

Model Predictive Control Untuk Kendali Konverter Buck-Boost

Adelhard Beni Rehiara¹, Yanty Rumengan¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Papua

Korespondensi : a.rehiara@unipa.ac.id

ABSTRAK

Proses pengubahan arus listrik arus DC tidak seperti pada pengubahan arus listrik AC, dibutuhkan sebuah konverter DC-DC dalam proses tersebut. Konverter *buck-boost* merupakan salah satu jenis konverter DC-DC yang dapat sekaligus menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran. *Model Predictive Control* (MPC) telah menarik umat manusia untuk dikembangkan dalam upaya mendapatkan jenis pengendali yang handal. Dalam penelitian ini telah dikembangkan MPC dengan menggunakan fungsi Laguerre untuk digunakan sebagai pengendali konverter *buck-boost* dengan panjang *network* $N=4$, faktor penskalaan $a=0.7$, horizon prediksi $N_p=20$ dan horizon kontrol $N_c=2$. Simulasi dilakukan dengan variasi hambatan beban antara 10-40 ohm dengan perubahan *setpoint* antara 10-70 V. Hasil simulasi menunjukkan bahwa MPC berbasis fungsi Laguerre ini dapat membawa mengendalikan sistem konverter *buck-boost* dengan baik tanpa *overshoot* dengan waktu puncak dan *steady state* hanya 0.001 detik.

Kata kunci: Konverter DC-DC, konverter *buck-boost*, MPC, fungsi Laguerre.

ABSTRACT

The process of converting DC electric current is not like converting an AC electric current. In the process of converting DC current, a DC-DC converter is needed. The buck-boost converter is a type of DC-DC converter that can either increase or decrease the output voltage simultaneously. MPC has interested mankind to be developed, in order to get a reliable type of controller. In this research, MPC has been developed utilizing the Laguerre function which is used as a buck-boost converter controller with the network length $N = 4$, the scale factor $a = 0.7$, the prediction horizon $N_p = 20$ and the control horizon $N_c = 2$. Simulations were carried out with variations in load resistance between 10-40 Ω and setpoint alteration among 10-70 V. The simulation results show that MPC based on the Laguerre function can control the buck-boost converter system properly without overshoot with peak time and steady state about 0.001 second.

Keywords: DC-DC converter, buck-boost converter, MPC, Laguerre function.

1. PENDAHULUAN (10 PT)

Tidak dapat dipungkiri bahwa kebutuhan manusia akan energi listrik terus mengalami peningkatan dengan cepat dari tahun ke tahun. Di lain pihak energy fosil sebagai energy utama yang digunakan manusia mulai menipis dan diprediksi akan habis dalam beberapa decade ke depan. Hal ini telah memaksa manusia untuk mencari sumber energy alternative sebagai pengganti energy fosil tersebut. Kendala utama dalam pengelolaan energy alternative tersebut adalah energy ini tidak ada secara kontinyu sehingga perlu di simpan dalam baterai atau media penyimpanan lainnya dan seagain besar dikonversi ke dalam bentuk energy listrik arus searah. Perubahan besaran energi listrik arus searah ini tidak semudah perubahan dalam bentuk arus bolak-balik dan diperlukan peralatan tambahan dalam mengubah besarnya.

Buck-boost converter merupakan salah satu peralatan pengubah yang dapat dipergunakan untuk mengubah besaran listrik DC yang juga dikategorikan sebagai DC-DC *converter*. Kelebihan konverter jenis ini yaitu tegangan keluaran yang bervariasi baik sebagai penaik maupun sebagai penurun tegangan yang dapat dilakukan sesuai dengan kemampuan peralatan yang digunakan. Di lain pihak, konverter jenis ini cukup sulit dikendalikan karena sangat tidak linear dan juga efisiensinya yang rendah. Sistem kendali pada sebuah konverter *buck-boost* telah banyak diteliti para peneliti sebelumnya dengan menggunakan pengendali PI [1], [2], PID[3], [4], Fuzzy [5] dan MPC [6].

Model Predictive Control (MPC) merupakan salah satu tipe kontroler yang mampu memprediksikan keluaran dari controller dengan menggunakan masukan sistem pada masa lampau. Pada setiap interval kontrol, algoritma MPC akan mengoptimalkan respon sistem di masa mendatang pada setiap langkah waktu dengan menghitung urutan penyesuaian variabel yang dimanipulasi [7]. MPC dengan fungsi Laguerre merupakan salah satu jenis MPC yang memiliki keunggulan dalam optimalisasi pengendali jika dibandingkan dengan MPC klasik [8]. Dalam tulisan ini sebuah MPC berbasis fungsi Laguerre telah diaplikasikan untuk mengontrol konverter *buck-boost*.

2. METODE PENELITIAN

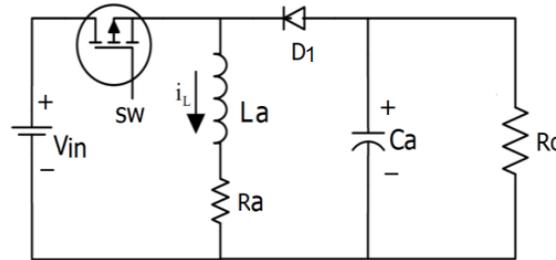
2.1. Konverter Buck-boost

Konverter *buck boost* terdiri dari dua bagian pengubah yaitu a) konverter *buck* yang berfungsi untuk mengubah tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan dan b) konverter *boost* yang berfungsi untuk mengubah tegangan keluaran menjadi lebih tinggi dari tegangan masukan. Proses perubahan pada konverter *buck-boost* ini dilakukan dengan mengatur *duty cycle* δ dalam menghidupkan dan mematikan saklar SW. Besaran keluaran tegangan pada konverter *buck* dan *boost* ditentukan menurut persamaan (1) dan (2) berikut ini [9]:

$$V_o = \delta V_{in} \tag{1}$$

$$V_o = \frac{V_{in}}{1-\delta} \tag{2}$$

Konfigurasi sebuah konverter *buck-boost* ditunjukkan pada Gambar 1 dengan V_{in} , V_o , L_a , R_a , D_1 , C_a , dan R_o merupakan tegangan input, tegangan output, induktor, hambatan induktor, dioda, kapasitor, dan hambatan keluaran.

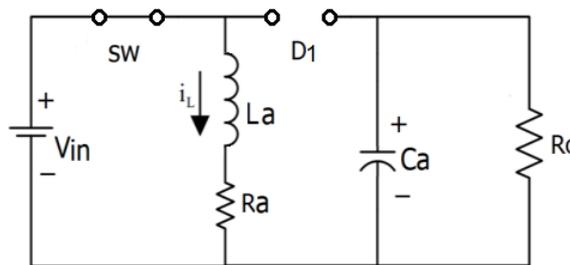


Gambar 1. Konfigurasi konverter buck-boost

Jika pada waktu $0 < t < \delta T$ saklar SW diasumsikan dalam keadaan ON, konfigurasi konverter ini dapat diperlihatkan pada Gambar 2. Pada mode switch ON ini, dioda mengalami *reverse bias* sehingga arus tidak mengalir pada dioda, sehingga induktor L_a menjadi rangkaian tertutup dengan sumber tegangan V_{in} dan arus mengalir melalui induktor. Dalam kondisi ini kapasitor C_a mengalami *discharge* dan mengalirkan muatannya ke beban R_o . Berdasarkan hukum Khirchoff arus (KCL) dan tegangan (KVL), persamaan untuk *mode switch* ON dapat dituliskan sebagai berikut [10], [11]:

$$\dot{i}_L = -\frac{R_a}{L_a}i_L + \frac{1}{L_a}V_{in} \tag{3}$$

$$\dot{v}_o = -\frac{1}{C_a R_o}v_o \tag{4}$$

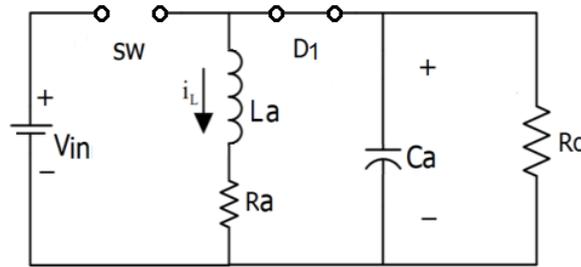


Gambar 2. Mode switch ON

Untuk kondisi waktu lainnya pada $\delta T < t < T$, saklar SW berada pada kondisi OFF yang mana dalam kondisi ini konverter berada pada *mode switch* OFF. Konfigurasi konverter pada ada kondisi *switch* OFF ditunjukkan Gambar 3. Pada kondisi ini tegangan masukan terputus, dan dioda mengalami *forward bias* sebagai akibat dari mengalirnya dari induktor L_a menuju kapasitor C_a dan beban R_o . Kapasitor akan segera mengisi muatannya kembali dan arus dari induktor L_a akan segera berkurang sampai mode ON diaktifkan kembali. Persamaan arus dan tegangan dengan KCL dan KVL untuk mode switch OFF dapat ditulis sebagai berikut:

$$\dot{i}_L = -\frac{R_a}{L_a}i_L + \frac{1}{L_a}V_o \tag{5}$$

$$\dot{v}_o = -\frac{1}{C_a} i_L - \frac{1}{C_a R_o} v_o \quad (6)$$



Gambar 3. Mode switch OFF

Duty cycle pada satu periode *switching* menjadi pertimbangan dalam pemodelan konverter ini, yang diasumsikan sebagai rata-rata dari mode switch ON dan OFF.

$$\begin{aligned} A_{Kon} &= \delta A_{ON} + (1 - \delta) A_{OFF} \\ B_{Kon} &= \delta B_{ON} + (1 - \delta) B_{OFF} \end{aligned} \quad (7)$$

Model *state space* untuk konverter ini dapat ditulis sebagai berikut [10], [11]:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \frac{-R_a}{L_a} & \frac{\delta - 1}{L_a} \\ \frac{\delta - 1}{C_a} & \frac{1}{R_o C_a} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \frac{V_{in}}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (8)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x + [0] u \quad (9)$$

Dimana *state vector* $x = [i_L, v_o]$, y adalah keluaran sistem dan masukan $u = \delta$ [12].

2.2. MPC dengan Fungsi Laguerre

Fungsi Laguerre adalah sekumpulan fungsi *orthonormal* yang digunakan untuk memperkirakan respons impuls waktu-diskrit $H(k)$ dari sistem dinamis. Dengan sejumlah suku N tertentu, tanggapannya dapat ditulis sebagai berikut [6]:

$$H(k) = c_1 l_1(k) + c_2 l_2(k) + \dots + c_N l_N(k) \quad (10)$$

Dengan $L(k) = [l_1(k) \ l_2(k) \ \dots \ l_N(k)]^T$ adalah fungsi Laguerre diskrit dan merupakan koefisien Laguerre yang akan ditentukan dari data sistem. Variabel k adalah sampling sesaat dari fungsi Laguerre diskrit yang dapat diturunkan dari persamaan diferensial sebagaimana dituliskan sebagai berikut:

$$L(k+1) = A_l L(k) \quad (11)$$

Dimana A_l matriks toeplitz dari faktor penskalaan a dengan $\beta = 1 - a^2$, seperti diformulasikan pada persamaan 12. Persamaan 13 menunjukkan kondisi awal dari fungsi Laguerre pada waktu $k=0$.

$$A_l = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 & \vdots \\ \beta & a & 0 & 0 & \vdots \\ -a\beta & \beta & a & 0 & \vdots \\ a^2\beta & -a\beta & \beta & a & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & a \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$L(0)^T = \sqrt{\beta} [1 \ -a \ a^2 \ -a^3 \ \dots \ (-a)^{N-1}] \quad (13)$$

Bentuk *state space* matriks dari sistem pada waktu diskrit sebagaimana dikonversikan dari sistem waktu kontinyu diperlihatkan pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned}x(k+1) &= A_d x(k) + B_d u(k) \\ y(k) &= C_d x(k)\end{aligned}\quad (14)$$

Jika A_d , B_d , C_d merupakan matriks sistem diskrit, model sistem diskrit tersebut dapat ditransformasikan menjadi model augmentasi dari sistem dengan bentuk sebagai berikut.

$$\begin{aligned}x(k+1) &= \tilde{A}x(k) + \tilde{B}\Delta u(k) \\ y(k) &= \tilde{C}x(k)\end{aligned}\quad (15)$$

Dimana $x(k)=[x(k) \ y(k)]^T$, $u(k)=u(k)-u(k-1)$.

Menggunakan fungsi Laguerre, trajektori pengendali pada waktu sesaat $k+p$ dapat diberikan sebagai berikut:

$$\Delta u(k+p) = \sum_{j=1}^N c_j(k) l_j(p) = L(p)^T \eta \quad (16)$$

Masalah optimalisasi dapat diformulasikan dengan variable state dari saat terkini k sebagai berikut:

$$J = \sum_{p=1}^{N_p} x(k+p|k)^T Q x(k+p|k) + \sum_{p=0}^{N_p} \Delta u(k+p)^T r(k) \Delta u(k+p) \quad (17)$$

Dimana $r(k)$ adalah penalti pada input dan $Q=C^T C$ merupakan matriks pembobot. Karena sifat *ortonormal* fungsi Laguerre, fungsi tujuan untuk MPC berbasis fungsi Laguerre dapat diberikan sebagai berikut dengan mengganti (16) ke (17).

$$J = \sum_{p=1}^{N_p} x(k+p|k)^T Q x(k+p|k) + \eta^T R_L \eta \quad (18)$$

Dimana R_L merupakan diagonal matriks dengan penalti $r(k)$ pada diagonalnya.

Receding horizon control dapat diterapkan untuk memperkuat ketahanan sistem dengan hanya menerapkan sampel pertama dari *control trajectory* sebagai input. *Receding horizon control* diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\Delta u(k) = L(0)^T \eta \quad (19)$$

3. HASIL DAN ANALISIS

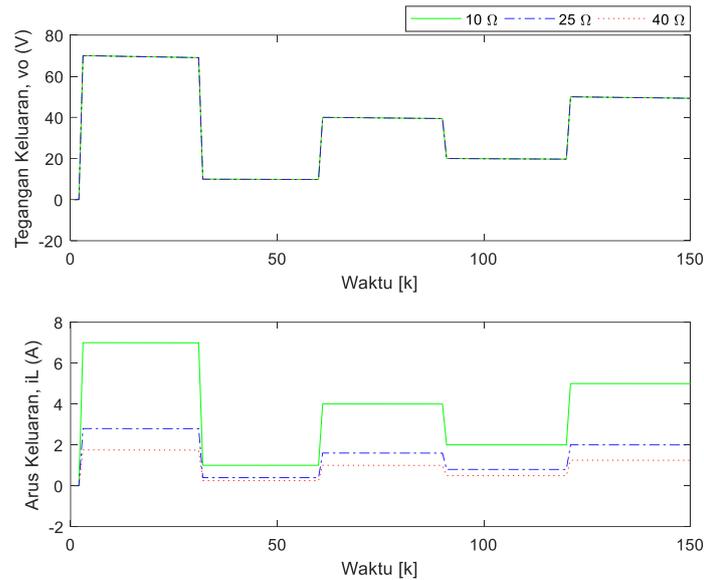
Konverter *buck-boost* yang digunakan dalam tulisan ini menggunakan struktur yang sama dengan seperti digambarkan pada Gambar 1. Parameter yang digunakan untuk menguji pengendali MPC yang digunakan diberikan pada Table 1. Tegangan keluaran v_o merupakan *setpoint* yang menjadi acuan MPC dengan nilai bervariasi baik lebih rendah maupun lebih tinggi dari tegangan sumber untuk mengaktifkan fungsi *buck* dan *boost* pada konverter.

Tabel 1. Parameter Konverter

Parameter	Nilai dan Satuan
Vin	20 V
La	200 mH
Ra	0.1 Ω
Ca	200 μ F
Ro	10-40 Ω
fs	1 kHz

MPC berbasis fungsi Laguerre yang digunakan dalam tulisan ini merupakan MPC diskrit. Beberapa parameter yang digunakan untuk penalaan MPC antara lain: panjang network $N=4$, faktor penskalaan $a=0.5$, horison prediksi $N_p=20$, horison kontrol $N_c=2$, dan waktu sampling $T_p=0.001$ s.

Pengujian dilakukan dengan mengeset tegangan masukan v_o dengan urutan 50, 10, 40, 20 dan 70 dengan jeda masing-masing perubahan selama 30 satuan waktu untuk memberi kesempatan pengendali MPC mencapai keadaan tunak. Perubahan hambatan beban R_o juga dilakukan untuk menguji kemampuan sistem beradaptasi terhadap perubahan beban. Hambatan R_o di rubah sebesar 10, 25 dan 40 ohm untuk setiap perubahan tegangan keluaran. Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5, dengan nilai tegangan dan arus keluaran disajikan pada Tabel 2.



Gambar 5. Tegangan dan Arus Keluaran

Tabel 2. Hasil Pengujian

Tegangan Setting (V)	Tegangan Keluaran, v_o (V)	Arus Keluaran, i_L (A)		
		10 Ω	25 Ω	40 Ω
70	69.99	7.0	2.8	1.75
10	9.97	1.0	0.4	0.25
40	39.99	4.0	1.6	1.00
20	19.98	2.0	0.8	0.50
50	49.99	5.0	2.0	1.25

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa beban yang di pasang walaupun besarnya dirubah tegangan keluaran tetap sama, ini terlihat pada grafik tegangan keluaran yang saling tumpang tindih. Hal berbeda diperlihatkan pada gambar arus keluaran yang menunjukkan perbedaan besar terhadap beban besar yang mana nilai arus dan tegangan dapat dilihat pada Tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa MPC dapat mengontrol konverter dengan baik sehingga dapat menyesuaikan terhadap arus beban yang diperlukan dengan tetap mempertahankan tegangan keluaran sedekat mungkin dengan *setpoint*.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dikembangkan sebuah pengendali MPC berbasis fungsi Laguerre untuk mengontrol konverter *buck-boost*. Pengaturan pada parameter MPC untuk pengujian antara lain panjang *network* $N=4$, faktor penskalaan $a=0.7$, horison prediksi $N_p=20$ dan horison kontrol $N_c=2$. Simulasi pengontrol MPC ini dilakukan dengan merubah *setpoint* dalam beberapa variasi terhadap perubahan beban sebesar 10, 25 dan 40 ohm dengan perubahan *setpoint* antara 10-70 V.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengontrol MPC yang dirancang dapat bekerja mempertahankan tegangan keluaran mendekati *setpoint* pada berbagai *setting* tegangan keluaran dengan tetap menyalurkan arus sesuai kebutuhan beban. MPC dengan fungsi Laguerre ini dapat membawa mengendalikan sistem konverter *buck-boost* dengan baik tanpa *overshoot* dengan waktu puncak dan *steady state* hanya 0.001 detik pada waktu sampling 0.001 detik yang digunakan atau hanya 1 satuan waktu simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. Safii, A. N. P. F, M. C. Pujiyanto, B. Y. Dewantara, and D. P. K. Iradiratu, "Analisa Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Buck Boost Konverter," in *Seminar Nasional Kelautan XIV*, 2019, pp. 29–35.
- [2] A. Dogra and K. Pal, "Design of Buck-Boost Converter for Constant Voltage Applications and Its Transient Response Due To Parametric Variation of PI Controller," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 6, pp. 13579–13588, 2014.
- [3] F. S. Dinniyah, W. Wahab, and M. Alif, "Simulation of Buck-Boost Converter for Solar Panels using PID Controller," *Energy Procedia*, vol. 115, pp. 102–113, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.05.011.
- [4] S. D. D. Putri and Aswardi, "Rancang Bangun Buck-Boost Converter menggunakan Kendali," *J. Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 06, no. 02, pp. 258–272, 2020.
- [5] Imam Setyawan & Bambang Suprianto, "Rancang Bangun Prototype Solar Cell Buck Boost Converter Menggunakan Kontrol Fuzzy Di Implementasikan Pada Aerator Tambak Udang," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 3, pp.

- 627–635, 2019.
- [6] S. Bououden, S. F. O. Hazil, and M. Chadli, “Modelling and model predictive control of a DC-DC Boost converter,” in *15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, 2014, pp. 643–648.
- [7] A. B. Rehiara, H. Chongkai, Y. Sasaki, N. Yorino, and Y. Zoka, “An Adaptive Internal Model for Load Frequency Control Using Extreme Learning Machine,” *Telkonnika*, vol. 16, no. 6, pp. 1–6, 2018.
- [8] A. B. Rehiara, H. Chongkai, Y. Sasaki, N. Yorino, and Y. Zoka, “An adaptive IMC-MPC controller for improving LFC performance,” in *2017 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia*, 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378403.
- [9] Sutedjo, Z. Efendi, and D. M. Mursyida, “Rancang Bangun Modul DC – DC Converter Dengan Pengendali PI,” *Politek. Elektron. Negeri Surabaya - ITS*, pp. 1–5, 2016.
- [10] L. Wang, S. Chai, D. Yoo, L. Gan, and K. Ng, *PID and Predictive Control of Electrical Drives and Power Converters Using MATLAB/Simulink*. Singapore: John Wiley & Sons Singapore pte. Ltd, 2015.
- [11] R. H. G. Tan and L. Y. H. Hoo, “DC-DC converter modeling and simulation using state space approach,” in *2015 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, 2015, pp. 42–47.
- [12] P. Singh and S. Purwar, “Sliding mode controller for PWM based Buck-boost DC/DC converter as state space averaging method in continuous conduction mode,” in *2012 2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems*, 2015, pp. 1–5.