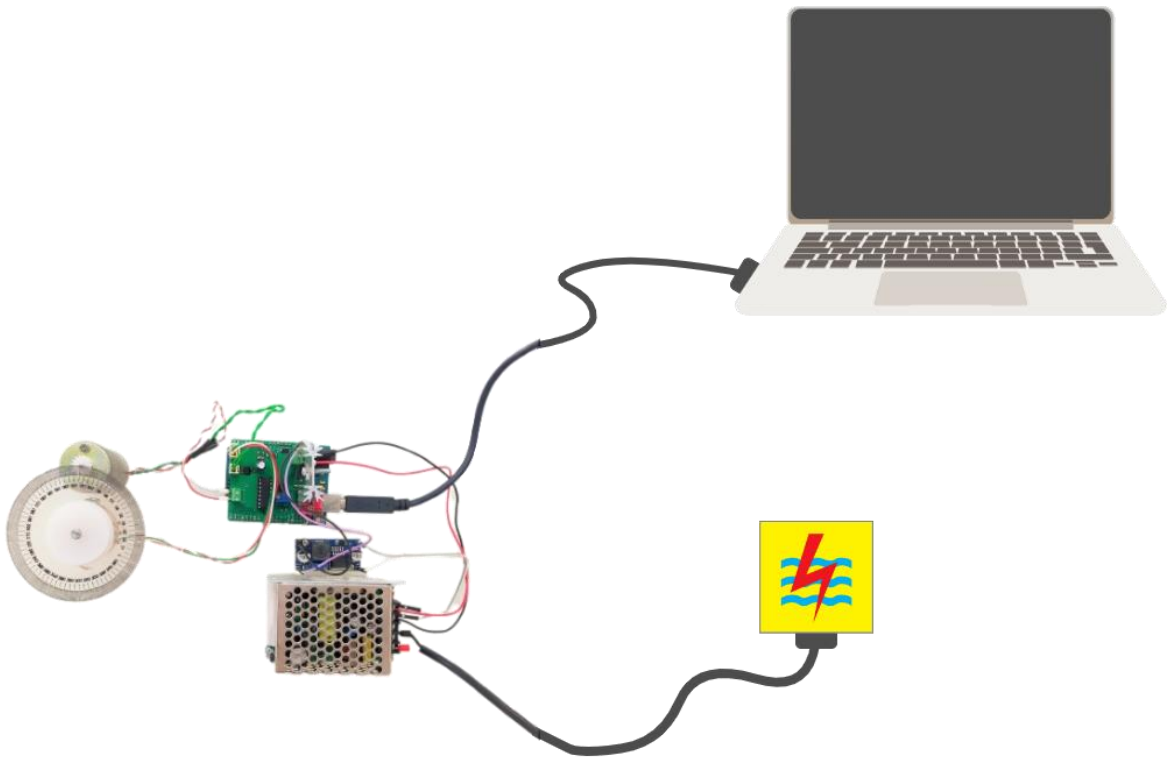


TF4022 – Sistem Kontrol Diskrit

Praktikum Modul 3

Kontrol Posisi Motor DC



Estiyanti Ekawati,
Faqihza Mukhlis,
Natsir Habibullah,
Nazuwatussya'Diyah

September – November 2023

Modul 3 Praktikum SKD

Kontrol Posisi Motor DC

3.1 Latar Belakang

Pengendalian posisi tidak kalah umum dibandingkan dengan pengendalian kecepatan. Aplikasi pengendalian posisi dapat dirasakan manfaatnya di berbagai bidang, seperti pengendalian bukaan valve, pintu atau palang otomatis, printer dan 3D print, CNC, dan lain sebagainya. Pada praktikum sebelumnya, telah dilakukan pengontrolan kecepatan putar motor DC, secara simulasi dan implementasi, menggunakan metode penalaan Zeigler Nichols, Cohen Coon, hingga penalaan halus. Pada praktikum kali ini akan dilakukan pengontrolan posisi.

Praktikum modul ketiga Sistem Kontrol Diskrit ini, akan dimulai dari pemodelan sistem dan simulasi posisi. Dengan secara paralel melakukan pengecekan sistem posisi pada kit praktikum dan modifikasi program menyesuaikan sistem posisi. Dari semua persiapan tersebut akhirnya akan dilakukan implementasi pengontrolan posisi dan pengujian sistem kontrol posisi tersebut ketika diberikan gangguan.

3.2 Tujuan Praktikum

Modul ketiga praktikum Sistem Kontrol Diskrit ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mahasiswa mampu menurunkan model sistem posisi dari sistem kecepatan.
2. Mahasiswa mampu mengontrol sistem posisi.
3. Mahasiswa mampu mengontrol sistem yang diberikan gangguan.

3.3 Alat

Peralatan pada modul ketiga praktikum Sistem Kontrol Diskrit ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Peralatan praktikum modul kedua Sistem Kontrol Diskrit

| No | Alat | Keterangan |
|----|---------------------------|--|
| 1 | Laptop | Disiapkan sendiri |
| 2 | Kit Praktikum | Disediakan asisten |
| 3 | Modul Praktikum Ketiga | Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex |
| 4 | Dokumentasi Kit Praktikum | Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex |

| No | Alat | Keterangan |
|----|-----------------------------|--|
| 5 | <i>Software</i> Arduino IDE | Instal sendiri, unduh di https://www.arduino.cc/en/Main/Software |
| 6 | <i>Software</i> Matlab | Dapat menggunakan Matlab <i>online</i> |
| 7 | Program SKD23.ino | Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex |
| 8 | Program Simulasi.m | Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex |

3.4 Persiapan Praktikum

Sebelum praktikum dilaksanakan, sebaiknya hal-hal berikut perlu dipersiapkan terlebih dahulu:

1. Membaca dokumentasi kit praktikum untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang kit.
2. Menyesuaikan isi program *compensation.ino*, *control.ino*, dan *main.ino* untuk kontrol posisi.
3. Memahami dan memodifikasi program simulasi.m.
4. Membaca prosedur praktikum untuk mengetahui gambaran umum pelaksanaan praktikum. Program untuk menjalankan prosedur juga dapat dipersiapkan sebelum praktikum.
5. Membaca bagian laporan untuk membagi tugas dan mempersiapkan laporan.

3.5 Prosedur Praktikum

Prosedur modul ketiga praktikum Sistem Kontrol Diskrit, dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu pemodelan sistem dan simulasi, persiapan sistem kontrol, dan implementasi kontrol. Pada pemodelan sistem dan simulasi, akan dilakukan pemodelan sistem posisi, diturunkan dari model sistem kecepatan. Selain itu program simulasi juga akan dimodifikasi sehingga mensimulasikan sistem posisi, baik untuk kalang tertutup maupun kalang terbuka. Pada persiapan sistem kontrol akan dilakukan beberapa percobaan kalang terbuka, untuk mengamati respon sistem ketika diberikan masukan. Selain itu akan dilakukan modifikasi program, untuk mengontrol posisi. Pada implementasi kontrol akan dilakukan pengujian sistem kontrol dengan memberikan set point, penalaan halus, serta pengujian sistem kontrol terhadap gangguan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan prosedur praktikum adalah sebagai berikut:

1. Praktikan dipersilakan mengubah *main* program untuk setiap prosedur sesuai dengan kebutuhan. Simpan setiap modifikasi *main* program untuk disampaikan di laporan. Pastikan program modifikasi berjalan sesuai keinginan dengan mengamati *Serial Monitor*. Untuk mencegah kerusakan pada kit praktikum, lepas transistor ketika sedang memastikan keberjalanan program.
2. Bila tidak ada data yang ditunjukkan pada *serial monitor* atau data yang ditunjukkan tidak jelas, mungkin pengaturan *baudrate* belum tepat, atur *baudrate* 115200. Selain menggunakan *serial monitor*, praktikan juga dapat mengamati data percobaan menggunakan *serial plotter*.
3. Bila memberikan masukan melalui serial monitor paling optimal menggunakan pengaturan *Newline*. Pengaturan lain akan memberikan sedikit *delay* ketika memberikan masukan. Tidak direkomendasikan memberikan masukan positif ketika masukan motor negatif dan sebaliknya, ubah masukan menjadi nol terlebih dahulu.

4. Upayakan untuk menyelesaikan prosedur praktikum secepat dan semudah mungkin. Prosedur tidak harus dikerjakan secara tuntas sebelum melanjutkan ke prosedur berikutnya, anda dapat mengulangi prosedur yang belum tuntas atau dilewati.
5. Selain menggunakan kit praktikum, terdapat prosedur yang dikerjakan menggunakan simulasi matlab. Prosedur menggunakan kit praktikum dan simulasi matlab dapat dikerjakan secara paralel. Gunakan waktu praktikum seefisien mungkin.

3.5.1 Pemodelan Sistem dan Simulasi

Pemodelan dan simulasi sangat umum dilakukan, sebelum mulai menerapkan kontrol pada suatu sistem. Pada bagian ini akan dilakukan pemodelan sistem posisi, berdasarkan model sistem kecepatan dan hubungan sensor kecepatan (tachometer) dengan sensor posisi (potensiometer) di kit praktikum. Selain itu program simulasi, yang sebelumnya mensimulasikan sistem kalang terbuka dan tertutup untuk sistem kecepatan, akan dimodifikasi, sehingga akan mensimulasikan sistem kalang terbuka dan tertutup untuk sistem posisi. Pada dasarnya prosedur ini dapat dilakukan tanpa menggunakan kit praktikum, bahkan dapat dikerjakan di rumah. Silakan memprioritaskan prosedur 5.2 terlebih dahulu. Adapun prosedur pemodelan sistem dan simulasi adalah sebagai berikut:

1. Turunkan model sistem posisi dari model sistem kecepatan dengan mempertimbangkan penempatan sensor posisi dan kecepatan pada kit praktikum. Lengkapi tabel 2 model sistem kecepatan dan posisi kit praktikum Sistem Kontrol Diskrit. Diskusikan dengan rekan sekelompok tentang pengaruh spesifikasi kit praktikum berikut terhadap penurunan model sistem posisi.
 - a. Perbandingan roda gigi motor terhadap roda gigi potensiometer adalah 16:100.
 - b. Bila kecepatan motor dalam rotasi per menit (rpm) tidak diketahui, asumsikan kecepatan putar motor 100% adalah 6400 rpm.
 - c. Asumsikan tidak ada slip antara as dan roda gigi.
2. Modifikasi program simulasi.m atau program fungsi lainnya dalam folder Simulasi_SKD_v2 sehingga program tersebut mensimulasikan sistem kalang terbuka dan tertutup dari sistem posisi. Semakin merepresentasikan kit praktikum akan semakin baik.
3. Lakukan penalaan kontrol menggunakan metode kalang tertutup Ziegler Nichols. Lengkapi tabel 3 parameter kontrol kalang tertutup Ziegler Nichols.
4. Lakukan identifikasi performa kontrol untuk tiap parameter kontrol. Lengkapi tabel 4 performa simulasi kontrol posisi.

Tabel 2. Modul sistem kecepatan dan posisi kit praktikum Sistem Kontrol Diskrit

| No | Parameter | Nilai | Satuan | Model Kecepatan | Model Posisi |
|----|---------------------------------|-------|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | Waktu Cacah | | Milidetik | | |
| 2 | Penguatan (<i>Gain</i>) | | | | |
| 3 | Konstanta Waktu (<i>Tau</i>) | | Milidetik | | |
| 4 | Waktu Tunda (<i>DeadTime</i>) | | Milidetik | | |

Tabel 3. Parameter kontrol kalang tertutup Ziegler Nichols

| No | Kontrol | K_p | T_i | T_d | K_i | K_d |
|----|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | P | | - | - | - | - |
| 2 | PI | | | - | | - |
| 3 | PID | | | | | |
| 4 | PID <i>Overshoot</i> kecil | | | | | |
| 5 | PID tanpa <i>Overshoot</i> | | | | | |
| 6 | Pcrit | | | | | |
| 7 | Tcrit | | | | | |

Tabel 4. Performa simulasi kontrol posisi

| No | Kontrol | <i>Delay Time</i> | <i>Rise Time</i> | <i>Overshoot</i> | <i>Settling Time</i> | <i>Offset</i> |
|----|----------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| 1 | P | | | | | |
| 2 | PI | | | | | |
| 3 | PID | | | | | |
| 4 | PID <i>Overshoot</i> kecil | | | | | |
| 5 | PID tanpa <i>Overshoot</i> | | | | | |

3.5.2 Persiapan Sistem Kontrol

Sebelum masuk ke dalam wilayah pengontrolan posisi, terlebih dahulu akan dilakukan pengecekan pembacaan sensor posisi, serta beberapa percobaan kalang terbuka. Berdasarkan hasil pengamatan pada percobaan akan dilakukan modifikasi program kontrol posisi. Persiapan sistem kontrol akan sangat mempengaruhi implementasi kontrol, tiap prosedur dalam prosedur persiapan sistem kontrol juga akan sangat mempengaruhi prosedur lainnya. Lakukan prosedur persiapan sistem kontrol dengan pemahaman yang cukup. Adapun prosedur persiapan sistem kontrol adalah sebagai berikut:

1. Modifikasi tab compensation dengan tujuan untuk mengamati respon posisi. Pastikan dalam rentang masukan -1 hingga 1 motor tidak berputar.
2. Persiapkan program dalam kondisi kalang terbuka terkompensasi untuk mengamati posisi. Amati bacaan sensor posisi terhadap berbagai nilai masukan dalam rentang -100 hingga 100.
3. Lengkapi tabel 5 klasifikasi pengamatan posisi terhadap masukan. Perhatikan bahwa semakin cepat putaran motor, maka akan semakin sulit untuk mengamati posisi. Berdasarkan pengamatan secara kualitatif, klasifikasikan pengamatan posisi ini terhadap rentang masukan yang diberikan. Gunakan serial plotter untuk membantu pengamatan.
4. Modifikasi tab control untuk mengendalikan posisi dengan memperhatikan dua batasan berikut
 - a. Nilai error berada dalam rentang -50 hingga 50, karena apabila pembacaan posisi lebih dari 100 maka akan kembali ke 0 dan sebaliknya, apabila pembacaan posisi kurang dari 0 akan langsung ke 100.

- b. Berikan batas pada aksi kontrol (hasil perhitungan kontrol) pada rentang yang diinginkan sesuai dengan klasifikasi pada tabel 5.

Tabel 5. Performa pengontrolan setelah penalaan halus

| No | Rentang Masukan | Klasifikasi Pengamatan |
|----|-----------------|------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |

3.5.3 Implementasi Kontrol

Saatnya menguji program untuk mengontrol posisi. Pada bagian ini implementasi kontrol akan cukup menantang. Sistem posisi pada kit praktikum Sistem Kontrol Diskrit sangat sensitif terhadap putaran motor. Pertama-tama akan diujikan nilai parameter kontrol yang didapatkan pada prosedur pemodelan sistem dan simulasi. Apabila implementasi kontrol posisi menghasilkan performa yang kurang memuaskan, maka perlu dilakukan penalaan halus terhadap parameter kontrol. Apabila penalaan halus tidak juga dapat memberikan performa yang memuaskan, maka perlu dilakukan modifikasi program lebih lanjut berdasarkan pengalaman implementasi kontrol. Bila diperlukan, program dapat dimodifikasi sehingga menjalankan jenis pengontrol yang lain seperti kontrol on-off. Setelah mendapatkan sistem kontrol yang dinilai memuaskan, sistem kontrol tersebut akan diuji dengan cara memberikan gangguan secara manual. Adapun prosedur implementasi kontrol adalah sebagai berikut:

1. Lakukan kontrol posisi dengan set point 50, 20, 50, 90, dan 20. Berikan jeda antar set point minimal dua detik. Simpan dinamika perubahan posisi. Lakukan percobaan kontrol ini untuk tiap parameter kontrol pada tabel 3. Lakukan identifikasi performa kontrol, berdasarkan dinamika tersebut. Lengkapi tabel 6 performa implementasi kontrol posisi.
2. Lakukan penalaan halus dengan mengubah nilai salah satu jenis kontrol yang menghasilkan performa terbaik.
3. Apabila tidak didapatkan performa yang dinilai cukup baik bahkan setelah penalaan halus, lakukan modifikasi kembali pada tab control. Modifikasi program bersifat bebas, tidak dibatasi untuk menggunakan pengontrol P, PI, ataupun PID. Dapat digunakan jenis pengontrol lain seperti PD ataupun on-off.
4. Menggunakan program atau parameter kontrol terbaik, berikan set point 50, kemudian berikan gangguan dengan cara memutar potensiometer secara manual. Simpan respon pengontrolan terhadap gangguan ini.

Tabel 6. Performa implementasi kontrol posisi

| No | Kontrol | <i>Delay Time</i> | <i>Rise Time</i> | <i>Overshoot</i> | <i>Settling Time</i> | <i>Offset</i> |
|----|----------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| 1 | P | | | | | |
| 2 | PI | | | | | |
| 3 | PID | | | | | |
| 4 | PID <i>Overshoot</i> kecil | | | | | |

| No | Kontrol | <i>Delay Time</i> | <i>Rise Time</i> | <i>Overshoot</i> | <i>Settling Time</i> | <i>Offset</i> |
|----|----------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| 5 | PID tanpa <i>Overshoot</i> | | | | | |
| 6 | Penalaan Halus | | | | | |

3.6 Laporan dan Analisis

Bagian ini berisi panduan umum penyusunan dan ketentuan pengumpulan laporan praktikum. Selain itu juga berisi pertanyaan-pertanyaan untuk dibahas di bagian analisis.

3.6.1 Laporan

Laporan praktikum diunggah per kelompok pada kuliah2021 paling lambat dua minggu setelah hari praktikum. Nilai bonus akan diberikan kepada kelompok yang mengumpulkan dalam waktu seminggu setelah praktikum. Laporan dikumpulkan dalam file .pdf dengan melampirkan file spreadsheet yang berisi pengolahan data dan grafik. Program-program yang dimodifikasi juga harus dilampirkan. Semua file tersebut digabungkan dan diupload dalam .zip. Laporan minimum memiliki garis besar sebagai berikut:

1. Latar Belakang
2. Tujuan
3. Alat
4. Prosedur
5. Analisis
6. Kesimpulan
7. Kontribusi
8. Referensi

Latar belakang, tujuan, alat, dan prosedur tidak boleh sama persis dengan yang tertulis pada modul ini. Silakan dituliskan kembali, sesuai dengan pemahaman kelompok, terhadap latar belakang dan tujuan praktikum. Alat dan prosedur yang digunakan atau dilakukan juga disesuaikan dengan kondisi aktual keberjalanan praktikum kelompok. Analisis dituliskan menjawab pertanyaan-pertanyaan pada bagian berikutnya. Kesimpulan dituliskan sesuai dengan pemahaman kelompok. Kontribusi berisi Tabel 7 dilengkapi dengan keterangan peran tiap anggota kelompok dalam keberjalanan praktikum maupun penyusunan laporan praktikum. Tambahkan juga referensi di laporan praktikum.

Tabel 7. Kontribusi anggota kelompok dalam praktikum Sistem Kontrol Diskrit.

| No | NIM | Nama Lengkap Anggota | Kontribusi |
|----|-----|----------------------|------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |

3.6.2 Analisis

Pembahasan analisis akan dibagi menjadi tiga bagian, sesuai dengan pembagian prosedur praktikum. Bagian ini akan berisi perintah atau pertanyaan-pertanyaan, untuk didiskusikan dan dituliskan di laporan. Bagian ini akan menjadi penilaian utama dari laporan praktikum. Penyusunan analisis pada laporan sebaiknya mengalir, sehingga alur penyampaian analisis tidak lompat-lompat. Jawaban pertanyaan tidak harus urut, silakan disesuaikan dengan alur penyampaian analisis.

A. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Analisis pemodelan sistem dan simulasi berkaitan dengan pemodelan sistem posisi, modifikasi program simulasi, dan simulasi kalang terbuka dan tertutup untuk sistem posisi, sebagai berikut:

1. Jelaskan proses dan justifikasi penurunan model sistem posisi dari sistem kecepatan!
2. Jelaskan modifikasi program simulasi matlab yang dilakukan, sehingga program mensimulasikan sistem posisi, baik kalang terbuka maupun kalang tertutup!
3. Apa yang terjadi pada sistem kalang terbuka ketika diberikan masukan? Mengapa demikian? Jelaskan!
4. Uraikan langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan P_{crit} dan T_{crit} dalam penalaan parameter kontrol menggunakan metode kalang tertutup Ziegler Nichols dalam simulasi!
5. Kontrol mana yang memberikan performa terbaik? Jelaskan!

B. Persiapan Sistem Kontrol

Analisis persiapan sistem kontrol berkaitan dengan modifikasi program kalang terbuka untuk memahami kelakuan sistem terhadap masukan. Selain itu juga berkaitan dengan modifikasi program kalang tertutup sistem posisi, berdasarkan pemahaman kelakuan tersebut, sebagai berikut:

1. Jelaskan modifikasi program yang dilakukan pada tab compensation! Apakah modifikasi program diperlukan? Kenapa diperlukan atau tidak diperlukan?
2. Jelaskan pembagian klasifikasi yang dilakukan pada percobaan kalang terbuka!
3. Jelaskan modifikasi program yang dilakukan pada tab control! Apakah modifikasi program diperlukan? Kenapa diperlukan atau tidak diperlukan?

C. Implementasi Kontrol

Analisis implementasi kontrol berkaitan dengan performa dan keberhasilan sistem kontrol dalam mengontrol sistem posisi. Diamati pula efek pengontrolan terhadap gangguan yang diberikan pada sistem sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil pengontrolan menggunakan parameter pengontrol dari metode kalang terbuka Ziegler Nichols? Apakah sistem posisi dapat dikontrol dengan baik? Jelaskan!
2. Apakah pengontrolan sistem posisi berhasil? Jelaskan mengapa sistem kontrol tidak berhasil mengontrol posisi, apabila sistem kontrol tidak berhasil! Apabila sistem kontrol berhasil mengontrol posisi, jenis kontrol mana yang menghasilkan performa paling baik? Jelaskan!
3. Apakah parameter pengontrol hasil penalaan halus menghasilkan performa pengontrolan yang lebih baik? Jelaskan!

4. Apakah modifikasi tab control lebih lanjut diperlukan? Jika iya, perubahan atau modifikasi apa yang dilakukan sehingga dapat membuat sistem kontrol berhasil mengontrol atau memberikan performa kontrol posisi yang lebih baik? Jelaskan!
5. Tunjukkan hasil performa kontrol terbaik yang didapatkan! Lengkapi Tabel 8 performa terbaik hasil implementasi kontrol posisi!
6. Tunjukkan pula respon sistem posisi dengan pengontrol terbaik ketika sistem posisi diberikan gangguan secara manual! Berikan komentar.

Tabel 8. Performa terbaik hasil implementasi kontrol posisi

| <i>Delay Time</i> | <i>Rise Time</i> | <i>Overshoot</i> | <i>Settling Time</i> | <i>Offset</i> |
|-------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| | | | | |

3.7 Tugas Tambahan

Tugas bersifat opsional, tidak harus dikerjakan. Tugas boleh ditambahkan menjadi bagian dari laporan untuk nilai tambah. Tugas kali ini lebih ke arah survey untuk jadi pertimbangan praktikum berikutnya. Kemungkinan praktikum berikutnya akan seperti tugas besar atau hanya sekedar presentasi tiap kelompok. Berikut tugas tambahannya:

1. Tugas besar kelompok adalah membangun dan menguji kontrol diskrit lain selain PID konvensional pada kit praktikum, beberapa kontrol diskrit yang dapat dipilih adalah sebagai berikut :
 - a. *Linear Quadratic Regulator (LQR)*
 - b. *Linear Quadratic Gaussian (LQG)*
 - c. *Model Predictive Control (MPC)*
 - d. *Sliding Mode Control (SMC)*
 - e. *Fuzzy Logic Control*
 - f. *State Space Control*
 - g. *Adaptive Control*
 - h. *Robust Control*

Pilihan mana yang akan kelompok anda pilih? Jelaskan alasan anda!
2. Berikan pendapat, saran, dan kritik kelompok anda tentang praktikum untuk setiap poin berikut ini:
 - a. Modul praktikum.
 - b. Kit praktikum.
 - c. Pembagian modul 1, modul 2, dan modul 3.