

UNIVERSITAS BENGKULU – FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PROBLEM SET 7: ANALISIS DERET WAKTU DAN PERAMALAN

Topik: Representasi Ruang Keadaan (State-Space) dan Algoritma Discrete Kalman Filter

Informasi Tugas & Identitas Mahasiswa

Nama	:		NPM	:	
Prodi/Kelas	:	S1 Teknik Elektro	Hari/Tanggal	:	
Dosen	:	Ir. Novalio Daratha, Ph.D.	Batas Waktu	:	1 Minggu

Soal 1. [Level C1 – Mengingat / *Remembering*] (Bobot: 10%)

- Tuliskan 2 persamaan sistem dinamis stokastik diskrit (Persamaan State dan Persamaan Pengukuran) dalam notasi matriks!
- Sebutkan fungsi dari **Kalman Gain** (K_k) dalam proses pembaruan pengukuran (*measurement update*)!

Soal 2. [Level C2 – Memahami / *Understanding*] (Bobot: 15%)

- Jelaskan apa yang terjadi pada nilai Kalman Gain K_k dan hasil estimasi $\hat{x}_k$ jika variansi derau sensor pengukuran sangat besar ($R \rightarrow \infty$)?
- Sebaliknya, jelaskan apa yang terjadi jika sensor pengukuran sangat presisi tanpa derau ($R \rightarrow 0$)?

Soal 3. [Level C3 – Menerapkan / *Applying*] (Bobot: 20%)

Sebuah sistem baterai penyimpan energi (BESS) dimodelkan untuk estimasi tegangan open-circuit V_{oc} :

$$x_k = x_{k-1} + w_{k-1}, \quad w \sim \mathcal{N}(0, Q = 0.01)$$

$$z_k = x_k + v_k, \quad v \sim \mathcal{N}(0, R = 0.16)$$

Inisialisasi pada $k = 0$: estimasi awal $\hat{x}_0 = 3.60$ V dengan kovarians error $P_0 = 1.0$. Pada langkah pertama ($k = 1$), sensor mengukur tegangan baterai sebesar $z_1 = 3.85$ V.

- Hitunglah estimasi *a priori* $\hat{x}_1^-$ dan kovarians error prediksi P_1^- .
- Hitunglah nilai Kalman Gain K_1 .
- Hitunglah estimasi *a posteriori* $\hat{x}_1$ dan kovarians error terbaru P_1 .

Soal 4. [Level C4 – Menganalisis / *Analyzing*] (Bobot: 20%)

Sebuah sensor arus DC yang dipasang pada inverter PLTS menghasilkan pembacaan yang terdistorsi oleh noise frekuensi tinggi:

- **Uji Tuning 1:** Diset $Q = 10^{-2}$, $R = 10^{-4}$. Hasil estimasi Kalman Filter sangat berfluktuasi mengikuti setiap spike bising sensor.
- **Uji Tuning 2:** Diset $Q = 10^{-6}$, $R = 1.0$. Hasil estimasi Kalman Filter sangat halus namun mengalami kelambatan respon (*phase lag*) yang parah saat arus pembangkitan PV melonjak tajam di siang hari.

Tugas Analisis:

- Analisislah mengapa rasio Q/R menentukan kecepatan respon dinamik vs ketahanan terhadap derau pada Kalman Filter!
- Bagaimana strategi insinyur menentukan nilai optimal matriks Q dan R dari data empiris kalibrasi sensor dan spesifikasi transduser arus?

Soal 5. [Level C5 – Mengevaluasi / *Evaluating*] (Bobot: 15%)

Untuk mengestimasi *State-of-Charge* (SoC) sel baterai Lithium-ion yang memiliki kurva tegangan-SoC sangat non-linier:

- **Insinyur A** mengusulkan penggunaan *Discrete Kalman Filter* (DKF) linier standar dengan mengasumsikan kemiringan kurva konstan.
- **Insinyur B** mengusulkan penggunaan *Extended Kalman Filter* (EKF) dengan linierisasi matriks Jacobian $\mathbf{F}_k = \left. \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\hat{\mathbf{x}}}$ pada setiap titik kerja.

Evaluasilah kelebihan dan kelemahan kedua pendekatan tersebut, terutama saat baterai beroperasi pada zona tegangan datar (SoC 20%–80%) dan zona kurva curam (SoC < 10% dan > 90%)!

Soal 6. [Level C6 – Merancang / *Creating*] (Bobot: 20%)

Rancanglah program Python atau Octave mandiri berorientasi objek (*Class KalmanFilter*) yang mengimplementasikan Discrete Kalman Filter untuk sistem 2-Dimensi (Posisi dan Kecepatan, atau Tegangan dan Arus):

- Metode `__init__(self, A, B, H, Q, R, x0, P0)`.
- Metode `predict(self, u=0)` untuk tahap pembaruan waktu.
- Metode `update(self, z)` untuk tahap pembaruan pengukuran.
- Simulasi penyaringan sinyal sensor dengan menampilkan plot perbandingan: Sinyal Asli (Ground Truth), Sinyal Sensor Bising, dan Sinyal Hasil Filter Kalman beserta kurva konvergensi kovarians P_k .