LAPORAN TUGAS AKHIR 2

Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir

Penyusun:

Asyam Irfan Farras (20524177)

Nisal Muhammad Basyika (20524179)

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2023/2024

HALAMAN PENGESAHAN

Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir

Penyusun:

Asyam Irfan Farras (20524177)

Nisal Muhammad Basyika (20524179)

Yogyakarta, 22 Desember 2023

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
Dr.Eng.,Hendra Setiawan,S.T.,M.T.	**Medilla Kusrianto,S.T.,M.Eng.**
025200526	015240101

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2023/2024

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir

Disusun oleh:

Asyam Irfan Farras	**20524177**
Nisal Muhammad Basyika	**20524179**

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

pada tanggal: 19 Juli 2024

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji	**: Dr.Eng.,Hendra Setiawan,S.T.,M.T.** _____
Anggota Penguji 1	**: Dr. Hasbi Nur Prasetyo W., S.T., M.T.** _____
Anggota Penguji 2	**: Dr. Mohd Azhar Bin Abdul Razak** _____

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 01 Agustus 2024

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dwi Ana Ratna Wati, S.T., M.Eng.

035240102

PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 01 Agustus 2024



Asyam Irfan Farras (20524177)



Nisal Muhammad Basyika (20524179)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN 2
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR 3
LEMBAR PERNYATAAN 4
DAFTAR ISI 5
DAFTAR TABEL 8
DAFTAR GAMBAR 9
RINGKASAN 10
BAB 1. PENDAHULUAN 11
1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah 11
1.2 Rumusan Masalah 13
1.3 Tujuan 13
1.4 Batasan Masalah 14
1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan 14
BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM 15
2.1 Studi Literatur dan Observasi 15
2.2 Dasar Teori 23
2.2.1 Reaktor Nuklir 23
2.2.2 Reaktor Nuklir Berpendingin Air Ringan dan Air Berat 25
2.2.3 Standar yang perlu diperhatikan pada reaktor nuklir 27
2.3 Analisis *Stakeholder* 30
2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem 31
2.5 Spesifikasi Sistem 33
BAB 3. USULAN SOLUSI 34

3.1 Usulan Solusi 1....34
3.1.1 Desain Sistem 1....34
3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1....37
3.1.3 Analisis Risiko Desain 1....38
3.1.4 Pengukuran Performa....39
3.2 Usulan Solusi 2....39
3.2.1 Desain Sistem 2....40
3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2....43
3.2.3 Analisis Risiko Desain....44
3.2.4 Pengukuran Performa....44
3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik....45
3.4 *Gantt Chart*....46
3.5 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1....47
BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN....52
4.1 Hasil Rancangan Sistem....52
4.1.1 Rangkaian Elektronis....53
4.1.2 *Software*....54
4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan....55
4.2.1 Pengujian Posisi Batang Kendali Terhadap Suhu....55
4.2.2 Pengujian Koneksi Antar Sistem....55
BAB 5. HASIL ANALISIS DAN PENGUKURAN....56
5.1 Hasil Analisis....56
5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator....56
5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem....63

5.1.3 Pengalaman Pengguna....63
5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya....64
5.2 Dampak Implementasi Sistem....68
BAB 6. KESIMPULAN....69
6.1 Kesimpulan....69
6.1 Saran....69
DAFTAR PUSTAKA....70
LAMPIRAN – LAMPIRAN....71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil survei antara pengembang dan pengguna 13

Tabel 2.1 Hasil Studi Literatur Solusi Sejenis 15

Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras Simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir..... 37

Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan sistem..... 38

Tabel 3.3 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras Simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir..... 42

Tabel 3.4 Rencana anggaran pengembangan sistem..... 43

Tabel 3.5 Analisa dua usulan solusi..... 45

Tabel 3.6 Kriteria usulan solusi 46

Tabel 3.7 *Gantt chart* pelaksanaan *Capstone Project*..... 46

Tabel 3.8 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 1..... 47

Tabel 5.1. Hasil Ketepatan *Stepper* terhadap Sensor pada *Raspberry Pi* 56

Tabel 5.2 Hasil Ketepatan *Stepper* terhadap Sensor pada *Arduino Uno*..... 57

Tabel 5.3 Pengujian Sistem Koneksi..... 62

Tabel 5.4 Pemenuhan Spesifikasi Sistem..... 63

Tabel 5.5 Implementasi Sistem 64

Tabel 5.6 Kesesuaian Perencanaan 65

Tabel 5.7 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realita 65

Tabel 5.8 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2..... 66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Reaktor Nuklir[11] 24

Gambar 2.2 *Core* reaktor nuklir[12] 26

Gambar 2.3 Reaktor air berat[13] 27

Gambar 3.1 Blok Diagram 35

Gambar 3.3 Desain model sistem.....35

Gambar 3.3 *Flowchart* Sistem 36

Gambar 3.4 Proses cara kerja sistem.....36

Gambar 3.5 Blok Diagram 40

Gambar 3.7 *Flowchart* Sistem 41

Gambar 3.8 Proses cara kerja sistem.....42

Gambar 4.1 Hasil Rancangan Sistem.....52

Gambar 4.2 Rangkaian Elektronis.....53

Gambar 5.1 Magnetic Holder On.....58

Gambar 5.2 Tramp pada batang kendali 59

Gambar 5.3 keterangan Arduino aktif pada seral baudh.....60

Gambar 5.4 Keterangan sistem pada arduino mati yang ditampilkan pada *Raspberry Pi*.....60

Gambar 5.5 Keterangan pada *Raspberry Pi* bahwa sistem Arduino hidup.....61

RINGKASAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus bertambah sejalan dengan pertumbuhan ekonomi, jumlah penduduk, dan sektor industri. Untuk mendukung pembangunan berkelanjutan, pemerintah telah menyusun kebijakan energi nasional yang mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam dan manusia. Pada tahun 2022, konsumsi listrik mencapai 273.761,48 GWh, dengan sektor rumah tangga dan industri sebagai konsumen terbesar. Berdasarkan studi jangka panjang, pada tahun 2025, kebutuhan energi diperkirakan akan meningkat empat kali lipat dibandingkan tahun 2000, sehingga diperlukan diversifikasi sumber energi, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Namun, penerimaan masyarakat terhadap PLTN masih rendah karena kekhawatiran terhadap potensi risiko nuklir dan tingginya biaya investasi.

Untuk mengatasi tantangan ini, edukasi mengenai energi nuklir melalui sarana seperti simulasi Reaktor Nuklir sangat penting. Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor PLTN telah dikembangkan untuk melatih operator dan menguji sistem kontrol reaktor dalam lingkungan yang aman. Penggunaan alat ini menunjukkan peningkatan efisiensi dalam pengambilan keputusan serta peningkatan keamanan reaktor, meskipun ada kendala teknis terkait pengalaman pengguna dan penyesuaian komponen. Alat ini diharapkan dapat meningkatkan kewaspadaan terhadap kesalahan sistem dan mendukung operasional reaktor yang lebih aman dan efisien.

Pada sistem kendali batang reaktor nuklir, terdapat sistem keamanan atau redundansi yang berperan dalam melindungi reaktor dari potensi bahaya. Sistem ini dirancang agar kendali batang reaktor tetap beroperasi meskipun terjadi kegagalan pada komponen utamanya. Sebagai dukungan untuk penelitian dan pengujian, sebuah simulator dikembangkan untuk menguji dan mengevaluasi kinerja sistem kendali dalam berbagai kondisi operasional. Simulator ini memungkinkan para peneliti menemukan kelemahan serta memperbaiki desain sistem kendali, sehingga meningkatkan keamanan reaktor secara keseluruhan. Oleh karena itu, simulator ini menjadi alat yang sangat penting untuk menjaga keamanan dan keandalan operasi reaktor nuklir.

Pengalaman pengguna saat menggunakan sistem yang telah dibuat cukup memuaskan, meskipun terdapat beberapa kendala. Masalah yang muncul meliputi penyesuaian terhadap komponen yang tersedia, pengurangan penggunaan mikrokontroler, serta keterbatasan optimalisasi sistem. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pengalaman pengguna dengan komponen yang ada. Selain itu, sistem belum dapat berfungsi secara maksimal karena keterbatasan waktu dan keahlian pengguna.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah

Kebutuhan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun, dan ini berkaitan dengan pertumbuhan ekonomi yang semakin cepat, pertumbuhan penduduk yang bertambah, serta perkembangan pesat sektor industri. Dalam rangka mendukung konsep pembangunan berkelanjutan, pemerintah Indonesia telah merumuskan kebijakan energi nasional yang mengadopsi pendekatan yang komprehensif terhadap seluruh sektor pembangunan, dengan memperhatikan isu-isu seperti konservasi dan kapasitas lingkungan. Oleh karena itu, optimalisasi pemanfaatan sumber daya alam dan manusia menjadi penting, dengan perhatian yang khusus pada kebutuhan generasi saat ini dan masa depan.

Pada tahun 2022 total penjualan energi listrik mencapai 273.761,48 GWh. Diantara berbagai kelompok pelanggan, sektor Industri menggunakan sebanyak 88.483,30 GWh (32,32%), Rumah Tangga mengkonsumsi sekitar 116.095,41 GWh (42,41%), Bisnis memanfaatkan 50.532,19 GWh (18,46%), dan kelompok lainnya, seperti sektor sosial, gedung pemerintah, dan penerangan jalan umum, menghabiskan sekitar 18.650,58 GWh (6,81%).[1]

Pemerintah telah melakukan sebuah studi perencanaan energi jangka panjang yang melibatkan berbagai departemen, seperti BATAN, BPPT, Ditjen LPE, MIGAS Dep. ESDM, BPS, KLH, dan PT PLN Persero, dengan bantuan teknis dari Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA). Studi ini diberi nama *Comprehensive Assessment of Energy Source for Electricity Generation in* Indonesia (CADES). Temuan dari studi ini menunjukkan bahwa pada tahun 2025, kebutuhan energi listrik di Indonesia akan empat kali lipat dibandingkan dengan tahun 2000.[2]

Untuk memenuhi kebutuhan energi pada tahun 2025, diperlukan konsep penggunaan berbagai sumber energi (energi *mix*) tanpa melakukan diskriminasi terhadap sumber-sumber energi yang tersedia. Oleh karena itu, penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir menjadi suatu kebutuhan yang tidak dapat dihindari untuk memenuhi kebutuhan energi listrik.

Meskipun demikian, sebuah penelitian mengenai pandangan masyarakat terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang dilakukan oleh Prof. A.M. Djuliati Suroyo dari Universitas Diponegoro Semarang telah menunjukkan bahwa hingga saat ini, instalasi atau industri nuklir seperti PLTN, masih menuai kontroversi dan keraguan, sehingga belum sepenuhnya diterima oleh masyarakat. Salah satu alasan utamanya adalah kekhawatiran yang masih ada di

kalangan masyarakat terkait potensi bahaya radiasi dan limbah berbahaya yang dihasilkan oleh industri nuklir, disamping faktor-faktor non-teknis seperti tingginya biaya investasi. Kekhawatiran masyarakat terhadap potensi bahaya nuklir ini tampak beralasan mengingat kenangan akan dampak kecelakaan *Three Mile Island* dan *Chernobyl*, yang masih segar dalam ingatan mereka.[3] Dalam konteks ini, muncul dilema antara kebutuhan nasional untuk memenuhi energi yang mendukung pembangunan berkelanjutan dengan kekhawatiran masyarakat akan bahaya nuklir. Keputusan untuk memasuki era energi nuklir di Indonesia selalu dihadapkan pada tantangan ini. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pendidikan publik dan memberikan informasi yang transparan kepada masyarakat. Hal ini bertujuan agar tujuan kesejahteraan dan ketentraman masyarakat dapat tercapai sambil memahami risiko dan manfaat yang terkait dengan penggunaan energi nuklir.

Dari permasalahan yang telah dijelaskan di atas, diperlukan upaya yang efektif untuk mengatasi kekhawatiran yang dirasakan oleh masyarakat terkait dengan energi nuklir. Salah satu pendekatan yang dapat diambil adalah melalui penyediaan sarana pengenalan dan pembelajaran khusus bagi masyarakat. Sarana ini dapat berupa simulasi atau simulator Reaktor Nuklir. Melalui pendekatan ini, masyarakat akan memiliki kesempatan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai konsep energi nuklir dan memahami secara lebih rinci cara kerja reaktor nuklir, serta sistem keamanan yang ada dalam sebuah Reaktor Nuklir.

Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir) adalah perangkat yang digunakan untuk mensimulasikan dan menguji operasi serta kinerja batang kendali dalam reaktor nuklir. Reaktor nuklir memegang peranan krusial sebagai sumber energi dalam menghasilkan listrik di banyak negara di seluruh dunia. Batang kendali merupakan komponen kunci dalam reaktor nuklir yang bertanggung jawab dalam mengendalikan laju reaksi nuklir dengan mengatur jumlah neutron yang hadir dalam reaktor melalui proses fisi uranium. Berfungsinya batang kendali yang optimal sangat penting untuk menjaga keamanan dan efisiensi operasi reaktor.

Simulator Batang Kendali Reaktor adalah sebuah perangkat lunak dan perangkat keras yang diciptakan untuk mensimulasikan dan memodelkan fungsi dan operasi batang kendali dalam sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) atau reaktor nuklir. Tujuannya adalah untuk melatih operator reaktor, menguji sistem kontrol, serta melakukan analisis dan pengembangan dalam lingkungan virtual yang aman dan terkendali.

Tabel 2.1 Hasil survei antara pengembang dan pengguna

Pertanyaan	Jawaban/tanggapan
Apa yang anda ketahui tentang reaktor nuklir?	Sistem pembangkit listrik yang berbahan bakar nuklir.
Apakah Anda tahu tentang reaktor nuklir yang beroperasi di dekat wilayah Anda? Apa yang Anda ketahui tentang reaktor tersebut?	Tidak terdapat pembangkit listrik tenaga nuklir di daerah sekitar, tetapi saya mendapat beberapa informasi dari internet.
Bagaimana pemahaman Anda tentang risiko dan keamanan yang terkait dengan reaktor nuklir?	Penggunaan reaktor nuklir sebagai pembangkit listrik berisiko akan menyebabkan pencemaran, kebocoran radioaktif dan bahkan ledakan.
Apakah Anda memiliki kekhawatiran terkait dampak lingkungan dari penggunaan energi nuklir? Apa yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampaknya?	Dikhawatirkan akan mencemari lingkungan sekitar dikarenakan limbah dari reaktor nuklir yang sudah habis masa pakainya.
Apakah ada langkah-langkah yang bisa diambil oleh pemerintah atau industri nuklir untuk meningkatkan pemahaman masyarakat tentang reaktor nuklir dan mengatasi kekhawatiran mereka?	Untuk mengatasi kekhawatiran masyarakat pemerintah dapat melakukan sosialisasi guna untuk mengedukasi masyarakat tentang pemahaman reaktor nuklir.
Apakah dengan dibuatnya simulator reaktor nuklir akan menambah kepercayaan masyarakat dan mengurangi kekhawatiran terhadap ketakutan yang dialami masyarakat selama ini?	Masyarakat setempat akan lebih paham dengan cara kerja reaktor nuklir dan akan lebih merasa aman jika sudah paham bagaimana cara kerja reaktor nuklir dan didalamnya terdapat sistem keamanan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari hasil latar belakang di atas agar pembuatan alat ini dapat tercapai dengan maksimal maka didapatkan beberapa rumusan permasalahan yaitu:

1. Bagaimana cara mengatasi kekhawatiran yang dialami masyarakat terhadap energi nuklir?.
2. Bagaimana simulator ini membantu dalam pengujian sistem kontrol PLTN dan meningkatkan keamanan dalam operasinya?.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini untuk menyelesaikan masalah yang ada di rumusan masalah yaitu:

1. Mengatasi rasa khawatir yang dialami masyarakat tentang energi nuklir dengan cara memberikan edukasi berupa simulasi menggunakan simulasi reaktor nuklir

2. Merancang alat simulator sistem kendali batang reaktor nuklir yang dapat membantu dalam pelatihan operator, pengujian sistem kontrol, dan meningkatkan keamanan operasi PLTN melalui simulator.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini:

1. Proyek selesai sebelum bulan Juli 2024.
2. Simulator tidak menggunakan bahan bakar asli (Uranium) dikarenakan aspek keselamatan.
3. Biaya yang digunakan dalam penelitian ini jika menggunakan komponen asli seperti pada reaktor nuklir akan sangat tinggi.

1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan

Pada batasan realistis aspek keteknikan ini terdapat beberapa batasan untuk penelitian ini yaitu:

1. *Stepper Motor* bekerja pada tegangan 24 VDC dan beraruskan 0.33 A.
2. *Magnetic Holder* bekerja pada tegangan 24 VDC dan beraruskan 0.24 A.
3. Simulator harus mampu mereplikasi secara akurat prinsip-prinsip fisika yang terlibat dalam operasi batang kendali reaktor nuklir, termasuk pengendalian laju reaksi nuklir dengan mengatur jumlah neutron.
4. Sistem Kendali simulator menggunakan Mikrokontroler.

BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

2.1 Studi Literatur dan Observasi

Tabel 2.1 Hasil Studi Literatur Solusi Sejenis

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
Analisa Tegangan Panas *Housing* Batang Kendali Reaktor Nuklir Dalam Batas Desain SA403X[4]	Untuk memenuhi desain PLTN tipe PWR, diperlukan pembuatan prototipe *housing* batang kendali.	Hasil: Hasil simulasi perpindahan panas untuk menghitung distribusi temperatur menunjukkan bahwa terdapat *gradient* temperatur yang relatif seragam. Intensitas temperatur akan semakin menurun di permukaan luar dari housing batang kendali. Temperatur tertinggi terjadi di dalam dengan nilai yang sama dengan temperatur operasi reaktor, yaitu 280 ºC. Namun, perpindahan panas melalui konveksi mengakibatkan penurunan intensitas temperatur di permukaan dinding luar. Kelebihan: Memberikan analisis komprehensif mengenai perpindahan panas dan mekanika housing batang kendali dalam reaktor nuklir tipe PWR menggunakan metode elemen hingga. Hasil simulasi menunjukkan tingkat kesalahan yang rendah,

		dengan tingkat kesalahan kurang dari 0,01, mengindikasikan tingkat akurasi yang tinggi dalam pemodelan dan simulasi distribusi temperatur serta tegangan Vonmisses dalam housing batang kendali. Artikel ini juga mengusulkan perlunya pengukuran langsung menggunakan strain gages untuk memvalidasi distribusi tegangan dalam housing batang kendali, menunjukkan komitmen untuk memastikan akurasi temuan. Selain itu, studi ini mempertimbangkan kondisi operasional sebenarnya dari pembangkit listrik tenaga nuklir, termasuk tekanan 15 Mpa dan suhu operasi normal sebesar 280°C, memberikan penilaian realistis terhadap integritas struktural housing batang kendali. Terakhir, artikel ini membahas distribusi temperatur dan tegangan dalam housing batang kendali dengan memberikan analisis rinci tentang perilaku termal dan mekanikal housing dalam berbagai kondisi.

		Kekurangan: Meskipun telah disarankan perlunya pengukuran langsung menggunakan *strain gages* untuk memvalidasi distribusi tegangan dalam *housing* batang kendali, studi ini tidak menyajikan validasi eksperimental atau data dari pengukuran strain gages. Selain itu, penelitian ini tidak merinci asumsi-asumsi khusus yang digunakan selama simulasi, seperti sifat-sifat material yang diterapkan atau kondisi batas yang digunakan. Asumsi-asumsi tersebut memiliki potensi untuk memengaruhi akurasi hasil. Lebih lanjut, studi ini terbatas pada fokus pada perpindahan panas dan mekanika housing batang kendali dalam reaktor nuklir tipe PWR, dan tidak mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mungkin memengaruhi integritas struktural, seperti efek radiasi atau beban dinamis. Terakhir, artikel ini tidak melakukan perbandingan hasil simulasi dengan data analitis atau eksperimental yang ada, yang membuatnya sulit untuk mengevaluasi akurasi dan keandalan hasil simulasi tersebut.

Desain Pengendalian Sistem Pengambilan Panas Reaktor Daya Eksperimental.[5]	Untuk pengembangan Reaktor Daya Eksperimental (RDE).	Hasil: Desain sistem pengambilan panas bertujuan untuk mencegah pelepasan radionuklida ke lingkungan. Desain pengendalian ini menggunakan sistem kendali *cascade* dua tingkat yang melibatkan tindakan umpan-maju (*feedforward*) dan umpan-balik (*feedback*). Sistem pengendalian cascade ini diterapkan pada pengendalian batang kendali, sirkulator helium, dan katup air umpan. Kelebihan: Keunggulan dari desain ini mencakup peningkatan kinerja pengendalian yang lebih baik, pengaturan sistem penghilangan panas yang lebih akurat, dan peningkatan keselamatan pada reaktor daya eksperimental. Pemanfaatan umpan maju (*feedforward*) dan umpan balik (*feedback*), serta integrasi pengontrol PID, berkontribusi pada efektivitas sistem kendali. Kekurangan: Kekurangan dalam hasil penelitian ini adalah bahwa jurnal tidak secara eksplisit

		menyebutkan batasan atau kelemahan dari desain kontrol yang diusulkan untuk sistem penghilangan panas dari reaktor daya eksperimental. Dalam pengendalian batang kendali, aktuasi batang kendali RDE dipengaruhi oleh aliran air umpan sebagai masukan utama, temperatur uap sebagai variabel terukur tingkat pertama, dan fluks neutron sebagai variabel terukur tingkat kedua. Sementara itu, dalam pengendalian kecepatan sirkulator helium, laju alir dan temperatur uap air juga berperan penting dalam pengaturan kecepatan sirkulator helium. Namun, dalam penelitian ini, rincian mengenai batasan dan potensi kelemahan dari pendekatan pengendalian ini tidak dijabarkan dengan cukup detail. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi implementasi praktisnya dan mengidentifikasi potensi tantangan yang mungkin timbul dalam sistem penghilangan panas tersebut.

Pembuatan Simulator Pengendali Batang Kendali Reaktor Nuklir.[6]	Merancang simulator sistem kendali kedudukan batang reaktor nuklir dengan menggunakan komputer mikro.	Hasil: kestabilan pada sistem yang dapat ditentukan dari akar persamaan yang berada pada karakteristik diagram blok. Sistem dapat disebut stabil jika semua akar nya terletak pada lingkaran satuan. Pada pengendali PI juga diperoleh kestabilan sistem pada daerah penguatan, sedangkan pada pengendali PID diperoleh kestabilan pada daerah penguatan. Kelebihan: Pada penyetelan parameter penguatan diperoleh maksimum overshoot sebesar 5% untuk pengendali PI. sedangkan untuk pengendali PID diperoleh maksimum *overshoot* sebesar 47%. Dengan menggunakan komputer mikro, data pengeluaran proses dapat disimpan dan dianalisis kembali untuk melihat parameter PID dan PI sudah sesuai dengan yang diinginkan. Kekurangan: *Software* dan *hardware* pendukung simulator sistem kendali otomatis kedudukan batang kendali dapat dikembangkan lebih lanjut agar dapat

		diimplementasikan langsung pada proses sesungguhnya. Akuator penggerak batang kendali harus dicoba dengan motor jenis lain (seperti motor ac), yang mempunyai torsi lebih besar. Karena pada pengendali sesungguhnya akuator akan menggerakan batang kendali dengan massa yang cukup besar.
Simulasi Kendali Daya Reaktor Nuklir dengan Teknik Kontrol Optimal.[7]	Analisis dan simulasi sistem pengendalian daya pada reaktor nuklir dengan menggunakan teknik kendali optimal yang dirancang menggunakan metode *state feedback*.	Hasil: Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik kontrol optimal seperti LQR, LQG, dan LQI dapat efektif dalam mengatur daya reaktor nuklir dan mengatasi gangguan. Simulasi dan analisis yang kami lakukan menunjukkan bahwa skema kontrol ini mampu memberikan respons yang cepat dalam mengatur keluaran sistem. Selain itu, skema kontrol LQG dengan Sistem Pelacakan juga berhasil membawa keluaran daya reaktor ke titik setelah adanya gangguan yang diterapkan pada sistem. Penelitian ini memberikan dasar untuk pengembangan dan perbaikan lebih lanjut pada sistem kontrol ini.

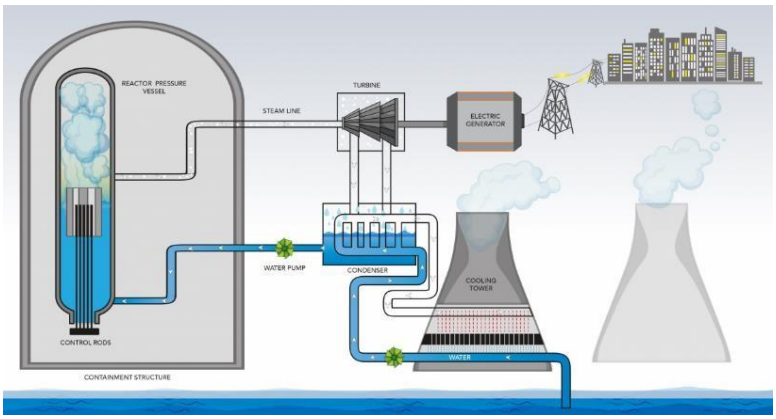
		Kelebihan: Efektivitas dalam mengatur daya reaktor nuklir dan mengatasi gangguan diperlihatkan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknik kontrol optimal seperti LQR, LQG, dan LQI dapat memberikan respons yang cepat dalam mengatur keluaran sistem. Kemampuan skema kontrol LQG dengan Sistem Pelacakan untuk membawa keluaran daya reaktor ke titik setelah adanya gangguan yang diterapkan pada sistem juga disorot dalam penelitian ini. Penelitian ini memberikan dasar bagi pengembangan dan perbaikan lebih lanjut pada sistem kontrol ini. Kekurangan: Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, ada keterbatasan dalam variasi matriks bobot Q dan R yang digunakan dalam simulasi, di mana penelitian hanya memvariasikan nilai q dan r dalam skema kendali LQR dan LQG. Keterbatasan ini dapat membatasi pemahaman tentang pengaruh nilai q dan r terhadap

		performa sistem kendali. Selain itu, penelitian ini tidak melakukan perbandingan dengan metode kontrol lain seperti PID atau kontrol adaptif, hanya fokus pada teknik kontrol optimal seperti LQR, LQG, dan LQI. Perbandingan dengan metode kontrol lain dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang keunggulan dan kelemahan dari masing-masing metode. Terakhir, penelitian ini tidak melibatkan validasi eksperimental di lapangan, karena dilakukan melalui simulasi dan analisis saja. Validasi eksperimental di lapangan dapat memberikan kepastian tentang keefektifan dan kehandalan dari skema kontrol yang diusulkan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir adalah sebuah perangkat yang dirancang untuk menghasilkan energi nuklir dengan memanfaatkan reaksi nuklir. Prinsip ilmiah di balik reaktor nuklir melibatkan dua jenis reaksi nuklir utama, yaitu fisi nuklir dan fusi nuklir. Sistem Reaktor Nuklir dapat di lihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Sistem Reaktor Nuklir[11]

Reaksi yang terjadi di dalam reaktor nuklir adalah fisi atau pembelahan inti atom yang dapat menghasilkan panas, panas tersebut digunakan untuk mendidihkan air yang ada di dalam reaktor nuklir dan menghasilkan uap panas untuk menggerakan turbin.[8]

Reaktor Nuklir terdiri dari beberapa komponen yaitu:

1. Bahan Bakar Nuklir

   Bahan Bakar Nuklir adalah bahan yang mengandung isotop nuklir yang dapat mengalami reaksi nuklir. Contohnya termasuk uranium-235 (U-235) atau plutonium-239 (Pu-239). Bahan bakar nuklir ini terletak dalam elemen bahan bakar seperti pelat, stik, atau batang.

2. Moderator

   Moderator adalah materi yang digunakan untuk mengurangi energi neutron yang dikeluarkan dalam reaksi nuklir, sehingga neutron ini lebih mungkin untuk memicu reaksi nuklir lebih lanjut. Beberapa moderator yang umum digunakan adalah air berat (deuterium oksida) atau grafit.

3. Pendingin

   Pendingin digunakan untuk menjaga suhu reaktor pada level yang aman. Ini melibatkan perpindahan panas dari bahan bakar nuklir ke uap atau air yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin. Air atau gas helium sering digunakan sebagai pendingin.

4. Batang Kendali

   Batang kendali adalah perangkat yang dapat dimasukkan atau ditarik keluar dari reaktor untuk mengendalikan aliran neutron, Ini adalah alat utama untuk mengatur daya reaktor.

5. Pelindung

   Pelindung adalah bagian reaktor yang mengelilingi bahan bakar nuklir dan komponen lainnya untuk melindungi lingkungan dan pekerja dari radiasi nuklir yang mungkin keluar.

6. Generator Uap

   Generator uap mengonversi panas yang dihasilkan oleh reaktor menjadi uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik.

7. Turbin

   Turbin digerakkan oleh uap yang dihasilkan oleh generator uap, dan generator mengubah gerakan mekanik dari turbin menjadi listrik.

8. Kontrol dan Sistem Keselamatan

   Reaktor nuklir dilengkapi dengan berbagai sistem pengendalian dan keselamatan yang memantau kondisi reaktor, mendeteksi gangguan, dan mengambil tindakan jika diperlukan untuk menjaga keselamatan dan menghindari kegagalan reaktor.

2.2.2 Reaktor Nuklir Berpendingin Air Ringan dan Air Berat

Reaktor Nuklir Berpendingin Air memiliki dua buah kategori yang dibedakan berdasarkan tipe air yang digunakan, terdapat dua buah jenis yang digunakan dalam reaktor nuklir. Pada Gambar 2.2 dapar dilihat sebuah *core* dari reaktor nuklir.

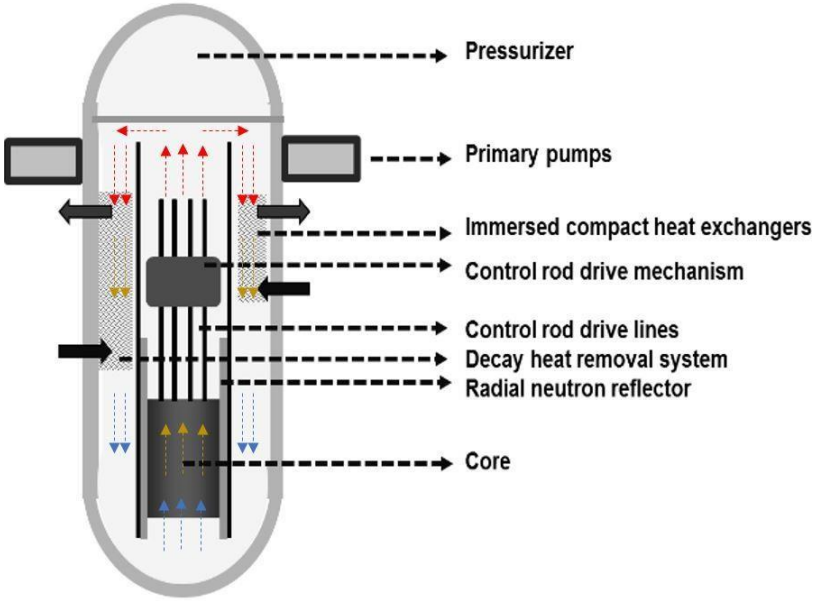
1. Reaktor Air Ringan

   Pendingin dan Moderator: Reaktor air ringan menggunakan air biasa (H_2O) sebagai pendingin dan moderator. Ini membuatnya lebih murah dan lebih mudah tersedia daripada air berat.

   Ukuran: Reaktor air ringan dapat lebih kompak dan lebih mudah untuk diintegrasikan dalam pembangkit listrik.

   Efisiensi: Meskipun lebih umum, reaktor air ringan biasanya memiliki efisiensi termal yang lebih rendah dibandingkan dengan reaktor air berat.

Resiko Pelarutan Bahan Bakar: Reaktor air ringan memiliki risiko rendah dalam hal pelarutan bahan bakar nuklir, karena air biasa memiliki daya reaktif yang lebih rendah daripada air berat atau air berat deuterium.



Gambar 2.2 *Core* reaktor nuklir[12]

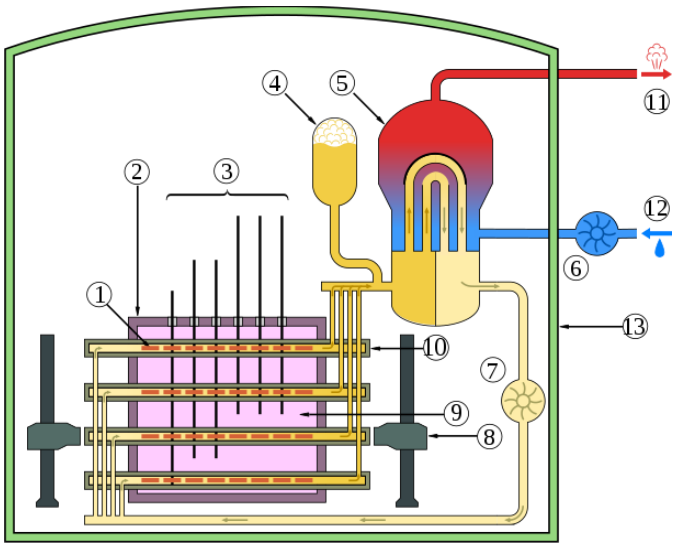
2. Reaktor Air Berat

Pendingin dan Moderator: Reaktor air berat menggunakan air berat (deuterium oksida, D2O) sebagai pendingin dan moderator. Ini membuatnya lebih efisien dalam memperlambat neutron dan mempertahankan reaksi nuklir.

Ukuran Reaktor air berat biasanya lebih besar dan kompleks dibandingkan reaktor air ringan karena penggunaan air berat.

Efisiensi: Reaktor air berat dapat memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor air ringan.

Resiko Pelarutan Bahan Bakar: Reaktor air berat memiliki risiko lebih tinggi dalam hal pelarutan bahan bakar nuklir dalam air berat. Namun, risiko ini dapat dikelola melalui desain yang tepat dan pengendalian yang ketat.



Gambar 2.3 Reaktor air berat[13]

Dari gambar 2.3 reaktor air berat. Dapat dijelaskan laju reaksi fisi dalam reaktor nuklir oleh hukum reaksi nuklir yang dikenal sebagai Hukum Reaksi Fisi. Laju reaksi fisi dapat diukur dengan jumlah fisifikasi nuklir yang terjadi dalam suatu waktu tertentu. Persamaan umum untuk laju reaksi fisi dalam reaktor nuklir adalah:

$$\text{Laju Reaksi Fisi } (R) = \Phi * \sigma * N \qquad 2.1$$

Keterangan:

- R adalah laju reaksi fisi (jumlah fisifikasi per unit waktu).
- Φ adalah fluks neutron, yaitu jumlah neutron yang melewati suatu area tertentu per unit waktu (neutron/area/waktu).
- σ adalah penampang lintang fisi nuklir, yang merupakan ukuran probabilitas fisifikasi suatu nuklir ketika bertabrakan dengan neutron.
- N adalah jumlah atom nuklir target per unit volume (atom/volume) yang ada dalam bahan bakar reaktor.

2.2.3 Standar yang perlu diperhatikan pada reaktor nuklir

1. Standar Keselamatan Nuklir, Perijinan dan Badan Perundang-undangan.

   Standar keselamatan nuklir telah dibuat dengan tujuan memberikan perlindungan kepada masyarakat dan pekerja nuklir dari potensi bahaya yang dapat timbul akibat

operasional Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Meskipun standar ini pada dasarnya bersifat internasional, penerapannya secara detail dapat bervariasi dan berbeda antara satu negara dengan negara lainnya, tergantung pada konteks perundang-undangan yang berlaku. Sejak tahun 1978, Badan Energi Dunia (IAEA = *International Atomic Energy Agency*) telah mempublikasikan sekitar 60 kode dan pedoman keselamatan yang lebih dikenal dengan sebutan NUSS (*Nuclear Safety Standards*). Standar-standar ini dibuat berdasarkan pengalaman yang berasal dari berbagai negara dan telah mencakup aspek-aspek sebagai berikut:

- Organisasi pemerintahan untuk pengaturan suatu PLTN.
- Keselamatan di lokasi PLTN.
- Keselamatan desain PLTN.
- Keselamatan operasi PLTN.
- Jaminan kualitas untuk keselamatan PLTN.

Setiap negara memiliki hukum dan peraturan khusus untuk melindungi masyarakat dan pekerja nuklirnya dari efek radiasi yang dapat terjadi selama operasi normal. Meskipun hukum dan peraturan ini dapat sedikit bervariasi antara satu negara dengan negara lainnya, namun semuanya didasarkan pada rekomendasi yang dikeluarkan oleh ICRP (*International Commission on Radiological Protection*).[9]

2. Persyaratan Operator

Setiap Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) membutuhkan operator yang kompeten, stabil, dan telah menjalani pelatihan untuk melaksanakan tanggung jawabnya. Oleh karena itu, diperlukan seleksi yang ketat berdasarkan spesifikasi pekerjaan yang tepat, aspek keamanan, kesehatan, kepribadian, keahlian, dan pengalaman. Kriteria dan prosedur seleksi harus diperiksa secara berkala dan diperbaiki. Untuk mencapai hasil maksimal, diperlukan peralatan simulator yang baik agar sesuai dengan sasaran dan tepat guna. Kemajuan dalam pelatihan ini harus selalu dipantau dan diuji melalui ujian lisan maupun ujian praktek. Salah satu aspek terpenting dari keahlian seorang operator adalah kemampuannya untuk memahami, mengeksplorasi, mendiagnosa, dan mengantisipasi perkembangan situasi secara menyeluruh dari berbagai situasi dan kondisi.

3. Pengembangan Teknologi Pengendalian dan Pengawasan Secara Otomatis

Demi mengurangi risiko akibat kesalahan manusia, perlu terus dikembangkan teknologi kontrol otomatis yang memiliki kemampuan tinggi. Pengendalian yang melibatkan banyak variabel sebaiknya dilaksanakan oleh program komputer. Meskipun begitu, dalam situasi darurat, operator juga harus memiliki kemampuan untuk melakukan shutdown pada reaktor dengan segera, memahami situasi, dan memberikan respons terhadap aspek-aspek yang tidak diinginkan dari operasi pembangkit. Untuk mendukung tugas operator, perlu diterapkan sistem cerdas berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligent System*) yang dilengkapi dengan peralatan komunikasi yang handal, sehingga mampu melakukan diagnosis dan menampilkan data dengan baik.

4. Prinsip-prinsip Desain Keselamatan PLTN

Di bawah ini terdapat prinsip-prinsip yang sangat penting dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), terkait dengan memastikan bahwa semua sistem dapat menjalankan fungsi keselamatan dan perlindungan dengan baik.[10]

- Kehandalan (*Redundancy*)

  Penyediaan komponen tambahan sebagai cadangan atau subsistem (umumnya 2 hingga 4) dalam suatu sistem keselamatan bertujuan untuk memastikan bahwa keselamatan tidak tergantung hanya pada satu unit saja. Sebagai contoh, meskipun satu unit pompa pendingin mungkin sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan proses pendinginan, namun ketika pompa tersebut sedang dalam perawatan, diperlukan pompa kedua sebagai cadangan. Lebih lanjut, sebagai langkah pencegahan tambahan terhadap kegagalan kerja pompa cadangan kedua, disiapkan juga pompa cadangan ketiga.

- *Safety Instrumented System*

  SIL (*Safety Integrated Level*) pada dasarnya merupakan tingkat ketersediaan dari SIS (*Safety Instrumented System*) dalam fasilitas yang terinstrumentasi. Tingkat ketersediaan ini mencerminkan kehandalan SIS untuk beroperasi saat dibutuhkan, dan dapat dijelaskan sebagai tingkat kegagalan, yaitu 1 dikurangi tingkat probabilitas kegagalan (1-Pf). SIS terdiri dari sensor, *programmable logic solvers*, dan *final control elements*, digunakan dalam fungsi keselamatan seperti ESD (*Emergency Shutdown*), PSD (*Process Shutdown*), EDP (*Emergency Depressurization*), atau F&G (*Fire & Gas*).

- Pemisahan Fisik *(Phisycal Separation)*

  Komponen-komponen atau sistem yang bertujuan untuk melaksanakan fungsi yang sama sebaiknya dipisahkan secara fisik dengan dinding pemisah atau dengan jarak yang cukup. Tujuan dari tindakan ini adalah agar jika salah satu komponen atau sistem mengalami insiden seperti kebakaran atau kebanjiran, komponen atau sistem lainnya tidak terpengaruh dan masih dapat menjalankan fungsinya.

- Prinsip Gagal-Aman *(Fail-Safe Principle)*

  Komponen-komponen atau sistem harus dirancang sedemikian rupa sehingga ketika terjadi kegagalan, kerusakan, atau kehilangan daya, sistem memiliki kemampuan untuk secara otomatis mendeteksi permasalahan dan melakukan peralihan ke kondisi yang aman. Hal ini dapat mencakup implementasi sensor-sensor keamanan yang responsif atau mekanisme otomatisasi yang memastikan kelangsungan fungsi dalam situasi darurat. Dengan demikian, desain ini tidak hanya menekankan respons terhadap kegagalan tetapi juga bersifat proaktif dalam menjaga keselamatan dan keberlanjutan operasional sistem secara menyeluruh.

2.3 Analisis *Stakeholder*

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat pihak lain yang terlibat yang dikenal sebagai pemangku kepentingan (*stakeholders*). Pemangku kepentingan ini dapat berupa individu atau kelompok yang terlibat dalam proyek dan memiliki potensi untuk mempengaruhi keputusan terkait desain perangkat yang sedang dikembangkan.

1. Anggota Kelompok *Capstone Design*

   Kedua anggota kelompok bekerja sama untuk mencapai kesuksesan dalam merealisasikan proyek pembuatan *Capstone Design* ini. Dalam pelaksanaan proyek, anggota tim harus mengoptimalkan kemampuan agar seluruh tahapan *Capstone Design* dapat terealisasikan dengan hasil yang optimal. Seluruh anggota perlu mengatasi tantangan yang mungkin muncul selama pelaksanaan proyek ini.
2. Dosen Pembimbing

Sebagai individu yang bertanggung jawab dalam mengawasi proses *Capstone Design* ini, dosen pembimbing memiliki kapabilitas untuk memberikan saran dan panduan berdasarkan pengalaman terkait desain alat yang sedang dikembangkan. Saran-saran tersebut dapat berpotensi mempengaruhi perubahan dalam desain alat. Masukan dari dosen pembimbing juga dapat berperan sebagai solusi jika terdapat masalah dalam desain yang sedang dikerjakan. Dengan kolaborasi yang baik antara kelompok *Capstone Design* dan dosen pembimbing, maka alat ini akan dapat direalisasikan dan memenuhi tujuan yang diharapkan.

3. Masyarakat Umum

   Masyarakat umum merupakan individu dan kelompok yang akan menjadi pengguna akhir dari alat atau proyek ini yang bertujuan sebagai sarana edukasi tentang teknologi reaktor nuklir. Proyek ini berkomitmen untuk mengatasi serta mengurangi kekhawatiran yang mungkin dimiliki oleh masyarakat umum terhadap teknologi nuklir. Oleh karena itu, keterlibatan aktif masyarakat umum dalam proses pengembangan proyek menjadi kunci penting. Mereka akan berperan dalam penyusunan materi edukasi, mengujikan alat, serta memberikan masukan yang diperlukan. Diharapkan kolaborasi yang kuat dengan masyarakat umum akan menghasilkan alat edukasi yang efektif dan relevan sehingga masyarakat umum dapat meningkatkan pemahaman mereka tentang reaktor nuklir dan mengatasi kekhawatiran dengan pengetahuan yang lebih baik dan informasi yang akurat.

2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

1. Aspek Ekonomi

   Aspek ekonomi dalam konteks biaya produksi simulator sistem kendali batang reaktor nuklir sangat penting dalam perancangan dan pengembangan proyek ini. Hal ini melibatkan sejumlah pertimbangan yang berkaitan dengan aspek finansial yang akan memengaruhi total biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan, operasional, dan pemeliharaan simulator tersebut.

2. Aspek Lingkungan.

   Dalam penelitian simulator sistem kendali batang reaktor nuklir yang hanya dilakukan dalam lingkup terbatas, terdapat sejumlah aspek lingkungan yang perlu

diperhatikan. Hal ini mencakup pengelolaan limbah elektronik, efisiensi energi, pemilihan bahan bangunan yang ramah lingkungan, penggunaan sumber daya air, manajemen limbah cair, dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Meskipun ruang lingkupnya terbatas, pemahaman dan perhatian terhadap aspek-aspek ini penting untuk meminimalkan dampak lingkungan negatif dalam pembuatan dan pelaksanaan simulator kendali reaktor nuklir.

3. Aspek Teknologi

   Dalam penelitian simulator sistem kendali batang reaktor nuklir yang terbatas pada konteks teknologi yang digunakan, terdapat beberapa aspek teknologi yang harus diperhatikan. Ini mencakup pemilihan perangkat keras dan perangkat lunak yang tepat untuk mensimulasikan operasi reaktor, keandalan sistem komputer dan jaringan yang digunakan dalam simulasi, pengembangan algoritma kontrol yang canggih, perangkat pemantauan dan pengukuran, serta kemampuan untuk mereplikasi dengan akurat kondisi kerja nyata reaktor nuklir. Dalam konteks ini, integrasi teknologi yang canggih dan kesesuaian dengan peraturan serta standar keamanan menjadi faktor penting dalam keberhasilan penelitian simulator kendali reaktor nuklir.

4. Aspek Keamanan

   Dalam konteks keamanan penelitian simulator sistem kendali batang reaktor nuklir, terdapat beberapa aspek keamanan yang perlu mendapatkan perhatian yang cermat. Perlindungan terhadap akses fisik pada simulator, pengendalian akses ke sistem, dan manajemen identitas dan otorisasi menjadi faktor penting dalam menjaga integritas dan kerahasiaan data serta operasi simulator. Dalam penelitian ini, prioritas utama adalah memastikan bahwa simulator kendali reaktor nuklir aman dari berbagai ancaman potensial yang dapat mempengaruhi operasi yang kritis dan keamanan sistem.

5. Aspek Keselamatan

   Dalam konteks keselamatan tim peneliti dan pihak terlibat lainnya dalam penelitian simulator sistem kendali batang reaktor nuklir, perlu diperhatikan beberapa aspek keselamatan. Dalam penelitian ini, keselamatan semua individu

yang terlibat dalam proyek menjadi prioritas utama guna meminimalkan risiko dan memastikan bahwa penelitian berlangsung dengan aman dan efisien.

6. Aspek Kesehatan

   Terkait dengan keselamatan, simulator harus mempertimbangkan kesehatan pengguna. Desain ergonomis dan pemantauan kesehatan pengguna dapat membantu dalam mencapai tujuan ini.

7. Aspek Politik

   Faktor politik dan kebijakan pemerintah juga dapat mempengaruhi pengembangan simulator. Perubahan dalam regulasi atau dukungan pemerintah dapat berdampak pada perancangan dan implementasi simulator.

8. Aspek Hukum dan Regulasi

   Keberadaan regulasi terkait dengan penggunaan simulator kendali batang reaktor nuklir harus memandu proses perancangan. Kepatuhan terhadap hukum dan regulasi yang berlaku adalah kunci dalam pengembangan simulator yang sah dan aman.

2.5 Spesifikasi Sistem

Berdasarkan kajian literatur, dasar teori dan informasi yang didapat, dibawah berikut adalah spesifikasi dari alat yang akan dirancang.

- Alat yang dirancang dapat mensimulasikan cara kerja dan prinsip kerja Batang Kendali pada Reaktor Nuklir secara akurat.
- Alat yang dirancang dilengkapi dengan sistem keamanan yang independen dan akan melakukan *take over* jika terdapat kesalahan pada salah satu sistem keamanan.

BAB 3. USULAN SOLUSI

Dalam rangka mengatasi rasa khawatir yang dialami masyarakat tentang reaktor nuklir, kami merancang alat simulator sistem kendali batang reaktor nuklir. Alat ini tidak hanya memberikan edukasi kepada masyarakat melalui simulasi reaktor nuklir, tetapi juga bertujuan untuk membantu dalam pelatihan operator, melakukan pengujian sistem kontrol, serta meningkatkan keamanan operasi PLTN melalui simulator yang inovatif ini.

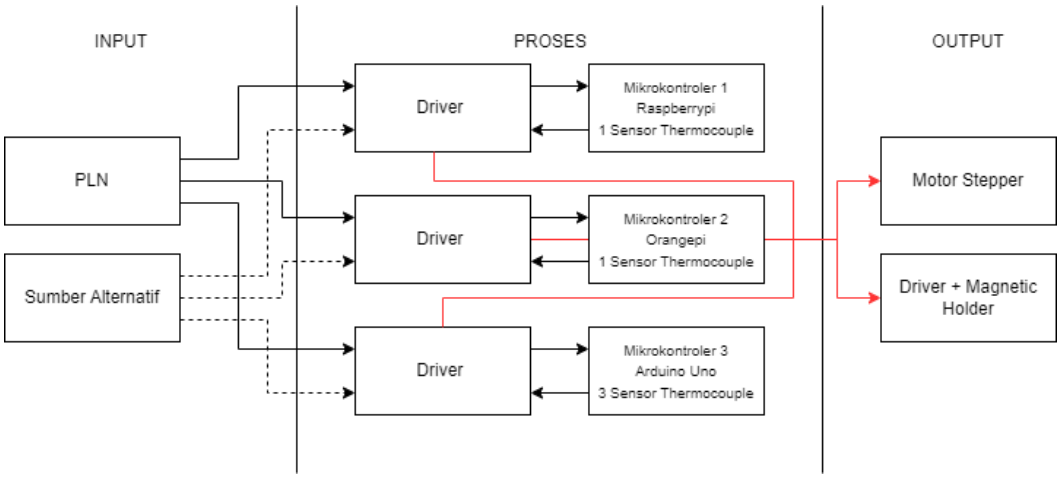
Pada penelitian ini juga kami menggunakan beberapa alat pendukung dan juga mikrokontroler dengan tujuan untuk kelancaran dari alat simulator ini. Pada penelitian ini kami mengusul beberapa usulan solusi, yang mana bertujuan untuk mendapatkan hasil dan performa yang lebih baik atau efisien pada alat simulator ini. Usulan solusi yang kami buat dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini.

3.1 Usulan Solusi 1

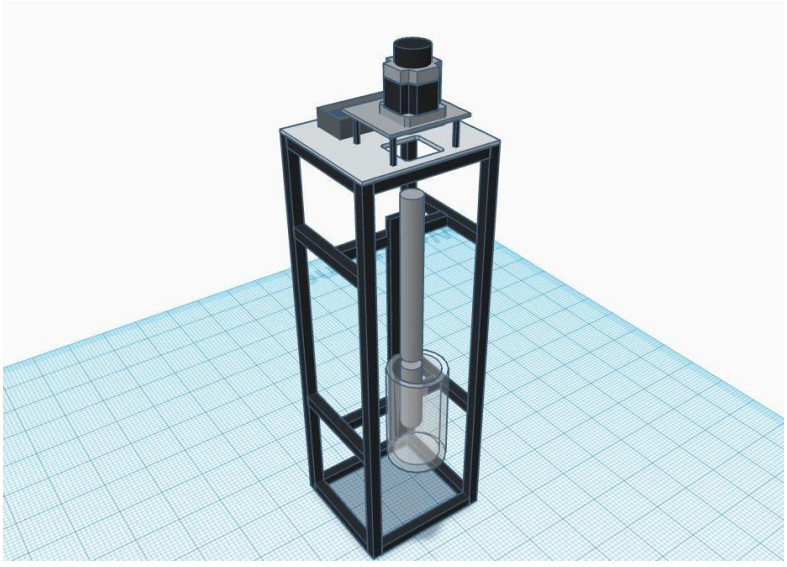
Solusi pertama yang diusulkan adalah penggunaan Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir yang menggunakan mikrokontroler *Raspberry Pi*, *Orange Pi*, dan *Arduino Uno* sebagai sistem pengaman dan pengendali dalam perangkat tersebut. Pada usulan ini, kami merancang simulator dengan memasang sensor suhu pada mikrokontroler sebanyak 3, dengan tujuan untuk memberikan informasi yang akurat mengenai suhu air. Mikrokontroler yang digunakan sebagai sistem pengaman dan pengendali beroperasi secara independen, dan sistem keamanan akan aktif ketika terjadi perbedaan suhu yang terdeteksi oleh sensor.

3.1.1 Desain Sistem 1

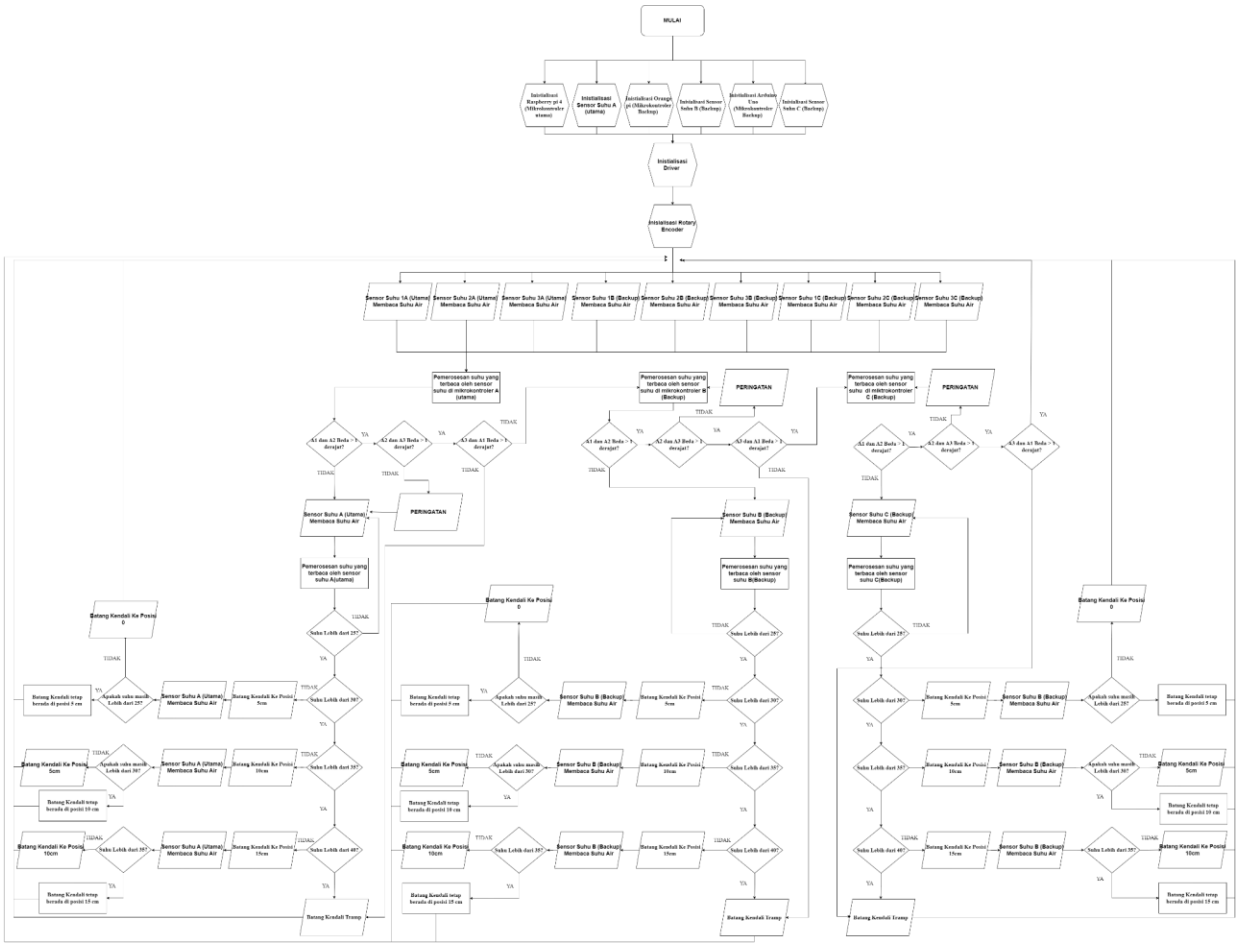
Pada usulan desain sistem yang pertama, simulator sistem kendali batang kendali reaktor nuklir menggunakan mikrokontroler berjenis *raspberrypi, orangepi* dan *Arduino Uno*. Tujuan menggunakan mikrokontroler tersebut sebagai *platform* dan dapat menjalankan sistem operasi sesuai dengan kebutuhan pada alat simulator ini. Pada usulan desain pertama juga terdiri dari beberapa komponen utama antara lain rangka alat, replika batang kendali, *Stepper Motor* 24 VDC beraruskan 0.33 A, *Magnetic Holder* 24 VDC beraruskan 0.24 A, *Rotary Encoder*, sensor suhu, driver *Stepper Motor* dan komponen pelengkap lainnya. Penggunaan komponen-komponen tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil maksimal dari jalannya simulator sistem kendali batang reaktor nuklir ini. Dapat dilihat untuk blok diagram pada Gambar 3.1, 3d alat pada Gambar 3.2, rangkaian elektronis pada Gambar 3.3, dan *flowchart* pada Gambar 3.4 di bawah ini.



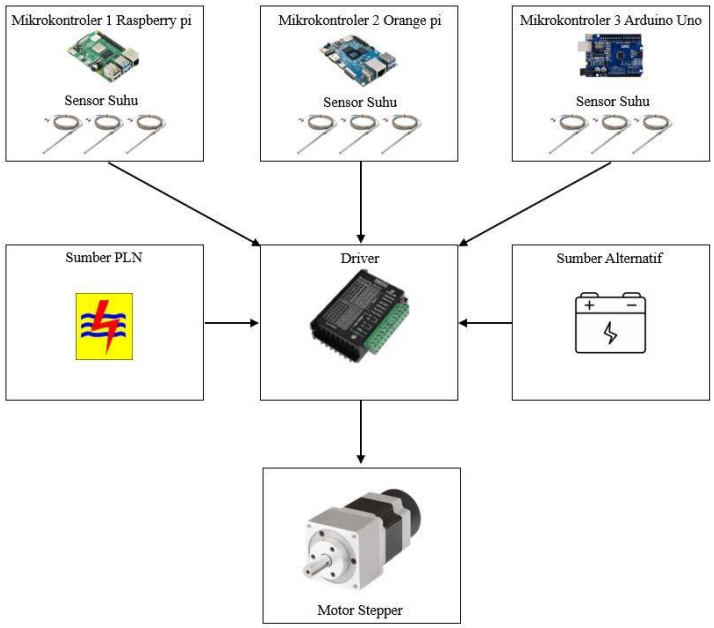
Gambar 3.1 Blok Diagram



Gambar 3.3 Desain model sistem



Gambar 3.3 *Flowchart* Sistem



Gambar 3.4 Proses cara kerja sistem

Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras Simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir

No	Nama Alat	Keterangan
1	Rangka Simulator Reaktor Nuklir	Dibuat untuk menjadi tempat *mounting* alat simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir dan komponen lainnya yang berperan dalam alat tersebut.
2	Mikrokontroler *Raspberry Pi 4*, *Orange pi*, dan *Arduino Uno*	Berperan sebagai sistem keamanan dan kendali yang terhubung dengan komponen lain pada alat Simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir.
3	Sensor Suhu	Sensor suhu bekerja untuk mengukur suhu air di dalam tangki reaktor dan akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler berupa input nilai suhu, sensor ini akan mengirimkan sinyal untuk menggerakan batang kendali jika sudah mencapai suhu tertentu.
4	Kabel	Kabel berperan untuk menyambungkan komponen satu dengan komponen lainnya sesuai dengan kebutuhan pada alat Simulator Sistem Kendali Reaktor Nuklir..
5	*Stepper Motor* dengan *Gearbox*	*Stepper motor* berfungsi sebagai penggerak batang kendali yang terhubung ke mikrokontroler dan juga sensor suhu, *stepper motor* pada alat akan dihubungkan dengan asdrat yang menjadi jalur untuk bergeraknya batang kendali secara linear.
6	*Magnetic Holder*	*Magnetic holder* berfungsi untuk mengunci batang kendali yang berbahan alumunium dural dengan cara memberikan tegangan, saat tegangan dialirkan maka komponen yang bersifat konduktor akan terkunci dan menempel pada *magnetic holder*, sedangkan saat tidak ada aliran atau tegangan kuncian pada magnetic holder akan terlepas.
7	Aluminium Dural	Alumunium dural adalah bahan yang digunakan untuk batang kendali, batang kendali ini pada reaktor nuklir sungguhan berfungsi untuk menyerap neutron sehingga reaksi fisi berantai pada reaktor nuklir dapat dikendalikan, sedangkan pada alat simulator ini prinsip kerja batang kendali tetap sama hanya saja proses fisi diganti dengan suhu air panas, pada saat sudah mencapai suhu tertentu maka batang kendali akan diperintahkan untuk turun dan masuk kedalam air
8	*Rotary Encoder*	*Rotary encoder* berfungsi untuk mengukur jarak batang kendali setelah diperintahkan untuk bergerak turun.
9	*Driver Stepper Motor*	Berfungsi untuk mengendalikan *stepper motor* untuk mengubah sinyal arus rendah menjadi arus yang lebih tinggi.

3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1

Jika Rancangan anggaran pada desain 1, 2 dan 3 memiliki perbedaan yang signifikan dan menjadi pertimbangan yang krusial, rancangan anggaran dapat disertakan di sub bab ini. Contoh rencana anggaran seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan sistem

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Rangka Simulator Reaktor Nuklir	Pcs	Rp. 1.000.000, -	1	Rp. 1.000.000, -
2	*Motor Stepper*	Pcs	Rp. 4.500.000, -	1	Rp. 4.500.000, -
3	*DC Magnetic Holder*	Pcs	Rp. 2.420.000, -	1	Rp. 2.420.000, -
4	*Raspberry Pi* 4 4GB	Pcs	Rp. 2.250.000, -	1	Rp. 2.250.000, -
5	*Orange pi*	Pcs	Rp. 755.000, -	1	Rp. 755.000, -
6	*Arduino Uno*	Pcs	Rp. 369.600, -	1	Rp. 369.600, -
7	*Ball Screw*	mm	Rp. 1.078, -	550	Rp. 593.000, -
8	Plat Alumunium Dural	Pcs	Rp. 502.100, -	1	Rp. 502.100, -
9	As Alumunium Dural	Pcs	Rp. 120.000, -	1	Rp. 120.000, -
10	Tabung Alumunium Dural	mm	Rp. 4.000, -	80	Rp. 320.000, -
11	*Linier Guider*	mm	Rp. 1.100, -	1000	Rp. 1.100.000, -
12	*Block Linier Guider*	Pcs	Rp. 190.000, -	3	Rp. 570.000, -
13	Sensor Temperature (*Thermocouple Type* K)	Pcs	Rp. 49.000, -	9	Rp. 441.000, -
Total Belanja					Rp. 14.940.700, -

3.1.3 Analisis Risiko Desain 1

Desain pertama ini mengandung beberapa risiko dalam pelaksanaan proyek simulator.

a. Kegagalan Sensor Suhu: Risiko kerusakan atau kegagalan fungsi pada salah satu dari tiga sensor suhu dapat mempengaruhi akurasi dan keandalan sistem. Pemilihan sensor berkualitas tinggi dan perencanaan cadangan dapat membantu mengatasi risiko ini.

b. Aspek Ekonomi: Risiko terkait dengan aspek ekonomi melibatkan kemungkinan kenaikan biaya akibat fluktuasi harga komponen, terutama karena penggunaan tiga sensor suhu pada setiap mikrokontrolernya. Perencanaan anggaran yang cermat dapat membantu mengelola risiko ini dengan lebih efektif.

3.1.4 Pengukuran Performa

Dalam merancang usulan solusi pertama, sangat penting untuk memastikan bahwa sistem dan komponen yang dipilih mendukung spesifikasi yang diinginkan. Sehingga diperlukan pengukuran performa usulan solusi pertama pada setiap spesifikasi sistem.

a. Pengujian keakuratan sensor suhu. Parameter performa diukur melalui tiga sensor yang terhubung pada masing-masing mikrokontroler, yang bertugas memberikan informasi mengenai suhu air. Data tersebut selanjutnya dikirim dan diolah oleh mikrokontroler yang sedang beroperasi. Sistem kendali batang kemudian menurunkan batang sesuai dengan suhu air yang tercatat, serta tingkat kedalaman batang yang telah ditetapkan pada setiap mikrokontroler.
b. Pengujian kecepatan Respon Sistem. Parameter performa diukur dari beberapa kondisi yang telah ditetapkan pada beberapa kondisi seperti berikut, kondisi pertama, apabila hasil dari ketiga sensor suhu yang terdapat pada mikrokontroler yang sedang beroperasi mendeteksi hasil yang sama, maka sistem akan berfungsi sesuai dengan parameter yang diberikan. Pada kondisi kedua, jika dua dari tiga sensor suhu mendeteksi bahwa suhu air sesuai atau sama, maka akan ada peringatan, tetapi sistem tetap beroperasi seperti biasa. Pada kondisi terakhir, jika hasil dari ketiga sensor suhu menunjukkan hasil yang berbeda, sistem keamanan atau *redundancy* akan aktif dan beralih pada mikrokontroler atau sistem pengendali yang telah ditetapkan.

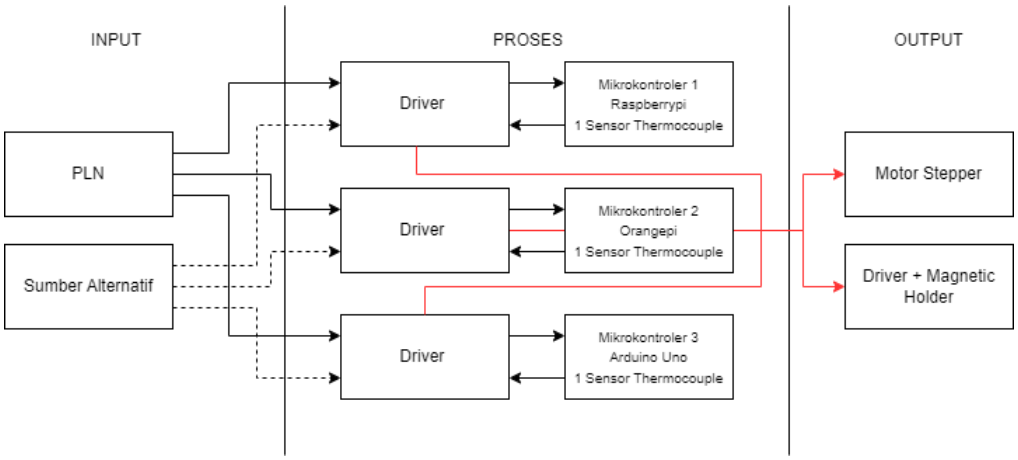
3.2 Usulan Solusi 2

Solusi kedua yang diusulkan adalah menggunakan Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir dengan memanfaatkan mikrokontroler *Raspberry Pi, Orange Pi,* dan *Arduino Uno* sebagai sistem pengaman dan pengendali dalam perangkat tersebut. Dalam usulan ini, kami merancang simulator dengan memasang sensor suhu pada setiap mikrokontroler. Dua mikrokontroler tambahan digunakan untuk membantu mengukur suhu air, yang kemudian dikirim

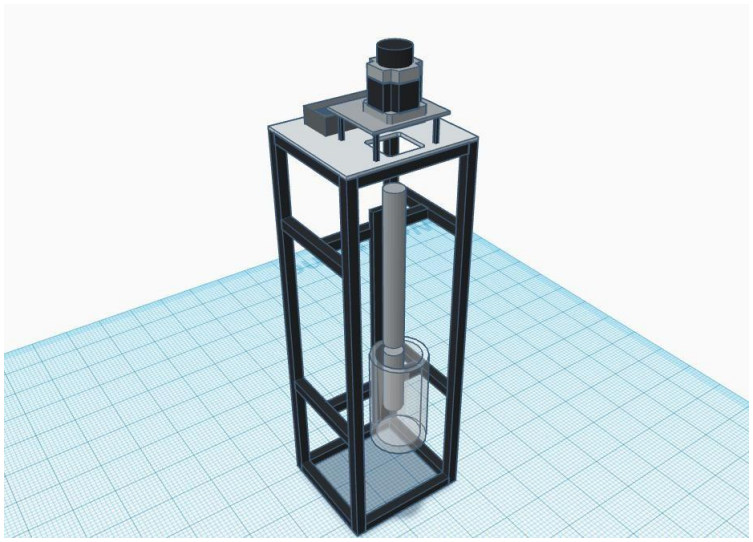
ke mikrokontroler yang sedang aktif, dengan tujuan memberikan informasi yang akurat mengenai suhu air. Mikrokontroler yang berfungsi sebagai sistem pengaman dan pengendali beroperasi secara *independen*t dan *standby*. Sistem keamanan akan aktif ketika terjadi perbedaan suhu yang terdeteksi oleh sensor.

3.2.1 Desain Sistem 2

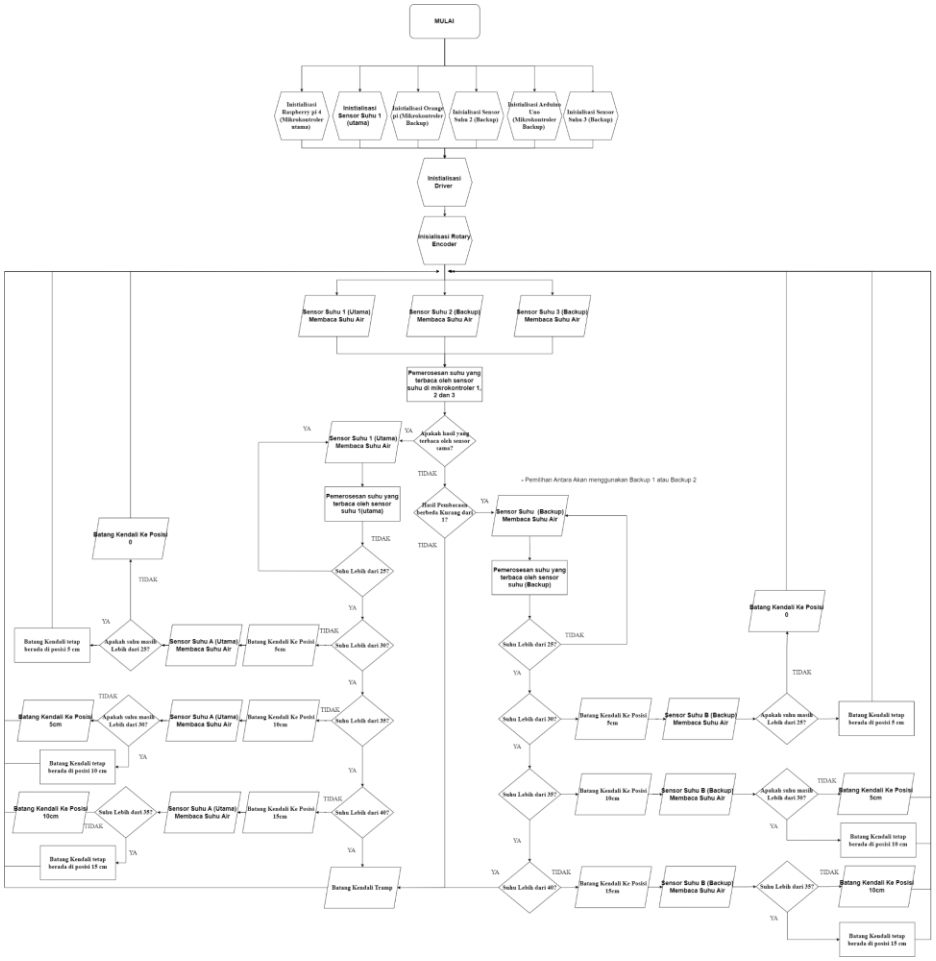
Pada usulan desain sistem yang kedua, simulator sistem kendali batang kendali reaktor nuklir menggunakan mikrokontroler berjenis *Raspberry Pi*, *Orange Pi* dan *Arduino Uno*. Tujuan menggunakan mikrokontroler tersebut sebagai *platform* dan dapat menjalankan sistem operasi sesuai dengan kebutuhan pada alat simulator ini. Pada usulan desain kedua juga terdiri dari beberapa komponen utama antara lain rangka alat, replika batang kendali, *Stepper Motor* 24 VDC beraruskan 0.33 A, *Magnetic Holder* 24 VDC beraruskan 0.24 A, *Rotary Encoder*, sensor suhu, *driver Stepper Motor* dan komponen pelengkap lainnya. Penggunaan komponen-komponen tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil maksimal dari jalannya simulator sistem kendali batang reaktor nuklir ini. Dapat dilihat untuk blok diagram pada Gambar 3.5, 3d alat pada Gambar 3.6, rangkaian elektronis pada Gambar 3.7, dan *flowchart* pada Gambar 3.8 di bawah ini.



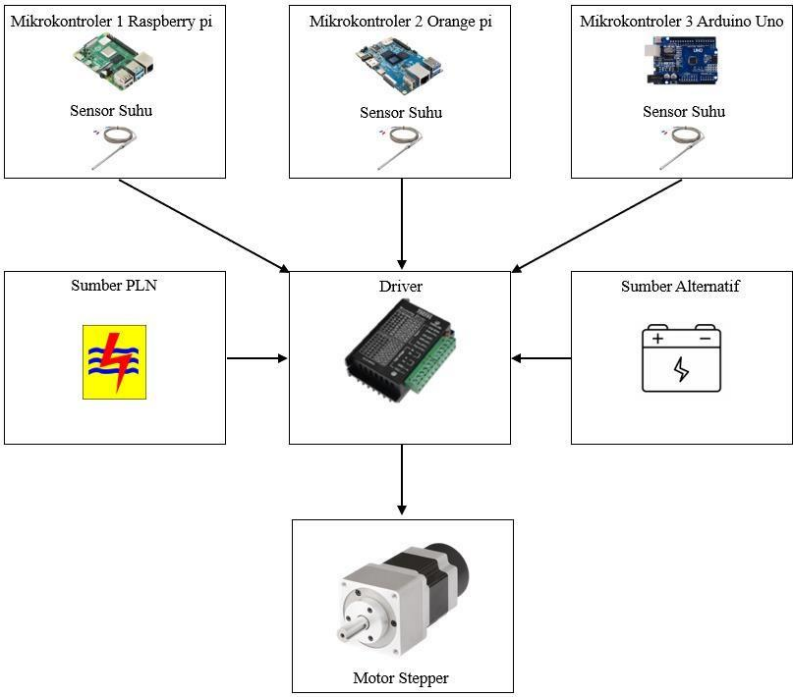
Gambar 3.5 Blok Diagram



Gambar 3.6 Desain model sistem dan gambaran aplikasi sistem dilahan yang sebenarnya



Gambar 3.7 *Flowchart* Sistem



Gambar 3.8 Proses cara kerja sistem

Tabel 3.3 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras Simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir

No	Nama Alat	Keterangan
1	Rangka Simulator Reaktor Nuklir	Dibuat untuk menjadi tempat *mounting* alat simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir dan komponen lainnya yang berperan dalam alat tersebut.
2	Mikrokontroler *Raspberry Pi 4*, *Orange pi*, dan *Arduino Uno*	Berperan sebagai sistem keamanan dan kendali yang terhubung dengan komponen lain pada alat Simulator Batang Kendali Reaktor Nuklir.
3	Sensor Suhu	Sensor suhu bekerja untuk mengukur suhu air di dalam tangki reaktor dan akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler berupa input nilai suhu, sensor ini akan mengirimkan sinyal untuk menggerakan batang kendali jika sudah mencapai suhu tertentu.
4	Kabel	Kabel berperan untuk menyambungkan komponen satu dengan komponen lainnya sesuai dengan kebutuhan pada alat Simulator Sistem Kendali Reaktor Nuklir.
5	*Stepper Motor* dengan *Gearbox*	*Stepper motor* berfungsi sebagai penggerak batang kendali yang terhubung ke mikrokontroler dan juga sensor suhu, *stepper motor* pada alat akan dihubungkan dengan asdrat yang menjadi jalur untuk bergeraknya batang kendali secara linear.
6	*Magnetic Holder*	*Magnetic holder* berfungsi untuk mengunci batang kendali yang berbahan alumunium dural dengan cara memberikan tegangan, saat tegangan dialirkan maka komponen yang bersifat konduktor akan

No	Nama Alat	Keterangan
		terkunci dan menempel pada *magnetic holder*, sedangkan saat tidak ada aliran atau tegangan kuncian pada *magnetic holder* akan terlepas.
7	Aluminium Dural	Alumunium dural adalah bahan yang digunakan untuk batang kendali, batang kendali ini pada reaktor nuklir sungguhan berfungsi untuk menyerap neutron sehingga reaksi fisi berantai pada reaktor nuklir dapat dikendalikan, sedangkan pada alat simulator ini prinsip kerja batang kendali tetap sama hanya saja proses fisi diganti dengan suhu air panas, pada saat sudah mencapai suhu tertentu maka batang kendali akan diperintahkan untuk turun dan masuk kedalam air
8	*Rotary Encoder*	*Rotary encoder* berfungsi untuk mengukur jarak batang kendali setelah diperintahkan untuk bergerak turun.
9	*Driver Stepper Motor*	Berfungsi untuk mengendalikan *stepper motor* untuk mengubah sinyal arus rendah menjadi arus yang lebih tinggi.

3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2

Tabel 3.4 Rencana anggaran pengembangan sistem

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Rangka Simulator Reaktor Nuklir	Pcs	Rp. 1.000.000, -	1	Rp. 1.000.000, -
2	*Motor Stepper*	Pcs	Rp. 4.500.000, -	1	Rp. 4.500.000, -
3	*DC Magnetic Holder*	Pcs	Rp. 2.420.000, -	1	Rp. 2.420.000, -
4	*Raspberry Pi* 4 4GB	Pcs	Rp. 2.250.000, -	1	Rp. 2.250.000, -
5	*Orange pi*	Pcs	Rp. 755.000, -	1	Rp. 755.000, -
6	*Arduino Uno*	Pcs	Rp. 369.600, -	1	Rp. 369.600, -
7	*Ball Screw*	mm	Rp. 1.078, -	550	Rp. 593.000, -
8	Plat Alumunium Dural	Pcs	Rp. 502.100, -	1	Rp. 502.100, -
9	As Alumunium Dural	Pcs	Rp. 120.000, -	1	Rp. 120.000, -
10	Tabung Alumunium Dural	mm	Rp. 4.000, -	80	Rp. 320.000, -
11	*Linier Guider*	mm	Rp. 1.100, -	1000	Rp. 1.100.000, -

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
12	*Block Linier Guider*	Pcs	Rp. 190.000, -	3	Rp. 570.000, -
13	Sensor Temperature (*Thermocouple Type* K)	Pcs	Rp. 49.000, -	3	Rp. 147.000, -
Total Belanja					Rp. 14.646.700, -

3.2.3 Analisis Risiko Desain

Desain kedua dalam usulan proyek simulator ini memiliki risiko yang perlu diperhatikan dalam proses realisasinya. Analisis risiko pada desain ini terfokus pada tingkat kesulitan dalam tahap pemrograman dan *debugging*. Ketergantungan pada komunikasi antar mikrokontroler dapat meningkatkan kompleksitas sistem. Kesalahan dalam komunikasi dapat menyebabkan ketidakstabilan atau kegagalan. Meskipun implementasinya kompleks, dengan ketiga mikrokontroler bekerja, dua di antaranya hanya berada dalam keadaan standby untuk membantu sistem pengendalian utama. Fungsi bantuan ini dilakukan dengan mengirimkan hasil deteksi dari sensor suhu yang terdapat pada masing-masing mikrokontroler.

3.2.4 Pengukuran Performa

Dalam merancang usulan solusi kedua, sangat penting untuk memastikan bahwa sistem dan komponen yang dipilih mendukung spesifikasi yang diinginkan. Sehingga diperlukan pengukuran performa usulan solusi pertama pada setiap spesifikasi sistem.

a. Pengujian keakuratan sensor suhu. Pengukuran performa pada simulator ini dilakukan dengan menggunakan tiga sistem kendali dan keamanan, sesuai dengan standar keselamatan nuklir. Parameter performa sama dengan usulan satu, namun yang membedakan pada jumlah sensor yang digunakan dan cara kerja sensor. Sensor suhu yang digunakan berjumlah satu dan cara kerja nya langsung dari setiap mikrokontroler. Mikrokontroler tidak ikut serta dalam menjalankan sistem kendali hanya *standby* dan mengirim kan hasil dari sensor suhu ke mikrokontroler yang sedang bekerja, tetapi berfungsi sebagai sistem keamanan dari simulator ini.
b. Pengujian kecepatan Respon Sistem. Parameter performa diukur dari beberapa kondisi yang telah ditetapkan pada beberapa kondisi seperti berikut, sistem keamanan yang digunakan untuk beralih ke sistem sama seperti usulan satu yaitu dengan melewati

beberapa kondisi. Dalam kondisi pertama, apabila hasil dari sensor suhu yang terdapat pada setiap mikrokontroler mendeteksi hasil yang sama, maka sistem akan berfungsi sesuai dengan parameter yang diberikan. Pada kondisi kedua, jika dua dari tiga sensor suhu mendeteksi bahwa suhu air sesuai atau sama, maka akan ada peringatan, tetapi sistem tetap beroperasi seperti biasa. Pada kondisi terakhir, jika hasil dari ketiga sensor suhu menunjukkan hasil yang berbeda, sistem keamanan atau redundancy akan aktif dan beralih pada mikrokontroler atau sistem pengendali yang telah ditetapkan.

3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik

Tabel 3.5 Analisa dua usulan solusi

Pilihan	Kelebihan	Kekurangan
Usulan solusi 1 Menggunakan 3 sensor suhu pada setiap mikrokontroler	● Penggunaan tiga sensor suhu yang terhubung pada masing-masing mikrokontroler memberikan redundansi dan meningkatkan keakuratan pengukuran suhu air. ● Dengan menggunakan tiga sensor suhu pada satu mikrokontroler, sistem dapat lebih cepat mendeteksi kesalahan atau perbedaan hasil keluaran *temperature*. Ini memungkinkan respons yang lebih cepat.	● Penggunaan tiga sensor suhu pada setiap mikrokontroler dapat meningkatkan biaya pembelian dan pemeliharaan. Selain itu, ketersediaan komponen tertentu, terutama berkualitas tinggi, mungkin menjadi faktor pembatas dan mempengaruhi ketersediaan sistem.
Usulan solusi 2 Menggunakan 1 sensor suhu pada setiap mikrokontroler dalam membantu pengambilan temperature suhu dan bersifat *standby*	● Penggunaan satu sensor suhu pada setiap mikrokontroler membantu mengoptimalkan biaya komponen, karena jumlah sensor yang digunakan lebih sedikit dibandingkan dengan beberapa desain yang menggunakan lebih banyak sensor.	● Pengiriman dan pengolahan data dari 3 mikrokontroler ke satu mikrokontroler yang beroperasi dapat meningkatkan kompleksitas pemrograman. Pemrograman yang kompleks dapat mempersulit pemeliharaan, dan *debugging* kode.

Berdasarkan penilaian dari berbagai aspek, usulan solusi dinilai sebagai desain terbaik untuk Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir. Desain ini memiliki beberapa keunggulan,

seperti penggabungan 3 sensor ke satu mikrokontroler yang dibuat oleh pemrogram, sementara mikrokontroler lainnya tidak terhubung untuk membantu dalam pengukuran suhu air. Selain itu, sistem dapat mendeteksi kesalahan atau perbedaan hasil keluaran suhu dengan lebih cepat. Dengan berbagai keunggulan tersebut dan dapat dilihat pada tabel 3.6, usulan solusi 1 dianggap memiliki potensi menjadi solusi yang efektif dan efisien dalam Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir.

Tabel 3.6 Kriteria usulan solusi

Kriteria	Usulan Solusi 1	Usulan Solusi 2
Biaya	Menengah	Kompleks
Kesulitan Instalasi Sistem	Kompleks	Sangat Kompleks

3.4 *Gantt Chart*

Untuk mempermudah pengerjaan sistem, maka diperlukan suatu perencanaan dan manajemen agar seluruh distribusi tugas dan target pencapaian dapat dipenuhi. Perencanaan disini meliputi ketiga tahapan dalam perancangan sistem keteknikan dan dilaksanakan selama 2 semester (Tugas Akhir 1 dan Tugas Akhir 2) menggunakan *Gantt chart* seperti pada Tabel 3.7 berikut. Dalam pembuatan *Gantt chart*, hindari penugasan yang selalu bersama-sama di tiap kegiatannya. Perhatikan contoh pembagian tugas di Tabel 3.3 tersebut dengan seksama.

Tabel 3.7 *Gantt chart* pelaksanaan *Capstone Project*

No.	**Kegiatan/Capaian**	**Bulan ke -**									
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	Survei dan identifikasi permasalahan	F,N									
2	Mencari literatur dan informasi untuk kebutuhan dan spesifikasi sistem	F,N									
3	Mengumpulkan seluruh ide solusi dan finalisasi usulan perancangan sistem	F,N	F,N	F,N							

No.	Kegiatan/Capaian	Bulan ke -									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	beserta manajemen dan rancangan belanja										
4	Pengumpulan proposal Tugas Akhir 1/*Capstone Project* dan seminar				F,N						
5	Pembelian alat dan bahan					F,N					
6	Perancangan sistem sesuai proposal						F,N	F,N			
7	Testing dan Validasi								F,N	F,N	
8	Expo dan pengumpulan laporan akhir										F,N

Ket.: PIC – *Person in Charge* (Pihak yang bertanggung untuk kegiatan tersebut) F: Farras, N: Nisal

3.5 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Tabel 3.8 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 1

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Jumat, 15 September 2023, 1 jam	Bimbingan pertama (Penentuan judul dan membahas timeline)	Farras Nisal
2	Selasa, 18 September 2023, 3 jam	Penyusunan BAB 1 (Penentuan judul, pembuatan latar belakang, dan survei)	Farras Nisal
3	Rabu, 20 September 2023, 3 jam	Pengambilan Komponen Ke Karanganyar (Solo)	Farras Nisal
4	Sabtu, 23 September 2023, 3 jam	Pembuatan Pertanyaan Survei	Farras Nisal

5	Senin, 25 September 2023, 2 jam	Melakukan Survey ke masyarakat setempat dan mahasiswa sekitar FTI UII	Farras Nisal
6	Selasa, 26 September 2023, 3 jam	Bimbingan kedua (konsultasi judul dan latar belakang)	Farras Nisal
7	Kamis, 28 September 2023, 3 jam	Penyusunan dan Revisi BAB 1 (Pembuatan latar belakang dan survei)	Farras Nisal
8	Senin, 2 Oktober 2023, 3 jam	Revisi pada latar belakangn dan melanjutkan menyusun BAB 1 (Penyusunan Rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, batasan realistik aspek keteknikan, dan memasukan hasil survei)	Farras Nisal
9	Selasa, 3 Oktober 2023, 3 jam	Bimbingan ketiga (Konsultasi Rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, batasan realistik aspek keteknikan, dan survei)	Farras Nisal
10	Jumat, 6 Oktober 2023, 3 jam	Revisi Rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, batasan realistik aspek keteknikan	Farras Nisal
11	Minggu, 8 Oktober 2023, 3 jam	Penyusunan BAB 2 (studi literatur dan observasi)	Farras Nisal
12	Selasa, 10 Oktober 2023, 3 jam	Penyusunan BAB 2 (dasar teori)	Farras Nisal

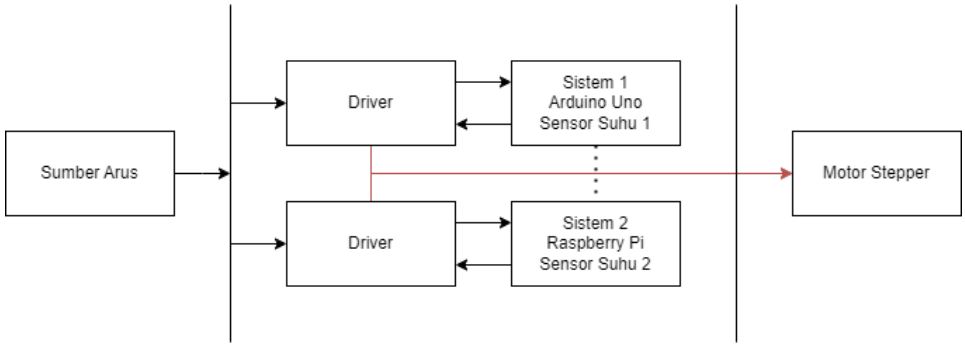
13	Jumat, 13 Oktober 2023, 3 jam	Bimbingan Keempat (Konsultasi studi literatur dan hasil revisi Rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan batasan realistik aspek keteknikan)	Farras Nisal
14	Minggu, 15 Oktober 2023, 3 jam	Penyusunan BAB 2 (Analisis Stakeholder, Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem, dan Spesifikasi Sistem)	Farras Nisal
15	Selasa, 17 Oktober 2023, 3 jam	Bimbingan Kelima (Konsultasi BAB 2)	Farras Nisal
16	Kamis, 19 Oktober 2023, 3 jam	Revisi Dasar Teori, studi literatur dan observasi	Farras Nisal
17	Rabu, 25 Oktober 2023, 3 jam	Menyusun Analisis Stakeholder	Farras Nisal
18	Sabtu, 28 Oktober 2023, 3 jam	Menyusun Analisis Aspek yang Mempengaruhi	Farras Nisal
19	Minggu, 29 Oktober 2023, 3 jam	Menyusun Spesifikasi Sistem	Farras Nisal
20	Jumat, 3 November 2023, 3 jam	Menyusun Analisis Aspek yang Mempengaruhi	Farras Nisal
21	Selasa, 7 November 2023, 3 jam	Bimbingan Kelima (Konsultasi hasil revisi keseluruhan BAB 2)	Farras Nisal
22	Jumat, 10 November 2023, 3 jam	Merevisi BAB 2 (Analisis Stakeholder, Analisis Aspek yang	Farras Nisal

		Mempengaruhi Sistem, dan Spesifikasi Sistem)	
23	Selasa, 14 November 2023, 3 jam	Bimbingan Keenam (Konsultasi usulan solusi, desain sistem, rencana anggaran desain sistem, *flowchart*, diagram blok, dan desain model sistem)	Farras Nisal
24	Sabtu, 18 November 2023, 3 jam	Penyusunan BAB 3 (usulan solusi, desain sistem, dan rencana anggaran desain sistem)	Farras Nisal
25	Selasa, 21 November 2023, 3 jam	Bimbingan Ketujuh (Konsultasi solusi, desain sistem, rencana anggaran desain sistem, *flowchart*, diagram blok, desain model sistem, dan analisis risiko desain)	Farras Nisal
26	Jumat, 24 November 2023, 3 jam	Revisi *flowchart*, diagram blok, dan desain model sistem, Melakukan penyusunan pengukuran performa	Farras Nisal
27	Minggu, 26 November 2023, 3 jam	Revisi usulan solusi, desain sistem, rencana anggaran desain sistem, analisis risiko desain, *flowchart*, diagram blok, dan desain model sistem.	Farras Nisal
28	Selasa, 28 November 2023, 3 jam	Bimbingan Kedelapan (Konsultasi hasil revisi usulan solusi, desain sistem, rencana anggaran desain sistem, analisis risiko desain,	Farras Nisal

		flowchart, diagram blok, desain model sistem dan penyusunan pengukuran performa)	
29	Minggu, 3 Desember 2023, 3 jam	Revisi keseluruhan BAB 3	Farras Nisal
30	Kamis, 7 Desember 2023, 3 jam	Revisi keseluruhan BAB 3	Farras Nisal
31	Jumat, 8 Desember 2023, 3 jam	Bimbingan Kesembilan (konsultasi keseluruhan hasil revisi BAB 3)	Farras Nisal
32	Selasa, 12 Desember 2023, 3 jam	Penyusunan analisis dan penentuan usulan solusi/desain terbaik	Farras Nisal
33	Jumat, 15 Desember 2023, 3 jam	Bimbingan Kesepuluh (konsultasi analisis risiko, pengukuran performa, dan analisis dan penentuan usulan solusi/desain terbaik.)	Farras Nisal
34	Jumat, 15 Desember 2023, 3 jam	Revisi analisis risiko dan pengukuran performa	Farras Nisal
35	Minggu, 17 Desember 2023, 3 jam	Penyusunan Power Point	Farras Nisal
36	Senin, 18 Desember 2023, 3 jam	Latihan dan Evaluasi Presentasi dengan Dosen Pembimbing	Farras Nisal
37	Rabu , 20 Desember 2023, 3 jam	Revisi Power Point dan Penyusunan realisasi pelaksanaan Tugas Akhir 1	Farras Nisal

BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

4.1 Hasil Rancangan Sistem



Gambar 4.1 Hasil Rancangan Sistem

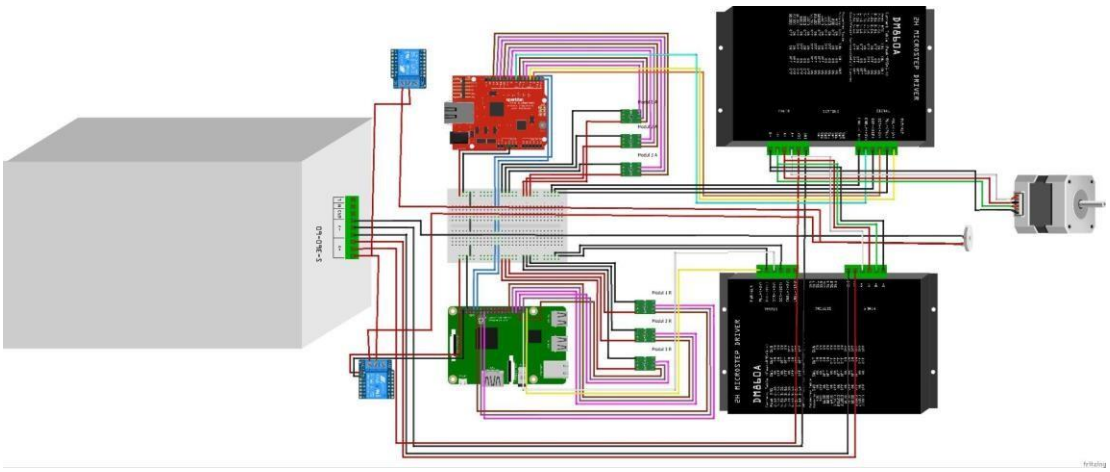
Pada Gambar 4.1 dapat di lihat hasil rancangan sistem menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara sistem yang dibuat dengan rancangan awal yang telah dipilih. Kendala waktu yang terbatas menjadi faktor utama yang menyebabkan perubahan ini. Akibatnya, satu mikrokontroler yang awalnya direncanakan untuk digunakan, yaitu *Orange Pi*, terpaksa tidak digunakan dalam implementasi akhir sistem. Meskipun demikian, sistem yang dihasilkan tetap memenuhi tujuan utama dan berfungsi dengan baik sesuai kebutuhan.

Cara kerja sistem ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu *Raspberry Pi* dan *Arduino Uno*. *Arduino Uno* berfungsi sebagai sistem pertama dalam rancangan, sedangkan *Raspberry Pi* menjadi sistem kedua yang dihubungkan melalui komunikasi serial. *Arduino Uno* bertanggung jawab untuk menjalankan serangkaian perintah dan ketika mencapai perintah terakhir dalam sistem yang dibuat, *Arduino Uno* akan mengalihkan kontrol ke *Raspberry Pi*. Dengan demikian, *Raspberry Pi* akan melanjutkan eksekusi perintah berikutnya, memastikan kelancaran operasional dan penyelesaian tugas yang terintegrasi antara kedua mikrokontroler tersebut.

Arduino Uno digunakan sebagai sistem utama karena sistem yang dibuat serta penjalanannya yang mudah untuk dikontrol. Selain itu, kami menjadikan *Arduino Uno* sebagai sistem utama dikarenakan mudah untuk mengonfigurasi. *Raspberry Pi* sendiri ketika dijadikan sistem utama terdapat kendala seperti *loopingan* pada sistem untuk melakukan *backup* sangat lama.

4.1.1 Rangkaian Elektronis

Pada alat yang telah dirancang mencakup beberapa komponen utama yang saling bekerja untuk menciptakan sistem kendali batang reaktor nuklir, yang mampu mendeteksi dan menjalankan perintah yang telah dibuat.



Gambar 4.2 Rangkaian Elektronis

Pada Gambar 4.2 merupakan skema rangkaian elektronis dari sistem yang akan dibuat. Rangkaian elektronis meliputi komponen yang mendukung seperti *Arduino Uno, Raspberry Pi, Relay, Powersupply, Driver Motor Stepper, Motor Stepper,* Sensor *Thermocouple* dengan modul MAX6675, *dan Magnetic Holder* yang mempunyai fungsi masing masing.

Arduino Uno berfungsi sebagai sistem utama dalam pengoperasian kendali batang reaktor nuklir. *Arduino Uno* menjalankan perintah berdasarkan data yang diterima dari sensor yang mendeteksi suhu air dalam reaktor. Informasi ini kemudian dikirimkan ke mikrokontroler sebagai acuan untuk mengatur sistem kerja keseluruhan. Selain itu, *Arduino Uno* memegang kendali utama dalam sistem ini, memastikan bahwa setiap langkah dijalankan sesuai dengan algoritma yang telah ditetapkan. Ketika *Arduino Uno* mencapai perintah terakhir dalam siklus operasional, *Arduino Uno* akan mengalihkan kendali ke mikrokontroler berikutnya, yaitu *Raspberry Pi*, melalui komunikasi serial.

Raspberry Pi berfungsi sebagai sistem kedua atau sistem redundansi dalam pengoperasian kendali batang reaktor nuklir. Fungsi utama *Raspberry Pi* adalah menjalankan perintah yang

diberikan berdasarkan output yang diterima dari sensor yang digunakan, mirip dengan fungsi *Arduino Uno*. Ketika *Arduino Uno* telah menyelesaikan perintah terakhir dalam siklus operasional, kendali sistem secara otomatis dialihkan ke *Raspberry Pi* melalui komunikasi serial. *Raspberry Pi* kemudian melanjutkan eksekusi perintah sesuai dengan data sensor yang diterimanya. Setelah semua perintah terlaksana, *Raspberry Pi* akan mengembalikan kendali sistem kepada *Arduino Uno*, memastikan bahwa seluruh proses berjalan secara berkesinambungan dan efisien. Sistem ini dirancang untuk memberikan lapisan tambahan keandalan dan memastikan bahwa kendali batang reaktor dapat terus berfungsi dengan baik meskipun terjadi kegagalan pada salah satu mikrokontroler.

Sensor *Thermocouple Type K* berfungsi sebagai parameter utama dalam sistem kendali batang reaktor nuklir. Sensor ini mengirimkan data suhu secara langsung ke mikrokontroler yang sedang beroperasi. Karena pentingnya akurasi dan kecepatan dalam pengumpulan data, setiap mikrokontroler menggunakan tiga sensor *Thermocouple* untuk memastikan pengukuran yang tepat dan andal. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini digunakan untuk mengatur dan menyesuaikan perintah operasional sistem secara *real-time*, memastikan bahwa suhu selalu berada dalam batas aman. Keandalan dan akurasi sensor *Thermocouple Type K* sangat penting untuk keberhasilan keseluruhan sistem.

Motor stepper berfungsi sebagai penggerak batang kendali reaktor nuklir, menjalankan perintah berdasarkan algoritma yang telah diprogram pada masing-masing mikrokontroler. *Motor stepper* bekerja sesuai dengan parameter suhu yang diperoleh dari sensor *Thermocouple Type K* dan dikirimkan ke mikrokontroler. Ketika mikrokontroler menerima data suhu dari sensor, ia menginstruksikan motor stepper untuk menggerakkan batang kendali sesuai dengan kebutuhan operasional reaktor. Pergerakan motor stepper yang presisi memungkinkan penyesuaian yang tepat pada posisi batang kendali, memastikan bahwa suhu dapat dikontrol secara efektif dan aman.

4.1.2 *Software*

Software yang digunakan untuk menjalankan alat ini adalah *Arduino IDE* untuk pemrograman *Arduino Uno* dan *Thonny* untuk pemrograman *Raspberry Pi*. Sistem operasi yang digunakan pada *Raspberry Pi* adalah *Linux*.

Thonny merupakan platform yang digunakan pada *Raspberry Pi* untuk pemrograman dalam bahasa *Python*. Pada *platform* ini, dibuat suatu program untuk menjalankan *motor stepper*

sesuai dengan perintah yang telah ditentukan. Thonny pada *Raspberry Pi* juga digunakan sebagai sistem utama dalam kendali batang reaktor nuklir, yang kemudian dihubungkan dengan mikrokontroler lainnya menggunakan komunikasi serial sebagai redundansi.

Arduino IDE merupakan platform yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler *Arduino Uno*. Pada *platform* ini, *Arduino Uno* digunakan sebagai sistem kedua atau redundansi. *Arduino Uno* terhubung dengan *Raspberry Pi* melalui komunikasi serial. Sistem pada *Arduino Uno* akan bekerja setelah *Raspberry Pi* menjalankan semua perintah atau mencapai perintah yang telah ditentukan, yang kemudian akan dilanjutkan oleh *Arduino Uno*. *Arduino Uno* berfungsi sama dengan *Raspberry Pi* yaitu sebagai penggerak dari *motor stepper*.

4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa indikator yang telah ditentukan. Indikator-indikator ini digunakan untuk mengetahui apakah alat hasil rancangan telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam proses perancangan atau tidak.

4.2.1 Pengujian Posisi Batang Kendali Terhadap Suhu

- Keandalan Respon: Respon batang kendali pada hasil data sensor yang diberikan.
- Batas Sensor *Scram*: Sistem *Scram* bekerja sesuai dengan perintah dan patokan hasil data sensor yang diberikan.

4.2.2 Pengujian Koneksi Antar Sistem

- Keandalan Koneksi Serial: Mengukur stabilitas dan keandalan koneksi serial antara *Raspberry Pi* dan *Arduino Uno.*
- Konsistensi Data: Memastikan data yang dikirim oleh *Raspberry Pi* diterima dengan benar oleh *Arduino Uno* dan sebaliknya.
- Kecepatan Transfer Data: Mengukur kecepatan transfer data antara *Raspberry Pi* dan *Arduino Uno.*

BAB 5. HASIL ANALISIS DAN PENGUKURAN

5.1 Hasil Analisis

Pada sistem batang kendali reaktor nuklir, terdapat suatu sistem keamanan atau redundansi yang berfungsi sebagai pelindung terhadap potensi bahaya yang dapat terjadi pada reaktor. Sistem ini dirancang untuk memastikan bahwa kendali batang reaktor tetap beroperasi dengan baik meskipun terjadi kegagalan pada komponen utama. Untuk mendukung penelitian dan pengujian sistem kendali batang ini, dibuatlah suatu simulator yang bertujuan untuk mencoba dan mengevaluasi kinerja sistem kendali dalam berbagai kondisi operasional. Simulator ini memungkinkan para peneliti untuk mengidentifikasi kelemahan dan memperbaiki desain sistem kendali batang, sehingga dapat meningkatkan tingkat keamanan reaktor secara keseluruhan. Dengan demikian, simulator ini menjadi alat penting dalam memastikan keamanan dan keandalan operasional reaktor nuklir.

5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator

Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan berbagai indikator yang telah ditetapkan sebelumnya. Indikator-indikator ini digunakan untuk mengevaluasi apakah alat yang dirancang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dalam proses perancangan.

5.1.1.1 Hasil Pengujiian Ketepatan Akurasi (Sensor dan *Stepper*)

Percobaan ketepatan akurasi pada sensor dan *stepper* diukur dari respons *stepper* terhadap hasil pembacaan suhu oleh sensor. Data yang dihasilkan oleh sensor dan dikirimkan ke mikrokontroler akan menentukan perintah yang diberikan kepada *stepper*. *Stepper* akan bergerak berdasarkan hasil pembacaan sensor suhu, perubahan suhu naik atau turun akan menggerakkan *stepper* sesuai dengan perintah yang telah diprogram pada mikrokontroler.

Tabel 5.1. Hasil Ketepatan *Stepper* terhadap Sensor pada *Raspberry Pi*

No	Pembacaan Sensor	Keterangan	Jarak Gerak	Gambar
1	40 Derajat Celcius keatas	Batang Turun	5 CM	Sensor 1 - C = 40.75 Sensor 2 - C = 40.75 Sensor 3 - C = 41.75 Batang Turun

2	50 Derajat Celcius keatas	Batang Turun	5 CM	Sensor 1 - C = 51.00 Sensor 2 - C = 50.25 Sensor 3 - C = 50.00 Batang Turun
3	60 Derajat Celcius keatas	Batang Turun	5 CM	Sensor 1 - C = 60.50 Sensor 2 - C = 60.00 Sensor 3 - C = 60.25 Batang Turun
4	55 Derajat Celcius kebawah	Batang Naik	5 CM	Sensor 1 - C = 55.00 Sensor 2 - C = 53.25 Sensor 3 - C = 54.50 Batang Naik
5	45 Derajat Celcius kebawah	Batang Naik	5 CM	Sensor 1 - C = 45.00 Sensor 2 - C = 43.50 Sensor 3 - C = 42.00 Batang Naik
6	35 Derajat Celcius kebawah	Batang Naik	5 CM	Sensor 1 - C = 34.75 Sensor 2 - C = 34.25 Sensor 3 - C = 33.25 Batang Naik

Tabel 5.2 Hasil Ketepatan *Stepper* terhadap Sensor pada *Arduino Uno*

No	Pembacaan Sensor	Keterangan	Jarak Gerak	Gambar
1	40 Derajat Celcius keatas	Batang Turun	5 CM	23:10:37.087 -> Sensor 1 - C = 46.75 23:10:37.134 -> Sensor 2 - C = 43.00 23:10:37.134 -> Sensor 3 - C = 46.75 23:10:45.251 -> Batang Turun
2	50 Derajat Celcius keatas	Batang Turun	5 CM	23:10:46.239 -> Sensor 1 - C = 59.75 23:10:46.286 -> Sensor 2 - C = 56.75 23:10:46.286 -> Sensor 3 - C = 61.00 23:10:54.405 -> Batang Turun
3	60 Derajat Celcius keatas	Batang Turun	5 CM	23:11:37.577 -> Sensor 1 - C = 60.75 23:11:37.577 -> Sensor 2 - C = 60.00 23:11:37.624 -> Sensor 3 - C = 64.50 23:11:45.723 -> Batang Turun
4	55 Derajat Celcius kebawah	Batang Naik	5 CM	23:12:22.869 -> Sensor 1 - C = 52.00 23:12:22.869 -> Sensor 2 - C = 54.50 23:12:22.915 -> Sensor 3 - C = 55.00 23:12:31.012 -> Batang Naik
5	45 Derajat Celcius kebawah	Batang Naik	5 CM	23:12:49.061 -> Sensor 1 - C = 42.50 23:12:49.108 -> Sensor 2 - C = 43.00 23:12:49.108 -> Sensor 3 - C = 45.00 23:12:57.214 -> Batang Naik
6	35 Derajat Celcius kebawah	Batang Naik	5 CM	23:14:27.598 -> Sensor 1 - C = 34.00 23:14:27.598 -> Sensor 2 - C = 33.50 23:14:27.645 -> Sensor 3 - C = 35.00 23:14:35.709 -> Batang Naik

Hasil yang ditampilkan pada Tabel 5.1 dan 5.2 merupakan hasil dari percobaan *respons stepper* terhadap pembacaan sensor suhu yang kemudian dikirim ke kedua mikrokontroler. Dalam percobaan ini, *stepper* bekerja berdasarkan perintah yang telah diprogram pada masing-masing mikrokontroler. Setiap *stepper* akan beroperasi sesuai dengan instruksi yang diberikan ketika ketiga sensor suhu membaca suhu di atas parameter yang telah ditetapkan. Proses ini memastikan bahwa *stepper* hanya bergerak ketika suhu mencapai atau melebihi batas tertentu, yang telah dirancang untuk mengaktifkan langkah-langkah korektif yang diperlukan. Pada sistem yang dibuat batang kendali turun dan naik sesuai dengan suhu yang dikirimkan oleh sensor merupakan perumpamaan dari cara kerja batang reaktor nuklir asli yang digerakan oleh sistem yang dibuat. Pada percobaan kali ini di buat perintah turun dan naik sepanjang 5 cm.

Dengan demikian, percobaan ini menguji dan memastikan akurasi serta keandalan sistem dalam mengendalikan *stepper* berdasarkan variasi suhu yang terdeteksi oleh sensor, memberikan data yang penting untuk evaluasi kinerja keseluruhan dari sistem kontrol suhu berbasis mikrokontroler.

5.1.1.2 Hasil Pengujian Sensor pada *Scram*

Pada pengujian sensor pada *scram* merupakan perintah terakhir untuk batang agar berhenti bekerja dengan menjalakan perintah berupa melepaskan batang yang terhubung dengan *magnetic holder*. Pada percobaan ini *scram* dikendalikan juga oleh relay untuk memutuskan aliran atau untuk menghentikan *magnetic holder* bekerja. Bekerja atau tidak *magnetic holder* berdasarkan kode program atau perintah yang dibuat pada mikrokontroler.



Gambar 5.1 *Magnetic Holder On*

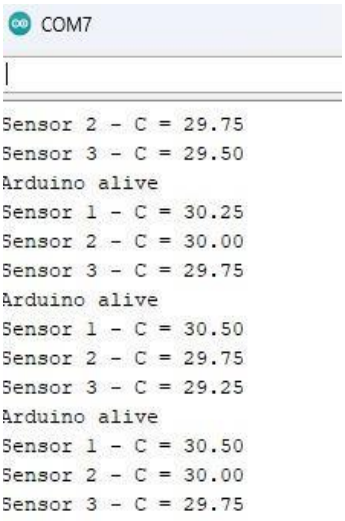
Pada Gambar 5.1 merupakan *magnetic holder* saat aktif, batang akan menempel pada *magnetic holder* dan ikut bergerak dengan batang yang berada diatas. *magnetic holder* akan sesalu aktif ketika batang naik turun sesuai dengan perintah yang dibuat, kemudian batang akan jatuh atau *scram* pada saat mencapai parameter yang telah ditentukan yaitu suhu melehibi batas atau perintah terakhir pada mikrokontroler tertentu, dapat dilihat pada Gambar 5.2 dibawah ini..



Gambar 5.2 *Scram* pada batang kendali

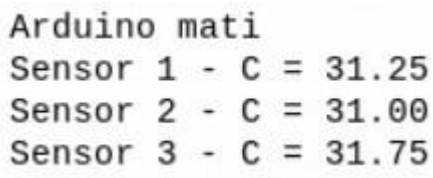
5.1.1.3 Hasil Pengujian Koneksi dan Data

Pada pengujian koneksi dan data, dilakukan sebuah percobaan untuk mengukur kestabilan dan kecepatan koneksi antara kedua mikrokontroler serta untuk memastikan keakuratan data yang dikirim dan diterima di antara keduanya. Tujuan pengukuran ini adalah untuk menentukan performa dan reliabilitas komunikasi serial antara *Raspberry Pi* dan *Arduino Uno*, yang merupakan aspek penting dalam aplikasi yang memerlukan kontrol dan pemantauan *real-time*. Dengan memastikan koneksi yang handal dan data yang akurat, sistem yang diimplementasikan dapat berfungsi.



Gambar 5.3 keterangan Arduino aktif pada *serial baudh*

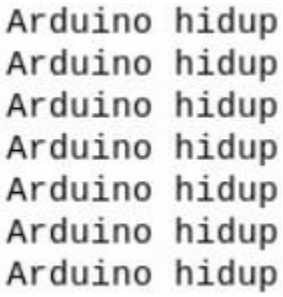
Pada Gambar 5.3, terlihat mikrokontroler *Arduino Uno* yang sedang menyala dan terkoneksi dengan baik. Sinyal yang dikirimkan oleh *Arduino Uno* kepada *Raspberry Pi* menandakan bahwa koneksi antara keduanya berjalan dengan lancar, dan mikrokontroler tersebut siap untuk mentransfer data sesuai dengan instruksi yang telah diprogram. Keterangan ini memberikan indikasi visual yang jelas tentang keadaan operasional dari *Arduino Uno* dalam konteks pengujian komunikasi serial dengan *Raspberry Pi*, menegaskan bahwa sistem telah terhubung dengan benar dan siap untuk penggunaan lebih lanjut dalam perintah yang direncanakan.



Gambar 5.4 Keterangan sistem pada *Arduino Uno* mati yang ditampilkan pada *Raspberry Pi*

Pada Gambar 5.4 terlihat bahwa *Arduino* mati. Program yang dibuat antara kedua mikrokontroler memungkinkan *Raspberry Pi* untuk mendeteksi kondisi tersebut dan mengambil alih fungsi utama yang sebelumnya dijalankan oleh *Arduino*. Dalam pengujian ini, *Arduino* bertindak sebagai mikrokontroler utama yang menjalankan operasi normal, sedangkan *Raspberry Pi* berperan sebagai sistem redundansi yang siap mengambil alih kendali jika *Arduino* mengalami kegagalan atau mati. Pendekatan ini memastikan kontinuitas operasional dalam aplikasi yang memerlukan tingkat keandalan dan ketersediaan tinggi, seperti sistem kontrol otomatis atau

monitoring yang kritis. Dengan demikian, percobaan ini menguji dan memvalidasi strategi pemulihan sistem yang efektif dalam kondisi *real-time*.



Gambar 5.5 Keterangan pada *Raspberry Pi* bahwa sistem *Arduino* hidup

Pada Gambar 5.5, terlihat bahwa *Arduino* dalam kondisi hidup. Percobaan ini melibatkan sementara mencabut kabel RX/TX yang menghubungkan kedua mikrokontroler. Dalam kondisi ini, *Raspberry Pi* menerima sinyal bahwa Arduino telah menyala kembali, dan sistem secara otomatis akan mengembalikan atau mengambil alih kontrol yang sebelumnya dijalankan oleh *Arduino*. Pendekatan ini memungkinkan untuk menguji responsivitas sistem terhadap perubahan kondisi mikrokontroler utama, menegaskan kemampuan *Raspberry Pi* dalam mendeteksi dan merespons kembali keadaan operasional yang telah diprogramkan. Hal ini penting dalam memastikan kontinuitas operasional dalam sistem yang membutuhkan pemulihan otomatis dan pengelolaan redundansi yang efektif.

5.1.1.4 Hasil Pengujian Kecepatan Transfer Data

Pada pengujian kecepatan transfer data, dilakukan beberapa percobaan untuk menganalisis waktu yang dibutuhkan dalam melakukan transfer data antar mikrokontroler. Dengan tujuan utama untuk mengukur throughput atau jumlah data yang dapat ditransfer dalam satuan waktu tertentu, pengujian ini membantu dalam mengevaluasi performa koneksi serial antara *Raspberry Pi* dan *Arduino Uno*. Hasil dari pengujian ini akan memberikan informasi kritis tentang efisiensi komunikasi antarmikrokontroler dan memungkinkan pengoptimalkan konfigurasi atau pengaturan *baud rate* serta *buffering* data untuk meningkatkan kecepatan dan stabilitas transfer data.

Tabel 5.3 Pengujian Sistem Koneksi

No	Keterangan	Percobaan kepada	Waktu Transfer data (*second*)	Gambar
1	Percobaan 1	*Arduino* > *Raspberry*	19,32 s	Arduino mati Sensor 1 - C = 30.25 Sensor 2 - C = 28.00 Sensor 3 - C = 28.75 Arduino mati Sensor 1 - C = 29.50 Sensor 2 - C = 27.75 Sensor 3 - C = 28.75
		Raspberry > *Arduino*	5,72 s	Arduino hidup Arduino hidup Arduino hidup Arduino hidup Arduino hidup
2	Percobaan 2	*Arduino* > *Raspberry*	21,50 s	Arduino hidup Arduino mati Sensor 1 - C = 30.50 Sensor 2 - C = 28.25 Sensor 3 - C = 27.50
		Raspberry > *Arduino*	4,26 s	Sensor 1 - C = 30.00 Sensor 2 - C = 28.75 Sensor 3 - C = 29.00 Arduino hidup
3	Percobaan 3	*Arduino* > *Raspberry*	11,38 s	Arduino mati Sensor 1 - C = 26.25 Sensor 2 - C = 28.00 Sensor 3 - C = 22.00
		Raspberry > *Arduino*	4,82 s	Sensor 1 - C = 29.75 Sensor 2 - C = 28.25 Sensor 3 - C = 29.00 Arduino hidup
4	Percobaan 4	*Arduino* > *Raspberry*	18,88 s	Arduino mati Sensor 1 - C = 29.75 Sensor 2 - C = 28.50 Sensor 3 - C = 28.25
		Raspberry > *Arduino*	4,21 s	Sensor 1 - C = 30.50 Sensor 2 - C = 28.50 Sensor 3 - C = 29.00 Arduino hidup
5	Percobaan 5	*Arduino* > *Raspberry*	6,09 s	Arduino mati Sensor 1 - C = 30.00 Sensor 2 - C = 28.00 Sensor 3 - C = 29.25
		Raspberry > *Arduino*	4,85 s	Sensor 1 - C = 30.50 Sensor 2 - C = 28.50 Sensor 3 - C = 29.25 Arduino hidup

Pada Tabel 5.3 tercantum hasil percobaan koneksi antar sistem. Terlihat perbedaan waktu yang terjadi saat pertukaran sistem, di mana proses pengambilan alih dari *Arduino* ke *Raspberry Pi* membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama. Penyebab dari penundaan ini tampaknya berasal dari waktu penggunaan sistem yang panjang pada *Arduino*, seperti yang kami uji dalam percobaan ini. Selain itu, faktor lain yang mempengaruhi adalah pembatasan dalam kode program yang belum optimal dalam mengatur koneksi antar mikrokontroler.

5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

Simulator sistem batang kendali reaktor nuklir dibuat dengan tujuan untuk sarana penelitian dengan tujuan untuk pembelajaran dan pelatihan dalam menentukan sistem kerja dan redundansi. Sistem ini menggunakan mikrokontroler berupa *Arduino Uno* dan *Raspberry Pi*. pada sistem ini kami menggunakan dua mikrokontroler yang seharusnya tiga, namun karena waktu yang terbatas untuk menggunakan tiga mikrokontroler tidak memungkinkan. Dalam hal ini juga spesifikasi pada koneksi sistem dalam pengiriman data antara mikrokontroler belum maksimal dan masih banyak yang harus diperbaiki. Dapat dilihat pada Tabel 5.4 dalam pemenuhan spesifikasi sistem.

Tabel 5.4 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	Dapat mensimulasikan cara kerja dan prinsip kerja Batang Kendali pada Reaktor Nuklir secara akurat.	Bisa (dilakukan namun belum maksimal)	Bisa
2	Sistem keamanan yang independen dan akan melakukan *take over* jika terdapat kesalahan pada salah satu sistem keamanan.	Bisa	Bisa (dilakukan hanya dengan dua mikrokontroler)

5.1.3 Pengalaman Pengguna

Hasil dari pengalaman pengguna saat menggunakan sistem yang sudah dibuat mendapatkan hasil yang sudah cukup memuaskan dan juga terdapat beberapa kendala dari sistem terhadap pengalaman pengguna. Kendala yang didapat mulai dari penyesuaian komponen yang telah tersedia, pengurangan penggunaan mikrokontroler, dan juga sistem yang dibuat belum maksimal. Hal ini dikarenakan kurangnya pengalaman terhadap komponen yang telah disediakan. Selain itu, sistem ini belum bisa berjalan semaksimal mungkin karena waktu dan keahlian pengalaman pengguna.

Hasil pengalaman pengguna saat implementasi sistem, akan dijelaskan hasil dan kendala saat pengguna menggunakan sistem yang diimplementasikan beserta perbaikannya. Tabel 5.5

merupakan contoh tabel pengalaman pengguna baik capaiannya maupun kendalanya serta aksi/perbaikan.

Tabel 5.5 Implementasi Sistem

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
1	*Hardware*	*Hardware* yang digunakan sudah lengkap sesuai dengan kebuthan.	Terapat beberapa komponen yang dirubah namun tetap sejenis dengan sebelumnya.
2	Redundansi	Sistem redundansi telah dibuat dengan dua mikrokontroler.	Pengurangan mikrokontroler untuk sistem kerja dan redundansi karena waktu yang terbatas.
3	Sensor *Thermocouple Type K*	Sensor dapat mendeteksi suhu dan mengirim hasil dengan baik kepada mikrokontroler	Dipertahankan
4	*Motor Stepper*	*Motor Stepper* diganti karena tidak cocok dengan *driver* motor yang tersedia.	Diganti dengan menggunakan *Motor Stepper* yang mendukung.
5	*Power Supply*	Berfungsi sebagai sumber utama komponen.	Dipertahankan
6	*Driver Motor Stepper*	Berfungsi sebagai mengatur keluaran arus sesuai dengan kebutuhan.	Dipertahankan
7	*Arduino Uno*	Befungsi sebagai sistem penggerak *motor stepper* dan membuat perintah.	Dipertahankan
8	*Raspberry Pi*	Berfungsi sebagai sistem penggerak *motor stepper* dan sistem redundansi serta membuat perintah.	Dipertahankan

5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Pada pengerjaan alat simulator sistem batang kendali reaktor nuklir ini terdapat pergeseran waktu pelaksanaan kegiatan dan merancang sistem. Pada Tabel 5.6 dapat dilihat pergeseran waktu antara usulan dan realisasi pengerjaan tugas akhir dua. Meskipun demikian, perbedaan waktu ini tidak signifikan dan masih berada dalam rentang yang dapat diterima. Beberapa faktor yang

menyebabkan ketidaktepatan waktu ini antara lain adalah kendala teknis, keterbatasan waktu, serta penyesuaian dalam metode.

Tabel 5.6 Kesesuaian Perencanaan

No	Kegiatan	Usulan Waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian alat dan bahan	Desember – Januari	Maret – April
2	Perancangan sistem dengan usulan	Januari – April	April – Juni
3	*Testing* dan Validasi	Mei – Juli	Juni – Juli
4	*Expo*	Agustus	Juli

Tabel 5.7 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realita

No	**Jenis Pengeluaran**	**Usulan Biaya**		**Realisasi Biaya**	
		Kuantitas	**Total Harga**	**Kuantitas**	**Total Harga**
1	*Motor Stepper*	1 *pcs*	Rp 4.500.000	1 *pcs*	Rp 325.000
2	*Driver Motor*	2 *pcs*	Rp 164.000	2 *pcs*	Rp 164.000
3	*Arduino Uno R3*	1 *pcs*	Rp 369.600	1 *pcs*	Rp. 125.000

Pembelian alat dan bahan, yang awalnya direncanakan berlangsung dari Desember hingga Januari, akhirnya dilaksanakan pada bulan Maret hingga April, menunjukkan adanya penundaan. Perancangan sistem yang dijadwalkan dari Januari hingga April baru selesai pada bulan Juni, mengindikasikan perpanjangan waktu yang signifikan. *Testing* dan validasi yang seharusnya dilakukan dari Mei hingga Juli baru terealisasi dari Juni hingga Juli, menandakan keterlambatan dalam tahap pengujian. *Expo* dan pengumpulan laporan akhir yang dijadwalkan pada bulan Juli tidak berhasil dilaksanakan sesuai rencana. Keseluruhan proyek mengalami beberapa penundaan dalam tahap awal, namun berhasil menyelesaikan tahap akhir sesuai jadwal yang diusulkan, menunjukkan adanya penyesuaian dan manajemen waktu yang dilakukan tim untuk mengejar ketertinggalan di awal proyek.

Tabel 5.8 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Rabu, 6 Maret 2024	Bubut Batang	Farras Nisal
2	Jumat, 8 Maret 2024	Pembelian Komponen	Farras Nisal
3	Minggu, 10 Maret 2024	Coba VNC	Farras Nisal
4	Senin, 29 April 2024	Coba *Arduino Uno*	Farras Nisal
5	Selasa, 30 April 2024	Coba *Raspberry Pi*	Farras Nisal
6	Selasa, 30 April 2024	Cek Komponen	Farras Nisal
7	Rabu, 1 Mei 2024	Beli Komponen	Farras Nisal
8	Kamis, 2 Mei 2024	Instal *OS Raspberry Pi*	Farras Nisal
9	Jumat, 3 Mei 2024	Cicil *Hardware*	Farras Nisal
10	Senin, 6 Mei 2024	Nyusun Rangka	Farras Nisal
11	Kamis, 16 Mei 2024	Beli Kabel	Farras Nisal
12	Jumat, 17 Mei 2024	Coba Sensor	Farras Nisal
13	Minggu, 19 Mei 2024	Buat Kode Program	Farras Nisal
14	Selasa, 21 Mei 2024	Coba program *Raspberry Pi*	Farras

			Nisal
15	Kamis, 23 Mei 2024	Coba program *Stepper*	Farras Nisal
16	Minggu, 26 Mei 2024	Rangkai *Hardware*	Farras Nisal
17	Selasa, 28 Mei 2024	Pembelian *Hardware*	Farras Nisal
18	Senin, 3 Juni 2024	Pencocokan suhu	Farras Nisal
19	Kamis, 6 Juni 2024	Coba *Raspberry Pi*	Farras Nisal
20	Sabtu, 8 Juni 2024	Beli Komponen	Farras Nisal
21	Selasa, 11 Juni 2024	Beli Komponen	Farras Nisal
22	Rabu, 12 Juni 2024	Beli Komponen	Farras Nisal
23	Jumat, 15 Juni 2024	Coba *Arduino* dan *Stepper*	Farras Nisal
24	Minggu, 17 Juni 2024	Kalibrasi Sensor	Farras Nisal
25	Selasa, 19 Juni 2024	Coba *Raspberry* dan Sensor	Farras Nisal
26	Kamis, 21 Juni 2024	Cari Perlengkapan Komponen	Farras Nisal
27	Minggu, 23 Juni 2024	Membuat Program	Farras Nisal
28	Selasa, 25 Juni 2024	Modifikasi Program	Farras Nisal

29	Kamis, 27 Juni 2024	Coba *Raspberry* dan *Aruino*	Farras Nisal
30	Sabtu, 29 Juni 2024	Beli Komponen	Farras Nisal
31	Selasa, 2 Juli 2024	Coba *Serial Comunication*	Farras Nisal
32	Rabu, 3 Juli 2024	Beli *Stepper*	Farras Nisal
33	Kamis, 4 Juli 2024	Nyusun Laporan	Farras Nisal
34	Jumat, 5 Juli 2024	Nyusun *Hardware*	Farras Nisal
35	Sabtu, 6 Juli 2024	Nyusun Kode Program	Farras Nisal
36	Senin, 8 Juli 2024	Nyusun *Hardware*	Farras Nisal
37	Selasa, 9 Juli 2024	Nyusun *Hardware*	Farras Nisal
38	Rabu, 10 Juli 2024	Merangkai *Software*	Farras Nisal
39	Kamis, 11 Juli 2024	Menyusun Laporan	Farras Nisal

5.2 Dampak Implementasi Sistem

Dampak implementasi sistem dari alat ini ketika diaplikasikan mencakup aspek teknologi dan keamanan. Pada aspek teknologi, alat ini mampu meningkatkan efisiensi operasional dengan menyediakan data yang akurat dan *real-time*, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat. Pada aspek kemanan, alat ini mampu meningkatkan kewaspadaan kesalahan sistem dengan cara menjalankan alat dan dapat menganalisis sehingga dapat mengetahui kesalahan terhadap suatu sistem keamanan atau redundansi pada reaktor nuklir.

BAB 6. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Setelah menyusun dan melakukan sebuah percobaan atau pengujian alat ini, diperolehlah kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem yang telah dibuat dapat berjalan lancar seperti turun naiknya batang berdasarkan parameter suhu yang telah diatur pada setiap mikrokontroler. Sensor suhu mendeteksi suhu dengan baik pada air panas sehingga *stepper* dapat berputar sesuai dengan perintah yang dibuat pada mikrokontroler.
2. Pada spesifikasi sistem yang telah dibuat, dapat terlaksana tetapi tidak secara maksimal. Faktor yang menyebabkan hal tersebut yaitu waktu, pengalaman, dan kurangnya referensi.
3. Sistem pada mikrokontroler yang telah dibuat untuk mengkoneksi antar mikrokontroler dapat berjalan dengan baik, namun terdapat kendala atau lambat dalam proses perpindahan alih sistem. Faktor ini dikarenakan kurang maksimal dalam membuat kode program sehingga sistem *backup* belum maksimal.
4. Sistem mikrokontroler yang digunakan belum maksimal karena kurangnya pemahaman konfigurasi *serial communication* untuk menghubungkan *Raspberry Pi* dan *Arduino Uno*.

6.1 Saran

Berdasarkan tahap perancangan hingga implementasi sistem, berikut adalah saran dari kami:

1. *Rundown* atau kegiatan yang seharusnya dibentuk lebih mendetail untuk mengurangi keterlambatan.
2. Komponen yang telah disediakan terjangkau dalam melengkapi komponen tersebut.
3. Menggunakan *Driver Stepper* yang kompatibel.
4. Menggunakan sistem redundansi sebanyak 3.
5. Arahan dalam komponen yang telah disediakan terlebih dahulu agar tidak bingung dalam mengerjakan sistem atau *hardware*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] PT PLN (Persero), “Statistik PLN,” Jun 2022.

[2] D. Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional dan P. Teknologi Bahan Bakar Nuklir, “DAMPAK LINGKUNGAN PUSAT LISTRIK TENAGA FOSIL DAN PROSPEK PLTN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK NASIONAL. Nur Tri Harjanto”.

[3] L. Jurnal, N. Herawati, dan A. Darmawan Sudagung, “Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Persepsi Masyarakat dan Potensi Public Acceptance Terkait Wacana Pembangunan PLTN di Kabupaten Bengkayang,” 2020.

[4] Y. K. F. A. M. Anni Rahmat1*, “Analisa Tegangan Panas Housing Batang Kendali Reaktor Nuklir Dalam Batas Desain SA403X,” *Journal of Chemical Process Engineering*, vol. 7, hlm. 1, Apr 2021.

[5] A. Cahyono *dkk.*, “DESAIN PENGENDALIAN SISTEM PENGAMBILAN PANAS REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL”.

[6] Y. P. Sardjono, T.-B. P. Widi Setiawan, dan P. Batan, “PENGUKURAN REAKTIVITAS BATANG KENDALl REAKTOR KARTINI DENGAN DSP 56001 MOTOROLA.”

[7] M. Seminar, T. Akhir, D. Y. Tadeus, B. Setiyono, dan I. Setiawan, “SIMULASI KENDALI DAYA REAKTOR NUKLIR DENGAN TEKNIK KONTROL OPTIMAL.”

[8] Kantor Tenaga Nuklir, “NUKLIR 101: Bagaimana Cara Kerja Reaktor Nuklir?,” 2 Juni 2019.

[9] R. Arindya, “STUDI KESELAMATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR.”

[10] Iman Kuntoro, *Keselamatan Reaktor Nuklir: Reaktor Serba Guna G.A Siwabesy (RSG-GAS)*. Penerbit BRIN, 2023. doi: 10.55981/brin.568.

LAMPIRAN – LA MPIRAN

TABEL PERBAIKAN
LAPORAN AKHIR CAPSTONE

MAHASISWA #1 : 20524177 Asyam Irfan Farras :
MAHASISWA #2 : 20524179 Nisal Muhammad Basyika
JUDUL/TOPIK : Simulator Sistem Batang Kendali Reaktor Nuklir

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
1	Masih banyak kata asing yang belum dicetak miring	sudah	menyesuaikan	Approved
2	Gambar dan Tabel diawali dgn huruf besar, misal Gambar 1.1, Tabel 2.1 dst. Cek bagian lain	sudah	menyesuaikan	Approved
3	Caption Gambar berada di bawah gambar, sedangkan caption Tabel berada di atas	sudah	menyesuaikan	Approved
4	Setiap data-data yang dicantumkan dalam Tabel diberi satuan.	sudah	menyesuaikan	Approved
5	Perlu dijelaskan kenapa yg diukur hanya pergeseran 5cm, apakah ada dasar dalam penetapannya?	sudah	55	Approved
6	Dalam sistem, belum jelas mengapa Arduino yg digunakan sbg main processing sedangkan Rasberry Pi sbg cadangan	sudah	49	Approved
7	Berikan ilustrasi berupa foto atau skema pengujian dan jelaskan bagaimana prosedur pengujiannya	sudah	Lampiran dan hasil analisis	Approved
8				Not started
9				Not started
10				Not started

Yogyakarta, 23 Juli 2024

Menyetujui,
Penguji



Hasbi Nur Prasetyo W

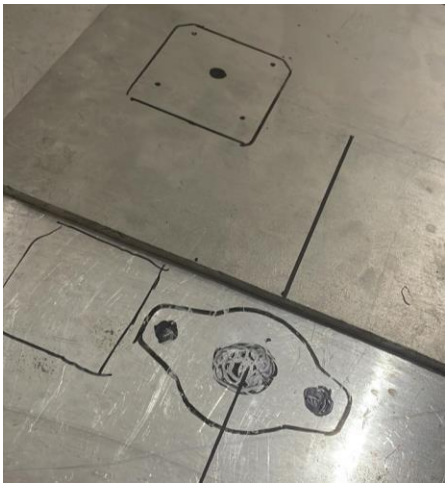
Kegiatan melakukan pengeboran pada batang dan juga komponen lainnya.



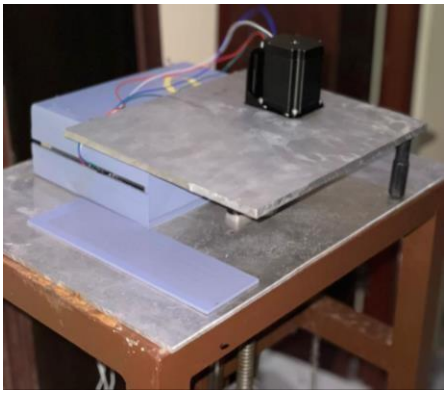
Merakit batang sebelum dipasang ke rangka.



Membuat skema pada plat besi untuk dilubangi menggunakan bor vnc.



Merakit komponen untuk menggerakan sistem batang.



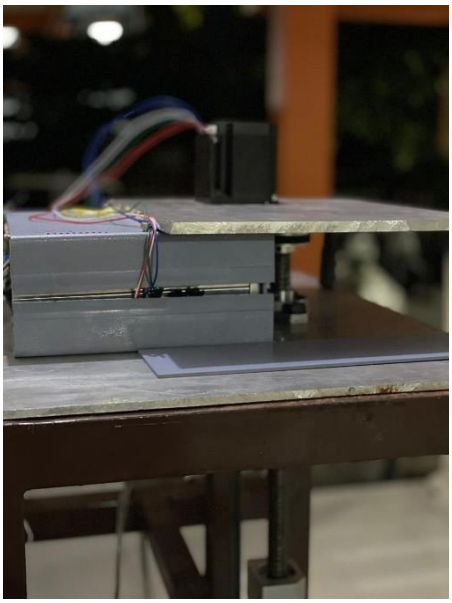
Gambar *Magnetic Holder* yang sudah menempel pada batang.



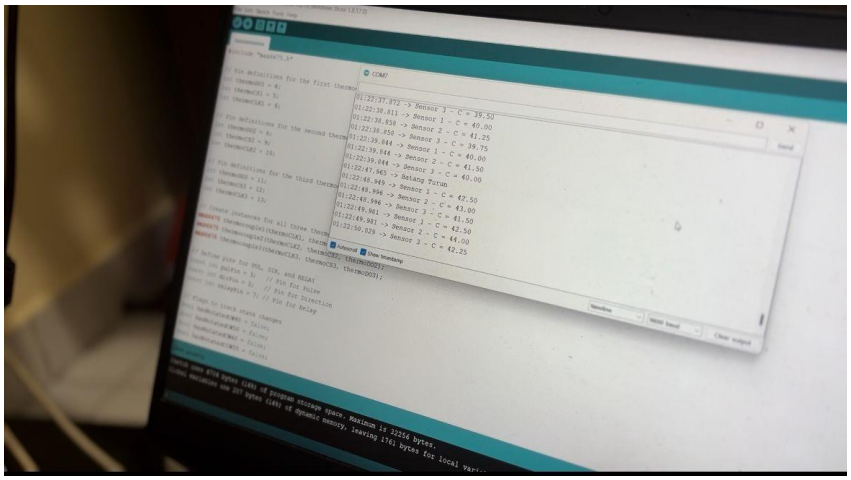
Tampilan asdrat yang berfungsi sebagai putaran untuk menentukan batang naik atau turun.



Tampilan dari samping *motor stepper* yang terpasang pada rangka.



Tampilan dari pemrograman *Arduino Uno* untuk mengendalikan sistem batang kendali.



Tampilan dari pemrograman *Raspberry Pi* untuk mengendalikan sistem batang kendali.

