voltan dan arus di atas, didapati voltan panel PV selepas MPPT dan penukar kuasa boost telah ditingkatkan sekali ganda dari 92.29V kepada 188.80V. Arus panel PV pula telah diturunkan dari 0.7994A kepada 0.3776A. Ini membuktikan bahawa peningkatan voltan yang lebih tinggi dan stabil diperlukan bagi menghasilkan kuasa yang tinggi. Voltan yang berkualiti akan menghasilkan kuasa yang berkualiti kepada pengguna.

Kuasa keluaran selepas MPPT lebih tinggi iaitu 71.29 W berbanding sebelumnya iaitu 69.16 W. Ini disebabkan teknik algoritma Perturb and Observe sentiasa mengejar dan mengesan titik kuasa maksimum (MPP) dlm sistem PV. Meskipun terdapat perbezaan 2.19 W tetapi dari segi kestabilan kuasa dapat dicapai setelah menggunakan MPPT dan penukar kuasa Boost.



Rajah 12 Kuasa Panel PV Sebelum MPPT dan Penukar Kuasa Boost



Rajah 13 Kuasa Panel PV Selepas Melalui MPPT dan Penukar Kuasa Boost



## KESIMPULAN

Secara kesimpulannya, projek Pembangunan Penukar Kuasa Boost AT-AT dan Pengesanan Titik Kuasa Maksimum bagi sistem panel suria ini telah berjaya dibuktikan dan diterangkan berdasarkan simulasi komponen-komponen utama dan juga melalui model-model yang ringkas. Melalui prinsip asas yang merangkumi operasi asas sel PV serta ciri-ciri arus-voltannya, kaedah operasi litar penukar kuasa Boost dan kaedah pengesanan MPP menggunakan algoritma Perturb and Observe. Selain itu juga, kaedah penjaan isyarat pensuisan melalui PWM telah dapat difahami dengan lebih lanjut sebagai asas untuk membangunkan sebuah Pengesanan Titik Kuasa Maksimum.

Sumber kuasa PV merupakan sumber bekalan AT yang akan digunakan dalam pembinaan MPPT yang mana ia mempunyai ciri-ciri iaitu titik kuasa maksimum (MPP) yang perlu dipertimbangkan agar sistem PV dapat beroperasi pada keadaan yang paling optimum untuk membekalkan kuasa. Litar penukar kuasa Boost yang akan digunakan bagi menukarkan voltan masukan AT kepada suatu nilai voltan keluaran AT yang lebih tinggi dipilih agar beban dapat dioperasikan pada beza upaya yang lebih tinggi. Algoritma Perturb and Observe yang menggunakan ciri I-V dan P-V bagi suatu model sel PV telah digunakan supaya sistem dapat dipandu dalam mengesan titik kuasa maksimum dengan lebih efisien. Kaedah pensuisan PWM telah dipilih agar sistem dapat dibekalkan dengan keperluan kuasa pada jumlah yang optimum seterusnya mengurangkan kehilangan kuasa. Dalam kajian ini, tahap kecekapan sistem sememangnya menjadi agenda utama, di mana pemilihan kaedah serta komponen-komponen yang terlibat akan mempertimbangkan kehilangan kuasa sistem. Secara amnya penggunaan kaedah seperti penggunaan algoritma Perturb and Observe dan isyarat PWM telah membantu meningkatkan lagi kecekapan sistem.

## RUJUKAN

- Blaabjerg, F., Teodorescu, R., & Liserre, M. (2004). Power converters and control of renewable energy systems. 6th Int. Conf. Power, 1–20. Retrieved from [http://www.andretahim.com/Projeto/Literatura/power converters and control of renewable energy systems paper.pdf](http://www.andretahim.com/Projeto/Literatura/power%20converters%20and%20control%20of%20renewable%20energy%20systems%20paper.pdf)
- Centre, E. (2005). AUTOMATIC PEAK POWER TRACKER FOR SOLAR PV MODULES USING dSPACE R. *Energy*, 29(3), 151–163. <https://doi.org/10.1080/14786460903556147>
- Enrique, J. M., Andújar, J. M., & Bohórquez, M. A. (2010). A reliable, fast and low cost maximum power point tracker for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 84(1), 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.011>
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2013). Optimal control of photovoltaic arrays. *Mathematics and Computers in Simulation*, 91, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2012.05.002>
- Forsyth, A. J., & Mollov, S. V. (1998). Modelling and control of DC-DC converters. *Power Engineering Journal*, 12(5), 229–236. <https://doi.org/10.1049/pe:19980507>
- Kalirasu, A., & Dash, S. S. (2010). Simulation of Closed Loop Controlled Boost Converter for Solar Installation. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 7(1), 121–130. <https://doi.org/10.2298/SJEE1001121K>
- Morales, D. S. (2010). Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications. *Science*, 411, 82. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2010.08.011>
- Nagarajan, R., Chandramohan, J., & Sathishkumar, S. (2016). Implementation of PI Controller for Boost Converter in PV System, 6–10.
- Narendiran, S. (2013). Grid tie inverter and MPPT - A review. *Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2013*, 564–567. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2013.6529017>

Pouresmaeil, E., Gomis-Bellmunt, O., Montesinos-Miracle, D., & Bergas-Jané, J. (2011). Multilevel converters control for renewable energy integration to the power grid. *Energy*, 36(2), 950–963. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.014>

Submitted, a P., Partial, I. N., The, O. F., For, R., & Degree, T. H. E. (2010). Study of Maximum Power Point Tracking ( Mppt ) Techniques in a Solar Photovoltaic Array Study of Maximum Power Point Tracking ( Mppt ) Techniques in a Solar. B.Tech Project Report, NIT, Rourk, 1–49.

Subudhi, B., & Pradhan, R. (2013). A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems. *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, 4(1), 89–98. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2012.2202294>

Verma, D., Nema, S., Shandilya, A. M., & Dash, S. K. (2016). Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1018–1034. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.068>

Xu, L., & Chen, D. (2011). Control and operation of a DC microgrid with variable generation and energy storage. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(4), 2513–2522. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2158456>

Yusof, Y., Sayuti, S. H., Latif, M. A., & Wanik, M. Z. C. (2004). Modeling and simulation of maximum power point tracker for photovoltaic system. National Power and Energy Conference, PECon 2004 - Proceedings, 88–93. <https://doi.org/10.1109/PECON.2004.1461622>