

# Desain Pengendalian *Web Tension* pada *Roll Winder* Menggunakan Kendali Optimal LQR

Ahmad Faizal<sup>1</sup>, Dian Mursyitah<sup>2</sup>, Ewi Ismaredah<sup>3</sup>, Syukron Jamil<sup>4</sup>, Sutoyo<sup>5</sup>

Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Suska Riau<sup>1,2,3,4,5</sup>

e-mail : ahmad.faizal@uin-suska.ac.id; dmursyitah@uin-suska.ac.id; ewi.ismaredah@uin-suska.ac.id; syukronjamil@gmail.com; Sutoyo@uin-suska.ac.id

## Abstrak

*Web tension* berhubungan pengendalian tegangan pada permukaan kertas. Performansi pada unit *winder* untuk proses pembuatan kertas mensyaratkan pengendalian yang halus, respon cepat dan error steady state minimum. Sehingga diperlukan pengendali yang tepat untuk *plant* ini dengan memperhatikan settling time dan frekuensi natural yang diinginkan dari lembar kertas. Salah satu pengendali optimal yang tepat untuk diaplikasikan adalah Linear Quadratic Regulation (LQR). Hasil penelitian menunjukkan LQR mampu menghasilkan performansi yang optimal, dimana pengendalian ini berkerja dengan cara pembobotan matrik Q dan R yang optimal dengan menggunakan metode trial and error. Respon sistem mampu mencapai setpoint yang diberikan yaitu 0.5 N, serta mampu meminimalisir overshoot dan mempertahankan steady state, dimana didapatkan nilai-nilai parameter nya adalah  $Ess=0.0025$  N,  $\tau=0.0732$  detik,  $tr=0.4$  detik,  $ts=0.1595$  detik,  $td=0.0586$  detik,  $Mp=0.05\%$ ,  $IAE=0.03298$

**Kata kunci:** Integral of Absolute Error (IAE), Linear Quadratic Regulator (LQR), Roll winder, Web tension.

## Abstract

*Web tension* is related to controlling tension on the surface of the paper. Performance on the *winder* unit for the papermaking process requires smooth control, fast response and a minimum steady state error. So it need the right controller for this *plant* by paying attention to settling time and the desired natural frequency the sheet of paper. One optimal controller that appropriate to applied is Linear Quadratic Regulation (LQR). The results showed the LQR is able to produce optimal performance, where this control works by weighting the optimal Q and R matrices using trial and error methods. The system response is able to reach a given setpoint of 0.5 N, and is able to minimize overshoot and maintain steady state, where the parameter values obtained are  $Ess = 0.0025$  N,  $\tau = 0.0732$  seconds,  $tr = 0.4$  seconds,  $ts = 0.1595$  seconds,  $td = 0.0586$  seconds,  $Mp = 0.05\%$ ,  $IAE = 0.03298$

**Keywords:** Integral of Absolute Error (IAE), Linear Quadratic Regulator (LQR), Roll winder, Web tension.

## 1. Pendahuluan

Pengendalian kualitas produk dalam proses produksi merupakan faktor yang sangat penting bagi dunia industri karena pengendalian kualitas yang baik dan dilakukan secara terus menerus akan dapat mendeteksi ketidaknormalan secara cepat, sehingga dapat segera dilakukan tindakan antisipasinya [1]. Salah satu faktor kendali yang dapat mempengaruhi kualitas ketebalan dalam proses pembuatan lembaran kertas adalah *web tension*.

*Web tension* merupakan pengendalian tegangan pada permukaan kertas. Tegangan permukaan kertas yang terlalu kendor dapat menyebabkan variasi ketebalan gulungan akhir proses *coating* tidak seragam, sedangkan jika terlalu kencang kertas akan putus sehingga proses *coating* dapat terhenti [2].

Performansi pada unit *winder* untuk proses pembuatan kertas mensyaratkan pengendalian yang *smooth*, respon relatif cepat dan *error steady state* yang kecil. Sehingga diperlukan pengendali yang tepat untuk *plant* ini dengan memperhatikan *settling time open loop* dan frekuensi natural yang diinginkan dari lembar kertas. Salah satu pengendali optimal yang tepat untuk diaplikasikan adalah Linear Quadratic Regulation (LQR).

Keunggulan utama pengendali LQR yaitu kemampuannya yang baik dalam mempercepat respon waktu, meminimalisir overshoot, dapat mempertahankan setpoint, serta dapat meminimalisir gangguan yang terjadi secara optimal. Dengan keunggulan yang dimiliki pengendali LQR tersebut, maka pada penelitian ini diharapkan mampu mendapatkan hasil keluaran yang

optimal untuk pengendalian *web tension* pada sistem *roll winder* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

## 2. Metode Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan studi literature, pengumpulan data pra-disain, penentuan variabel berupa bentuk fungsi alih dari sistem *Web Tension*, validasi model matematis, merancang pengendali LQR, kemudian akan dilakukan analisa dari hasil rancangan pengendali dan terakhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil penelitian.

### 2.1 Winder Machine

*Winder Machine* atau Mesin Winder memiliki fungsi utama melepaskan gulungan kertas pada kondisi tegangan kertas dari jumbo reel, memotong kertas dengan lebar tertentu, dan menggulung kertas tersebut menjadi gulungan *roll* berdiameter kecil.

Bagian-bagian winder adalah, *unwind sistem, rewind sistem, lead in rol, slitter section, trim sistem, guide rolls, spreader rolls, core chuck, rider roll, ejector and cradle, paper core loader, safety guard, dan threading sistem* [3].



Gambar 1. *Winder Machine* [3]



Gambar 2. *Roll Winder mesin* [3]

### 2.2 Permodelan Dinamika *Web Tension*

*Web tension* merupakan pengendalian tegangan pada permukaan kertas. Pada saat proses *coating* berlangsung tekanan permukaan kertas antara *rol winder* dan *lead roll* dijaga kondisinya agar tidak terjadi perubahan tegangan yang dapat menyebabkan permukaan kertas tidak rata. Fungsi transfer orde kedua dalam domain-s mulai dari torsi motor sampai tensi lembar kertas didapatkan sebagai berikut:

$$\frac{T}{\tau} = \frac{\frac{DEA}{2GRJL} \left( \frac{C}{E} S + 1 \right)}{S^2 + \left( \frac{B}{J} + \frac{V_1}{L} + \frac{D^2 CA}{4GR^2 JL} \right) S + \left( \frac{BV_1}{JL} + \frac{D^2 EA}{4GR^2 JL} \right)} \quad (1)$$

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dari tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Parameter *web tension winder* [1]

No	Parameter	Keterangan	Nilai
1	D	Diameter Roll Winder	1,056 m
2	GR	Gear Ratio	3
3	E	Modulus Elastisitas Young pada Kertas	1719 x 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
4	A	Luas Melintang Kertas	1,72 x 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>
5	J	Total Inersia pada Motor	144,967 Kgm <sup>2</sup>
6	L	Panjang antara Lear Roll dan Roll Winder	5 m
7	C	Modulus Redaman Kertas	5 N Sec/ m <sup>2</sup>
8	B	Koefisien Gesek pada Motor Penggerak	2,23 x 10 <sup>-3</sup> N mrad/sec
9	V1	Kecepatan Kertas pada Lead Roll	152 m/sec

### 2.3 Linear Quadratic Regulator (LQR)

Pada perancangan pengendali optimal LQR, terlebih dahulu menentukan matriks Q dan R yang selanjutnya digunakan untuk menentukan indeks performansi sistem, harga matriks Q dan R ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan dengan menggunakan indeks performansi [4].

langkah-langkah untuk merancang kendali LQR adalah sebagai berikut:

1. Ubah bentuk *Transfer Function Plant* nonlinier menjadi bentuk *State Space* dan dapatkan matriks A, B, C dan D dari *Plant* tersebut.
2. Tentukan matriks pembobot Q dan R.
3. Selesaikan persamaan aljabar riccati hingga menghasilkan suatu matriks S yang definit positif.
4. Hitung optimal *Gain Feedback* K.

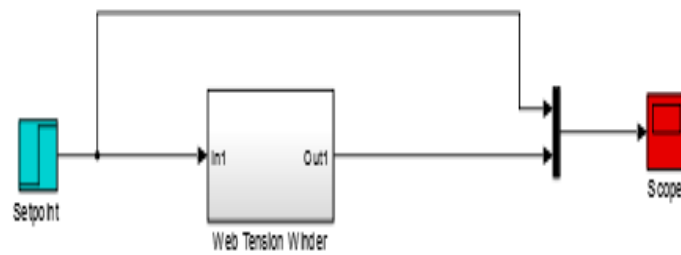
### 2.4 Pemodelan *Web Tension Winder*

Berdasarkan persamaan fungsi alih unit *winder*, dengan memasukkan nilai-nilai parameternya pada table 1 sehingga didapatkan sebagai berikut:

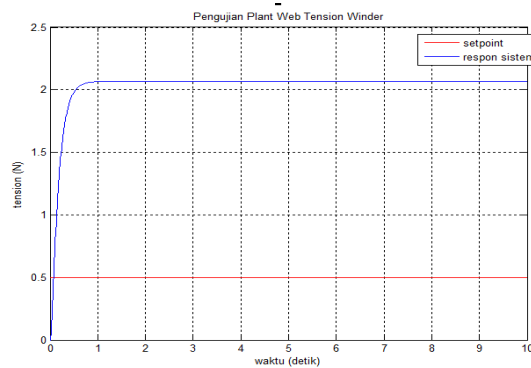
$$\frac{T}{\tau} = \frac{2.088 \times 10^{-6} s + 717.922}{S^2 + 31.98875 s + 173.535237} \quad (2)$$

### 2.5 Pengujian *Plant*

Pengujian *Plant* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab R2013a*., Dinamika sistem pada unit *rewinder* akan dimodelkan berupa *single input* dan *single output*, yang mana torsi motor sebagai *manipulated variable (input)* dan *tension* sebagai *process variable (output)*. Seperti yang digambarkan seperti pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Blok simulink diagram *web tension winder*



Gambar 4. Respon *web tension winder* (tanpa pengendali)

## 2.6 Perancangan Kendali Optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Untuk perancangan kendali optimal LQR, fungsi alih perlu dikembalikan kedalam bentuk *State Space*, yakni seperti berikut :

$$\frac{T}{\tau} = \frac{2.088 \times 10^{-6} s + 717.922}{s^2 + 31.98875 s + 173.535237}$$

$$\frac{U(s)}{Y(s)} = \frac{2.088 \times 10^{-6} s + 717.922}{s^2 + 31.98875 s + 173.535237}$$

Sehingga diperoleh persamaan *state space* adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -173.535237 & -31.98875 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2.088 \times 10^{-6} \end{bmatrix} \dot{u} + \begin{bmatrix} 0 \\ 717.922 \end{bmatrix} u$$

Dan Persamaan *output* :

$$Y = [1 \quad 0] + \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Dari persamaan *state space* dan persamaan *output* dapat ditentukan matrik *state space* A, B, C, dan D sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -173.5355237 & -31.98875 \end{bmatrix}$$

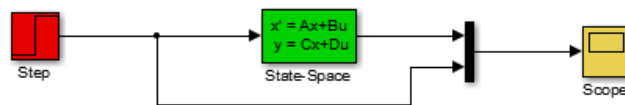
$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.088 \times 10^{-6} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 717.922 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \quad 0]$$

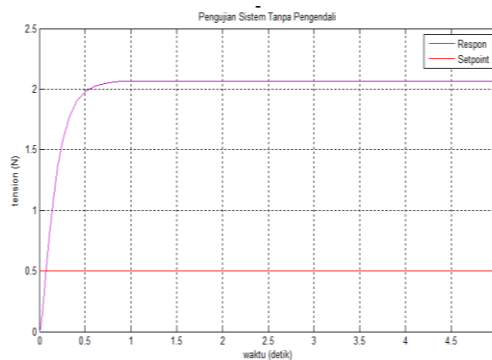
$$D = [0]$$

### 3. Hasil Dan Analisa

#### 3.1 Simulasi Sistem Tanpa Pengendali



Gambar 5. Close Loop Web Tension Winder Pada Matlab



Gambar 6. Respon Close Loop State Space Sistem Tanpa Pengendali

#### 3.2 Menentukan Matrik Q dan R yang optimal dengan Analisa IAE

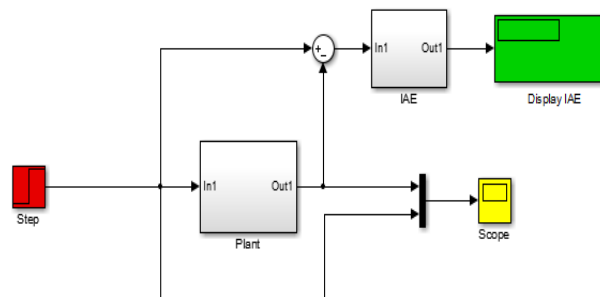
Cara menentukan matrik Q dan R, terlebih dahulu menetapkan matrik R konstan bernilai 1 dan matrik P akan dibobotkan nilainya dengan metode *trial and error* dengan panduan nilai  $Q = \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$  nilai P akan melengkapi nilai matrik Q. Percobaan *trial and error* pada nilai P dapat dilihat pada table 2 yang telah dilakukan oleh penulis.

Tabel 2. percobaan pembobotan matrik Q dan R konstan bernilai 1

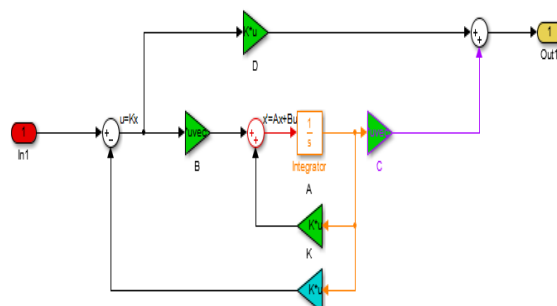
No	Nilai P pada Matriks Q	Matriks R	Matriks K	IAE
1	10	1	[2.9298 0.0562]	1.717
2	5	1	[2.0074 0.0425]	1.397
3	3	1	[1.5071 0.0341]	1.083
4	1	1	[0.7871 0.0201]	0.1005
5	0.1	1	[0.1563 0.0046]	3.674
6	0.3	1	[0.3570 0.0100]	1.651
7	0.5	1	[0.5056 0.0137]	0.8481
8	0.7	1	[0.6292 0.0166]	0.3887
9	0.9	1	[0.7373 0.0190]	0.08354
10	0.92	1	[0.7474 0.0192]	0,05851
11	0.94	1	[0.7575 0.0194]	0.03436
12	0.942	1	[0.7585 0.0195]	0.03298
13	0.943	1	[0.8160 0.0207]	0.1657
14	0.944	1	[0.8155 0.0207]	0.1645
15	0.945	1	[0.8150 0.0207]	0.1634

Dari percobaan ini ternyata nilai matriks P= 0.942 adalah nilai IAE yang paling kecil karena jika dilakukan pembobotan pada matriks Q dengan nilai yang lebih atau kurang dari 0.942 maka nilai IAE akan kembali besar. Hasil simulasi menunjukkan respon sistem sudah mencapai *setpoint* yang diberikan dan dapat mempertahankan *steady state*.

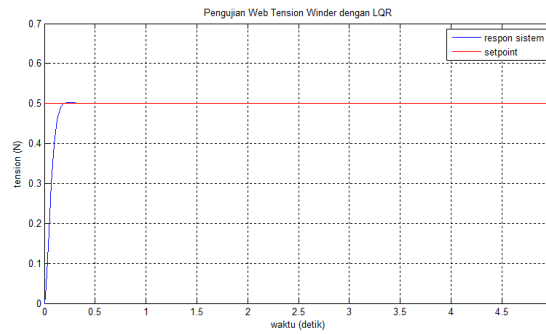
### 3.3 Simulasi Kendali Optimal (LQR) pada Web Tension Winder



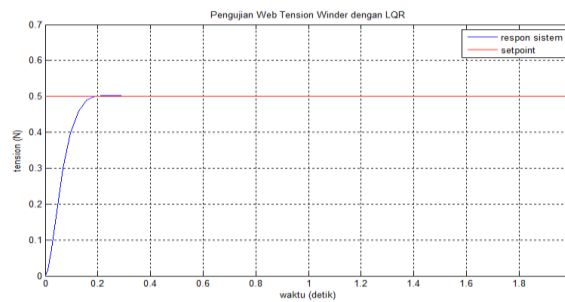
Gambar 7. Blok Diagram Sistem Dengan Kendali LQR



Gambar 8. Subsystem Blok Diagram Kendali Optimal LQR



Gambar 9. Respon Sistem Dengan Pengendali Optimal LQR Waktu 5 Detik

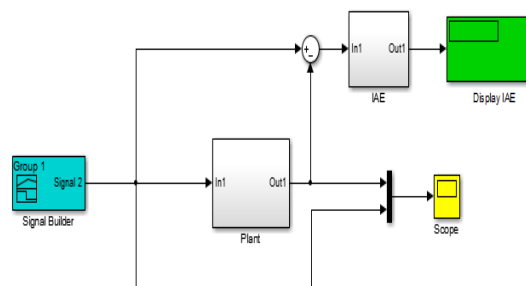


Gambar 10. Respon Sistem Dengan Pengendali Optimal LQR Waktu 2 Detik

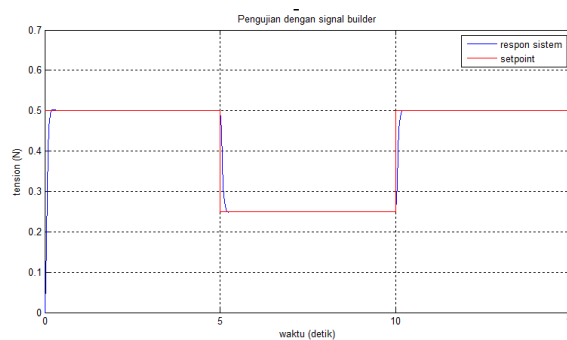
Tabel 3. Analisa identifikasi respon sistem menggunakan kendali optimal LQR

Parameter identifikasi	Kendali optimal LQR
$\tau$	0.0732 detik
$t_d$	0.0586 detik
$t_r$	0.4 detik
$t_s$	0.1595 detik
$M_p$	0.05%
$E_{ss}$	0.0025 N
$IAE$	0.03298

### 3.4 Simulasi Kendali Optimal LQR Dalam Mengatasi Perubahan *Setpoint* pada Web Tension Winder



Gambar 11. Blok Diagram Sistem *Signal Builder* Dengan Kendali LQR



Gambar 12. Respon Sistem Dengan Kendali Optimal LQR Dalam Mengatasi Perubahan *Setpoint*

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan respon mampu mencapai *setpoint* yang diberikan yaitu 0.5 N, serta mampu memperkecil *overshoot* dan mempertahankan *steady state*, dimana didapatkan nilai-nilai parameter nya adalah  $E_{ss}=0.0025$  N,  $\tau = 0.0732$  detik,  $t_r = 0.4$  detik,  $t_s = 0.1595$  detik,  $t_d = 0.0586$  detik,  $M_p = 0.05\%$  dengan nilai *Integral of Absolute Error* (IAE) yakni sebesar 0.03298. Pengendali LQR yang digunakan untuk pengendalian *web tension* pada *roll winder* ini juga mampu mengatasi perubahan *setpoint* secara optimal.

#### Daftar Pustaka

- [1] Parlaungan, 2011, "Quality Control Untuk Produksi Kertas PT X Paper Products Menggunakan Metode Six Sigma", Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta
- [2] T. R. Biyanto, "Sistem Pengendalian Web Tension Menggunakan Kontroler Robust PID", Jurnal Teknik Mesin, Vol. 7, No. 2, Oktober 2005: 63 – 68
- [3] handbook, 2018, <http://impas-itsb.blogspot.com/2018/06/impas-goes-to-magang.html>, Institut Teknologi dan Sains Bandung. Diakses pada Januari 2019
- [4] Lewis Frank L dan Syrmos, Vassilis L. "Optimal Control", John Wiley dan Sons, Inc, 1995.
- [5] Ganeshthangaraj, Ponniah, "Fuzzy logic based control design for active dancer closed loop web tension control", International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), ISSN: 2248-9622. Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp. 438-443
- [6] Andrew, Kadik, "Adaptive Force Control of in Web Handling Systems", Intelligent Control and Automation, 2012, 3, 329-336. <http://dx.doi.org/10.4236/ica.2012.34038> Published Online November 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/ica>)
- [7] K. Ogata. *Modern Control Engineering*, 5th ed. New Jersey : Prentice Hall, 2010.
- [8] Badri, Unis, dkk. "Kontrol Optimal pada Motor DC Menggunakan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR)". Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) ITS Surabaya, 2008.
- [9] Firmansyah, Rifqi, dkk. "Penerapan Kontroler LQR dengan Gain Feed Forward Statis untuk Tracking Pendulum Terbalik Dua Tingkat". Seminar Nasional Pendidikan Matematika Ahmad Dahlan (SENDIKMAD) Yogyakarta, 2012.
- [10] Fahmizal, 2019, "Robot Inverted Pendulum Beroda Dua (IPBD) dengan Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR)", ELKOMIKA | ISSN (p): 2338-8323 | ISSN (e): 2459-9638,