MASTERPLAN PENGEMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SUMATERA UTARA

IMPACT-ORIENTED ENGINEERING FACULTY

Kampus Padang Bulan, Kecamatan Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara

Periode Perencanaan 2026 – 2031

Agustus 2026

Smart & Green Engineering Campus

DAFTAR ISI

BAB I. PENDAHULUAN

BAB II. GAMBARAN UMUM

BAB III. ANALISIS KEBUTUHAN & BASELINE KEBERLANJUTAN

BAB IV. KONSEP SMART AND GREEN CAMPUS

BAB V. RENCANA TATA RUANG DAN ZONASI HIJAU

BAB VI. RENCANA FASILITAS FISIK BERBASIS GREEN BUILDING

BAB VII. RENCANA INFRASTRUKTUR SMART CAMPUS

BAB VIII. TAHAPAN PELAKSANAAN (PHASING)

BAB IX. KERANGKA ESTIMASI KEBUTUHAN INVESTASI

BAB X. KELEMBAGAAN DAN PENGELOLAAN

BAB XI. INDIKATOR KINERJA DAN EVALUASI

BAB XII. PENUTUP

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (FT USU) yang berdiri sejak 1 September 1959 terus mengalami perkembangan sejalan dengan dinamika kebutuhan pendidikan tinggi, perkembangan teknologi, serta tuntutan dunia industri dan masyarakat. Saat ini FT USU menaungi 20 program studi yang terdiri atas tujuh program sarjana, enam program magister, dua program profesi, dan lima program doktor. Perkembangan tersebut tidak hanya menunjukkan peningkatan kapasitas akademik, tetapi juga membawa konsekuensi terhadap kebutuhan ruang, fasilitas, infrastruktur, utilitas, mobilitas, serta kualitas lingkungan kampus yang semakin kompleks.

Dinamika perubahan yang cepat terjadi ditingkat internasional, nasional, dan serta di lingkungan Universitas Sumatera Utara yang menuntut FT USU perlu mengevaluasi kebijakan- kebijakan yang diterapkan dan mengatur ulang strategi untuk mencapai tujuan yang telah dicanangkan. Pencapaian tujuan tersebut perlu didukung pengembangan fisik dalam segala aspek yang mampu melayani aktifitas guna pencapaian tujuan pengembangan sumber daya yang ada di FT USU dan perubahan-perubahan tersebut menandakan suatu Kebutuhan baru yang perlu penyesuaian kebijakan-kebijakan infrastruktur bangunan yang disusun dalam rencana induk (Masterplan) FT USU 2020-2045. Dengan demikian, pengembangan fisik FT USU tidak dapat dilakukan secara parsial, tetapi memerlukan kerangka spasial jangka panjang yang mampu mengarahkan hubungan antar fungsi, intensitas pemanfaatan lahan, jaringan sirkulasi, ruang terbuka, utilitas, serta tahapan pengembangan kawasan secara terpadu.

Dalam konteks tersebut, FT USU sebagai *Impact-Oriented Engineering Faculty* memiliki peluang sekaligus tanggung jawab untuk menjadikan kampusnya sebagai ruang pembelajaran dan inovasi yang merefleksikan keunggulan bidang keteknikan. Kampus tidak hanya berfungsi sebagai tempat berlangsungnya kegiatan akademik, tetapi juga dapat dikembangkan sebagai *living laboratory* yang memperlihatkan penerapan teknologi, efisiensi sumber daya, dan prinsip keberlanjutan secara nyata. Pertumbuhan program studi, mahasiswa, aktivitas riset, dan intensitas penggunaan fasilitas diproyeksikan akan meningkatkan kebutuhan terhadap energi, air, lahan, mobilitas, serta infrastruktur pendukung. Kondisi tersebut menuntut adanya pendekatan pembangunan yang mampu menyeimbangkan kebutuhan pertumbuhan dengan daya dukung lingkungan. Atas dasar itu, masterplan pengembangan fisik ini disusun dengan tema Smart and Green Campus, yang memadukan efisiensi sumber daya dan pelestarian lingkungan (green) dengan pemanfaatan teknologi digital untuk pengelolaan kampus yang lebih efisien dan responsif (smart).

Dengan demikian Masterplan perlu mengantisipasi pengembangan yang dilakukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan aset yang tersedia digunakan sebagai Pedoman Pelaksanaan Pembangunan. Masalah-masalah lain yang masih perlu diperhatikan dalam kajian ini akan dijelaskan pada sub bab berikut.

1.2 Dasar Kebijakan

Penyusunan Masterplan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (FT USU) didasarkan pada hierarki kebijakan yang mencakup kebijakan internasional, standar keberlanjutan dan smart campus, regulasi nasional, kebijakan tata ruang regional dan lokal, serta kebijakan internal Universitas Sumatera Utara.

- Sustainable Development Goals (SDGs)
- Paris Agreement 2015
- Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030
- UU No. 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi
- PP No. 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang
- Permen PUPR No. 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau
- Perda Kota Medan No. 1 Tahun 2022 tentang RTRW Kota Medan
- Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kota Medan untuk kawasan Kecamatan Medan Baru.
- Statuta USU dan Rencana Induk Pengembangan (RIP) USU sebagai PTN Badan Hukum.
- Peraturan Rektor USU No. 3 Tahun 2019 tentang Gerakan Kampus Hijau
- Rencana Strategis (Renstra) Fakultas Teknik USU 2026 – 2031 dan kebijakan pembukaan lima program studi baru 2026.
- Kebijakan/komitmen keberlanjutan USU, termasuk partisipasi dalam pemeringkatan kampus berkelanjutan (mis. UI GreenMetric World University Ranking).
- Peraturan bangunan gedung hijau (green building) dan standar bangunan gedung negara yang berlaku.

1.3 Maksud dan Tujuan

Masterplan FT USU bertujuan menyediakan kerangka pengembangan fisik kawasan yang terpadu dan berkelanjutan untuk mengarahkan pengembangan kampus saat ini dan masa depan dan mampu mendukung FT USU sebagai *Impact-Oriented Engineering Faculty*.

1. Menyusun kerangka pengembangan fisik kampus yang mengintegrasikan prinsip green campus (efisiensi energi-air, ruang hijau, pengelolaan limbah, mobilitas rendah emisi) dan smart campus (digitalisasi, otomasi, dan pemantauan berbasis data).
2. Mewujudkan struktur tata ruang dan bangung FT USU yang tepat-guna, efisien, optimal, dan bersinergi untuk mewadahi setiap kegiatan Tri Darma Perguruan Tinggi.
2. Mengantisipasi masalah pengembangan, pemanfaatan lahan, dan ruang kampus di masa depan menuju internasionalisasi FT USU.
3. Membuat proyeksi perencanaan tata ruang dan peruntukan pada masa yang akan datang
4. Membuat buku pedoman dasar sebagai acuan dalam pelaksanaan pengembangan.

1.4 Ruang Lingkup (Rizal)

Ruang lingkup mencakup penataan zonasi hijau, pengembangan gedung berstandar green building, sistem energi terbarukan, pengelolaan air dan limbah, ruang terbuka hijau dan biodiversitas kampus, serta lapisan infrastruktur digital/smart campus (jaringan sensor IoT, sistem manajemen bangunan/BMS, platform data terpadu) yang menopang seluruh fasilitas fisik tersebut. Desain arsitektural rinci (DED) dan spesifikasi teknis perangkat akan disusun pada tahap perencanaan teknis lanjutan.

1.5 Metodologi Penyusunan

Penyusunan mengikuti tahapan seperti yang terlihat pada Gambar 1., yang meliputi: (1) survei kondisi eksisting dan audit energi/air awal; (2) analisis kebutuhan ruang dan baseline keberlanjutan; (3) perumusan konsep smart and green campus; (4) penyusunan rencana zonasi, fasilitas, dan infrastruktur digital; serta (5) konsultasi dengan pimpinan fakultas, program studi, dan unit pengelola aset/IT USU.

Gambar 1. Metodologi penyusunan Masterplan Pengembangan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

BAB II. GAMBARAN UMUM

2.1 Profil Fakultas Teknik USU

Fakultas Teknik USU (FT USU) berdiri sejak tahun 1959 dan terus berkembang hingga kini dengan penambahan program studi baru yang relevan dengan kebutuhan industri dan masyarakat. Memiliki Luas lahan ± 11,9 Ha. FT USU menyediakan fasilitas gedung perkuliahan termasuk 60 laboratorium.

Gambar Area Fakultas Teknik USU

.

2.2 Kondisi Eksisting Kampus

FT USU berlokasi di Kampus Padang Bulan, kampus utama USU yang telah terbangun lebih dari enam dekade. Sebagian gedung tergolong bangunan lama dengan efisiensi energi rendah (pencahayaan/pendingin ruangan konvensional), dan sejauh ini belum memiliki sistem pemantauan energi-air terpusat maupun sertifikasi green building. Kondisi ini menjadi baseline sekaligus peluang perbaikan besar dalam penerapan konsep smart and green campus.

Data berikut perlu dilengkapi tim survei/aset dan energi fakultas sebelum dokumen difinalkan:

Tabel 2.1 Data infrastruktur dan energi FT USU

Aspek	Data Eksisting	Sumber/Metode Verifikasi
Luas lahan & ruang terbuka hijau eksisting	Luas lahan: 111. 924 m² Ruang terbuka hijau: 49.606,5 m²	Sertifikat tanah, citra satelit
Intensitas konsumsi energi (IKE) gedung		Audit energi
Konsumsi air per kapita		Data PDAM/meteran internal
Jumlah & kondisi gedung, usia bangunan		Inventarisasi aset
Cakupan jaringan internet/IoT eksisting		Data PSI USU
Pengelolaan sampah & limbah laboratorium	Menggunakan TPA USU	Survei lapangan
Potensi atap untuk panel surya (luas & orientasi)	14867,53 m²	Survei/analisis citra atap

2.3 Program Studi Eksisting dan Baru

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara saat ini menyelenggarakan pendidikan pada empat jenjang, yaitu Sarjana (S1), Magister (S2), Doktor (S3), dan Program Profesi. Pada jenjang Sarjana, terdapat tujuh program studi eksisting, meliputi Teknik Sipil, Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Industri, Teknik Kimia, Teknik Arsitektur, dan Teknik Lingkungan. Pada jenjang Magister, tersedia enam program studi, yaitu Teknik Arsitektur, Teknik Sipil, Teknik Kimia, Teknik Mesin, Teknik Industri, dan Teknik Elektro. Adapun pada jenjang Doktor, terdapat lima program studi, yaitu Ilmu Arsitektur dan Perkotaan, Ilmu Teknik Sipil, Ilmu Teknik Kimia, Ilmu Teknik Mesin, dan Ilmu Teknik Industri. Selain ketiga jenjang akademik tersebut, Fakultas Teknik juga menyelenggarakan Program Profesi, yaitu Profesi Arsitek dan Profesi Insinyur.

Dalam rangka pengembangan kelembagaan, Fakultas Teknik merencanakan penambahan sejumlah program studi baru yang akan mulai diselenggarakan pada tahun 2026. Pada jenjang Sarjana, direncanakan pembukaan tiga program studi baru, yaitu Teknik Logistik, Teknik Pertambangan, serta Perencanaan Wilayah dan Kota. Pada jenjang Magister, direncanakan penambahan program studi Perencanaan Wilayah dan Kota, sedangkan pada jenjang Doktor direncanakan penambahan program

studi Teknik Elektro. Untuk jenjang Program Profesi, hingga saat ini belum terdapat rencana penambahan program studi baru.

Rencana penambahan program studi tersebut mengindikasikan adanya kebutuhan pengembangan kapasitas kelembagaan Fakultas Teknik ke depan, baik dari aspek sumber daya manusia (dosen dan tenaga kependidikan) maupun dari aspek infrastruktur fisik, termasuk ruang perkuliahan, laboratorium, dan fasilitas penunjang lainnya, guna mendukung penyelenggaraan program studi baru tersebut secara optimal. Kondisi ini menjadi salah satu pertimbangan penting dalam perumusan kebutuhan pengembangan infrastruktur pada bagian selanjutnya dari kajian ini. Berikut merupakan tabulasi program studi eksisting dan baru di fakultas teknik.

Tabel 2.2 Jumlah Program Studi FT USU

Jenjang	Program Studi Eksisting	Program Studi Baru (mulai 2026)
Sarjana (S1)	Teknik Sipil, Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Industri, Teknik Kimia, Teknik Arsitektur, Teknik Lingkungan	Teknik Logistik, Teknik Pertambangan, Perencanaan Wilayah dan Kota
Magister (S2)	Teknik Arsitektur, Teknik Sipil, Teknik Kimia, Teknik Mesin, Teknik Industri, Teknik Elektro	Perencanaan Wilayah dan Kota
Doktor (S3)	Ilmu Arsitektur dan Perkotaan, Ilmu Teknik Sipil, Ilmu Teknik Kimia, Ilmu Teknik Mesin, Ilmu Teknik Industri	Teknik Elektro
Profesi	Profesi Arsitek, Profesi Insinyur	–

BAB III. ANALISIS KEBUTUHAN & BASELINE KEBERLANJUTAN

3.1 Kebutuhan Ruang

Sebagaimana kebutuhan mendasar telah diidentifikasi (ruang kuliah, laboratorium, ruang dosen untuk lima prodi baru), pada tema smart and green campus setiap penambahan ruang baru diwajibkan memenuhi standar minimum efisiensi energi dan air sejak tahap desain, bukan sekadar penambahan luas lantai.

Penentuan kebutuhan ruang pada bagian ini disusun dengan mengacu pada empat dasar pertimbangan, yaitu: (1) rencana pembukaan program studi baru; (2) hasil survei terhadap kelompok Dosen, Tenaga Kependidikan, dan Mahasiswa; (3) hasil analisis jadwal perkuliahan yang telah berlangsung; serta (4)

standar ruang yang berlaku. Keempat dasar tersebut digunakan secara terpadu agar proyeksi kebutuhan ruang tidak semata-mata bersifat normatif, melainkan juga mencerminkan kondisi riil pemanfaatan ruang serta aspirasi pengguna di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

1. **Rencana Pembukaan Program Studi Baru**

Sebagaimana diuraikan pada sub-bab 2.3, Fakultas Teknik berencana membuka lima program studi baru mulai tahun 2026, yaitu Teknik Logistik, Teknik Pertambangan, dan Perencanaan Wilayah dan Kota pada jenjang Sarjana, Perencanaan Wilayah dan Kota pada jenjang Magister, serta Teknik Elektro pada jenjang Doktor. Pembukaan program studi baru ini secara langsung menimbulkan kebutuhan ruang tambahan, baik berupa ruang kuliah, ruang dosen, maupun laboratorium/studio spesifik sesuai karakteristik keilmuan masing-masing program studi.

2. **Hasil Survei Dosen, Tenaga Kependidikan, dan Mahasiswa**

Berdasarkan hasil survei terhadap 257 responden (62 Dosen, 152 Mahasiswa, dan 43 Tenaga Kependidikan), teridentifikasi bahwa aspek ruang kerja dan ruang belajar yang belum memadai menjadi salah satu kelemahan utama yang dirasakan oleh ketiga kelompok responden, sejalan dengan keterbatasan kapasitas ruang dosen dan beban administrasi tenaga kependidikan akibat keterbatasan ruang kerja.. Selain itu, ketiga kelompok responden juga menyatakan dukungan yang tinggi dan merata terhadap konsep Smart and Green Campus, yang menjadi dasar penetapan prinsip keberlanjutan sebagai syarat wajib pada setiap perencanaan penambahan ruang baru, sebagaimana diuraikan lebih lanjut pada bagian akhir sub-bab ini.

3. **Analisis Jadwal Perkuliahan**

Hasil analisis terhadap jadwal perkuliahan yang telah berlangsung (Semester Ganjil dan Genap) sebagaimana diuraikan pada sub bab ini menunjukkan bahwa dari 61 ruang kuliah eksisting, rata-rata tingkat pemanfaatan tercatat sebesar ±38% terhadap kapasitas operasional mingguan, dengan pola distribusi yang tidak merata: sebagian kecil ruang (Ruang Hibrid 1, Ruang Hibrid 2, dan Laboratorium Distribusi di Departemen Teknik Elektro) tercatat mengalami intensitas penggunaan yang melebihi kapasitas operasional mingguan, mengindikasikan tumpang tindih penjadwalan, sementara ±24–28% ruang lain tercatat memiliki tingkat pemanfaatan di bawah 10 jam per minggu. Temuan ini mengindikasikan bahwa kebutuhan ruang kuliah tambahan tidak dapat ditentukan semata-mata dari proyeksi jumlah mahasiswa baru, melainkan perlu mempertimbangkan potensi optimalisasi/redistribusi penjadwalan pada ruang eksisting yang belum termanfaatkan secara maksimal, khususnya di luar jam puncak penggunaan (pukul 10.00 dan 14.00).

4. **Standar Ruang yang Berlaku**

Proyeksi kebutuhan ruang bagi program studi baru dihitung dengan mengacu pada standar berikut:

- **Rasio dosen tetap program studi (DTPS):** mengacu ketentuan Lembaga Akreditasi Mandiri Teknik (LAM Teknik), setiap program studi wajib memiliki DTPS ≥ 12 orang, dengan rasio jumlah mahasiswa terhadap DTPS berada pada rentang 15–25.
- **Standar luas ruang kuliah:** 2 m² per mahasiswa, dengan kapasitas ±45 orang per ruang.
- **Standar luas ruang kerja dosen:** minimum 4 m² per dosen.

Proyeksi Kebutuhan Ruang Program Studi Baru

Berdasarkan keempat dasar tersebut, proyeksi kebutuhan ruang disusun dengan asumsi jumlah mahasiswa baru sebesar 50 orang per angkatan untuk setiap program studi baru. Estimasi kebutuhan pada kondisi *steady-state* (seluruh angkatan aktif secara bersamaan, mengacu masa studi maksimal S1 4 tahun, S2 2 tahun, dan S3 4 tahun) disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Proyeksi kebutuhan ruang program studi baru pada kondisi steady-state

Program Studi Baru	*Jenjang*	*Mahasiswa Aktif*	*DTPS (LAM Teknik, min. 12)*	*Rasio Mhs:DTPS*	*Luas Ruang Dosen (4 m²/dosen)*	*Ruang Kuliah Dibutuhkan*	*Luas Ruang Kuliah*
Teknik Logistik	*S1*	*200*	*12*	*16,7*	*48 m²*	*5 ruang*	*400 m²*
Teknik Pertambangan	*S1*	*200*	*12*	*16,7*	*48 m²*	*5 ruang*	*400 m²*
Perencanaan Wilayah dan Kota	*S1*	*200*	*12*	*16,7*	*48 m²*	*5 ruang*	*400 m²*
Perencanaan Wilayah dan Kota	*S2*	*100*	*12*	*8,3**	*48 m²*	*3 ruang*	*200 m²*
Teknik Elektro	*S3*	*200*	*12*	*16,7*	*48 m²*	*5 ruang*	*400 m²*
Total		*900*	*12*		*240 m²*		***1.800 m²***

*Rasio 8,3 pada prodi PWK (S2) berada di bawah rentang ideal 15–25 karena ketentuan DTPS minimum 12 bersifat wajib terlepas dari jumlah mahasiswa; kondisi ini menunjukkan kapasitas dosen yang tersedia sesungguhnya melebihi kebutuhan rasio ideal untuk jumlah mahasiswa pada jenjang tersebut.

Asumsi 50 mahasiswa baru per angkatan bersifat seragam; pada praktiknya, jenjang Magister dan Doktor umumnya memiliki kuota penerimaan yang lebih kecil dibandingkan jenjang Sarjana, sehingga angka pada baris PWK (S2) dan Teknik Elektro (S3) berpotensi menjadi estimasi maksimum (*upper bound*) dan perlu diverifikasi lebih lanjut sesuai kebijakan penerimaan mahasiswa baru yang ditetapkan fakultas.

Sebagai tahap awal penyelenggaraan (tahun ajaran 2026/2027), kebutuhan ruang yang bersifat segera adalah untuk angkatan pertama sebanyak 250 mahasiswa baru (5 program studi × 50 mahasiswa), yang membutuhkan sekurang-kurangnya 5–6 ruang kuliah baru berkapasitas ±45–50 orang serta pemenuhan DTPS minimum 12 orang per program studi sesuai ketentuan LAM Teknik. Namun, merujuk pada Analisis Jadwal Perkuliahan di atas, sebagian dari kebutuhan ruang kuliah tahap awal ini berpotensi dipenuhi terlebih dahulu melalui optimalisasi jadwal pada ruang eksisting yang tingkat pemanfaatannya masih rendah, sebelum mempertimbangkan pembangunan unit ruang baru.

Selain ruang kuliah dan ruang dosen, kebutuhan ruang laboratorium dan studio bersifat spesifik sesuai karakteristik keilmuan tiap program studi, meliputi laboratorium simulasi rantai pasok/logistik untuk Program Studi Teknik Logistik, laboratorium geologi dan workshop peralatan pertambangan untuk Program Studi Teknik Pertambangan, laboratorium sistem informasi geografis (SIG) dan studio perencanaan untuk Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota pada jenjang Sarjana maupun Magister, serta ruang riset lanjutan yang terintegrasi dengan laboratorium eksisting Departemen Teknik Elektro untuk Program Doktor Teknik Elektro. Mengingat belum tersedianya standar luas baku secara nasional untuk laboratorium/studio spesifik tersebut, estimasi kebutuhan luas mengacu pada standar umum ruang praktikum sebesar 2 m² per mahasiswa sebagai perkiraan awal, dengan penyesuaian lebih lanjut pada tahap perencanaan teknis terperinci (*detailed engineering design*).

Standar Perencanaan: Integrasi Prinsip Smart and Green Campus

Sejalan dengan Hasil Survei Dosen, Tenaga Kependidikan, dan Mahasiswa yang menunjukkan dukungan tinggi dan merata dari Dosen, Tenaga Kependidikan, dan Mahasiswa terhadap konsep Smart and Green Campus, seluruh perencanaan penambahan ruang sebagaimana diuraikan di atas — baik ruang kuliah, laboratorium, maupun ruang dosen bagi lima program studi baru — diwajibkan memenuhi standar minimum efisiensi energi dan air sejak tahap desain, bukan sekadar penambahan luas lantai semata. Prinsip tersebut diterjemahkan ke dalam beberapa kriteria perencanaan, antara lain: (1) penerapan desain pasif melalui optimalisasi pencahayaan dan ventilasi alami guna mengurangi konsumsi energi untuk pendinginan dan penerangan buatan; (2) penggunaan sistem tata udara dan pencahayaan dengan tingkat efisiensi energi tinggi; (3) penerapan sistem plambing hemat air serta pemanfaatan air hujan (*rainwater harvesting*) untuk kebutuhan non-konsumsi; (4) pertimbangan pemanfaatan sumber energi

terbarukan pada tahap perencanaan; dan (5) penggunaan material bangunan yang berkelanjutan. Kriteria tersebut selanjutnya menjadi acuan teknis dalam perumusan program pengembangan fisik pada bagian selanjutnya dari kajian ini.

3.2 Baseline dan Gap Keberlanjutan

Baseline keberlanjutan menggambarkan kondisi eksisting FT USU sebagai dasar untuk mengidentifikasi potensi dan permasalahan, menetapkan target kinerja, serta merumuskan strategi pengembangan kawasan yang berkelanjutan, cerdas, dan terukur.

Tabel 3.2 Baseline Kondisi Eksisting dan Arah Pengembangan Keberlanjutan FT USU

Dimensi	Kondisi Saat Ini (indikatif)	Target Smart and Green Campus
Energi	Dominan jaringan PLN, minim energi terbarukan, tanpa monitoring real-time	Bauran energi surya atap, sistem monitoring energi digital di seluruh gedung utama
Air	Distribusi konvensional, tanpa daur ulang	Rainwater harvesting, daur ulang air non-potable, meteran pintar
Sampah & limbah	Pengangkutan konvensional, minim pemilahan	Pemilahan 3R (reduce-reuse-recycle) & IPAL limbah B3 laboratorium
Mobilitas	Dominan kendaraan pribadi bermotor	Jalur pejalan kaki/sepeda, shuttle listrik, titik pengisian kendaraan listrik (EV charging)
Digitalisasi kampus	Sistem informasi akademik dasar	Sensor IoT gedung, smart classroom, dashboard data terpadu

3.3 Analisis SWOT terhadap Penerapan Smart and Green Campus

A. STRENGTHS — KEKUATAN

S1. Fakultas Teknik memiliki sejarah dan posisi institusional yang kuat

FT USU berdiri sejak **1959** dan merupakan fakultas ke-4 di USU. Website FT USU juga menyebutkan bahwa Fakultas Teknik menempati posisi ke-9 di Indonesia menurut EduRank 2026.

Implikasi masterplan:

- Memiliki brand dan identitas institusi yang kuat.
- Layak dikembangkan sebagai **Engineering Hub** di Sumatera Utara.
- Masterplan dapat diarahkan bukan sekadar renovasi fisik, tetapi peningkatan daya saing regional dan internasional.

S2. Struktur keilmuan FT USU sangat lengkap dan multidisiplin

FT USU saat ini menaungi **22 program studi**, mencakup Teknik Sipil, Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Industri, Teknik Kimia, Arsitektur, Teknik Lingkungan, Perencanaan Wilayah dan Kota, Teknik Pertambangan, Teknik Logistik, Profesi Insinyur, dan Profesi Arsitek. FT USU memiliki sekitar **5.429 mahasiswa aktif, 32 guru besar, dan 52 lektor kepala**.

Implikasi masterplan:

- Sangat kuat untuk membangun *interdisciplinary engineering campus*.
- Dapat dikembangkan menjadi kawasan yang mengintegrasikan:
    - engineering education,
    - research,
    - innovation,
    - industry collaboration,
    - entrepreneurship.

S3. Basis SDM akademik relatif kuat

Keberadaan **32 guru besar dan 52 lektor kepala** menunjukkan basis SDM senior yang cukup kuat untuk mendukung riset, pendidikan pascasarjana dan pengembangan pusat unggulan.

Implikasi:

Masterplan perlu menyediakan fasilitas yang mendukung *research-intensive faculty*, bukan hanya ruang kuliah.

Misalnya:

- research center,
- shared laboratory,
- innovation center,
- graduate research space,
- industry laboratory,
- collaborative workspace.

S4. Basis penelitian dan inovasi cukup kuat

Penelitian menjadi salah satu pilar utama FT USU, dengan bidang yang mencakup teknik elektro, mesin, sipil, arsitektur, kimia, lingkungan dan industri, serta fokus pada teknologi ramah lingkungan, infrastruktur cerdas, material inovatif dan sistem industri efisien.

Implikasi:

Masterplan sebaiknya memiliki zona:

Education → Research → Innovation → Industry

bukan hanya:

Classroom → Laboratory → Administration.

S5. Sudah memiliki ekosistem Green Campus di tingkat universitas

USU telah memiliki kebijakan Green Campus melalui **Peraturan Rektor No. 3 Tahun 2019**. Program tersebut mencakup efisiensi energi, air, kertas, plastik, pengelolaan sampah dan limbah.
Ini merupakan kekuatan besar karena masterplan FT tidak perlu memulai agenda keberlanjutan dari nol.

S6. Hubungan dengan industri dan institusi eksternal sudah berkembang

FT USU memiliki berbagai kerja sama dengan industri dan institusi pendidikan. Contohnya termasuk PT Pacific Medan Industri, PT Sarulla Geothermal, PT PLN KITSU, PTPN, serta berbagai institusi pendidikan. Pada 2026, FT USU juga melakukan kerja sama hilirisasi penelitian dengan PTPN 4.

Implikasi:

Masterplan dapat menyediakan:

Industry Collaboration Zone

yang mencakup:

- research center,
- testing laboratory,
- technology transfer,
- startup/incubation space,
- industry co-working,
- demonstration facility.

B. WEAKNESSES — KELEMAHAN

W1. Kompleksitas 25 program studi berpotensi menyebabkan fragmentasi fasilitas

Dengan 25 program studi dan 5.429 mahasiswa aktif, kebutuhan ruang dan fasilitas FT sangat kompleks.
Potensi masalah:

- fasilitas tersebar,
- laboratorium terfragmentasi,
- penggunaan ruang tidak optimal,
- duplikasi fasilitas,
- ruang kolaborasi lintas disiplin terbatas.

Implikasi: perlu dilakukan **Space Utilization Audit**.

W2. Belum tersedia data yang memadai mengenai kondisi fisik seluruh aset FT

Informasi fasilitas dan laboratorium sudah tersedia, tetapi belum memberikan database lengkap mengenai:

- luas setiap bangunan,
- umur bangunan,
- kondisi struktur,
- kondisi MEP,
- kapasitas,

- tingkat okupansi,
- utilisasi ruang,
- kebutuhan renovasi.

Ini merupakan **data gap utama** untuk penyusunan masterplan.

W3. Belum tersedia baseline energi dan air khusus FT secara terbuka

USU memiliki data energi dan keberlanjutan tingkat universitas, tetapi data publik tersebut belum memberikan rincian yang memadai khusus untuk FT.

Karena itu belum dapat disimpulkan secara kuantitatif:

- kWh/m² FT,
- kWh/mahasiswa,
- liter air/mahasiswa,
- konsumsi per gedung,
- peak load FT,
- potensi penghematan FT.

Implikasi: perlu dilakukan **Energy & Water Audit FT**.

W4. Integrasi sistem digital antarprogram studi perlu diperiksa

FT memiliki banyak program studi dan fasilitas, sementara masterplan smart campus membutuhkan integrasi:

Building → Sensor → Network → Database → Dashboard → Decision Making.

Belum tersedia data publik yang cukup untuk menilai tingkat integrasi sistem digital FT secara detail.

Ini harus menjadi salah satu item audit.

W5. Kompleksitas kebutuhan laboratorium berpotensi menghasilkan kebutuhan infrastruktur tinggi

Program studi teknik memerlukan fasilitas dengan karakteristik berbeda:

- laboratorium listrik,
- workshop,
- studio,
- laboratorium komputer,
- laboratorium material,
- fasilitas pengujian,
- fasilitas penelitian.

Karena itu kebutuhan:

- listrik,
- air,
- exhaust,
- keselamatan,
- limbah,

- jaringan data

juga tinggi.

Implikasi: masterplan perlu menerapkan konsep **Shared Laboratory / Central Laboratory** untuk fasilitas yang dapat dipakai lintas prodi.

C. OPPORTUNITIES — PELUANG

O1. Menjadikan FT USU sebagai Smart and Green Engineering Campus

USU sudah mempunyai kebijakan Green Campus dan infrastruktur smart-building yang sedang berkembang.

FT dapat menjadi:

pilot project Smart & Green Engineering Campus USU.

O2. Pengembangan FT sebagai Living Laboratory

Karena FT memiliki berbagai disiplin teknik, seluruh infrastruktur kampus dapat menjadi objek penelitian.

Contoh:

Teknik Elektro
→ smart grid + PV + energy monitoring

Teknik Mesin
→ automation

Teknik Sipil
→ green infrastructure + structural monitoring

Teknik Kimia
→ wastewater + material + process engineering

Teknik Industri
→ optimization + facility management

Teknik Lingkungan
→ waste + water + carbon management

Arsitektur
→ green building + bioclimatic design

PWK
→ spatial planning + mobility

Ini adalah peluang yang sangat kuat untuk diferensiasi FT.

O3. Pengembangan pusat riset dan inovasi lintas disiplin

Dengan basis keilmuan yang luas dan aktivitas penelitian FT, peluang besar terdapat pada pembentukan:

Engineering Research & Innovation District

yang menggabungkan:

Research Center + Shared Laboratory + Industry + Startup + Student Innovation.

Penguatan tata kelola riset, inovasi dan layanan industri juga sedang menjadi agenda FT USU.

O4. Hilirisasi penelitian ke industri

Kerja sama dengan PTPN 4 pada 2026 secara eksplisit diarahkan pada hilirisasi hasil penelitian menjadi teknologi, produk dan inovasi.

Peluang masterplan:

Membangun:

Engineering Technology Transfer & Industrial Collaboration Center

O5. Energi terbarukan

Dengan pengalaman PV di lingkungan USU, FT memiliki peluang mengembangkan:

- rooftop solar,
- solar carport,
- smart microgrid,
- battery storage,
- EV charging,
- energy dashboard.

O6. Circular Water & Zero Waste Campus

Program water reuse USU memberi dasar kuat untuk mengembangkan:

- rainwater harvesting,
- greywater recycling,
- stormwater management,
- retention pond,

O7. Kolaborasi internasional

FT USU menerima kunjungan dan menjajaki kolaborasi dengan Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan pada 2025, serta terdapat penjajakan kolaborasi dosen Arsitektur dengan ITB, UI dan University of Hong Kong pada 2026.

Implikasi:

Masterplan perlu menyediakan ruang yang mendukung:

- international visiting professor,
- international research,
- student mobility,
- joint laboratory,
- international conference,
- collaborative research.

D. THREATS — ANCAMAN

T1. Persaingan perguruan tinggi teknik semakin tinggi

FT USU tidak hanya bersaing secara regional, tetapi juga dengan fakultas teknik universitas nasional yang semakin agresif mengembangkan:

- research center,
- smart campus,
- international collaboration,
- industry partnership,
- innovation ecosystem.

Risiko: fasilitas fisik yang tidak segera dimodernisasi dapat mengurangi daya saing.

T2. Perubahan teknologi sangat cepat

Teknologi:

- AI,
- IoT,
- robotics,
- digital twin,
- smart manufacturing,
- renewable energy,
- autonomous systems

berkembang cepat.

Risiko: masterplan yang terlalu kaku dapat menjadi obsolete dalam 5–10 tahun.

Respons: desain harus **flexible, modular dan adaptable**.

T3. Kenaikan biaya energi dan operasional

FT memiliki banyak laboratorium dan fasilitas teknik yang berpotensi memiliki konsumsi energi tinggi.

Risiko: biaya operasi meningkat.

Respons:

- energy efficiency,
- PV,
- smart metering,
- BAS,
- passive design,
- high-efficiency HVAC.

T4. Risiko perubahan iklim dan cuaca ekstrem

Untuk kampus di kawasan tropis seperti Medan, isu:

- hujan ekstrem,
- genangan,
- panas,
- kelembapan,
- stormwater

perlu dimasukkan dalam masterplan.

Program Green Campus USU sendiri telah memasukkan pengelolaan air, retention ponds dan rainwater harvesting sebagai bagian dari pendekatan keberlanjutan.

T5. Cybersecurity

Semakin banyak sistem:
IoT → Smart Building → CCTV → Access Control → Energy Management → Data Center
maka semakin besar pula risiko keamanan digital.
Implikasi: masterplan smart campus harus memiliki **cybersecurity architecture**, bukan hanya desain jaringan fisik.

MATRIKS SWOT FT USU

STRENGTHS	WEAKNESSES
S1. Berdiri sejak 1959 dan memiliki reputasi kuat	W1. Kompleksitas pengelolaan 25 prodi
S2. 25 program studi multidisiplin	W2. Data kondisi aset belum lengkap secara publik
S3. 5.429 mahasiswa aktif	W3. Baseline energi/air khusus FT belum tersedia
S4. 32 Guru Besar & 52 Lektor Kepala	W4. Integrasi sistem digital perlu diaudit
S5. Basis riset dan inovasi kuat	W5. Kebutuhan laboratorium sangat kompleks
S6. Ekosistem Green Campus USU	W6. Potensi fragmentasi fasilitas antarprodi
S7. Smart Building/BAS mulai berkembang	W7. Belum tersedia data utilisasi ruang publik yang memadai
S8. Jaringan kerja sama industri	W8. Belum ada data publik lengkap kondisi MEP
S9. Potensi interdisciplinary engineering	W9. Kebutuhan fasilitas riset terus berkembang
	W10. Potensi biaya retrofit/infrastruktur tinggi

OPPORTUNITIES	THREATS
O1. Smart & Green Engineering Campus	T1. Persaingan fakultas teknik nasional
O2. Living Laboratory	T2. Teknologi cepat obsolete
O3. Engineering Research & Innovation District	T3. Kenaikan biaya energi
O4. Hilirisasi riset	T4. Perubahan iklim
O5. Renewable energy	T5. Hujan ekstrem/banjir
O6. Circular water & zero waste	T6. Cybersecurity
O7. International collaboration	T7. Keterbatasan investasi
O8. Industry partnership	T8. Perubahan kebutuhan industri
O9. Digital & IoT	T9. Kebutuhan maintenance meningkat
O10. Green financing/hibah	T10. Risiko ketergantungan teknologi

MATRIKS STRATEGI SO–WO–ST–WT

1. Strategi SO — menggunakan kekuatan untuk menangkap peluang

Kombinasi	Strategi
S1+S2+S7 × O1+O2	Smart & Green Engineering Living Laboratory
S1+S2+S3 × O4+O5	Engineering Research & Innovation Hub
S4+S5+S6 × O1+O3	Net-Zero/Low-Carbon Campus Transformation
S2+S3 × O5+O7	Industry & International Collaboration Hub

Strategi SO-1 — Living Laboratory
Seluruh kampus FT dijadikan laboratorium nyata:

Gedung → Energi → Air → Limbah → RTH → Mobilitas → IoT → Data → Riset & Pembelajaran

2. Strategi WO — menggunakan peluang untuk memperbaiki kelemahan

Kombinasi	Strategi
W2+W3+W4 × O1+O2	Integrated Digital Campus & Asset Management
W1+W5 × O4	Shared Laboratory & Shared Facilities
W3+W5 × O3	Energy & Water Retrofit Program
W6 × O1+O6	Sustainable Mobility & Walkable Campus

Strategi WO-1 berarti seluruh aset fisik secara bertahap masuk ke:
GIS → BIM → IoT → Digital → Dashboard → Facility Management.

3. Strategi ST — kekuatan untuk mengantisipasi ancaman

Kombinasi	Strategi
S1+S2 × T1+T2	Future-Ready Engineering Campus
S4+S5+S6 × T3+T4	Climate Resilient & Resource Efficient Campus
S3+S7 × T1	Industry-Connected Engineering Education
S5 × T5	Secure Smart Campus Infrastructure

Konsep Future-Ready Campus berarti ruang tidak dirancang terlalu spesifik dan kaku. Laboratorium, ruang kuliah dan ruang penelitian sebaiknya modular dan adaptif terhadap perkembangan AI, robotics, automation, renewable energy dan advanced manufacturing.

4. Strategi WT — mengurangi kelemahan dan ancaman

Kombinasi	Strategi
W2+W3 × T3+T4	Comprehensive Building–Energy–Water Audit
W5 × T3	Life-Cycle Asset Management
W4 × T2+T5	Digital Infrastructure & Cybersecurity Roadmap
W1+W6 × T6	Phased Development & Investment Strategy

Kekuatan terbesar FT USU bukan hanya jumlah program studi atau aset fisiknya, tetapi **kombinasi multidisiplin engineering + SDM akademik + riset + hubungan industri + ekosistem Green Campus USU**. **Peluang terbesar** adalah menjadikan seluruh kawasan FT sebagai **Living Laboratory**: bangunan, energi, air, limbah, transportasi, IoT dan ruang terbuka semuanya sekaligus menjadi **infrastruktur pendidikan dan penelitian**.
Sementara itu, **kelemahan paling kritis yang perlu segera ditutup sebelum masterplan final** adalah belum tersedianya data terukur dan terintegrasi mengenai **kondisi aset, utilisasi ruang, energi, air, infrastruktur digital, parkir/sirkulasi dan biaya siklus hidup bangunan** pada level FT USU.

BAB IV. KONSEP SMART AND GREEN CAMPUS

4.1 Visi Pengembangan

"Menjadikan Kampus Fakultas Teknik USU sebagai kampus cerdas dan hijau (smart and green campus) yang efisien dalam pemanfaatan sumber daya, rendah emisi, nyaman dan inklusif bagi sivitas akademika, serta menjadi laboratorium hidup penerapan inovasi teknik karya sivitasnya sendiri."

4.2 Empat Pilar Green Campus

- Efisiensi Energi – bangunan hemat energi, pencahayaan dan pendingin ruangan efisien, pemanfaatan energi surya atap (rooftop solar PV).
- Efisiensi dan Konservasi Air – rainwater harvesting, daur ulang air non-potable, sanitasi hemat air.
- Ruang Hijau dan Biodiversitas – mempertahankan/menambah tutupan vegetasi, taman produktif, koridor hijau antar-gedung.
- Mobilitas dan Limbah Berkelanjutan – prioritas pejalan kaki/sepeda/shuttle listrik, pemilahan sampah, pengolahan limbah laboratorium sesuai standar.

4.3 Empat Pilar Smart Campus

- Smart Building – Building Management System (BMS) untuk kendali otomatis pencahayaan, HVAC, dan keamanan gedung.
- Smart Energy & Resource Monitoring – sensor IoT pemantau konsumsi listrik dan air secara real-time per gedung.
- Smart Learning Space – ruang kuliah dan laboratorium dilengkapi teknologi pembelajaran digital dan sistem penjadwalan ruang otomatis.

- Smart Mobility & Safety – CCTV terintegrasi, sistem informasi parkir, dan tombol darurat/emergency call terhubung pusat keamanan kampus.

4.4 Integrasi Smart-Green

Kedua pilar tidak berdiri sendiri: data dari sensor smart campus (misalnya pemantauan energi) menjadi dasar pengambilan keputusan pengelolaan hijau (misalnya penjadwalan optimal AC dan lampu), sehingga keduanya membentuk siklus umpan-balik yang saling memperkuat efisiensi dan keberlanjutan kampus.

BAB V. RENCANA TATA RUANG DAN ZONASI HIJAU

Rencana tata ruang dan zonasi hijau Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (FT USU) merupakan kerangka spasial untuk mengarahkan pertumbuhan kawasan secara tertib, terhubung, adaptif, dan berwawasan lingkungan. Bab ini mengembangkan konsep masterplan 2026–2031 dengan menempatkan ruang luar, bangunan, mobilitas, air, vegetasi, dan aktivitas akademik sebagai satu sistem yang saling mendukung. Dengan demikian, penataan kawasan tidak dipahami sebatas pengaturan letak massa, melainkan sebagai instrumen untuk memperbaiki kinerja lingkungan, kenyamanan pengguna, keselamatan, identitas institusi, serta kualitas proses belajar.

Pendekatan tersebut sejalan dengan kerangka UI GreenMetric yang menilai keberlanjutan universitas melalui aspek setting dan infrastruktur, energi dan perubahan iklim, limbah, air, transportasi, pendidikan, serta tata kelola dan digitalisasi (UI GreenMetric, 2026). Dalam konteks USU, arah ini juga mendukung Kebijakan Green Campus berdasarkan Peraturan Rektor Nomor 3 Tahun 2019 dan Surat Edaran Rektor Nomor 1 Tahun 2023, termasuk efisiensi energi, pengelolaan air, pengurangan emisi, dan peningkatan kualitas ekosistem kampus (Universitas Sumatera Utara, 2024a; 2024b).

Secara substantif, Bab V menjabarkan empat komponen dasar dari naskah awal, yaitu struktur zonasi; rencana blok massa dan orientasi bangunan; sirkulasi kendaraan dan pejalan kaki yang terhubung; serta ruang terbuka hijau dan biodiversitas. Keempatnya kemudian dilengkapi dengan prinsip desain, kriteria teknis, pentahapan implementasi, dan indikator evaluasi. Masterplan diperlakukan sebagai dokumen dinamis: keputusan rinci tetap harus didahului survei topografi, inventarisasi pohon, kajian drainase, audit aksesibilitas, analisis kebutuhan ruang, dan koordinasi dengan rencana induk universitas.

Penataan ruang kawasan fakultas harus berangkat dari prinsip keberlanjutan yang terukur. Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 menempatkan ruang terbuka hijau sebagai unsur penting struktur ruang perkotaan dan menetapkan proporsi paling sedikit 30 persen pada skala wilayah kota. Walaupun angka tersebut bukan ketentuan langsung untuk satu tapak fakultas, prinsip kecukupan, keterhubungan, dan fungsi ekologis RTH tetap relevan sebagai acuan pengelolaan kawasan. Permen PUPR Nomor 21 Tahun 2021 juga menekankan penilaian kinerja bangunan gedung hijau sejak tahap perencanaan, pelaksanaan, pemanfaatan, hingga pembongkaran (Republik Indonesia, 2007; Kementerian PUPR, 2021).

Untuk FT USU, prinsip utama dirumuskan menjadi: (1) mempertahankan struktur kawasan eksisting yang masih berfungsi baik; (2) mengisi ruang kosong secara selektif tanpa memutus koridor hijau; (3) memprioritaskan berjalan kaki dan akses universal; (4) menata parkir sebagai sistem bersama, bukan halaman tiap gedung; (5) mengintegrasikan taman dengan pengelolaan limpasan; (6) menambah tutupan tajuk dan keanekaragaman vegetasi; serta (7) memastikan setiap pembangunan menghasilkan peningkatan kinerja lingkungan yang dapat diverifikasi. Konsep ini mendukung gagasan infrastruktur hijau-biru, yaitu jejaring ruang vegetasi dan air yang secara bersamaan mengelola limpasan, menurunkan panas, menyediakan habitat, dan meningkatkan kesehatan pengguna (Jagadisan et al., 2024).

Keberhasilan masterplan bergantung pada hubungan antar-skala. Pada skala kawasan, keputusan menyangkut jaringan sirkulasi, distribusi fungsi, sistem air, dan konektivitas ekologis. Pada skala kluster, keputusan menyangkut batas ruang, akses, karakter taman, dan hubungan antargedung. Pada skala bangunan, keputusan menyangkut orientasi, pembayangan, ventilasi, permeabilitas lantai dasar, efisiensi energi, serta pengelolaan air. Karena itu, setiap proyek baru wajib diuji bukan hanya terhadap kebutuhan programnya, tetapi juga terhadap kontribusinya bagi sistem kawasan.

Gambar 5.1. Gambaran tiga dimensi usulan masterplan FT USU 2026–2031.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.1 Struktur Zonasi

Struktur zonasi ditetapkan untuk mengendalikan pemanfaatan ruang sekaligus menjaga fleksibilitas perkembangan akademik. Berdasarkan masterplan, kawasan dibaca sebagai dua zona besar—zona timur dan zona barat—yang disatukan oleh jaringan jalan internal, pedestrian, ruang terbuka, dan kantung parkir. Pembagian ini bukan pemisahan administratif yang kaku, melainkan alat untuk memahami kluster bangunan, pola pergerakan, serta prioritas intervensi. Zonasi operasional kemudian dibagi menjadi zona bangunan, zona taman dalam kluster, zona parkir dan kendaraan, zona taman luar, serta zona infrastruktur hijau-biru.

Prinsip kluster ruang terbuka terkendali digunakan agar halaman antarmassa memiliki identitas dan fungsi yang jelas. Taman dalam kluster terutama melayani civitas akademika dan mendukung belajar di luar ruang, sementara taman luar berperan sebagai ruang transisi publik, peneduh parkir, buffer terhadap kebisingan dan debu, serta jalur ekologis. Perbedaan akses tidak boleh menimbulkan fragmentasi; koneksi visual, jalur evakuasi, dan akses pemeliharaan harus tetap terjamin. Pagar, bila diperlukan, sebaiknya bersifat permeabel secara visual dan tidak memutus drainase maupun jalur pejalan kaki utama.

Kode taman tematik perlu diterapkan secara konsisten untuk memudahkan orientasi, pemeliharaan, pemrograman kegiatan, dan inventarisasi aset hijau. Kode dapat menggabungkan zona, nomor kluster, serta fungsi dominan, misalnya T-B1 untuk taman belajar pada zona barat atau R-T1 untuk taman retensi pada zona timur. Setiap kode harus terhubung dengan basis data yang memuat luas, jenis permukaan, jumlah dan spesies pohon, fasilitas, kapasitas resapan, penanggung jawab, serta jadwal pemeliharaan. Tata kelola berbasis data ini memperkuat posisi ruang hijau sebagai infrastruktur kampus, bukan ruang sisa.

Gambar 5.2. Peta masterplan FT USU.

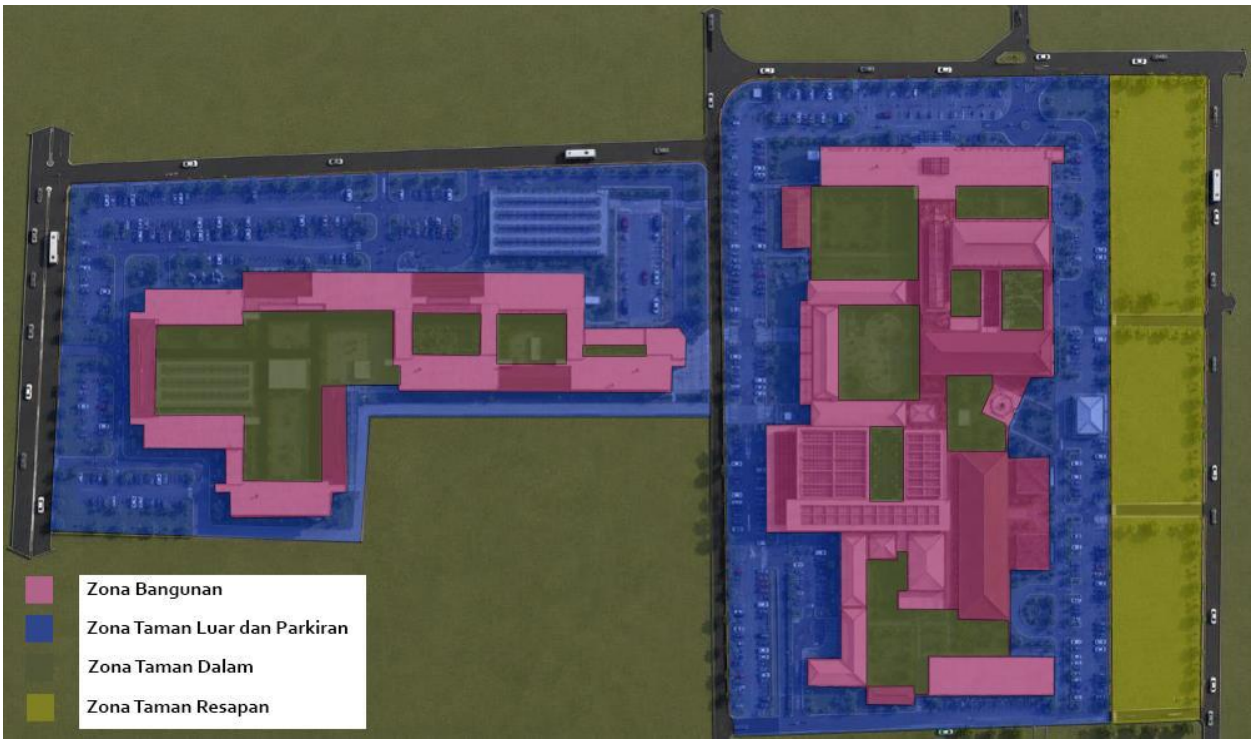
Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.1.1 Zonasi Bangunan

Zona bangunan mencakup bangunan pendidikan, laboratorium, administrasi, layanan akademik, ruang kolaborasi, ruang pamer, fasilitas konvensi, dan fungsi penunjang. Penempatannya mengikuti tiga pertimbangan: kesesuaian dengan kluster keilmuan, keterjangkauan dari jalur pedestrian utama, dan kemampuan tapak menerima tambahan beban bangunan tanpa menurunkan kualitas lingkungan. Fungsi dengan intensitas kunjungan tinggi—seperti International Classroom Building dan Convention Complex INSTEC—ditempatkan dekat akses utama atau koridor yang mampu menampung arus besar. Fungsi yang membutuhkan keterhubungan operasional—seperti pengembangan KBE—ditempatkan sebagai ekstensi bangunan eksisting.

Pengisian ruang kosong di antara bangunan eksisting harus dilakukan secara hati-hati. Ruang yang tampak kosong dapat berfungsi sebagai jalur angin, area resapan, ruang evakuasi, zona servis, atau habitat pohon dewasa. Oleh sebab itu, keputusan membangun harus didahului analisis neraca lahan dan skenario tanpa pembangunan. Prinsip pembangunan kompak hanya diterapkan apabila akses cahaya, ventilasi, keselamatan kebakaran, sirkulasi servis, dan kualitas ruang luar tetap memenuhi standar. Bangunan baru juga perlu mengaktifkan lantai dasar melalui teras teduh, selasar, ruang bersama, dan bukaan yang berhubungan langsung dengan taman.

Setiap paket pembangunan perlu menyertakan dokumen kendali tapak: batas bangunan, garis sempadan internal, ketinggian, orientasi, titik akses, area servis, luasan tapak kedap, area hijau yang dipertahankan, pohon yang dilindungi, serta rencana pengganti apabila pohon terpaksa dipindahkan. Penilaian tidak berhenti pada luasan ruang yang diperoleh, tetapi juga mencakup intensitas energi, pengurangan limpasan, akses universal, kenyamanan termal, dan kontribusi terhadap ruang publik kampus. Pendekatan siklus hidup ini sesuai dengan prinsip penilaian bangunan gedung hijau nasional (Kementerian PUPR, 2021).



Gambar 5.2. Zonasi Masterplan

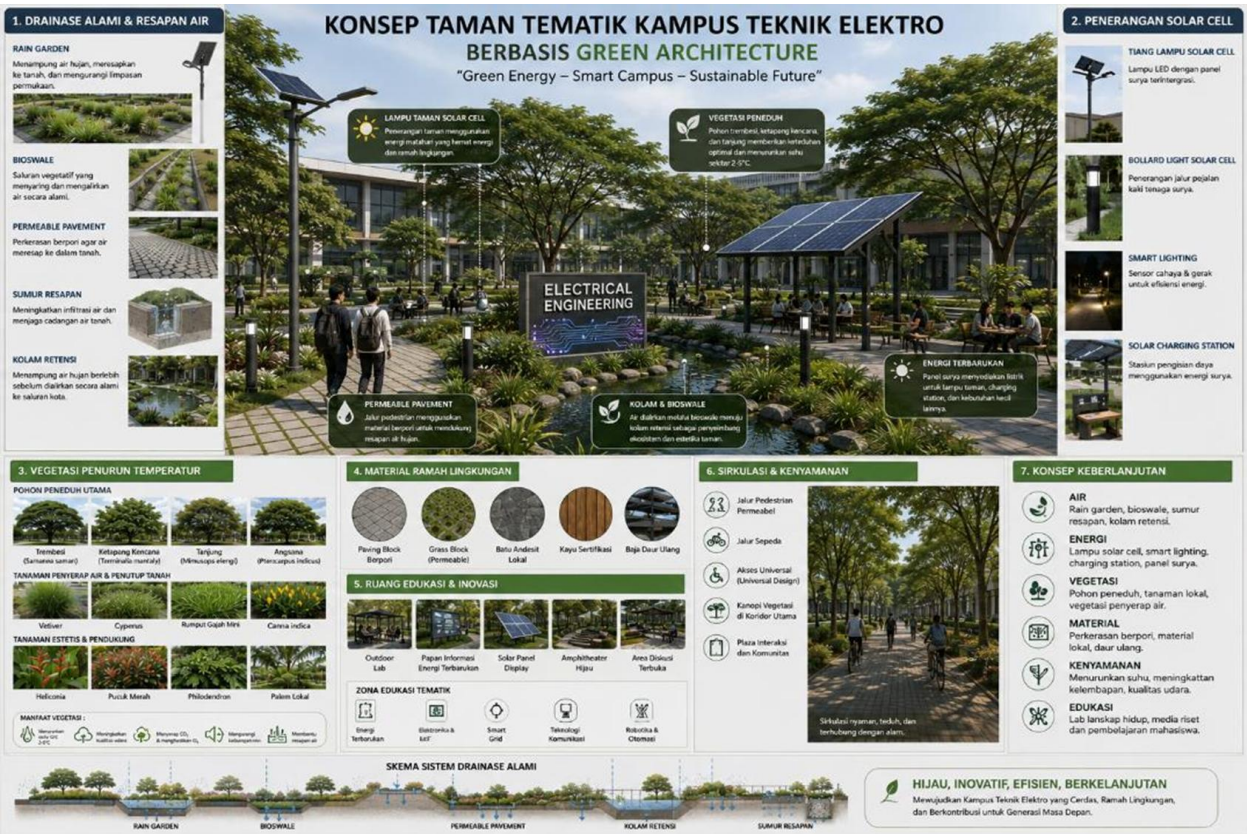
Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.1.2 Zonasi Taman Dalam Kluster

Taman dalam kluster massa bangunan dirancang sebagai ruang belajar luar, tempat diskusi, jeda antara perkuliahan, dan ruang interaksi lintas program studi. Kualitas taman tidak cukup dinilai dari luasnya, tetapi dari keternaungan, kenyamanan duduk, akses listrik dan internet, keamanan, keterlihatan, fleksibilitas penggunaan, serta hubungan dengan ruang dalam. Penelitian mengenai ruang hijau kampus menunjukkan bahwa variasi elemen vegetasi dan kualitas lingkungan dapat mempengaruhi persepsi kenyamanan, pemulihan psikologis, dan pengalaman mahasiswa di luar ruang (Xu et al., 2024).

Komposisi ruang sebaiknya menggabungkan zona aktif dan tenang. Zona aktif dapat menampung diskusi kelompok, pameran kecil, dan kegiatan studio, sedangkan zona tenang mendukung membaca atau kerja individual. Tempat duduk perlu disediakan dalam beberapa konfigurasi—individual, berpasangan, kelompok kecil, dan komunal—dengan sebagian besar berada di bawah tajuk atau struktur peneduh. Permukaan harus stabil, tidak licin, mudah dipelihara, dan tetap memberikan porsi perkerasan berpori. Jalur akses harus bebas hambatan, memiliki kemiringan wajar, dan menyediakan ruang putar bagi pengguna kursi roda.

Setiap taman tematik harus memperoleh program yang berkaitan dengan karakter klusternya. Taman Teknik Elektro dapat menampilkan demonstrasi pencahayaan surya dan sensor lingkungan; taman Arsitektur dapat menjadi ruang pamer material dan prototipe; taman Teknik Sipil dapat memperlihatkan sistem perkerasan berpori atau drainase; sedangkan taman Teknik Kimia dapat menampilkan edukasi pengolahan air. Dengan demikian, lanskap menjadi living laboratory yang mendukung pendidikan dan riset. Konsep living laboratory juga selaras dengan tujuan UI GreenMetric untuk mendorong perubahan nyata dan menghubungkan pengelolaan kampus dengan pendidikan keberlanjutan (UI GreenMetric, 2026).



Gambar 5.3. Contoh konsep taman tematik kampus berbasis pembelajaran, vegetasi, dan teknologi hijau.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.1.3 Zonasi Parkir, Kendaraan, dan Taman Luar

Zonasi parkir direncanakan sebagai kantung-kantung bersama yang terhubung dengan jaringan pedestrian, bukan sebagai parkir eksklusif tiap gedung. Pendekatan ini mengurangi pencarian ruang parkir, mencegah halaman bangunan dipenuhi kendaraan, dan memungkinkan ruang depan gedung difungsikan sebagai ruang publik. Parkir ditempatkan paralel dengan sirkulasi kendaraan memutar sehingga pengguna dapat memasuki kawasan, memilih kantung parkir terdekat, lalu melanjutkan perjalanan dengan berjalan kaki. Sistem informasi kapasitas dan arah parkir dapat dikembangkan secara digital untuk mengurangi pergerakan berulang.

Kawasan parkir perlu diperlakukan sebagai bagian dari infrastruktur hijau. Pohon peneduh ditanam dalam pulau-pulau vegetasi dengan volume tanah yang memadai; permukaan parkir menggunakan material berpori pada lokasi yang sesuai; dan limpasan diarahkan menuju bioswale, rain garden, atau saluran vegetatif sebelum masuk ke drainase utama. Strategi tersebut mengurangi panas permukaan, menahan

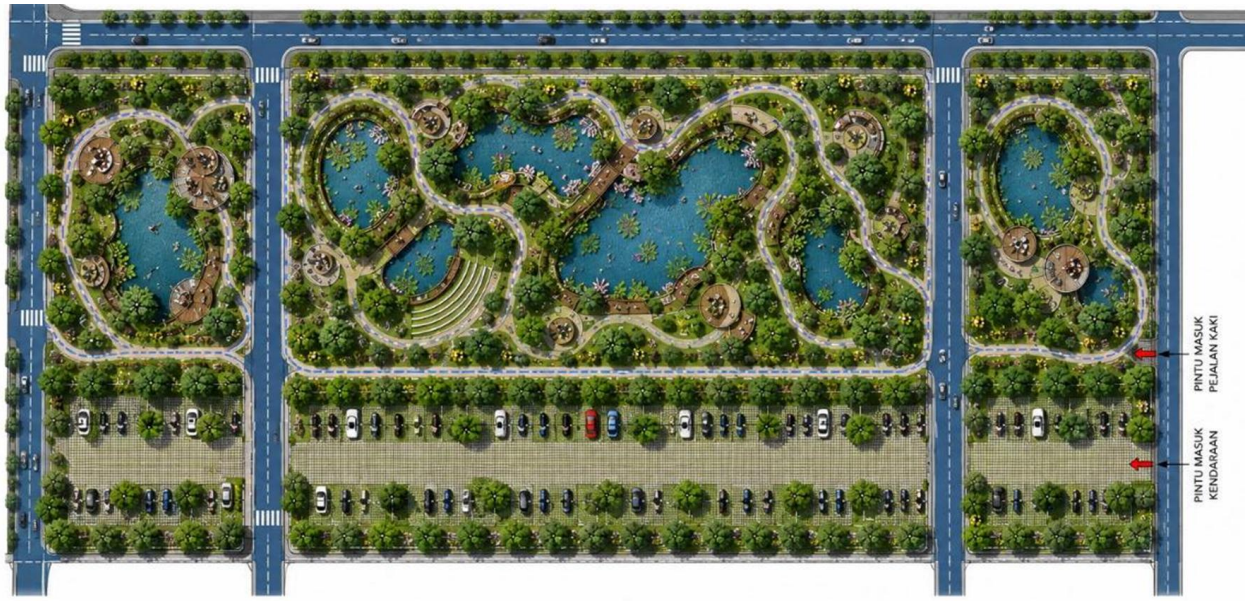
sedimen, dan memperlambat limpasan. Infrastruktur hijau untuk air hujan pada dasarnya bekerja dengan mendekati siklus hidrologi alami melalui infiltrasi, retensi, dan evapotranspirasi (Fluhrer et al., 2021; Mosleh et al., 2023).

Taman luar bangunan berfungsi sebagai peneduh jalur, buffer panas, debu, kebisingan, dan ruang singgah yang dapat diakses publik. Vegetasi pada sisi jalan perlu disusun berlapis: pohon kanopi sebagai peneduh, semak pada area tertentu sebagai penyaring partikulat dan pengarah gerak, serta penutup tanah untuk mengurangi erosi dan percikan. Namun, vegetasi tidak boleh menghalangi jarak pandang di persimpangan atau menciptakan ruang tersembunyi. Penerangan, keterlihatan, dan aktivitas tepi bangunan harus dirancang bersamaan agar ruang terasa aman pada siang dan malam.

Gambar 5.4. Konsep parkir terpadu yang dihubungkan dengan jaringan pedestrian dan ruang hijau.
Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.1.4 Zonasi Taman Kolam Resapan

Taman pada sisi Jalan Perpustakaan digunakan sebagai taman untuk publik yang dikombinasikan dengan kolam resapan yang dapat digunakan untuk mengurangi tingkat banjir di Universitas Sumatera Utara, sehingga selain memberikan keuntungan bagi pengguna juga dapat memberikan keuntungan bagi kawasan.



Gambar 5.4. Konsep taman dan kolam resapan

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

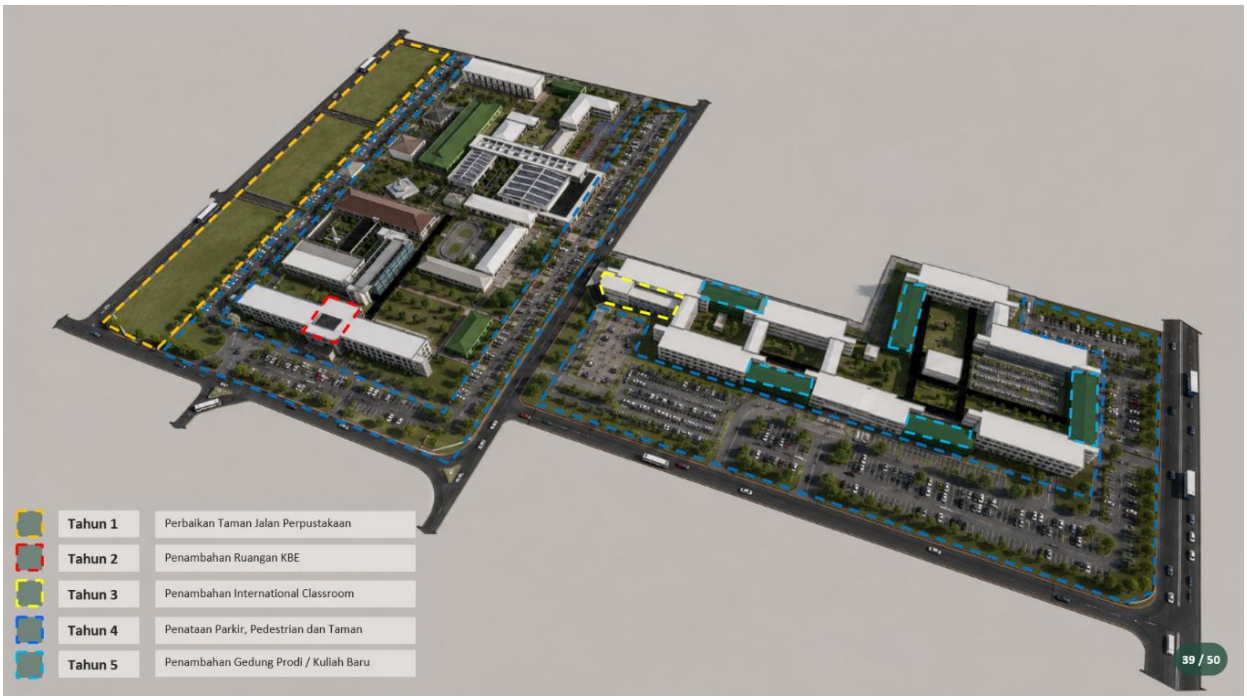
5.2 Rencana Blok Massa dan Orientasi Bangunan

Rencana blok massa mempertahankan pola dasar bangunan eksisting, kemudian menambahkan massa pada lokasi strategis untuk memenuhi kebutuhan baru. Keselarasan tidak dimaknai sebagai peniruan bentuk, tetapi sebagai kontinuitas skala, garis bangunan, ritme ruang luar, orientasi, dan hubungan dengan jaringan sirkulasi. Penambahan massa harus memperkuat struktur kawasan: membentuk tepi ruang yang jelas, mengaktifkan koridor pedestrian, memberi bayangan, dan tetap menyediakan poros pandang serta jalur angin.

Orientasi bangunan di Medan perlu merespons iklim panas-lembap. Fasad panjang idealnya dikendalikan terhadap radiasi matahari rendah dari timur dan barat; bukaan perlu diberi pelindung yang sesuai arah; dan ruang sirkulasi semi-terbuka dapat dimanfaatkan sebagai penyangga termal. Vegetasi dan bayangan bangunan harus disimulasikan sebagai satu sistem. Kajian termal menunjukkan bahwa kinerja pendinginan ruang hijau dipengaruhi oleh jenis vegetasi, konfigurasi ruang, morfologi, dan kondisi iklim setempat; karena itu, penanaman pohon tidak boleh diperlakukan sebagai elemen dekoratif yang seragam (Norton et al., 2015; Soltanifard et al., 2025).

Sebelum desain rinci, setiap blok baru wajib melalui analisis bayangan harian dan musiman, daylight, arah angin, ventilasi silang, tingkat kebisingan, jalur servis, dan dampak terhadap pohon eksisting. Massa harus dipecah atau diberi bukaan apabila membentuk penghalang angin yang panjang. Lantai dasar

diprioritaskan untuk fungsi yang aktif dan mudah diakses, sedangkan utilitas ditempatkan agar tidak mendominasi fasad publik. Atap dipertimbangkan sebagai infrastruktur: ruang panel surya, penampungan air hujan, atau atap hijau pada bagian yang layak.



Gambar 5.5. Posisi penambahan massa bangunan dalam struktur masterplan.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.2.1 Pengembangan Knowledge Based Economy (KBE)

Bangunan KBE direncanakan sebagai ekstensi pada void bangunan Teknik Kimia di Jalan Alumni. Penambahan menggunakan dua grid kolom berjarak sekitar 12 meter dan dikembangkan untuk tiga lantai. Lantai pertama berfungsi sebagai lobby dan ruang pamer KBE, lantai kedua sebagai ruang kerja, dan lantai ketiga sebagai ruang kerja sama internasional. Susunan vertikal tersebut membentuk gradasi dari fungsi publik menuju fungsi kerja yang lebih terkendali.

Intervensi pada void harus memastikan bahwa kualitas bangunan lama tidak menurun. Kajian struktur diperlukan untuk menentukan apakah massa baru mandiri atau terhubung; kajian kebakaran harus memastikan jalur evakuasi dan akses pemadam; dan kajian lingkungan harus menilai perubahan pencahayaan serta ventilasi ruang di sekeliling void. Sambungan lama–baru perlu dirancang jelas agar perbedaan pergerakan struktur, penetrasi air, dan kebutuhan pemeliharaan dapat dikendalikan. Fasad baru sebaiknya memperlihatkan identitas kontemporer KBE tanpa memutus kesatuan material dan proporsi bangunan Teknik Kimia.

Ruang pamer pada lantai dasar perlu berhubungan langsung dengan jalur publik dan dapat beroperasi tanpa membuka seluruh area kerja. Lobby juga dapat menjadi ruang temu industri, demonstrasi prototipe, dan kegiatan kewirausahaan mahasiswa. Lantai dua membutuhkan ruang kerja fleksibel, ruang rapat, dukungan digital, serta ruang informal. Lantai tiga perlu menyediakan ruang kerja sama internasional dengan fasilitas pertemuan hibrida, ruang tamu, dan zona pendukung. Pengaturan ini mengubah KBE dari sekadar penambahan luas menjadi simpul yang menghubungkan pendidikan, riset, inovasi, dan mitra eksternal.

Gambar 5.6. Visual pengembangan massa Knowledge Based Economy pada bangunan Teknik Kimia.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.2.2 International Classroom Building

International Classroom Building ditempatkan pada sisi barat masterplan, berdekatan dengan gedung dekanat. Posisi ini memberikan akses yang relatif mudah bagi mahasiswa lintas program studi, tamu internasional, dan kegiatan bersama fakultas. Bangunan dirancang sebagai fasilitas bersama, sehingga tata kelola ruang, sistem pemesanan, akses di luar jam kuliah, keamanan, dan pemeliharaan perlu ditetapkan sejak tahap program. Kedekatan dengan pusat administrasi dapat mendukung penerimaan tamu dan kegiatan internasional, tetapi arus kegiatan tidak boleh mengganggu operasi dekanat.

Sebagai bangunan kelas internasional, kualitas ruang perlu mendukung pembelajaran tatap muka, hibrida, studio, seminar, dan kerja kelompok. Ruang tidak seharusnya dibatasi pada deretan kelas konvensional; diperlukan ruang transisi, area belajar informal, ruang diskusi, dan teras teduh. Sistem akustik, pencahayaan, koneksi data, ventilasi, dan fleksibilitas furnitur menjadi kriteria utama. Akses universal harus diterapkan dari drop-off atau parkir sampai ke semua ruang utama, termasuk ramp/lift, toilet aksesibel, penanda yang jelas, dan jalur tanpa hambatan.

Kinerja hijau bangunan dapat diarahkan pada pengurangan beban panas, pemanfaatan cahaya alami tanpa silau, pengendalian pencahayaan dan pengondisian udara berbasis okupansi, peralatan hemat

energi, sub-metering, serta kesiapan panel surya. USU telah mengembangkan Smart Classroom, sensor okupansi/daylight, pencahayaan LED, dan sistem otomasi bangunan sebagai bagian dari kebijakan efisiensi energi; bangunan baru ini seharusnya menjadi proyek percontohan yang memperluas praktik tersebut (Universitas Sumatera Utara, 2024b).

Gambar 5.7. Perspektif udara usulan International Classroom Building dan ruang luarnya.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.2.3 Convention Complex INSTEC

Convention Complex INSTEC—International Science and Technology Exhibition and Convention Center—dikembangkan melalui renovasi aula Fakultas Teknik dan penambahan exhibition hall serta exhibition gallery. Kompleks ini ditujukan untuk konferensi, pameran inovasi, kegiatan akademik berskala besar, dan pamer produk KBE. Penempatan pada tapak aula eksisting memanfaatkan lokasi yang telah dikenal, namun membutuhkan restrukturisasi akses, drop-off, servis, parkir, dan hubungan pedestrian agar kegiatan besar tidak menimbulkan konflik di kawasan.

Tiga komponen utama harus dapat beroperasi bersama maupun terpisah. Engineering Aula berfungsi untuk sidang pleno, wisuda, seminar, atau pertunjukan; exhibition hall menampung pameran berskala besar dan aktivitas fleksibel; sedangkan gallery menjadi ruang pamer yang lebih permanen dan dapat aktif

sehari-hari. Pembagian akses, foyer, toilet, ruang penyimpanan, loading, pengelolaan sampah, serta jalur evakuasi perlu mendukung pola operasi tersebut. Foyer dan selasar dapat berfungsi sebagai ruang transisi termal sekaligus ruang interaksi.

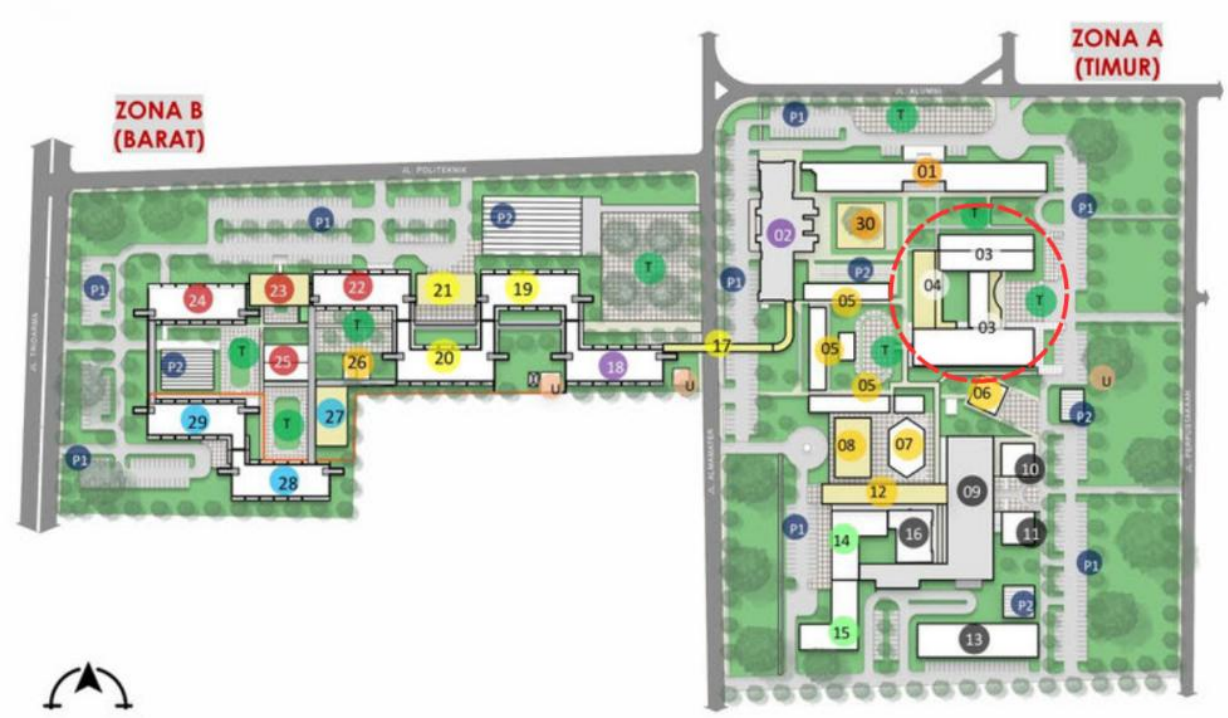
Kompleks ini berpotensi menjadi wajah publik Fakultas Teknik. Arsitektur perlu menunjukkan kualitas institusional dan identitas lokal secara terukur, misalnya melalui pola, proporsi, material, atau sistem bayangan yang ditafsirkan secara kontemporer. Ornamen tidak ditempel sebagai dekorasi, melainkan diintegrasikan dengan fungsi fasad, ventilasi, pencahayaan, atau struktur. Ruang luar di depan kompleks harus memberi area tunggu teduh, sirkulasi pejalan kaki yang jelas, dan drop-off yang tidak memotong jalur utama.

Gambar 5.8. Komposisi Convention Complex INSTEC: aula, exhibition hall, dan exhibition gallery.

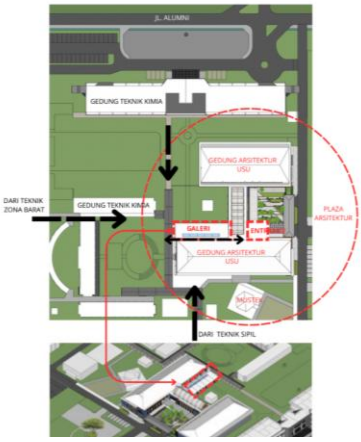
Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.2.4 Galeri Wawasan Bisnis dan Industri

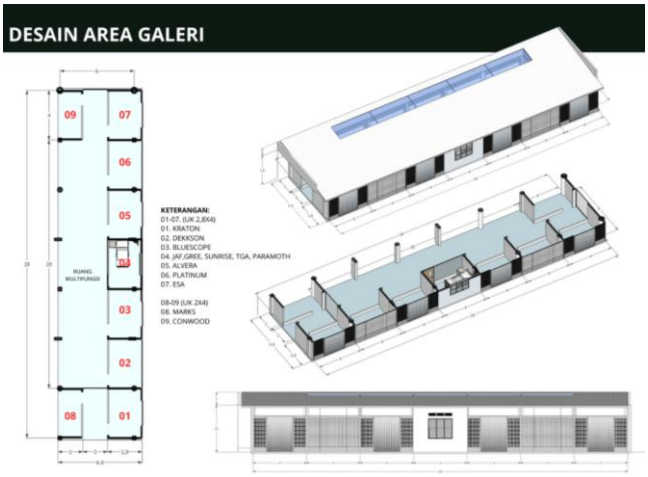
Pembangunan koridor industri-akademik yang diwujudkan dalam bangunan berupa koridor yang akan diisi oleh pelaku industri Architecture, Engineering and Construction (AEC). Koridor ini nantinya akan diisi oleh berbagai pelaku bisnis AEC yang ada di Medan ataupun di luar Medan sebagai bentuk pengenalan kepada masyarakat dan mahasiswa Fakultas Teknik secara umum.



SITE LOKASI
GALERI WAWASAN INDUSTRI DAN BISNIS KONSTRUKSI



DESAIN AREA GALERI



Gambar 5.8. Komposisi Convention Complex INSTEC: aula, exhibition hall, dan exhibition gallery.

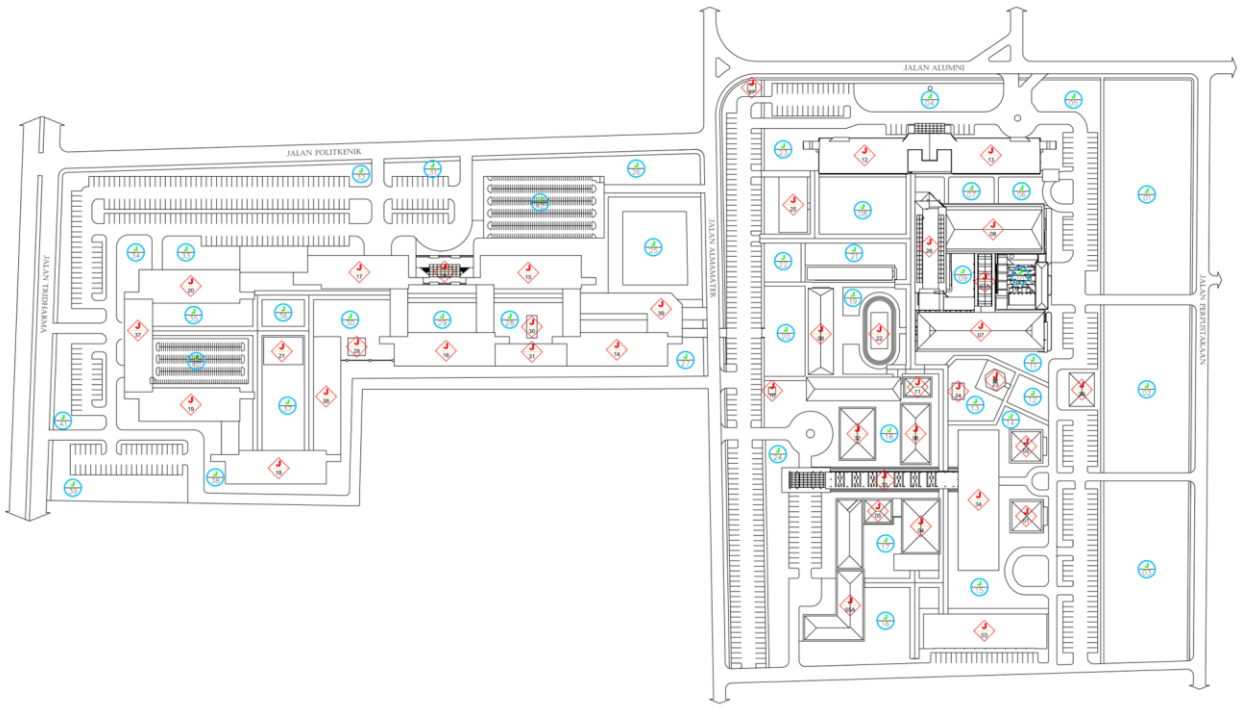
Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.3 Sirkulasi Rendah Emisi

Sistem sirkulasi dirancang berdasarkan hierarki yang jelas: akses kawasan, sirkulasi kendaraan internal, jalur servis dan darurat, jaringan pedestrian utama, jalur penghubung kluster, serta jalur rekreatif di ruang hijau. Kendaraan diarahkan bergerak memutar dengan kecepatan rendah, sedangkan parkir ditempatkan pada kantung yang terdistribusi. Tujuan utamanya bukan mempercepat kendaraan, tetapi menyediakan akses yang tertib sambil melindungi prioritas pejalan kaki.

Konflik pada titik temu kendaraan dan pejalan kaki harus dikurangi melalui desain geometris dan visual. Penyeberangan dibuat pada jalur keinginan pengguna, ditinggikan atau dibedakan materialnya, diberi pencahayaan, serta tetap rata bagi kursi roda. Radius belok dan lebar lajur dikendalikan agar kendaraan tidak melaju berlebihan. Drop-off ditempatkan di luar arus utama pedestrian dan memiliki ruang tunggu teduh. Jalur servis diatur berdasarkan waktu atau rute tertentu agar kendaraan barang tidak berbenturan dengan jam sibuk kuliah.

Konektivitas dinilai bukan hanya dari keberadaan jalur, tetapi dari kesinambungan, keamanan, kenyamanan, keterbacaan, dan akses sepanjang perjalanan. Pejalan kaki dari lokasi parkir harus dapat mencapai semua bangunan melalui jalur teduh tanpa terputus, tanpa naik-turun yang tidak perlu, dan tanpa dipaksa berjalan di badan jalan. Prinsip ini mendukung mobilitas berkelanjutan dan selaras dengan indikator transportasi UI GreenMetric yang mendorong pengurangan ketergantungan pada kendaraan pribadi serta peningkatan fasilitas pejalan kaki dan transportasi rendah emisi (UI GreenMetric, 2026).



Gambar 5.9. Skema hubungan jaringan jalan, kantung parkir, dan jalur pejalan kaki.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.3.1 Jaringan Pedestrian, Akses Universal, dan Wayfinding

Jaringan pedestrian utama perlu memiliki lebar efektif yang konsisten, bebas dari tiang, pot, kendaraan, akar yang merusak permukaan, dan elemen lain yang mempersempit jalur. Selasar, pohon, dan struktur peneduh disusun untuk menciptakan perjalanan yang nyaman pada iklim panas-lembap. Tempat duduk ditempatkan pada interval yang wajar dan dekat titik aktivitas. Penerangan diarahkan pada permukaan jalur dan wajah pengguna, bukan hanya menghasilkan terang umum. Drainase permukaan harus mencegah genangan pada jalur dan ramp.

Akses universal diterapkan sebagai jaringan, bukan fasilitas terpisah. Setiap pengguna harus memperoleh rute yang setara dari gerbang, halte, drop-off, atau parkir menuju bangunan dan ruang luar. Ramp, lift, guiding block, handrail, curb ramp, penyeberangan, dan toilet aksesibel harus saling terhubung. Perubahan elevasi perlu diselesaikan secara alami dalam rancangan lanskap sejauh mungkin. Audit aksesibilitas dilakukan dengan melibatkan pengguna disabilitas untuk menemukan hambatan yang sering tidak terbaca pada gambar teknis.

Wayfinding menggabungkan peta kawasan, kode kluster, nomor taman, identitas gedung, penunjuk arah, marka permukaan, dan petunjuk digital. Sistem informasi harus konsisten dalam warna, tipografi, istilah, posisi, dan tinggi pemasangan. Informasi penting disediakan dalam bentuk visual yang kontras dan, pada lokasi utama, dilengkapi informasi taktil. Peta “Anda berada di sini” ditempatkan di pintu masuk, kantung parkir, simpul jalur, dan ruang publik utama. Kode taman tematik dapat menjadi bagian sistem wayfinding sekaligus alat pengelolaan aset.

5.4 Ruang Terbuka Hijau dan Biodiversitas

Ruang terbuka hijau (RTH) FT USU dibagi menjadi tiga kategori sesuai kedudukan dan fungsi ruangnya, yaitu: (1) RTH di dalam kompleks massa bangunan yang digunakan sebagai tempat belajar dan bersantai bagi civitas akademika; (2) RTH di luar kompleks bangunan yang berfungsi sebagai ruang publik, peneduh parkir, serta buffer panas, kebisingan, debu, dan polusi; dan (3) RTH pada koridor Jalan Perpustakaan yang dikembangkan sebagai taman kolam resapan. Pembagian ini menjadi dasar penentuan akses, karakter ruang, jenis vegetasi, fasilitas, tingkat pemeliharaan, dan indikator kinerja masing-masing area.

Walaupun memiliki fungsi yang berbeda, ketiga kategori tersebut harus membentuk jaringan hijau yang saling terhubung melalui koridor pohon, pedestrian, dan sistem aliran air. RTH perlu memberikan manfaat yang terukur berupa penurunan suhu permukaan, peningkatan infiltrasi, penyimpanan karbon, penyaringan partikulat, pengurangan kebisingan, penyediaan habitat, serta peningkatan kenyamanan dan kesehatan pengguna. Kampus dapat berfungsi sebagai infrastruktur hijau perkotaan apabila vegetasi dan ruang terbukanya dikelola sebagai satu sistem, bukan sebagai taman-taman yang terpisah (Yakimov et al., 2025).

5.4.1 Ruang Terbuka Hijau di Dalam Kompleks Massa Bangunan

RTH di dalam kompleks massa bangunan ditempatkan pada halaman dan ruang antarbangunan yang membentuk kluster akademik. Fungsi utamanya adalah menjadi tempat mahasiswa belajar di luar ruang, berdiskusi, beristirahat, dan berinteraksi. Aksesnya terutama ditujukan bagi civitas akademika Fakultas Teknik, sehingga rancangan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran setiap kluster. Taman tidak diperlakukan sebagai ruang sisa, melainkan sebagai perluasan ruang belajar yang berhubungan langsung dengan kelas, studio, laboratorium, dan ruang bersama.

Ruang perlu menyediakan area teduh, tempat duduk individual dan berkelompok, meja kerja, sumber listrik pada titik aman, koneksi internet, pencahayaan malam, serta jalur bebas hambatan. Penataan

vegetasi harus tetap menjaga keterlihatan dan keamanan. Pohon bertajuk lebar ditempatkan untuk menaungi area duduk dan jalur utama, sedangkan semak dan penutup tanah digunakan untuk membentuk batas lunak tanpa menciptakan ruang tersembunyi. Permukaan keras dibatasi pada kebutuhan sirkulasi dan aktivitas, dengan mengutamakan material berpori pada area yang memungkinkan.

Setiap taman dalam kompleks dapat diberi tema yang berkaitan dengan bidang keilmuan di sekitarnya. Taman Teknik Elektro dapat memperlihatkan pencahayaan tenaga surya dan sensor lingkungan; taman Arsitektur dapat menjadi ruang pamer material dan prototipe; sedangkan taman Teknik Sipil atau Lingkungan dapat memperagakan perkerasan berpori, rain garden, dan pengukuran air. Dengan pendekatan tersebut, taman menjadi living laboratory yang mendukung pendidikan dan penelitian keberlanjutan serta sejalan dengan tujuan UI GreenMetric (UI GreenMetric, 2026).

Gambar 5.10. Konsep RTH di dalam kompleks massa bangunan sebagai taman belajar tematik.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

5.4.2 Ruang Terbuka Hijau di Luar Kompleks Bangunan

RTH di luar kompleks bangunan terletak pada sisi jalan, area parkir, ruang transisi antarkluster, dan bagian kawasan yang dapat diakses oleh publik. Fungsi utamanya adalah memberi keteduhan, membentuk koridor pedestrian, menyediakan tempat duduk dan bersantai, serta menjadi buffer lingkungan antara kendaraan dan bangunan. Keberadaan vegetasi pada area ini penting untuk menurunkan paparan panas, kebisingan, debu, dan emisi kendaraan sebelum mencapai ruang dalam.

Susunan vegetasi dirancang berlapis. Pohon kanopi berfungsi sebagai peneduh jalur dan parkir; semak pada lokasi yang tepat membantu menyaring partikulat dan mengarahkan pergerakan; sedangkan penutup tanah mengurangi erosi, percikan, dan pemanasan permukaan. Jenis tanaman diprioritaskan pada spesies lokal atau yang telah beradaptasi, tidak invasif, tahan terhadap kondisi kawasan, serta memiliki kebutuhan air dan pemeliharaan yang wajar. Komposisi spesies dan umur pohon harus beragam agar tajuk kawasan tidak rentan terhadap satu jenis penyakit atau gangguan cuaca.

Pada area parkir, pohon ditempatkan dalam pulau vegetasi dengan volume tanah yang memadai agar dapat tumbuh sehat dan memberi bayangan efektif. Limpasan dari permukaan parkir diarahkan menuju bioswale, rain garden, atau saluran vegetatif sebelum memasuki drainase utama. Tempat duduk publik ditempatkan di luar jalur kendaraan dan tetap terlihat dari bangunan atau jalur utama. Penerangan, jarak pandang, pemangkasan, dan pengawasan harus dirancang bersamaan sehingga fungsi ekologis tidak mengurangi rasa aman pengguna.

Pemeliharaan RTH luar mencakup pemeriksaan kesehatan pohon, pembersihan saluran vegetatif, pengendalian gulma, penggantian tanaman, dan pemantauan penggunaan air. Sisa pangkasan dan daun dapat dikomposkan, sedangkan air hujan, greywater yang telah diolah, atau sumber nonpotabel lainnya diprioritaskan untuk penyiraman. Arah ini konsisten dengan kebijakan USU yang mendorong tanaman asli atau tahan kering serta penggunaan air hujan dan air daur ulang untuk lanskap (Universitas Sumatera Utara, 2024a).

Gambar 5.11. Ilustrasi RTH di luar kompleks bangunan sebagai jalur publik, peneduh, dan buffer lingkungan.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

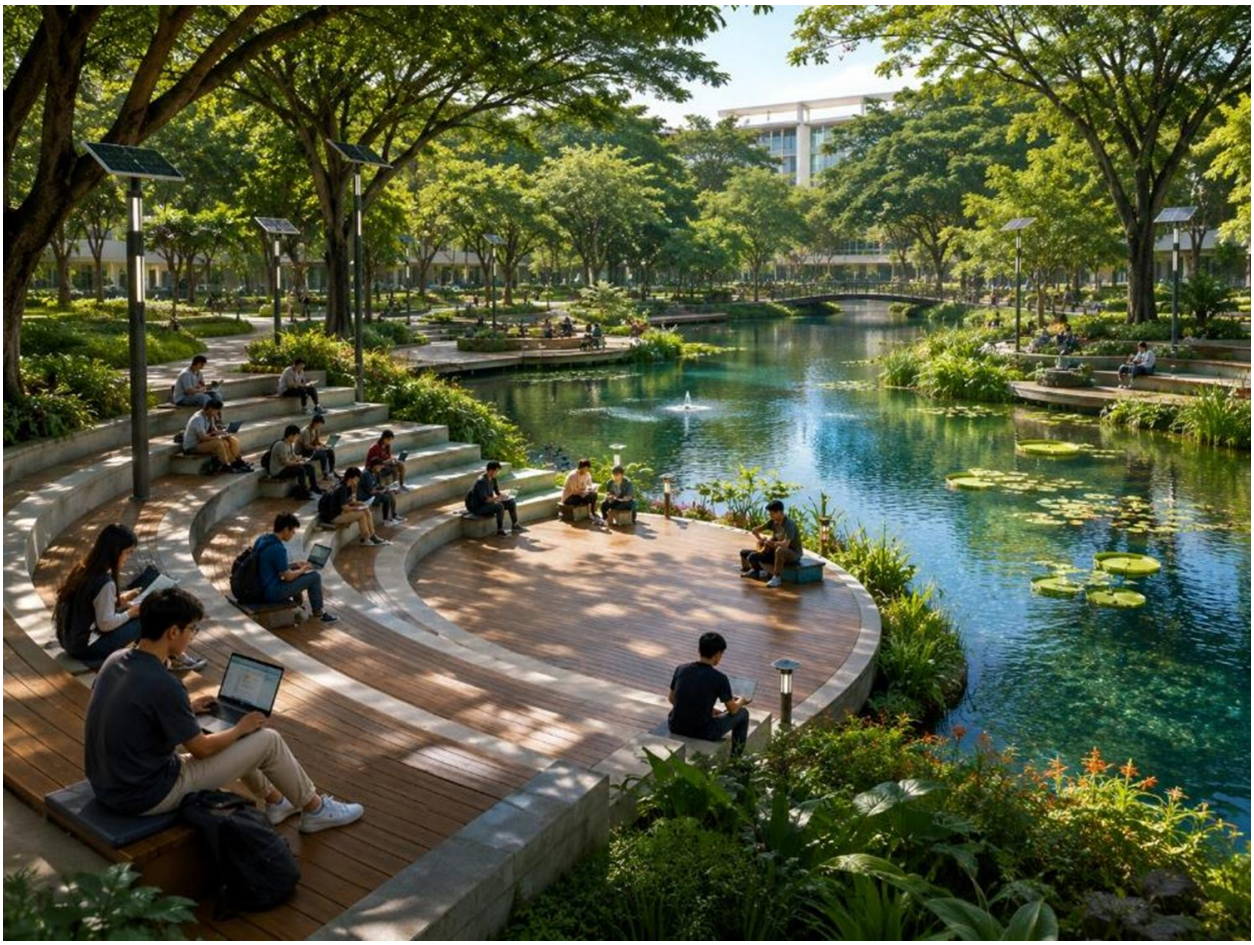
5.4.3 Ruang Terbuka Hijau Jalan Perpustakaan sebagai Taman Kolam Resapan

RTH pada sisi Jalan Perpustakaan dikembangkan secara khusus sebagai taman kolam resapan. Area ini tetap dapat digunakan masyarakat kampus dan pengunjung untuk bersantai, belajar, dan menikmati ruang luar, tetapi memiliki fungsi hidrologis utama: menerima, memperlambat, menyaring, menahan sementara, dan meresapkan limpasan. Dengan demikian, taman berkontribusi terhadap pengurangan genangan dan beban drainase kawasan sekaligus membentuk ruang publik yang memiliki nilai pendidikan. Perencanaan teknis harus didasarkan pada survei kontur rinci, batas daerah tangkapan, jenis tanah, muka air tanah, kapasitas infiltrasi, kualitas air, utilitas bawah tanah, kondisi pohon, serta titik masuk dan keluar air. Bentuk dan ukuran kolam tidak boleh ditentukan hanya berdasarkan komposisi visual. Kapasitasnya perlu dihitung dari hujan rencana, koefisien limpasan, luas tangkapan, waktu pengosongan, dan jalur limpasan darurat. Sistem dapat memadukan cekungan retensi atau detensi, rain garden, bioswale,

forebay sedimentasi, perkerasan berpori, dan saluran limpasan yang aman (Fluhrer et al., 2021; Mosleh et al., 2023).

Keselamatan menjadi bagian utama rancangan. Kedalaman, kemiringan tepi, jenis tanaman, pagar atau pembatas alami, dan posisi jalur harus disesuaikan dengan pola penggunaan. Area yang dapat tergenang diberi penanda, jalur malam mendapat pencahayaan, dan rancangan harus mencegah air stagnan terlalu lama. Kegiatan pemeliharaan meliputi pembersihan inlet, pengangkatan sedimen, pemeriksaan erosi, pengendalian gulma, pemangkasan, serta penggantian tanaman.

Taman kolam resapan dapat dikembangkan sebagai laboratorium lapangan lintas disiplin. Sensor curah hujan, tinggi air, kelembapan tanah, suhu, dan kualitas air dapat dipasang untuk mendukung praktikum dan penelitian. Data tersebut juga menjadi dasar evaluasi apakah taman benar-benar menurunkan puncak limpasan dan memperbaiki kualitas ruang luar. Pendekatan ini sesuai dengan konsep infrastruktur hijau-biru yang menggabungkan fungsi pengelolaan air, biodiversitas, adaptasi iklim, kesehatan, dan ruang sosial dalam satu sistem (UN-Habitat, 2022; Jagadisan et al., 2024).



Smart & Green Engineering Campus

Gambar 5.12. Rencana RTH Jalan Perpustakaan sebagai taman dan kolam resapan.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

Kategori RTH	Fungsi dominan	Indikator utama
Di dalam kompleks massa	Belajar, diskusi, istirahat civitas akademika	Keteduhan, penggunaan ruang, aksesibilitas, kenyamanan
Di luar kompleks bangunan	Ruang publik, peneduh parkir, buffer lingkungan	Tutupan tajuk, kontinuitas koridor, kesehatan pohon
Jalan Perpustakaan	Taman publik dan kolam resapan	Volume tampungan, durasi genangan, infiltrasi, kualitas air

BAB VI. PERENCANAAN GEDUNG BERBASIS GREEN BUILDING

Rencana fasilitas fisik berbasis green building merupakan penjabaran operasional masterplan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (FT USU) 2026–2031. Fokusnya bukan semata-mata menghasilkan bangunan dengan citra hijau, melainkan membangun sistem fasilitas yang mengurangi konsumsi energi dan air, mengendalikan limbah, meningkatkan kesehatan pengguna, memanfaatkan sumber daya terbarukan, serta dapat diukur sepanjang masa pakai. Dengan pendekatan tersebut, setiap bangunan, utilitas, ruang riset, kantin, dan ruang luar menjadi bagian dari kinerja lingkungan kawasan.

Permen PUPR Nomor 21 Tahun 2021 menempatkan bangunan gedung hijau sebagai bangunan yang memenuhi standar teknis serta memiliki kinerja terukur dalam penghematan energi, air, dan sumber daya lainnya. Penilaian dilakukan pada tahap perencanaan teknis, pelaksanaan konstruksi, pemanfaatan, dan pembongkaran, sehingga komitmen green building tidak berhenti pada desain awal (Kementerian PUPR, 2021). Kerangka tersebut diperkuat oleh SNI konservasi energi untuk selubung bangunan, pencahayaan, dan tata udara, serta regulasi lingkungan mengenai air limbah dan limbah bahan berbahaya dan beracun. Dalam konteks kelembagaan, pengembangan ini mendukung Gerakan Green Campus USU berdasarkan Peraturan Rektor Nomor 3 Tahun 2019 dan Surat Edaran Rektor Nomor 1 Tahun 2023. USU telah mengarahkan efisiensi energi pada pembangunan dan renovasi, penggunaan sensor, Smart Classroom, pengelolaan air, energi terbarukan, dan pemantauan limbah (Universitas Sumatera Utara, 2024a; 2024b). UI GreenMetric juga mendorong perguruan tinggi menghubungkan setting-infrastruktur, energi, limbah, air, pendidikan-riset, dan tata kelola digital dalam satu sistem pengukuran (UI GreenMetric, 2026).

Bab ini mempertahankan lima kelompok fasilitas dari naskah awal: pengembangan gedung baru; fasilitas energi terbarukan; fasilitas air dan limbah; fasilitas riset dan inovasi hijau; serta fasilitas penunjang rendah karbon. Masing-masing dikembangkan menjadi prinsip, kriteria desain, kebutuhan teknologi, tata kelola, risiko, dan indikator kinerja. Angka kapasitas rinci tetap harus ditentukan melalui audit lapangan, perhitungan kebutuhan, pengujian laboratorium, dan desain teknis oleh tenaga yang kompeten.

6.1 Faktor yang Mempengaruhi Perencanaan

Seluruh gedung baru di FT USU direncanakan mengikuti prinsip green building sejak penyusunan program ruang. Sasaran kinerja ditetapkan sebelum bentuk arsitektur dikunci, antara lain batas intensitas penggunaan energi, konsumsi air, luas area bervegetasi, akses cahaya alami, kenyamanan termal, kualitas

udara dalam ruang, kandungan material rendah dampak, dan tingkat keterukuran sistem. Proses desain berbasis kinerja mencegah keputusan hijau ditempatkan sebagai tambahan setelah rancangan selesai.

Empat proyek utama dalam masterplan—pengembangan Knowledge Based Economy (KBE), International Classroom Building, Convention Complex INSTEC, dan gedung program studi/kuliah baru—memiliki pola pemakaian berbeda. KBE membutuhkan fleksibilitas dan ruang kolaborasi; International Classroom menuntut kualitas pembelajaran hibrida; INSTEC menghadapi lonjakan okupansi dan beban acara; sedangkan gedung program studi baru membutuhkan kemampuan adaptasi jangka panjang. Karena itu, target green building harus diterjemahkan sesuai profil operasi setiap bangunan, bukan menggunakan satu solusi seragam.

Gambar 6.1. Posisi fasilitas dan bangunan baru dalam masterplan FT USU.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.1.1 Perencanaan Terintegrasi dan Target Kinerja

Perencanaan terintegrasi dimulai melalui lokakarya yang melibatkan arsitek, ahli struktur, mekanikal-elektrikal-plumbing, lanskap, lingkungan, pengelola fasilitas, pengguna, teknisi laboratorium, keselamatan kerja, dan tim teknologi informasi. Tim menyepakati baseline, target, asumsi jam operasi, pola okupansi, serta metode verifikasi. Keputusan orientasi, massa, selubung, pencahayaan, ventilasi, pendinginan, air, dan energi terbarukan dievaluasi bersamaan karena perubahan satu sistem dapat memengaruhi sistem lainnya.

Kinerja energi dinyatakan melalui intensitas konsumsi energi tahunan per luas lantai, bukan hanya spesifikasi peralatan. Kinerja air dinilai dari kebutuhan air bersih, proporsi penggunaan air nonpotabel, dan beban air limbah. Kualitas lingkungan dalam ruang mencakup suhu, kelembapan, laju ventilasi, karbon dioksida sebagai indikator ventilasi, pencahayaan, silau, akustik, dan polutan dari material. Target harus realistis, tetapi lebih baik daripada baseline bangunan eksisting dan memenuhi SNI yang berlaku.

Setiap proyek perlu memiliki Owner's Project Requirements yang memuat tujuan, kebutuhan operasional, target kinerja, tanggung jawab, dan prosedur pengujian. Dokumen ini diterjemahkan dalam Basis of Design oleh tim perencana. Perubahan desain ditelusuri melalui matriks kepatuhan. Pada akhir konstruksi, commissioning memastikan sistem dipasang, diuji, disetel, didokumentasikan, dan dipahami operator. Evaluasi pasca-huni dilaksanakan untuk membandingkan kinerja aktual dengan target.

Tahap	Dokumen/aktivitas	Bukti kinerja
Program	Kebutuhan pengguna, baseline, target energi-air	Owner's Project Requirements
Konsep	Simulasi massa, daylight, energi dan air	Laporan opsi dan keputusan
Desain teknis	Spesifikasi, sub-meter, kontrol, material	Basis of Design dan matriks kepatuhan
Konstruksi	Submittal, inspeksi, uji fungsi	Catatan commissioning
Pemanfaatan	Metering, survei pengguna, perawatan	Evaluasi pasca-huni dan laporan tahunan

6.1.2 Desain Pasif: Orientasi, Selubung, Pencahayaan, dan Ventilasi

Desain pasif merupakan strategi pertama untuk menurunkan beban bangunan sebelum menambahkan teknologi aktif. Orientasi massa, kedalaman ruang, posisi bukaan, peneduh, warna dan sifat termal material, vegetasi, serta ruang transisi harus dirancang berdasarkan iklim panas-lembap Medan. SNI 6389:2020 memberikan acuan konservasi energi selubung bangunan, sementara SNI 6197:2020 mengatur konservasi energi pada sistem pencahayaan (BSN, 2020a; 2020b).

Fasad timur dan barat menerima radiasi matahari bersudut rendah dan membutuhkan perlindungan lebih kuat melalui pembatasan bidang kaca, vertical fins, secondary skin, teras, atau vegetasi. Fasad utara dan selatan dapat menggunakan peneduh horizontal yang disesuaikan dengan geometri matahari. Rasio jendela terhadap dinding ditentukan melalui simulasi, bukan asumsi bahwa kaca yang lebih luas selalu lebih baik. Kaca dipilih berdasarkan nilai perpindahan panas, transmisi cahaya, dan potensi silau.

Pencahayaan alami diarahkan untuk memenuhi kebutuhan visual pada area kerja tanpa meningkatkan panas dan silau. Denah dengan kedalaman terkendali, clerestory, atrium yang benar, dan permukaan reflektif dapat membantu distribusi cahaya. Namun atrium atau void harus diuji agar tidak menjadi perangkap panas. Sensor daylight dan occupancy melengkapi strategi pasif dengan meredupkan atau mematikan lampu ketika cahaya alami dan okupansi memungkinkan.

Ventilasi alami digunakan pada ruang yang kondisi fungsi, kualitas udara luar, kebisingan, dan keamanannya memungkinkan. Ruang dengan beban internal tinggi, kebutuhan akustik ketat, atau kontaminan laboratorium tetap memerlukan sistem mekanis. Mixed-mode ventilation dapat diterapkan dengan logika kontrol yang jelas agar jendela dan pendinginan mekanis tidak bekerja saling bertentangan. Pengguna perlu mendapatkan indikator sederhana mengenai kapan ventilasi alami aman dan efektif.

Gambar 6.2. Contoh pengembangan fasad, peneduh, vegetasi, dan ruang transisi pada International Classroom Building.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.1.3 Sistem Aktif Hemat Energi dan Smart Building

Setelah beban pasif ditekan, sistem aktif dipilih berdasarkan efisiensi, kemampuan kontrol, keandalan, kemudahan perawatan, dan kesesuaian dengan pola penggunaan. SNI 6390:2020 menjadi acuan konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung (BSN, 2020c). Sistem HVAC tidak boleh dirancang hanya dari luas ruang; perhitungan beban harus memasukkan selubung, okupansi, lampu, peralatan, udara luar, jadwal, dan variasi penggunaan.

Zonasi HVAC mengikuti fungsi dan jam operasi. Ruang kelas, kantor, aula, galeri, dan laboratorium tidak seharusnya berada pada satu zona kontrol apabila pola bebannya berbeda. Peralatan berkecepatan

variabel, kontrol suhu terjadwal, sensor okupansi, heat recovery pada kondisi layak, dan pemantauan konsumsi dapat mengurangi pemborosan. Kelembapan perlu dikendalikan untuk mencegah ketidaknyamanan dan pertumbuhan jamur. Filter, drain pan, duct, dan akses servis dirancang agar mudah diperiksa.

Sistem pencahayaan menggunakan LED dengan kepadatan daya sesuai kebutuhan, kontrol berdasarkan okupansi dan cahaya alami, serta pembagian sakelar yang memungkinkan pengguna mengendalikan zona kecil. Pemilihan temperatur warna dan tingkat iluminasi disesuaikan dengan fungsi, sedangkan pencahayaan luar dikendalikan agar aman tanpa menimbulkan pemborosan dan polusi cahaya. Beban plug, perangkat audio-visual, server, dan peralatan laboratorium juga perlu dimeter dan dikelola karena dapat menjadi bagian besar konsumsi.

Building Management System atau platform pemantauan IoT digunakan untuk mengumpulkan data energi, air, suhu, kelembapan, kualitas udara, status peralatan, dan alarm. Sistem harus memiliki arsitektur terbuka, keamanan siber, kepemilikan data yang jelas, kalibrasi sensor, serta prosedur respons. Dashboard bukan tujuan akhir; data harus diterjemahkan menjadi tindakan, seperti penyesuaian jadwal, deteksi kebocoran, pemeliharaan prediktif, dan umpan balik kepada pengguna. USU telah menerapkan otomasi dan pemantauan pada sebagian area, sehingga gedung baru dapat memperluas sistem tersebut (Universitas Sumatera Utara, 2024a).

Gambar 6.3. International Classroom Building sebagai kandidat bangunan percontohan smart-green building.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.1.4 Material, Konstruksi, Kesehatan, dan Ketahanan

Material dipilih berdasarkan fungsi, durabilitas, kandungan lokal, energi dan emisi embodied, kemampuan daur ulang, kandungan bahan berbahaya, serta kebutuhan pemeliharaan. Prioritas diberikan pada penggunaan kembali elemen yang masih layak, material dengan deklarasi lingkungan atau data produsen yang dapat diverifikasi, kayu dari sumber legal, produk rendah emisi senyawa organik volatil, dan sistem modular yang mengurangi limbah. Klaim “ramah lingkungan” tanpa bukti teknis tidak cukup sebagai dasar pengadaan.

Tahap konstruksi membutuhkan rencana pengelolaan lingkungan: perlindungan pohon dan tanah, pengendalian debu, kebisingan, erosi, limpasan, limbah, dan lalu lintas; pemisahan material yang dapat digunakan kembali; penyimpanan bahan kimia; serta perlindungan material berpori dari kelembapan. Dokumentasi volume limbah dan tujuan akhirnya perlu dimasukkan dalam laporan proyek. Kontraktor

juga wajib menjaga kualitas udara dalam ruang sebelum serah terima melalui kebersihan duct, pengendalian sumber polutan, dan flushing atau pengujian sesuai kebutuhan.

Ketahanan bangunan meliputi kemampuan menghadapi hujan ekstrem, panas, pemadaman listrik, gangguan air, kebakaran, dan perubahan pola penggunaan. Ruang kritis perlu memiliki prioritas beban, ventilasi darurat, akses pemeliharaan, dan rencana operasi ketika sistem digital gagal. Desain adaptif memungkinkan ruang berubah fungsi tanpa renovasi besar, sehingga memperpanjang masa guna dan mengurangi kebutuhan material. Prinsip universal design diterapkan pada seluruh jalur dan fasilitas, bukan sekadar menyediakan ramp di satu sisi bangunan.

Aspek	Persyaratan desain	Verifikasi
Material	Durabel, rendah emisi, legal, dapat dipelihara	Data teknis, submittal, inspeksi
Konstruksi	Debu, erosi, limbah, pohon dan air terkendali	Rencana dan catatan lapangan
Kesehatan	Udara, cahaya, akustik dan kelembapan terjaga	Pengujian dan survei pengguna
Ketahanan	Operasi tetap aman saat gangguan	Skenario, uji fungsi, prosedur darurat

6.2 Fasilitas Energi Terbarukan

Fasilitas energi terbarukan dikembangkan setelah langkah efisiensi diterapkan. Prinsip “efficiency first” penting karena setiap kilowatt-jam yang berhasil dihindari mengurangi kapasitas pembangkit, inverter, baterai, ruang, dan investasi yang diperlukan. Prioritas awal adalah PLTS atap pada gedung dengan struktur, orientasi, paparan matahari, dan profil beban yang sesuai. Pengembangan mendukung Perpres Nomor 112 Tahun 2022 tentang percepatan pengembangan energi terbarukan serta Kebijakan Green Campus USU (Republik Indonesia, 2022; Universitas Sumatera Utara, 2024b).

Permen ESDM Nomor 2 Tahun 2024 mengatur PLTS atap yang terhubung pada jaringan pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum. Karena regulasi, kuota, persyaratan teknis, dan mekanisme interkoneksi dapat berubah, setiap proyek wajib memeriksa ketentuan terbaru sebelum pengadaan. Sistem kampus juga perlu berkoordinasi dengan pengelola kelistrikan USU agar proteksi, metering, kualitas daya, dan tanggung jawab operasi terintegrasi (Kementerian ESDM, 2024).

6.2.1 PLTS Atap dan Prioritas Implementasi

Audit potensi PLTS dimulai dengan inventarisasi luas atap efektif, orientasi dan kemiringan, bayangan pohon atau bangunan, kondisi waterproofing, umur atap, kapasitas struktur, akses pemeliharaan, jalur kabel, ruang inverter, proteksi kebakaran, dan titik interkoneksi. Atap yang akan segera direnovasi tidak diprioritaskan sebelum pekerjaan tersebut selesai. Model produksi energi menggunakan data radiasi setempat, kerugian sistem, degradasi modul, temperatur, shading, dan availability.

Urutan pemasangan tidak hanya berdasarkan konsumsi energi tertinggi, tetapi juga kecocokan profil beban siang hari dengan produksi surya. Gedung kuliah, administrasi, laboratorium, dan pusat kegiatan yang aktif pada siang hari berpotensi memanfaatkan produksi secara langsung. Aula atau gedung yang jarang digunakan perlu dianalisis lebih hati-hati. Portofolio dapat dimulai dari proyek percontohan yang mudah dimonitor, kemudian diperluas berdasarkan data performa.

Desain wajib menyediakan akses aman, titik isolasi, proteksi petir dan lonjakan, label, rapid shutdown atau sistem keselamatan yang disyaratkan, serta ruang bebas untuk pemadam dan pemeliharaan. Penempatan panel tidak boleh menghambat drainase atap atau merusak waterproofing. Kontrak operasi dan pemeliharaan mencakup pembersihan berbasis kondisi, pemeriksaan koneksi, termografi, pemantauan inverter, pengendalian vegetasi, dan pencatatan produksi.

Kriteria prioritas	Pertanyaan audit	Implikasi
Struktur dan umur atap	Apakah atap aman untuk umur sistem?	Perkuatan/renovasi sebelum PLTS
Paparan surya	Berapa kehilangan akibat bayangan?	Tentukan layout dan kapasitas efektif
Profil beban	Apakah beban siang menyerap produksi?	Prioritaskan self-consumption
Akses dan keselamatan	Apakah servis dan keadaan darurat aman?	Sediakan jalur, proteksi, label
Data	Apakah produksi dapat diverifikasi?	Meter produksi dan dashboard

6.2.2 Penyimpanan Energi, Microgrid, dan Beban Kritis

Baterai skala kecil dapat digunakan untuk menopang beban puncak, menjaga beban kritis, meningkatkan pemanfaatan energi surya, atau menjadi sarana riset. Namun baterai tidak otomatis ekonomis atau rendah karbon. Studi kelayakan harus mendefinisikan tujuan, profil beban interval, tarif listrik, pola gangguan, umur siklus, efisiensi round-trip, degradasi, keselamatan, ventilasi, suhu, sistem pemadam, lokasi, dan strategi akhir masa pakai.

Beban kritis perlu dipisahkan dengan jelas, misalnya sistem keselamatan, server, komunikasi, beberapa peralatan riset, pompa tertentu, dan pencahayaan evakuasi. Tidak seluruh bangunan harus disuplai baterai ketika terjadi gangguan. Arsitektur microgrid dapat mengintegrasikan jaringan, PLTS, baterai, genset yang masih diperlukan, dan sistem manajemen energi. Islanding hanya dilakukan apabila sistem dan regulasi memungkinkan serta telah diuji secara aman.

Battery Management System memantau tegangan, arus, suhu, state of charge, state of health, dan alarm. Data harus terhubung ke prosedur respons, bukan hanya ditampilkan. Area baterai dibatasi, diberi deteksi

dini, proteksi kebakaran yang sesuai teknologi, ventilasi atau pendinginan, serta akses petugas. Pengadaan perlu menilai garansi berbasis energi throughput, ketersediaan suku cadang, take-back, dan rencana daur ulang.

6.2.3 Energi Terbarukan Lain dan Integrasi Kawasan

Potensi biogas dari limbah kantin dapat dipelajari apabila volume dan kontinuitas bahan organik memadai, terdapat ruang aman, operator terlatih, serta pemanfaatan gas dan digestate yang jelas. Studi harus mengukur timbulan dan komposisi limbah, kontaminasi, kebutuhan pra-pengolahan, produksi gas, bau, lindi, keselamatan, dan biaya operasi. Instalasi tidak dibangun hanya untuk demonstrasi apabila tidak tersedia rantai pengumpulan dan pengoperasian yang konsisten.

Teknologi lain—seperti solar thermal untuk air panas, kanopi surya pada parkir, heat pump, atau pemanfaatan panas buang—dianalisis sesuai kebutuhan aktual. Turbin angin skala kecil tidak diprioritaskan tanpa pengukuran kecepatan dan turbulensi angin pada ketinggian rencana. Setiap teknologi harus dibandingkan berdasarkan produksi tahunan, biaya siklus hidup, emisi yang dihindari, kemudahan pemeliharaan, kebutuhan ruang, dan nilai pendidikannya.

Kawasan juga perlu menyiapkan infrastruktur kendaraan listrik secara bertahap: kapasitas jaringan, manajemen beban, lokasi charger, proteksi, pembayaran atau akses, dan prioritas armada institusi. Kanopi surya pada parkir dapat memberi dua manfaat, yaitu pembangkitan listrik dan peneduhan kendaraan, tetapi struktur, drainase, keselamatan kabel, serta sirkulasi harus dirancang terpadu. Seluruh aset energi dicatat dalam satu sistem manajemen energi dan dievaluasi secara berkala mengacu pada prinsip perbaikan berkelanjutan.

6.3 Fasilitas Air dan Limbah

Fasilitas air dan limbah dirancang berdasarkan hierarki: mengurangi kebutuhan, menggunakan sumber alternatif yang aman, mengolah air limbah sesuai karakteristik, memisahkan limbah pada sumber, memulihkan material, dan membuang residu melalui jalur berizin. Air bersih, air hujan, greywater, air limbah domestik, air limbah laboratorium, limbah organik, anorganik, elektronik, dan B3 tidak boleh dicampur tanpa dasar teknis. Neraca air dan material menjadi alat utama untuk menentukan kapasitas fasilitas.

PP Nomor 22 Tahun 2021 mengatur perlindungan dan pengelolaan mutu air, udara, serta pengelolaan limbah B3 dan non-B3. Permen LHK Nomor 6 Tahun 2021 mengatur tata cara dan persyaratan pengelolaan

limbah B3. Oleh sebab itu, fasilitas fakultas harus memiliki prosedur identifikasi, penyimpanan, pencatatan, pengangkutan, pengolahan, dan keadaan darurat yang sesuai dengan jenis limbah dan persetujuan lingkungan yang berlaku (Republik Indonesia, 2021; Kementerian LHK, 2021).

Gambar 6.5. Taman resapan sebagai bagian dari sistem air kawasan FT USU.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.3.1 Konservasi Air dan Rainwater Harvesting

Konservasi air dimulai dari audit meter, kebocoran, tekanan, pola penggunaan, dan jenis perlengkapan. Perlengkapan saniter hemat air, faucet otomatis pada lokasi yang sesuai, dual flush, urinal hemat air, aerator, dan pengendalian tekanan diterapkan berdasarkan analisis kebutuhan dan kemudahan perawatan. Sub-meter dipasang pada gedung, laboratorium, kantin, irigasi, dan fasilitas berisiko tinggi agar penyimpangan dapat terdeteksi.

Rainwater harvesting digunakan untuk kebutuhan nonpotabel seperti penyiraman, flushing, pembersihan, atau kebutuhan lain setelah risiko dinilai. Kapasitas tangki ditentukan dari luas dan jenis atap, curah hujan, first flush, kualitas air, kebutuhan, periode kering, ruang, dan biaya. Sistem memiliki saringan, pengalih first flush, overflow yang aman, akses pembersihan, pompa, backflow prevention, label pipa nonpotabel, serta prosedur pengujian kualitas.

Air hujan tidak selalu harus disimpan dalam tangki. Sebagian dapat dikelola melalui rain garden, bioswale, perkerasan berpori, dan kolam retensi atau resapan sebagai bagian dari masterplan. Kombinasi sistem

bangunan dan lanskap mengurangi limpasan sekaligus menyediakan cadangan air. USU telah mendorong pemanenan air hujan, kolam retensi, dan penggunaan air alternatif untuk irigasi melalui Kebijakan Green Campus (Universitas Sumatera Utara, 2024c).

Komponen	Data perencanaan	Kendali operasi
Meter dan sub-meter	Baseline konsumsi dan zona penggunaan	Alarm kebocoran, laporan bulanan
Rainwater harvesting	Curah hujan, luas atap, demand	First flush, filter, kualitas, overflow
Irigasi	Jenis tanaman, kelembapan, musim	Air nonpotabel, sensor, jadwal
Perlengkapan	Debit/flush, tekanan, okupansi	Inspeksi dan penggantian komponen

6.3.2 Air Limbah Domestik, Laboratorium, dan B3

Air limbah domestik dari toilet, pantry, dan kantin harus dipisahkan dari aliran laboratorium yang berpotensi mengandung bahan kimia. Pemisahan sejak sumber mencegah beban berbahaya masuk ke sistem biologis dan memudahkan pengolahan. Grease trap diperlukan pada kantin dan dipelihara terjadwal. Jaringan pipa diberi identifikasi, akses inspeksi, ventilasi, dan perlindungan aliran balik. Kapasitas IPAL ditentukan dari debit dan karakteristik aktual, bukan hanya jumlah pengguna nominal.

Limbah laboratorium memerlukan inventarisasi bahan dan pemetaan proses. Aliran dengan pH ekstrem, logam berat, pelarut, bahan toksik, atau reaktif tidak boleh langsung dialirkan ke IPAL domestik. Strategi dapat berupa minimisasi di sumber, substitusi bahan, segregasi, netralisasi atau pretreatment khusus, serta pengumpulan sebagai limbah B3. Desain harus disusun oleh ahli proses dan lingkungan berdasarkan hasil uji karakteristik serta persetujuan yang berlaku.

Tempat penyimpanan sementara limbah B3 membutuhkan lantai kedap, secondary containment, ventilasi, perlindungan cuaca, segregasi kompatibilitas, label, simbol, peralatan tumpahan, pemadam, akses terbatas, dan pencatatan. Waktu penyimpanan, pengangkutan, manifest, dan pengolahan mengikuti regulasi. Petugas laboratorium dan mahasiswa mendapatkan prosedur tertulis serta pelatihan respons tumpahan. Audit berkala memeriksa kesesuaian antara pembelian bahan, inventaris, pemakaian, dan limbah yang keluar.

Air olahan hanya digunakan kembali jika kualitasnya memenuhi kebutuhan dan risiko paparan dikendalikan. Jalur air daur ulang diberi kode dan tidak terhubung silang dengan air minum. Sampling dilakukan pada parameter relevan, titik yang benar, dan frekuensi yang ditetapkan. Data hasil uji disimpan agar keputusan penggunaan kembali dapat dipertanggungjawabkan. Sistem yang tidak memiliki operator,

bahan kimia, suku cadang, dan anggaran pemeliharaan akan cepat kehilangan kinerja meskipun desain awalnya baik.

6.3.3 TPS 3R dan Ekonomi Sirkular Fakultas

TPS 3R skala fakultas berfungsi sebagai simpul pemilahan, pencatatan, penyimpanan sementara, pengolahan organik yang layak, dan penyaluran material. Pemilahan dimulai pada sumber dengan kategori yang sederhana dan konsisten: organik, kertas, plastik/logam/kaca yang dapat dipulihkan, residu, elektronik, dan B3. Warna, label, bentuk bukaan, dan posisi tempat sampah harus sama pada seluruh bangunan agar perilaku tidak membingungkan.

TPS memiliki zona penerimaan dan penimbangan, ruang pemilahan, area material kering, pengolahan organik, residu, pencucian, alat kebersihan, dan sirkulasi kendaraan pengangkut. Lokasi tidak mengganggu ruang belajar, tetapi tetap mudah dijangkau. Lantai kedap, drainase terkendali, atap, ventilasi, pengendalian vektor dan bau, proteksi kebakaran, serta keselamatan pekerja menjadi persyaratan. Sampah B3 dan elektronik ditempatkan pada area terpisah sesuai ketentuan.

Sampah organik kantin dan lanskap dapat diolah melalui komposting atau biodigester setelah studi kelayakan. Kualitas input dikendalikan untuk mengurangi kontaminasi. Produk kompos diuji dan digunakan pada lanskap bila sesuai. Kemasan sekali pakai dikurangi melalui kebijakan pengadaan, sistem guna ulang, dispenser isi ulang, dan persyaratan vendor. Pengelolaan limbah yang baik beralih dari fokus “mengangkut sampah” menjadi pencegahan, penggunaan kembali, dan pemulihan material.

USU telah melakukan pencatatan sampah organik dan anorganik, komposting, serta kerja sama dengan pengelola atau bank sampah. FT USU dapat memperkuat praktik ini dengan menimbang setiap aliran, menghitung diversion rate, mempublikasikan data, dan menghubungkannya dengan kegiatan pendidikan (Universitas Sumatera Utara, 2024d). Target ditetapkan berdasarkan baseline dan disertai audit kontaminasi. Kinerja vendor kebersihan dimasukkan ke kontrak dan dievaluasi.

Gambar 6.6. Ruang pamer dan edukasi dapat digunakan untuk mengkomunikasikan inovasi material serta ekonomi sirkular.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.4 Fasilitas Riset dan Inovasi Hijau

Fasilitas riset dan inovasi hijau direkomendasikan dalam bentuk Techno Park atau Green Innovation Hub yang terhubung dengan pengembangan KBE, ruang pamer, laboratorium, dan taman tematik. Istilah "taman dalam ruangan program studi" diterjemahkan sebagai jaringan ruang inkubasi, makerspace, laboratorium demonstrasi, ruang kolaborasi, dan etalase teknologi yang dapat digunakan lintas departemen. Tujuannya adalah mempercepat transformasi hasil riset menjadi prototipe, kebijakan, start-up, atau solusi nyata bagi kampus.

Fasilitas tidak boleh berhenti sebagai gedung atau ruang bersama tanpa program. Tata kelola perlu menetapkan fokus riset, mekanisme seleksi proyek, akses alat, keselamatan, hak kekayaan intelektual, kemitraan, pendanaan, mentoring, dan indikator hasil. Tema prioritas dapat mencakup energi terbarukan, bangunan cerdas, efisiensi sumber daya, material rendah karbon, air, limbah, mobilitas, adaptasi iklim, dan teknologi lingkungan. Masterplan FT USU sendiri menjadi living laboratory dan lokasi uji terkontrol.

Gambar 6.7. Lobby pameran KBE sebagai etalase riset, prototipe, dan inovasi hijau FT USU.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.4.1 Program Ruang dan Infrastruktur Techno Park

Program ruang mencakup area co-working, ruang tim start-up, ruang rapat dan mentoring, makerspace ringan, laboratorium elektronik dan sensor, ruang fabrikasi digital sesuai kebutuhan, area pengujian, penyimpanan bahan dan alat, ruang data, serta gallery. Ruang dengan risiko berbeda harus dipisahkan. Aktivitas soldering, kimia, machining, baterai, atau laser memerlukan ventilasi, proteksi, perizinan akses, dan SOP khusus. Area publik tidak boleh bercampur tanpa kontrol dengan area eksperimen.

Sistem bangunan Techno Park dirancang fleksibel: grid, partisi, distribusi listrik, data, udara tekan atau utilitas lain mudah diubah; kapasitas lantai dan akses barang memadai; serta tersedia sub-meter untuk setiap zona uji. Infrastruktur digital mendukung penyimpanan data, edge computing, dashboard, dan integrasi sensor. Ruang prototipe perlu memiliki tempat karantina dan pemeriksaan sebelum alat dihubungkan ke jaringan kampus.

Gallery berfungsi menjelaskan masalah, metode, data, dan dampak inovasi, bukan hanya menampilkan benda. Informasi diperbarui secara berkala dan dapat menampilkan kinerja PLTS, energi gedung, air, limbah, dan kenyamanan lingkungan secara langsung. Ruang ini menghubungkan penelitian dengan mahasiswa, mitra industri, pemerintah, dan masyarakat. Exhibition hall INSTEC dapat menampung kegiatan skala besar, sedangkan gallery KBE berfungsi untuk pameran yang lebih rutin.

Gambar 6.8. Ruang kerja KBE sebagai fasilitas kolaborasi dan inkubasi inovasi.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.4.2 Kampus sebagai Living Laboratory

Living laboratory menggunakan aset kampus sebagai objek penelitian dan pembelajaran. Gedung baru, PLTS, baterai, taman resapan, TPS 3R, ruang kelas, dan sistem HVAC menyediakan data nyata. Proyek mahasiswa dapat menguji model prediksi energi, kontrol pencahayaan, kenyamanan termal, kualitas udara, optimasi air, pemilahan sampah, atau biodiversitas. Namun eksperimen pada sistem operasi harus melalui persetujuan, penilaian risiko, dan mekanisme rollback.

Platform data perlu memiliki standar penamaan, interval pengukuran, metadata sensor, kalibrasi, kualitas, hak akses, privasi, retensi, dan keamanan. Data okupansi tidak boleh digunakan untuk mengidentifikasi individu tanpa dasar dan persetujuan. Dataset yang sudah dianonimkan dapat dibuka untuk penelitian. Hasil penelitian dikembalikan kepada pengelola fasilitas dalam bentuk rekomendasi yang dapat diimplementasikan dan diukur.

Setiap proyek living lab memiliki baseline, hipotesis, intervensi, indikator, periode, penanggung jawab, serta rencana pemulihan. Keberhasilan tidak hanya dinilai dari publikasi, tetapi juga penghematan, peningkatan kualitas lingkungan, prototipe, hak kekayaan intelektual, start-up, kolaborasi, dan kapasitas mahasiswa. UI GreenMetric menempatkan pendidikan, penelitian, dan tata kelola sebagai bagian penting

transformasi kampus, sehingga fasilitas fisik dan proses akademik harus saling memperkuat (UI GreenMetric, 2026).

Objek living lab	Contoh data	Contoh keluaran
Gedung	Energi, suhu, CO_2, cahaya, okupansi	Kontrol adaptif dan evaluasi pasca-huni
PLTS/baterai	Produksi, SoC, beban, cuaca	Prediksi dan optimasi energi
Air	Hujan, meter, kualitas, tinggi kolam	Neraca air dan kendali kebocoran
Limbah	Berat per kategori, kontaminasi	Strategi pencegahan dan diversion
Ruang luar	Suhu, kelembapan, tajuk, penggunaan	Desain kenyamanan dan biodiversitas

6.4.3 Inkubasi, Kemitraan, dan Pengelolaan Risiko

Inkubasi dimulai dari identifikasi masalah nyata di kampus, kompetisi ide, validasi pengguna, prototyping, pengujian, evaluasi teknis-ekonomi, dan demonstrasi. Proyek yang berhasil dapat dilanjutkan melalui kerja sama industri atau pemerintah. Tantangan kampus—misalnya kebocoran air, efisiensi AC, pemilahan sampah, atau kualitas udara—menjadi problem statement yang jelas. Pengadaan inovasi perlu menyediakan jalur pilot agar teknologi dapat diuji tanpa langsung diterapkan pada skala penuh.

Kemitraan harus mengatur ruang lingkup, data, keselamatan, publikasi, hak kekayaan intelektual, konflik kepentingan, dan kepemilikan aset. Klaim penghematan dari vendor diverifikasi melalui protokol measurement and verification. Sponsor tidak boleh mengendalikan kesimpulan penelitian. Penggunaan nama dan logo institusi mengikuti persetujuan. Proyek yang menangani data pengguna, bahan kimia, listrik, atau alat berisiko harus melalui tinjauan etika dan keselamatan yang sesuai.

Indikator Techno Park meliputi jumlah proyek lintas disiplin, proporsi proyek yang mencapai prototipe dan pilot, dana eksternal, publikasi, paten, start-up, solusi yang diadopsi kampus, penghematan terverifikasi, mahasiswa terlibat, dan mitra aktif. Laporan tahunan juga mencatat kegagalan dan pelajaran karena fungsi fasilitas inovasi adalah mengurangi ketidakpastian melalui eksperimen yang aman dan transparan.

6.5 Fasilitas Penunjang Rendah Karbon

Fasilitas penunjang rendah karbon memastikan bahwa pengalaman sehari-hari pengguna konsisten dengan tujuan green building. Ruang belajar, kantin, ruang terbuka, toilet, koridor, parkir, dan fasilitas

layanan perlu mendukung perilaku hemat sumber daya tanpa mengurangi kenyamanan dan inklusivitas. Desain yang baik membuat pilihan rendah karbon menjadi pilihan yang paling mudah, misalnya jalur teduh yang nyaman, tempat isi ulang air, kontrol ruang yang intuitif, pemilahan sampah yang jelas, dan ruang belajar yang memanfaatkan cahaya alami.

Karbon operasional dari energi dan karbon embodied dari material perlu dipertimbangkan bersama. Renovasi dan penggunaan kembali ruang sering lebih rendah dampak daripada pembangunan baru apabila struktur masih layak. Pengadaan furnitur, peralatan, makanan, dan jasa juga memengaruhi jejak karbon. Karena itu, kebijakan fasilitas fisik harus terhubung dengan pengadaan, pemeliharaan, jadwal ruang, transportasi, dan budaya pengguna.

Gambar 6.9. Ruang terbuka teduh sebagai fasilitas belajar dan aktivitas rendah karbon.

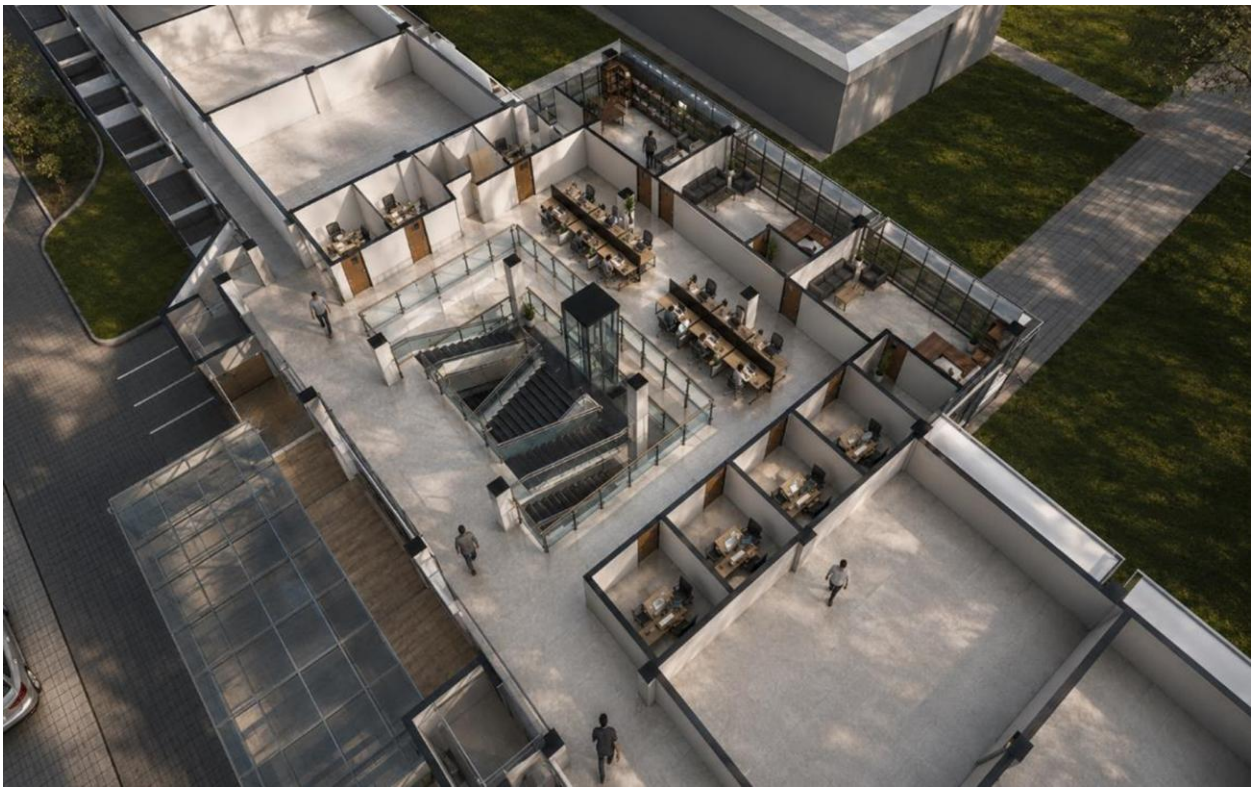
Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.5.1 Ruang Belajar Sehat dan Hemat Energi

Ruang belajar mengutamakan pencahayaan alami yang terkendali, pandangan ke luar, akustik, kualitas udara, kenyamanan termal, fleksibilitas, dan akses universal. Tirai atau peneduh memungkinkan pengguna mengendalikan silau. Lampu dibagi per zona dan dikendalikan sensor. HVAC memiliki setpoint dan jadwal yang sesuai, tetapi pengguna tetap memperoleh tingkat kontrol yang wajar. Furnitur memungkinkan variasi metode belajar dan mudah diperbaiki atau dikonfigurasi ulang.

Kualitas udara dipantau pada ruang berokupansi tinggi. Sensor CO_2 dapat membantu menilai kecukupan ventilasi, tetapi harus dipasang dan dikalibrasi dengan benar. Material finishing dan furnitur rendah emisi mengurangi sumber polutan. Pembersihan memilih bahan yang efektif dengan dampak kesehatan terkendali. Masalah kelembapan, kebocoran, dan jamur ditangani pada sumber, bukan ditutupi dengan pewangi atau pengecatan.

International Classroom dapat menjadi demonstrasi ruang belajar rendah karbon melalui sensor okupansi, daylight dimming, pengukuran kualitas udara, sub-meter energi, dan dashboard. Evaluasi pasca-huni membandingkan data teknis dengan persepsi mahasiswa dan dosen. Ruang yang efisien tetapi terlalu panas, bising, atau sulit dikendalikan tidak dapat dianggap berhasil. Kinerja harus menyeimbangkan energi, kesehatan, dan efektivitas pembelajaran.



Gambar 6.10. Contoh ruang kerja dan kolaborasi yang membutuhkan kontrol cahaya, udara, energi, serta fleksibilitas.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.5.2 Kantin Rendah Sampah dan Rendah Karbon

Kantin menerapkan pencegahan sampah melalui sistem wadah guna ulang, dispenser isi ulang, pembatasan plastik sekali pakai, pengadaan dalam kemasan besar, dan persyaratan vendor. Tempat cuci

dan sanitasi wadah dirancang sesuai kapasitas. Sistem deposit dapat digunakan bila tata kelola memungkinkan. Informasi kepada pengguna harus sederhana dan konsisten. Peralihan material sekali pakai ke material lain tidak otomatis menyelesaikan masalah apabila volume sampah tetap tinggi.

Pengelolaan makanan mencakup perencanaan porsi, pencatatan sisa, redistribusi yang aman, pemisahan organik, grease trap, pengendalian hama, dan kebersihan. Data penjualan dan sisa dapat membantu vendor menyesuaikan produksi. Pilihan menu dengan jejak karbon lebih rendah dapat diperbanyak tanpa mengorbankan gizi dan keterjangkauan. Kontrak tenant memuat target pengurangan sampah, efisiensi energi, air, dan pelaporan.

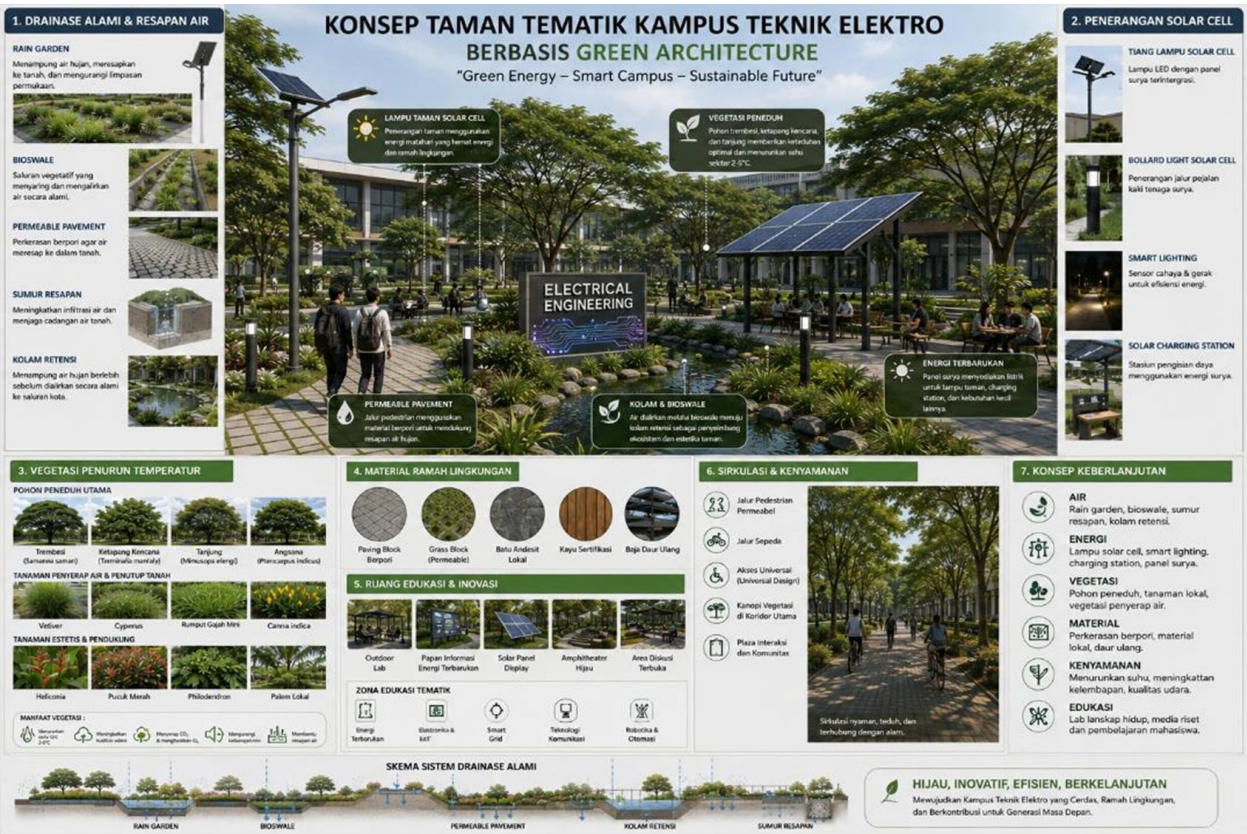
Peralatan dapur dipilih berdasarkan efisiensi, keamanan, kapasitas, dan kemudahan pemeliharaan. Exhaust dirancang berdasarkan beban nyata dan tidak beroperasi penuh ketika tidak diperlukan apabila sistem memungkinkan. Refrigerasi dipantau, seal diperiksa, dan refrigeran dikelola. Air panas, pencucian, dan kebocoran dimeter atau diaudit. Area makan memperoleh ventilasi, keteduhan, akses air minum, dan pemilahan sampah yang baik.

6.5.3 Ruang Terbuka Multifungsi dan Mobilitas Rendah Karbon

Ruang terbuka multifungsi yang teduh mendukung belajar, istirahat, acara kecil, dan perjalanan berjalan kaki. Pohon, kanopi, selasar, tempat duduk, pencahayaan, dan koneksi data disusun sebagai fasilitas akademik. Jalur yang teduh dan terhubung mengurangi hambatan berjalan kaki dari parkir atau halte menuju gedung. Fasilitas sepeda, shower pada lokasi yang relevan, parkir sepeda aman, dan titik pengisian kendaraan listrik memperkuat pilihan mobilitas rendah emisi.

Peneduhan diprioritaskan melalui vegetasi yang sesuai dan struktur yang dapat berfungsi ganda, misalnya kanopi surya. Material permukaan dipilih berdasarkan reflektansi, permeabilitas, ketahanan, keselamatan, dan kenyamanan. Area kegiatan tidak boleh mengorbankan jalur evakuasi atau akses darurat. Sistem listrik luar ruang memiliki proteksi cuaca dan pengendalian. Penggunaan malam dipantau agar pencahayaan dan keamanan memadai tanpa pemborosan.

Ruang luar juga berfungsi sebagai sarana komunikasi. Label pada rain garden, panel surya, perkerasan berpori, tanaman, dan sensor menjelaskan cara kerja serta data kinerja. Informasi tidak perlu memenuhi kawasan dengan papan; kode QR dan dashboard dapat melengkapi penjelasan ringkas. Program orientasi mahasiswa, tur green campus, studio, dan praktikum menggunakan fasilitas tersebut untuk membangun literasi keberlanjutan.



Gambar 6.11. Taman tematik Teknik Elektro sebagai contoh integrasi ruang luar, teknologi, dan pembelajaran.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

6.5.4 Operasi, Pemeliharaan, dan Perubahan Perilaku

Bangunan hijau hanya mempertahankan kinerja apabila dioperasikan dengan benar. Manual operasi harus menjelaskan jadwal, setpoint, kontrol, meter, alarm, inspeksi, kalibrasi, penggantian filter, pembersihan panel, pengujian kualitas air, dan respons gangguan. Pelatihan diberikan kepada operator sebelum serah terima dan diulang ketika terjadi pergantian personel. Suku cadang kritis dan kontrak layanan direncanakan sejak awal.

Green lease atau persyaratan operasional dapat diterapkan pada tenant kantin, vendor, dan penyedia layanan. Pengguna memperoleh informasi dan umpan balik yang tidak menyalahkan, misalnya dashboard konsumsi, kampanye berbasis data, dan kompetisi antarunit yang adil. Perubahan perilaku tidak digunakan untuk menutupi sistem yang buruk; desain, otomatisasi, perawatan, dan kebijakan harus terlebih dahulu menghilangkan pemborosan struktural.

Tim pengelola menyusun register aset dan indikator: intensitas energi, energi terbarukan, konsumsi air, kebocoran, kualitas air olahan, timbulan dan diversion limbah, kenyamanan, kualitas udara, keluhan, downtime, dan biaya pemeliharaan. Data dibandingkan dengan baseline dan target tahunan. Ketika deviasi terjadi, dilakukan investigasi akar masalah, tindakan korektif, dan verifikasi. Siklus ini membangun tata kelola fasilitas yang transparan dan berkelanjutan.

Bidang	Indikator inti	Frekuensi
Energi	kWh/m²/tahun; produksi PLTS; beban puncak	Bulanan/tahunan
Air	m³/pengguna; kebocoran; penggunaan air alternatif	Bulanan
Limbah	kg/pengguna; diversion; kontaminasi	Bulanan/semester
Kualitas ruang	Suhu, RH, CO_2, cahaya, keluhan	Kontinu/semester
Aset	Downtime, alarm, preventive maintenance	Bulanan

BAB VII. RENCANA INFRASTRUKTUR SMART CAMPUS

Rencana infrastruktur smart campus Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (FT USU) merupakan kerangka digital-fisik yang menghubungkan jaringan komunikasi, perangkat Internet of Things (IoT), Building Management System (BMS), dashboard data, command center, serta sistem keamanan dan keselamatan. Smart campus tidak didefinisikan oleh banyaknya sensor atau layar, melainkan oleh kemampuan institusi menggunakan data yang tepat untuk meningkatkan efisiensi, kualitas layanan, keselamatan, pengalaman belajar, dan keberlanjutan secara terukur.

Pengembangan harus dimulai dari kebutuhan operasional dan akademik. Setiap use case—misalnya deteksi kebocoran, pengaturan HVAC, ketersediaan ruang, parkir, alarm kebakaran, atau panggilan darurat—memerlukan definisi pengguna, keputusan yang dihasilkan, data minimum, tingkat ketepatan, waktu respons, kegagalan yang dapat diterima, dan penanggung jawab. Teknologi yang tidak terhubung dengan proses kerja berisiko menghasilkan data berlimpah tanpa perbaikan nyata.

Smart campus juga memperluas permukaan risiko. Sensor, controller, kamera, server, akun, aplikasi, dan integrasi vendor dapat menjadi jalur gangguan keamanan siber maupun pelanggaran privasi. Karena itu, perencanaan mengacu pada prinsip manajemen risiko informasi ISO/IEC 27001:2022, NIST Cybersecurity Framework 2.0, PP Nomor 71 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik, serta Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi (ISO, 2022; NIST, 2024; Republik Indonesia, 2019; 2022).

Bab ini mempertahankan empat bagian asli: jaringan dan konektivitas; Building Management System; dashboard data dan command center; serta keamanan dan keselamatan cerdas. Setiap bagian dikembangkan melalui prinsip arsitektur, komponen, aliran data, tata kelola, keamanan, implementasi, dan indikator. Infrastruktur dirancang modular, interoperabel, dapat dipelihara, dan tidak mengunci fakultas pada satu vendor. Sistem keselamatan jiwa tetap mandiri dan fail-safe walaupun statusnya dapat ditampilkan pada command center.

Gambar 7.1. Kawasan FT USU sebagai ruang penerapan jaringan smart campus terpadu.
Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.1 Jaringan dan Konektivitas

Jaringan dan konektivitas adalah fondasi seluruh layanan smart campus. Empat komponen utama yang direncanakan adalah: perluasan fiber optic dan Wi-Fi; jaringan IoT untuk sensor energi, air, okupansi, dan kualitas udara; redundansi jaringan beserta edge computing untuk menjaga ketersediaan layanan; serta segmentasi dan keamanan siber untuk memisahkan sistem akademik, administrasi, tamu, IoT, BMS, CCTV, dan keselamatan. Keempatnya harus dirancang sebagai satu arsitektur, bukan proyek perangkat yang terpisah.

Kebutuhan kapasitas dihitung dari jumlah pengguna dan perangkat, jenis aplikasi, pola jam sibuk, kebutuhan latensi, mobilitas, serta pertumbuhan. Video conference, laboratorium komputasi, CCTV, dashboard, dan sensor memiliki karakter trafik berbeda. Jaringan harus menyediakan quality of service dan prioritas tanpa mengorbankan keamanan. Dokumentasi jalur kabel, rack, port, VLAN, alamat, perangkat, firmware, lisensi, dan kontrak dukungan menjadi bagian aset fakultas.

7.1.1 Backbone Fiber Optic dan Ruang Telekomunikasi

Backbone fiber optic menghubungkan gedung lama, gedung baru, command center, ruang server, dan titik distribusi kawasan. Topologi ring atau jalur alternatif dipertimbangkan agar putusnya satu ruas tidak

menghentikan seluruh layanan. Jalur primer dan sekunder sebaiknya tidak berada dalam duct yang sama apabila gangguan fisik yang sama dapat memutus keduanya. Kapasitas serat cadangan disediakan untuk perkembangan, tetapi terminasi, labeling, pengujian, dan dokumentasi harus tetap jelas.

Setiap gedung memiliki entrance facility dan ruang telekomunikasi yang aman, berventilasi atau dikondisikan sesuai kebutuhan, terlindung dari air, memiliki catu daya, grounding, manajemen kabel, akses terbatas, serta ruang ekspansi. Penempatan tidak boleh berdekatan dengan sumber gangguan elektromagnetik atau jalur air berisiko. Distribusi horizontal menggunakan media yang sesuai kapasitas dan jarak. Seluruh link diuji dan hasilnya disimpan sebagai baseline penerimaan.

Ketersediaan layanan diperkuat melalui perangkat core/distribution yang redundant pada titik kritis, catu daya UPS, monitoring, konfigurasi cadangan, dan prosedur pemulihan. Redundansi harus diuji dengan simulasi kegagalan, bukan diasumsikan bekerja. Perangkat end-of-support dijadwalkan penggantiannya. Spare transceiver, kabel patch, dan perangkat penting tersedia. Kinerja jaringan dipantau melalui latency, packet loss, utilisasi, error, downtime, dan waktu pemulihan.

Lapisan	Fungsi	Kriteria utama
Core kampus	Agregasi dan jalur ke jaringan universitas	Redundant, kapasitas tinggi, monitoring
Distribusi gedung	Menghubungkan lantai dan sistem	Uplink ganda, ruang aman, konfigurasi baku
Akses	Pengguna, AP, kamera, IoT, controller	PoE terencana, autentikasi, VLAN
Manajemen	Monitoring, konfigurasi, inventaris	Akses terbatas, log, backup, sinkronisasi waktu

7.1.2 Wi-Fi Menyeluruh untuk Gedung dan Ruang Terbuka

Cakupan Wi-Fi direncanakan berdasarkan site survey dan predictive design. Tujuan bukan sekadar menampilkan sinyal penuh, tetapi menyediakan kapasitas, kualitas roaming, latensi, dan stabilitas pada kepadatan pengguna yang diperkirakan. Ruang kelas, aula, galeri, laboratorium, kantor, kantin, taman belajar, dan jalur utama memiliki profil berbeda. Access point ditempatkan berdasarkan perhitungan, bukan disembunyikan di atas plafon atau dipasang hanya pada koridor bila mengurangi kinerja.

Desain radio memperhitungkan kanal, lebar kanal, daya pancar, interferensi, material dinding, perangkat pengguna, dan penggunaan bersama. Ruang berkapasitas besar memerlukan cell planning yang lebih rapat dan kontrol interferensi. Area luar membutuhkan perangkat berperingkat lingkungan, proteksi petir, mounting aman, dan backhaul. Ketersediaan stop kontak tidak boleh menentukan posisi AP; jalur kabel dan PoE dirancang mengikuti posisi radio yang optimum.

Akses pengguna dipisahkan berdasarkan identitas dan kebutuhan: civitas akademika, tamu, perangkat institusi, IoT, dan vendor. Autentikasi terpusat dan sertifikat lebih baik daripada kata sandi bersama untuk sistem internal. Guest network diisolasi dan memiliki kebijakan penggunaan. Roaming lintas gedung harus mendukung mobilitas tanpa membuka akses berlebihan. Log autentikasi dan penggunaan dikelola sesuai tujuan, masa simpan, keamanan, dan ketentuan privasi.

Gambar 7.2. Ruang luar kampus memerlukan Wi-Fi yang dirancang untuk kapasitas, cuaca, dan mobilitas pengguna.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.1.3 Jaringan IoT dan Edge Computing

Jaringan IoT melayani meter energi dan air, sensor suhu, kelembapan, CO_2, okupansi, kualitas udara, tinggi air, cuaca, parkir, kondisi peralatan, serta perangkat lain. Teknologi koneksi dipilih berdasarkan bandwidth, jangkauan, daya, latensi, keamanan, dan lokasi. Ethernet atau field bus sesuai untuk perangkat kritis dan tetap; Wi-Fi untuk perangkat dengan kebutuhan data tertentu; sedangkan LoRaWAN atau teknologi low-power wide-area dapat digunakan untuk sensor berdaya rendah dan tersebar setelah uji radio.

Setiap perangkat memiliki identitas unik, pemilik, lokasi, model, firmware, tanggal pemasangan, kalibrasi, masa dukungan, dan prosedur penggantian. Onboarding dilakukan melalui proses tepercaya, bukan menyambungkan perangkat dengan kredensial default. NIST menekankan pentingnya pemberian

kredensial jaringan yang aman dan pemeliharaan postur keamanan perangkat sepanjang siklus hidup (NIST, 2025). Perangkat yang tidak dapat diperbarui atau tidak memiliki dukungan keamanan perlu diisolasi atau tidak digunakan.

Edge gateway mengumpulkan data lokal, menerjemahkan protokol, menyaring data, dan dapat menjalankan logika ketika koneksi pusat terputus. Sistem kritis tidak boleh kehilangan fungsi dasar hanya karena cloud atau dashboard tidak tersedia. Buffer lokal mencegah kehilangan data, sedangkan sinkronisasi waktu memastikan urutan peristiwa dapat dianalisis. Arsitektur edge juga mengurangi pengiriman data mentah yang tidak perlu dan dapat meningkatkan privasi.

Kualitas data diuji melalui kalibrasi, range check, deteksi nilai hilang, drift, timestamp, dan pembandingan dengan alat rujukan. Sensor yang murah dapat berguna untuk tren, tetapi tidak otomatis memenuhi kebutuhan pengukuran resmi. Metadata harus menjelaskan ketidakpastian dan tujuan penggunaan. Penelitian pada jaringan IoT kampus menunjukkan LoRaWAN dan fog computing dapat mendukung sensor tersebar, tetapi keberhasilannya bergantung pada desain radio, gateway, dan pengelolaan end-to-end (Fraga-Lamas et al., 2019).

7.1.4 Redundansi, Segmentasi, dan Keamanan Siber

Redundansi adalah tambahan pertama yang diperlukan selain fiber/Wi-Fi dan IoT. Layanan kritis memperoleh jalur, daya, perangkat, dan koneksi alternatif sesuai analisis dampak. Redundansi tidak berarti menduplikasi semua komponen; prioritas diberikan pada command center, server, BMS, keamanan, komunikasi darurat, dan koneksi antarbangunan. Recovery time objective dan recovery point objective ditetapkan untuk tiap layanan, lalu diuji melalui latihan kegagalan.

Segmentasi dan keamanan siber merupakan tambahan kedua. Jaringan dipisahkan berdasarkan fungsi dan risiko: pengguna, administrasi, riset, tamu, IoT, BMS/OT, CCTV, akses kontrol, serta sistem keselamatan. Firewall dan access control list hanya membuka komunikasi yang dibutuhkan. Remote access vendor menggunakan VPN, autentikasi multifaktor, persetujuan, waktu terbatas, dan logging. Akun bersama diminimalkan. NIST CSF 2.0 mengelompokkan pengelolaan risiko melalui Govern, Identify, Protect, Detect, Respond, dan Recover (NIST, 2024).

Keamanan operasional mencakup inventaris aset, hardening, patching berbasis risiko, vulnerability management, backup, logging, deteksi anomali, respons insiden, dan pemulihan. Perangkat BMS dan IoT tidak selalu dapat dipatch secepat sistem TI, sehingga kompensasi berupa segmentasi, allowlisting, pembatasan akses, dan monitoring menjadi penting. Kontrak vendor mewajibkan pemberitahuan

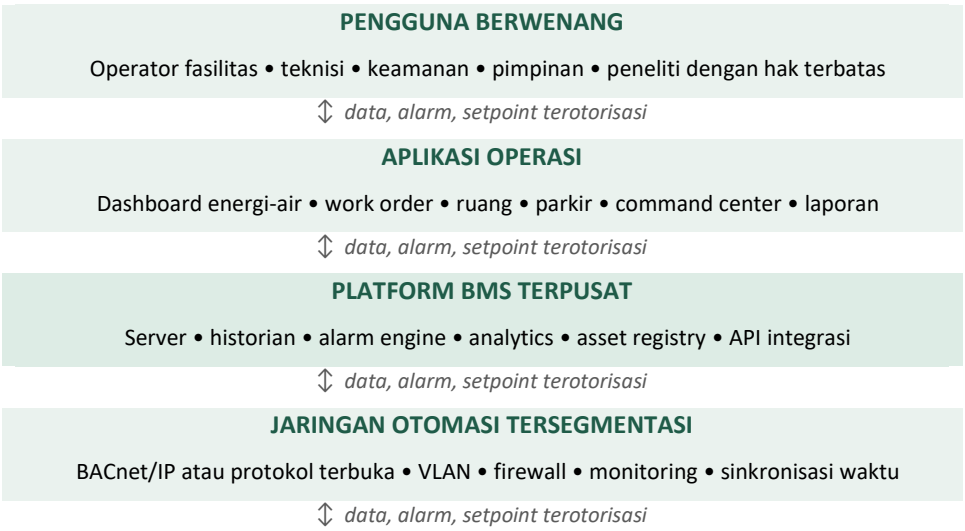
kerentanan, dukungan firmware, masa dukungan, ekspor konfigurasi, dan penghapusan akses setelah kontrak.

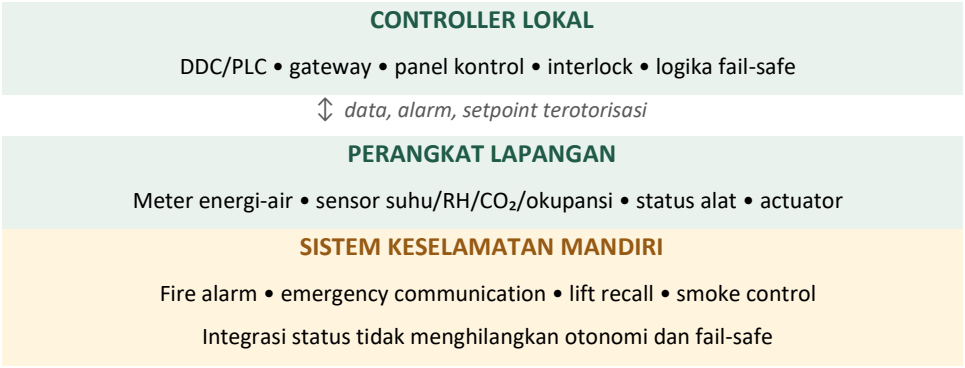
Risiko	Kontrol utama	Bukti
Akses tidak sah	Identitas unik, MFA, least privilege	Log dan review akses
Perangkat rentan	Inventaris, patching, segmentasi	Status firmware dan temuan
Putus jaringan	Jalur/daya cadangan, failover	Hasil uji pemulihan
Kehilangan data	Buffer, backup, retensi	Uji restore dan kualitas data
Vendor lock-in	Protokol terbuka, ekspor data/config	Dokumen interoperabilitas

7.2 Sistem Manajemen Bangunan (Building Management System)

BMS terpusat direkomendasikan untuk memonitor dan mengendalikan pencahayaan, HVAC, energi, air, kualitas lingkungan, dan status peralatan pada gedung utama. BMS bukan pengganti sistem kontrol lokal; controller tetap menjalankan logika dasar dan fail-safe, sedangkan platform pusat menyatukan data, alarm, tren, jadwal, setpoint, dan analitik. Arsitektur berlapis mengurangi ketergantungan pada satu server dan memungkinkan bangunan tetap beroperasi ketika koneksi pusat terganggu.

Interoperabilitas didukung melalui protokol terbuka. BACnet, yang ditetapkan dalam ASHRAE Standard 135, dirancang untuk integrasi produk kontrol bangunan dari berbagai produsen dan mencakup HVAC, pencahayaan, fire/life safety, dan fungsi otomasi lain (ASHRAE, 2020). Penggunaan protokol terbuka belum otomatis menjamin interoperabilitas; point list, naming, units, alarm, trend, schedule, dan kemampuan perangkat harus didefinisikan serta diuji.





Gambar 7.3. Arsitektur konseptual Building Management System FT USU.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.2.1 Cara Kerja dan Aliran Informasi BMS

Pada lapisan perangkat lapangan, sensor dan meter mengukur kondisi, sedangkan actuator mengubah posisi valve, damper, relay, atau setpoint. Controller lokal membaca input, menjalankan sequence of operation, dan mengirim perintah. Data diteruskan melalui jaringan otomasi yang tersegmentasi menuju server BMS. Historian menyimpan data runtut waktu, alarm engine mengelola penyimpangan, dan analytics mendeteksi pola. Dashboard menampilkan informasi sesuai peran pengguna.

Aliran data harus dua arah secara terkendali. Telemetri bergerak dari perangkat ke platform, sedangkan perubahan jadwal atau setpoint dari operator menuju controller setelah otorisasi. Perintah yang berisiko membutuhkan konfirmasi, batas nilai, dan audit trail. Sistem keselamatan seperti fire alarm tetap memiliki panel, logika, catu daya, dan jaringan sesuai ketentuannya sendiri; BMS menerima status atau menjalankan integrasi yang disetujui tanpa menjadi satu titik kegagalan keselamatan.

Alarm dikelompokkan berdasarkan prioritas, konsekuensi, dan waktu respons. Alarm kritis—misalnya pompa gagal, kebocoran besar, suhu ruang peralatan kritis, atau komunikasi terputus—diteruskan kepada petugas yang tepat. Alarm harus actionable: menjelaskan lokasi, kondisi, kemungkinan sebab, langkah awal, dan eskalasi. Alarm yang terlalu banyak menghasilkan alarm fatigue. Rasionalisasi alarm menghapus duplikasi, menyesuaikan delay, dan memastikan alarm kembali normal tercatat.

Data tren digunakan untuk verifikasi kinerja, diagnosis, dan optimasi. Interval pencatatan disesuaikan dengan dinamika variabel. Energi mungkin dicatat per 15 menit atau lebih rapat; status pompa berbasis perubahan; kualitas udara sesuai kebutuhan analisis. Penyimpanan semua titik pada interval sangat rapat dapat membebani sistem tanpa manfaat. Kebijakan retensi membedakan data operasional cepat, data historis, audit, dan data penelitian.

7.2.2 Komponen yang Dikelola oleh BMS

Sistem	Objek yang dimonitor/dikendalikan	Contoh keputusan
HVAC	Suhu, RH, CO_2, fan, pump, valve, damper, setpoint	Jadwal, reset setpoint, fault detection
Pencahayaan	Status, dimming, sensor okupansi/daylight	On/off, daylight harvesting, jadwal
Energi	Meter utama/sub-meter, PLTS, baterai, beban puncak	Benchmark, demand control, anomali
Air	Meter, level tangki, pompa, tekanan, kebocoran	Alarm kebocoran, jadwal pompa
Ruang	Okupansi agregat, jadwal, kondisi lingkungan	Ventilasi berbasis kebutuhan
Aset	Runtime, alarm, status komunikasi	Preventive/predictive maintenance

HVAC merupakan objek utama karena memengaruhi energi dan kesehatan. BMS mengelola jadwal, optimum start/stop, reset setpoint, demand-controlled ventilation, staging peralatan, dan deteksi fault. Namun logika tidak boleh mengurangi ventilasi di bawah kebutuhan atau menimbulkan kelembapan tinggi. Operator dapat override dalam kondisi tertentu, tetapi alasan, durasi, dan pengguna dicatat. Override permanen ditinjau karena sering menandakan masalah desain atau operasi.

Pencahayaan dikelola melalui jadwal, sensor okupansi, dan daylight dimming. Sistem memberikan kontrol lokal yang intuitif agar pengguna tidak merasa kehilangan kendali. Energi dipantau pada meter utama, sub-meter gedung, kelompok beban, PLTS, dan baterai. Air dipantau pada sumber, gedung, laboratorium, irigasi, dan sistem alternatif. Analitik mendeteksi aliran di luar jam operasi, konsumsi dasar berlebihan, dan perbandingan abnormal antargedung.

Okupansi digunakan pada tingkat agregat untuk ventilasi, pengelolaan ruang, dan keselamatan, bukan untuk pengawasan individu tanpa dasar. Metode dapat berupa sensor pasif, penghitung pintu, data akses, atau analitik yang menjaga privasi. Tingkat akurasi dan kemungkinan bias harus diketahui. BMS juga memantau runtime, cycle count, tekanan, temperatur, vibration bila relevan, dan alarm komunikasi sebagai dasar pemeliharaan prediktif.

7.2.3 Sequence of Operation dan Kendali yang Aman

Sequence of operation adalah narasi rinci mengenai cara sistem bekerja pada mode normal, start-up, shutdown, tidak berpenghuni, gangguan, kebakaran, dan manual. Dokumen ini disusun oleh perencana bersama operator, lalu diprogram, diuji, dan diperbarui. Diagram kontrol tanpa sequence yang jelas akan menghasilkan interpretasi berbeda antara vendor. Setiap sensor, alarm, setpoint, deadband, interlock, delay, dan fallback perlu dijelaskan.

Kendali hemat energi menggunakan jadwal sesuai pemakaian, tetapi tidak mematikan sistem kritis. Optimum start mempelajari waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi nyaman. Setback di luar jam

operasi mempertahankan batas kelembapan dan perlindungan alat. Demand limiting dapat mengurangi beban nonkritis ketika puncak terjadi. Ventilasi berbasis okupansi hanya dilakukan pada ruang yang memiliki sensor andal dan tetap memenuhi persyaratan udara luar.

Kendali harus fail-safe. Jika sensor gagal, sistem menggunakan nilai fallback yang aman dan mengeluarkan alarm. Jika komunikasi pusat putus, controller lokal mempertahankan operasi. Jika actuator tidak mencapai perintah, sistem mendeteksi mismatch. Perintah yang dapat membahayakan peralatan dibatasi melalui interlock lokal. Semua perubahan besar diuji pada lingkungan staging atau periode terkendali sebelum diterapkan luas.

Gambar 7.4. Ruang kerja KBE membutuhkan pengelolaan okupansi, kualitas udara, pencahayaan, dan energi secara terintegrasi.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.2.4 Commissioning, Pemeliharaan, dan Keamanan BMS

Commissioning dimulai dari review desain, submittal, inspeksi pemasangan, point-to-point test, functional performance test, integrasi, alarm, trend, grafik, backup, dan pelatihan. Sampling terbatas sering tidak cukup untuk sistem besar; titik kritis diuji penuh dan titik berulang menggunakan rencana sampling berbasis risiko. Tes dilakukan pada berbagai mode, termasuk kegagalan sensor, komunikasi, daya, dan pemulihan.

Serah terima mencakup as-built network diagram, daftar perangkat dan titik, sequence, source code atau akses konfigurasi yang disepakati, credential escrow, lisensi, backup, manual, garansi, dan daftar suku cadang. Operator memperoleh pelatihan berbasis skenario, bukan hanya demonstrasi layar. Seasonal commissioning memeriksa kondisi yang tidak muncul saat serah terima. Recommissioning dilakukan ketika fungsi ruang atau sistem berubah.

Keamanan BMS menerapkan segmentasi IT/OT, firewall, least privilege, autentikasi kuat, logging, backup offline, patching terencana, jump host, dan remote access terkendali. BACnet Secure Connect dapat mendukung komunikasi yang lebih aman dalam lingkungan BACnet, tetapi tetap memerlukan manajemen identitas, sertifikat, konfigurasi, dan monitoring (ASHRAE, 2019). Pengujian penetrasi dilakukan secara hati-hati agar tidak mengganggu operasi.

7.3 Dashboard Data dan Command Center Kampus

Command center dan dashboard data terpadu menampilkan konsumsi energi-air, status BMS, keamanan, CCTV, okupansi ruang, parkir, jaringan, serta kondisi lain yang relevan. Command center bukan ruang dengan banyak layar untuk tujuan representatif, tetapi fungsi operasi yang memiliki mandat, personel, prosedur, data, dan jalur eskalasi. Tampilan harus membantu mendeteksi, memahami, memprioritaskan, dan menindaklanjuti kondisi.

Dashboard dibagi berdasarkan pengguna. Operator membutuhkan alarm dan kontrol rinci; pimpinan membutuhkan indikator dan tren; teknisi membutuhkan status aset dan work order; keamanan membutuhkan situational awareness; sedangkan mahasiswa/peneliti mendapat data yang dianonimkan. Satu layar tidak dapat memenuhi semua kebutuhan. Informasi publik sebaiknya menampilkan kinerja keberlanjutan tanpa membuka detail keamanan atau data pribadi.

Gambar 7.5. Ruang KBE dapat mendukung fungsi dashboard, kolaborasi, dan pembelajaran smart campus.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.3.1 Arsitektur Data dan Integrasi Sistem

Arsitektur data terdiri dari sumber, ingestion, message broker atau integration layer, penyimpanan time-series dan relasional, master data, analytics, API, dashboard, serta arsip. Integrasi menggunakan kontrak data yang menjelaskan identitas titik, unit, timestamp, kualitas, lokasi, pemilik, dan hak akses. API gateway mengendalikan pertukaran, sedangkan data catalog membantu pengguna menemukan dataset. Integrasi point-to-point yang berlebihan dihindari karena sulit dipelihara.

Asset registry menghubungkan gedung, ruang, meter, sensor, perangkat, dan work order. Penamaan konsisten memungkinkan data dari berbagai sistem dibandingkan. Sinkronisasi waktu penting untuk investigasi peristiwa. Data mentah dipertahankan bila diperlukan, tetapi data turunan harus memiliki lineage. Perubahan skema dan definisi KPI dikelola melalui versioning agar laporan lama tetap dapat ditelusuri.

Command center tidak mengambil alih seluruh sistem. Fire alarm, akses kontrol, CCTV, jaringan, dan BMS tetap memiliki console dan tanggung jawab teknis masing-masing. Integration layer menampilkan status lintas sistem dan membantu koordinasi. Perintah lintas sistem dibatasi; misalnya command center dapat

mengakui alarm atau membuka work order, tetapi tindakan keselamatan tertentu hanya dilakukan oleh petugas dan sistem berwenang.

Lapisan data	Fungsi	Kontrol
Sumber	Sensor, meter, BMS, CCTV, aplikasi	Identitas, kalibrasi, waktu
Integrasi	Broker, gateway, API	Autentikasi, validasi, rate limit
Penyimpanan	Time-series, relational, object storage	Enkripsi, backup, retensi
Analitik	KPI, alarm, model, digital twin	Versioning, validasi, audit
Presentasi	Dashboard, mobile, laporan	Role-based access, masking

7.3.2 Dashboard Energi, Air, Ruang, dan Parkir

Dashboard energi menampilkan konsumsi aktual, baseline, target, intensitas per luas, beban puncak, konsumsi di luar jam, produksi PLTS, serta anomali. Perbandingan gedung dinormalisasi berdasarkan luas, okupansi, fungsi, dan jam operasi agar adil. Dashboard air menampilkan sumber, konsumsi, level tangki, penggunaan air alternatif, aliran malam, kebocoran, dan kualitas air yang relevan. Indikator merah tidak cukup; sistem perlu menunjukkan besaran dampak dan tindakan yang disarankan.

Dashboard ruang menggunakan jadwal, sensor okupansi agregat, dan data kondisi untuk menunjukkan ketersediaan serta underutilization. Data tidak digunakan untuk menilai individu. Keputusan dapat berupa penyesuaian jadwal, konsolidasi ruang, ventilasi sesuai kebutuhan, atau pemeliharaan. Ketidakakuratan deteksi harus ditampilkan agar pengguna tidak menganggap data absolut. Reservasi ruang dan kondisi aktual dapat dibandingkan untuk memperbaiki perencanaan.

Dashboard parkir menampilkan kapasitas, slot tersedia atau okupansi per zona, akses, arah, dan kondisi khusus. Informasi diberikan sebelum kendaraan memasuki koridor yang padat. Sistem dapat mengutamakan parkir aksesibel, kendaraan operasional, dan area acara. Data historis membantu mengelola permintaan, bukan membenarkan penambahan parkir tanpa batas. Tujuan akhir adalah mengurangi pencarian dan konflik, serta mendukung mobilitas berkelanjutan.

Gambar 7.6. Parkir terpadu menjadi objek smart parking dan pengelolaan mobilitas berbasis data.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.3.3 Analytics, AI, dan Digital Twin

Analytics dimulai dari aturan sederhana: ambang, perbandingan baseline, korelasi, dan deteksi perubahan. Model machine learning digunakan hanya jika data cukup, masalah jelas, dan manfaat melebihi kompleksitas. Contoh yang layak adalah prediksi konsumsi, fault detection, deteksi kebocoran, estimasi okupansi agregat, dan preventive maintenance. Model harus divalidasi pada kondisi lokal, dipantau terhadap drift, serta memiliki prosedur ketika rekomendasi salah.

Digital twin menghubungkan model aset dan ruang dengan data operasi. Pada tahap awal, bentuknya dapat berupa model informasi aset yang diperbarui, bukan replika tiga dimensi penuh. Tingkat detail dipilih berdasarkan use case: navigasi aset, analisis energi, perawatan, simulasi evakuasi, atau perencanaan ruang. Model yang tidak diperbarui cepat kehilangan nilai. Penelitian menunjukkan integrasi smart building dan digital twin dapat membantu monitoring, tetapi memerlukan kualitas data dan arsitektur yang konsisten (Piras et al., 2025).

AI tidak diberi akses langsung untuk mengendalikan sistem kritis tanpa batas. Rekomendasi terlebih dahulu bersifat advisory, kemudian diuji dalam sandbox, diawasi operator, dan dibatasi guardrail. Model harus dapat dijelaskan pada tingkat yang cukup untuk keputusan operasi. Data pribadi, rekaman video,

dan pola akses tidak digunakan untuk pelatihan tanpa dasar pemrosesan yang sah. Vendor harus menjelaskan lokasi pemrosesan, retensi, subprosesor, dan penghapusan data.

7.3.4 Tata Kelola Data, Privasi, dan Hak Akses

Setiap dataset memiliki data owner, steward, custodian, klasifikasi, tujuan, sumber, kualitas, retensi, dan pengguna yang diizinkan. Prinsip minimisasi menghindari pengumpulan data "untuk berjaga-jaga". Data okupansi agregat lebih sesuai daripada identifikasi individu untuk pengendalian HVAC. CCTV digunakan untuk keamanan, bukan analitik perilaku umum tanpa dasar. UU Pelindungan Data Pribadi mengatur hak subjek data, dasar pemrosesan, kewajiban pengendali/prosesor, keamanan, serta penanganan kegagalan pelindungan (Republik Indonesia, 2022).

Role-based access control membatasi informasi dan tindakan berdasarkan pekerjaan. Hak istimewa ditinjau berkala dan dicabut ketika peran berubah. Dashboard publik tidak menampilkan lokasi kamera, detail jalur keamanan, credential, atau data sensitif. Ekspor data memiliki watermark/log bila diperlukan. Peneliti mengajukan akses, tujuan, metode anonimisasi, dan rencana penghapusan. Data mahasiswa tidak boleh menjadi harga yang dibayar untuk efisiensi operasional.

Retensi ditetapkan berdasarkan kebutuhan hukum dan operasional. Rekaman CCTV, log akses, data lingkungan, dan data energi memiliki periode berbeda. Penghapusan harus dapat diverifikasi, termasuk backup dan sistem vendor sesuai jadwal. Incident response mengatur triase, containment, investigasi, komunikasi, pemulihan, dan pembelajaran. Simulasi insiden melibatkan pengelola fasilitas, TI, keamanan, pimpinan, dan komunikasi.

Klasifikasi	Contoh	Akses
Publik	KPI energi-air agregat, informasi parkir umum	Masyarakat
Internal	Data operasi gedung dan work order	Staf berwenang
Terbatas	Log akses, detail jaringan, konfigurasi BMS	Tim tertentu
Sensitif/pribadi	Rekaman CCTV, identitas, pola akses	Dasar sah dan kontrol ketat

7.3.5 Operasi Command Center dan Living Laboratory

Command center memiliki shift atau jam operasi sesuai risiko, daftar peran, matriks eskalasi, playbook, jalur komunikasi, dan catatan insiden. Operator tidak hanya memantau layar; mereka memverifikasi, menghubungi petugas lapangan, membuka work order, mengoordinasikan respons, dan menutup kejadian setelah bukti tersedia. KPI mencakup mean time to acknowledge, mean time to resolve, false alarm rate, availability, dan pengulangan gangguan.

Tata ruang command center memperhatikan ergonomi, jarak pandang, akustik, pencahayaan, UPS, pendinginan, akses, redundansi komunikasi, dan ruang koordinasi. Video wall hanya menampilkan situasi yang membutuhkan awareness bersama. Operator memiliki workstation sesuai peran. Ruang server dipisahkan. Akses fisik tercatat. Prosedur keadaan darurat memungkinkan operasi berpindah ke lokasi alternatif apabila ruang utama tidak dapat digunakan.

Sebagai living laboratory, dashboard menyediakan dataset terpilih untuk Teknik Elektro, Industri, Sipil, Lingkungan, Arsitektur, dan bidang lain. Mahasiswa dapat meneliti jaringan sensor, optimasi energi, visualisasi, human factors, pemeliharaan, atau keamanan siber. Lingkungan riset dipisahkan dari produksi. Eksperimen menggunakan data salinan/anonymized dan tidak dapat mengirim perintah ke sistem operasi kecuali melalui pilot yang disetujui.

Gambar 7.7. Ruang galeri/kolaborasi dapat menjadi area diseminasi data dan inovasi smart campus.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.4 Keamanan dan Keselamatan Cerdas

Keamanan dan keselamatan cerdas mengintegrasikan CCTV, smart parking, emergency call point, deteksi kebakaran dan mass notification, serta access control dan dukungan evakuasi. Dua tambahan terakhir melengkapi tiga komponen pada naskah awal. Integrasi diarahkan untuk mempercepat deteksi dan respons, tetapi tidak boleh menciptakan pengawasan berlebihan atau ketergantungan pada satu jaringan. Sistem keselamatan memenuhi standar teknisnya sendiri dan diuji berkala.

Perencanaan mengikuti threat and risk assessment. Risiko pencurian, kekerasan, kecelakaan, kebakaran, banjir, kegagalan utilitas, dan kepadatan acara memiliki respons berbeda. Teknologi tidak menggantikan pencahayaan, keterlihatan, kontrol akses alami, petugas, prosedur, latihan, dan komunikasi. Prinsip Crime Prevention Through Environmental Design dapat digunakan bersama desain universal agar keamanan tidak menghasilkan ruang yang eksklusif atau menakutkan.

7.4.1 CCTV Terintegrasi dan Analitik yang Bertanggung Jawab

CCTV ditempatkan pada gerbang, persimpangan, akses gedung, parkir, ruang aset kritis, dan jalur penting berdasarkan tujuan serta analisis risiko. Kamera tidak dipasang pada area yang memiliki ekspektasi privasi. Field of view, resolusi, pencahayaan, backlight, ketinggian, cuaca, jaringan, penyimpanan, dan pemeliharaan ditentukan agar rekaman benar-benar berguna. Signage menjelaskan keberadaan dan tujuan pemantauan.

Video management system mengelola live view, rekaman, health monitoring, pencarian, incident bookmark, dan ekspor terotorisasi. Retensi disesuaikan kebutuhan dan ketentuan, bukan disimpan selamanya. Akses menggunakan peran, MFA, log, dan review. Ekspor dicatat serta dilindungi. Kamera dan recorder ditempatkan pada VLAN terpisah, kredensial default diganti, firmware dipelihara, dan akses internet langsung dibatasi.

Analitik seperti line crossing, intrusion, crowd density, atau deteksi objek hanya digunakan setelah pengujian false positive/negative pada kondisi lokal. Face recognition atau identifikasi biometrik memiliki risiko tinggi dan tidak direkomendasikan tanpa dasar hukum, penilaian dampak, kebutuhan yang kuat, serta tata kelola ketat. Kajian surveillance pada smart campus menekankan tantangan integrasi, skalabilitas, privasi, dan keamanan IoT (Anagnostopoulos et al., 2021).

Gambar 7.8. Area akses dan drop-off memerlukan cakupan CCTV yang mendukung keselamatan tanpa mengabaikan privasi.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

7.4.2 Smart Parking dan Manajemen Akses Kendaraan

Smart parking menggunakan sensor slot, kamera penghitung, barrier, atau kombinasi sesuai kebutuhan. Pemilihan teknologi mempertimbangkan akurasi, cuaca, bayangan, marka, komunikasi, daya, pemeliharaan, dan privasi. Informasi ketersediaan dapat ditampilkan pada papan arah dan aplikasi. Sistem harus menangani kondisi sensor gagal, reservasi acara, kendaraan aksesibel, tamu, kendaraan operasional, dan keadaan darurat.

Tujuan bukan memaksimalkan okupansi sampai penuh. Ambang kapasitas menjaga ruang bagi akses darurat dan mengurangi antrean. Data historis digunakan untuk mengatur jadwal, berbagi parkir, tarif atau izin bila diterapkan, serta promosi moda lain. Nomor kendaraan termasuk data yang perlu dilindungi; automatic number plate recognition tidak digunakan lebih luas dari tujuan yang sah dan masa simpan ditetapkan.

Barrier tidak boleh menghambat pemadam, ambulans, atau evakuasi. Mekanisme manual dan fail-open/fail-secure dipilih berdasarkan lokasi dan risiko. Sistem terhubung ke UPS dan memiliki komunikasi alternatif. Audit mendeteksi tailgating, penyalahgunaan izin, dan titik konflik pejalan kaki. Integrasi dashboard menampilkan okupansi dan alarm tanpa membuka data identitas kepada pengguna umum.

7.4.3 Emergency Call Point dan Respons Terkoordinasi

Emergency call point ditempatkan pada parkir, jalur yang relatif sepi, ruang terbuka, sekitar fasilitas besar, dan titik yang dapat dicapai pengguna disabilitas. Perangkat memiliki komunikasi dua arah, identitas lokasi otomatis, indikator bahwa panggilan diterima, pencahayaan, proteksi cuaca, dan ketahanan vandalisme. Jangkauan visual dan jarak antarunit ditentukan melalui risk assessment dan survei jalur.

Panggilan diterima di pusat keamanan atau command center yang beroperasi sesuai kebijakan. Operator mengikuti script triase, mengidentifikasi jenis kejadian, mengirim petugas, menghubungi layanan eksternal, serta menjaga komunikasi. Rekaman dan metadata dikelola sesuai kebijakan privasi. Perangkat diuji rutin melalui tes terjadwal; kegagalan komunikasi menghasilkan alarm. Signage menjelaskan fungsi dan larangan penyalahgunaan.

Emergency call point bukan pengganti nomor telepon darurat, patroli, atau pencahayaan. Sistem menjadi salah satu lapisan. Informasi lokasi menggunakan kode kawasan yang sama dengan wayfinding dan peta command center. Respons dicatat untuk mengukur waktu jawab dan kedatangan. Setelah kejadian, dilakukan debrief dan perbaikan. Pengguna kampus diperkenalkan pada fungsi perangkat melalui orientasi dan simulasi.

7.4.4 Deteksi Kebakaran dan Mass Notification Terintegrasi

Deteksi kebakaran dan mass notification merupakan tambahan pertama pada keamanan cerdas. Sistem fire alarm mencakup perangkat inisiasi, panel, notifikasi audible/visual, catu daya, monitoring, dan emergency control functions sesuai persyaratan teknis. NFPA 72 mencakup fire alarm serta mass notification untuk berbagai keadaan darurat; rujukan tersebut dapat menjadi pembanding bersama SNI dan persyaratan otoritas setempat (NFPA, 2025).

Integrasi dapat meliputi recall lift, pelepasan akses pintu tertentu, smoke control, shutdown peralatan, dan pengiriman status ke command center. Namun BMS atau dashboard tidak menggantikan panel fire alarm. Semua cause-and-effect disusun dalam matriks dan diuji end-to-end. Jalur, catu daya, supervisi, dan survivability mengikuti persyaratan sistem keselamatan. Perubahan pada satu sistem memicu re-test integrasi.

Mass notification menggunakan beberapa lapisan: suara/visual dalam gedung, pengeras suara luar, pesan aplikasi/SMS/email, dan saluran publik yang relevan. Pesan harus jelas, spesifik, konsisten, dapat diakses, dan memberi tindakan. Penelitian respons alarm menunjukkan bahwa pengenalan sinyal dan informasi yang cukup memengaruhi keputusan evakuasi; voice message dan media tambahan perlu dirancang serta dilatih (Hoskins & Mueller, 2019).

Jenis kejadian	Kanal utama	Tindakan
Kebakaran	Alarm suara/visual, voice instruction	Evakuasi dan respons pemadam
Cuaca ekstrem/banjir	Wide-area, aplikasi, display	Hindari zona, shelter/relokasi
Ancaman keamanan	Targeted notification sesuai strategi	Lockdown/evakuasi terarah
Gangguan utilitas	Dashboard, pesan unit terdampak	Operasi darurat dan pemulihan

7.4.5 Access Control, Evakuasi, dan Keselamatan Inklusif

Access control dan dukungan evakuasi merupakan tambahan kedua. Akses elektronik diterapkan pada ruang dengan kebutuhan nyata seperti server, laboratorium tertentu, penyimpanan B3, ruang kontrol, dan kantor sensitif. Area publik tetap mudah diakses pada jam operasi. Credential dapat berupa kartu atau identitas digital yang dikelola terpusat. Hak akses berdasarkan peran dan waktu, ditinjau berkala, serta dicabut ketika pengguna keluar atau perannya berubah.

Desain fail-safe dan fail-secure disesuaikan dengan egress dan keamanan. Pintu pada jalur evakuasi harus memungkinkan keluar sesuai persyaratan meskipun sistem gagal. Integrasi fire alarm tidak boleh menciptakan pintu terkunci pada keadaan darurat. Tailgating, door forced open, dan door held open menghasilkan alarm yang dapat ditindak. Log akses termasuk data pribadi dan dibatasi tujuan serta retensinya.

Evakuasi cerdas menggunakan informasi okupansi agregat, status detektor, pintu, lift, dan jalur untuk meningkatkan situational awareness petugas. Sistem tidak memberikan rute dinamis kepada publik tanpa validasi karena arah yang salah dapat membahayakan. Wayfinding, tanda keluar, pencahayaan darurat, area bantuan, komunikasi dua arah, serta rencana bagi pengguna disabilitas tetap menjadi fondasi. Simulasi melibatkan kelompok pengguna yang beragam.

7.4.6 Ketahanan Operasi, SOP, dan Evaluasi

Keamanan cerdas membutuhkan SOP bersama untuk verifikasi alarm, dispatch, eskalasi, komunikasi, bukti, pemulihan, dan pelaporan. Matriks RACI menjelaskan siapa bertanggung jawab, menyetujui, dikonsultasikan, dan diberi informasi. Sistem menyediakan satu sumber waktu dan nomor kejadian agar rekaman lintas CCTV, akses, BMS, dan panggilan dapat dikorelasikan. Chain of custody diterapkan apabila rekaman menjadi bukti.

Business continuity menetapkan lokasi command center alternatif, radio, telepon, UPS/genset, prosedur manual, backup konfigurasi, dan daftar kontak. Latihan mencakup putus jaringan, kegagalan server, serangan siber, kebakaran, dan kepadatan acara. Keberhasilan diukur dari deteksi, acknowledge, dispatch,

penyelesaian, kualitas komunikasi, dan temuan. Kegagalan latihan menjadi input perbaikan, bukan disembunyikan.

Audit smart campus dilakukan pada aset, konfigurasi, akses, privasi, alarm, data, kontrak vendor, dan kompetensi personel. KPI yang disarankan mencakup availability jaringan/BMS, cakupan Wi-Fi berkinerja baik, sensor valid, alarm actionable, waktu respons, false alarm, patch compliance, temuan keamanan, insiden privasi, energi/air yang dihemat, serta kepuasan pengguna. Indikator teknologi harus dikaitkan dengan hasil layanan.

Bidang	Indikator	Frekuensi
Jaringan	Availability, latency, packet loss, cakupan	Kontinu/bulanan
IoT/BMS	Sensor valid, alarm, override, downtime	Kontinu/bulanan
Command center	MTTA, MTTR, false alarm	Bulanan
Keamanan	Waktu respons, kesehatan kamera/call point	Harian/bulanan
Siber/privasi	Patch, akses, insiden, audit	Bulanan/tahunan

7.4.7 Tahapan Implementasi dan Kesimpulan

Implementasi dimulai dengan inventarisasi aset, pemetaan proses, site survey jaringan, risk assessment, data governance, dan baseline. Tahap pertama memprioritaskan backbone, ruang telekomunikasi, Wi-Fi, segmentasi, monitoring, dan identitas. Tahap kedua membangun pilot IoT/BMS pada gedung yang siap, disertai commissioning dan dashboard terbatas. Tahap ketiga mengembangkan command center serta integrasi keamanan. Tahap berikutnya memperluas sistem berdasarkan bukti kinerja.

Pengadaan menggunakan spesifikasi berbasis fungsi, protokol terbuka, persyaratan keamanan, kepemilikan data, API, ekspor konfigurasi, dokumentasi, pelatihan, masa dukungan, dan exit plan. Proof of concept tidak langsung menjadi sistem produksi. Setiap pilot memiliki kriteria keberhasilan, waktu, biaya, risiko, dan rencana penghentian. Total cost of ownership mencakup lisensi, cloud, jaringan, baterai perangkat, kalibrasi, patch, operator, penyimpanan, dan penggantian.

Kesimpulannya, infrastruktur smart campus FT USU harus tumbuh dari jaringan yang andal menuju integrasi yang aman dan berguna. Fiber, Wi-Fi, IoT, BMS, dashboard, CCTV, parkir, panggilan darurat, fire alarm, dan akses kontrol memberikan nilai ketika data berkualitas, proses jelas, operator kompeten, privasi terlindungi, dan sistem tetap aman saat gagal. Kawasan dapat menjadi living laboratory, tetapi fungsi pendidikan selalu berada dalam batas keselamatan dan tata kelola produksi.

BAB VIII. TAHAPAN PELAKSANAAN (PHASING)

Berdasarkan penjelasan yang sudah dipaparkan pada bab sebelumnya, dapat dibuat tahapan pelaksanaan (phasing) dari Masterplan yang telah direncanakan. Rencana pelaksanan tahapan pertama adalah di

Tahun 2026 dan berakhir dalam 5 tahun yakni di tahun 2031. Adapun pentahapan yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Tahap	Periode (indikatif)	Fokus Utama
Tahap I – Tahun 1	2026-2027	Perbaikan Taman Fakultas Teknik di samping Jalan Perpustakaan - Penerapan Taman dengan Kolam Resapan.
Tahap II – Tahun 2	2027-2028	Penambahan massa bangunan pada void gedung program studi Teknik Kimia yang berfungsi sebagai kantor dari Knowledge Based Economy (KBE) Fakultas Teknik.
Tahap III – Tahun 3	2028–2029	Penambahan gedung International Classroom yang terletak bersampingan dengan Gedung Dekanat Fakultas Teknik
Tahap IV – Tahun 4	2029–2030	Penataan Parkir yang terintegrasi dengan pedestria dan taman bagian luar serta pengembangan taman bagian dalam (inner garden) yang akan difungsikan sebagai tempat belajar outdoor mahasiswa Fakultas Teknik.
Tahap V – Tahun 5	2030–2031	Penambahan Gedung Program Studi / Kuliah Baru Fakultas Teknik yang meliputi Program Studi Logistik, Pertambangan dan Perencanaan Wilayah dan Kota

Sebagai catatan, fakultas teknik juga akan mengembangkan kompleks Exhibition dan Convention yang diberi nama INSTEC (International Science and Technology Exhibition and Convention Center. Namun pelaksanaan dari bangunan ini bergantung pada dana yang diperoleh secara eksternal, sehingga tidak bisa dimasukkan dalam pentahapan di atas. Disamping itu, ada juga Galeri Wawasan Bisnis dan Industri yang juga pendanaannya akan diusahakan secara eksternal.

BAB IX. KERANGKA ESTIMASI KEBUTUHAN INVESTASI

9.1 Kedudukan dan Batasan Estimasi

Nilai investasi dihitung dari volume indikatif dikalikan harga satuan yang tercantum pada dokumen sumber. Volume taman, parkir, pedestrian, bangunan baru, dan renovasi masih harus dikonfirmasi melalui pengukuran, pemetaan, program ruang, dan desain rinci. Perubahan luas atau kualitas spesifikasi akan mengubah nilai investasi. Karena itu, angka dasar harus diberi tanggal basis dan diperbarui sebelum masuk ke rencana kerja dan anggaran tahunan.

Kerangka ini belum memisahkan secara rinci komponen struktur, arsitektur, mekanikal, elektrikal, plumbing, teknologi informasi, perlengkapan, lanskap, pekerjaan luar, keselamatan, aksesibilitas, commissioning, jasa profesional, perizinan, pajak, kontingensi, dan eskalasi. Apabila unsur tersebut belum tercakup dalam harga satuan, penambahannya dilakukan pada tahap penyusunan RAB. Pengelola tidak boleh menganggap total indikatif sebagai batas kontrak tanpa pemeriksaan ruang lingkup.

Setiap proyek perlu melewati gerbang kesiapan sebelum anggaran dikunci: kebutuhan dan manfaat disepakati; status lahan serta utilitas terverifikasi; desain dan volume tersedia; risiko tapak diidentifikasi; rencana operasi dan pemeliharaan disiapkan; sumber dana jelas; serta dokumen pengadaan lengkap. Pendekatan ini mengurangi perubahan pekerjaan, klaim, keterlambatan, dan aset yang sulit dioperasikan setelah serah terima.

> **Catatan:** *Seluruh angka dalam bab ini dinyatakan sebagai nilai indikatif berdasarkan data pada file Bab IX. Nilai belum diperlakukan sebagai RAB, HPS, ataupun nilai kontrak.*

9.2 Rencana Investasi Tahun Pertama

9.2.1 Perbaikan Taman Jalan Perpustakaan

Program tahun pertama diarahkan pada perbaikan tiga segmen Taman Jalan Perpustakaan. Intervensi ini menjadi langkah awal peningkatan kualitas ruang terbuka, kenyamanan pejalan kaki, resapan air, peneduhan, citra kawasan, dan ruang belajar luar. Pelaksanaan harus didahului pengukuran batas, inventarisasi vegetasi, identifikasi drainase dan utilitas, serta penetapan elemen yang dipertahankan, diperbaiki, atau diganti.

No.	Item pembangunan	Satuan	Volume	Harga satuan (Rp)	Total harga (Rp)
1	Pembuatan Taman Jalan Perpustakaan 1	m^2	4.478	1.500.000	6.717.000.000

2	Pembuatan Taman Jalan Perpustakaan 2	m²	3.439	1.500.000	5.158.500.000
3	Pembuatan Taman Jalan Perpustakaan 3	m²	3.650	1.500.000	5.475.000.000
TOTAL					**17.350.500.000**

Total indikatif tahun pertama adalah Rp17.350.500.000. Nilai tersebut perlu diterjemahkan ke dalam paket yang dapat dilaksanakan bertahap agar kegiatan akademik, akses perpustakaan, sirkulasi, dan keselamatan pengguna tetap terjaga. Prioritas awal dapat diberikan pada perbaikan drainase, jalur yang rusak, area dengan suhu tinggi, serta titik yang memiliki penggunaan paling intensif.

Dokumen desain harus menjelaskan komposisi hardscape dan softscape, jenis tanaman, media tanam, sistem drainase, penerangan, furnitur, akses universal, detail pertemuan dengan bangunan dan jalan, serta rencana pemeliharaan. Serah terima taman perlu disertai periode pemeliharaan tanaman dan penggantian apabila tanaman tidak bertahan.

9.3 Rencana Investasi Tahun Kedua

9.3.1 Penambahan Ruangan KBE

Program tahun kedua mencakup pembangunan ruang baru seluas 585 m² dan renovasi bangunan lama seluas 324 m² untuk kebutuhan KBE. Sebelum desain, program ruang harus menetapkan jumlah pengguna, jenis aktivitas, kebutuhan peralatan, hubungan antarruang, akses, keamanan, utilitas, kenyamanan termal, pencahayaan, akustik, dan kemungkinan perubahan di masa depan.

No.	Item pembangunan	Satuan	Volume	Harga satuan (Rp)	Total harga (Rp)
1	Pekerjaan bangunan baru	m²	585	10.000.000	5.850.000.000
2	Renovasi bangunan lama	m²	324	5.000.000	1.620.000.000
TOTAL					**7.470.000.000**

Total indikatif tahun kedua adalah Rp7.470.000.000. Renovasi harus dimulai dengan audit kondisi bangunan, termasuk struktur, atap, kelembapan, keselamatan kebakaran, kelistrikan, plumbing, aksesibilitas, dan kapasitas utilitas. Temuan audit dapat mengubah ruang lingkup dan harga. Pekerjaan baru dan renovasi perlu dikoordinasikan agar standar ruang, sistem bangunan, dan karakter kawasan tetap selaras.

Pengadaan mempertimbangkan biaya operasi, bukan hanya biaya awal. Selubung bangunan, sistem pencahayaan, ventilasi atau HVAC, meter energi-air, material, dan kemudahan perawatan perlu dinilai sepanjang umur bangunan. Commissioning dan pelatihan operator dimasukkan dalam ruang lingkup agar fasilitas dapat langsung digunakan sesuai fungsi.

9.4 Rencana Investasi Tahun Ketiga

9.4.1 Penambahan International Classroom

International Classroom direncanakan sebagai bangunan baru seluas 1.428 m². Fasilitas ini harus mendukung pembelajaran berstandar internasional, kelas kolaboratif, kegiatan hibrida, akses universal, konektivitas digital, kenyamanan akustik, dan pengelolaan energi yang efisien. Program ruang dan standar layanan menjadi dasar sebelum bentuk bangunan dan spesifikasi ditetapkan.

No.	Item pembangunan	Satuan	Volume	Harga satuan (Rp)	Total harga (Rp)
1	Pekerjaan bangunan baru	m²	1.428	8.000.000	11.424.000.000
TOTAL					**11.424.000.000**

Total indikatif tahun ketiga adalah Rp11.424.000.000. Nilai ini perlu diverifikasi terhadap kualitas ruang yang dituju, kebutuhan teknologi pembelajaran, furnitur, sistem audio-visual, jaringan, keamanan, proteksi kebakaran, dan pekerjaan luar. Apabila perlengkapan khusus tidak termasuk harga per meter persegi, kebutuhan tersebut disusun sebagai paket tersendiri agar tidak hilang dari anggaran.

Proyek harus dikaitkan dengan jaringan fiber, Wi-Fi, sistem manajemen bangunan, meter, akses, dan dashboard sebagaimana rencana smart campus. Integrasi ditentukan sejak desain untuk menghindari pembongkaran ulang. Uji fungsi meliputi ruang, pencahayaan, akustik, suhu, jaringan, audio-visual, keselamatan, dan skenario penggunaan kelas.

9.5 Rencana Investasi Tahun Keempat

9.5.1 Penataan Parkir, Pedestrian, dan Taman

Program tahun keempat merupakan penataan kawasan dengan cakupan 25.734 m² parkir, 2.428 m² pedestrian, dan 42.119 m² taman. Angka tersebut mencakup keseluruhan area yang telah diidentifikasi dalam dokumen awal. Pelaksanaannya tidak harus dilakukan sekaligus, melainkan dibagi menjadi zona dan paket prioritas berdasarkan keselamatan, kebutuhan pengguna, keterhubungan, kondisi eksisting, dan kesiapan anggaran.

No.	Item pembangunan	Satuan	Volume	Harga satuan (Rp)	Total harga (Rp)
1	Penataan parkir	m²	25.734	250.000	6.433.500.000
2	Penataan pedestrian	m²	2.428	500.000	1.214.000.000
3	Penataan taman	m²	42.119	300.000	12.635.700.000
TOTAL					**20.283.200.000**

Total indikatif tahun keempat adalah Rp20.283.200.000. Penataan parkir harus menjaga kapasitas yang diperlukan, sirkulasi aman, ruang kendaraan darurat, drainase, pencahayaan, peneduhan, dan pengelolaan parkir. Pedestrian diprioritaskan sebagai jaringan yang kontinu dan aksesibel, bukan potongan trotoar terpisah. Taman diarahkan untuk resapan, penurunan suhu, biodiversitas, pembelajaran luar ruang, dan kualitas visual.

Tahapan pelaksanaan dapat dimulai pada koridor paling berisiko atau paling banyak digunakan, kemudian berlanjut ke zona lain setelah evaluasi. Setiap paket harus tetap mengacu pada satu rencana kawasan agar material, elevasi, drainase, vegetasi, wayfinding, pencahayaan, dan akses universal konsisten. Pekerjaan sementara dan rekayasa lalu lintas perlu dimasukkan dalam rencana biaya.

9.6 Rencana Investasi Tahun Kelima

9.6.1 Penambahan Gedung Prodi/Kuliah Baru

Program tahun kelima mencakup lima bangunan baru untuk mendukung program studi atau kebutuhan perkuliahan baru. Luas indikatif terdiri atas dua bangunan 760 m², satu bangunan 720 m², dan dua bangunan 1.020 m², dengan total luas 4.280 m². Penentuan fungsi setiap bangunan harus berasal dari proyeksi mahasiswa, kurikulum, kebutuhan laboratorium, dosen dan tenaga kependidikan, ruang bersama, serta hubungan dengan fasilitas eksisting.

No.	Item pembangunan	Satuan	Volume	Harga satuan (Rp)	Total harga (Rp)
1	Pekerjaan bangunan baru 1	m²	760	8.000.000	6.080.000.000
2	Pekerjaan bangunan baru 2	m²	720	8.000.000	5.760.000.000
3	Pekerjaan bangunan baru 3	m²	1.020	8.000.000	8.160.000.000
4	Pekerjaan bangunan baru 4	m²	1.020	8.000.000	8.160.000.000
5	Pekerjaan bangunan baru 5	m²	760	8.000.000	6.080.000.000
TOTAL					**34.240.000.000**

Total indikatif tahun kelima adalah Rp34.240.000.000 dan merupakan kebutuhan tahunan terbesar dalam kerangka lima tahun. Karena itu, persiapan program ruang, tapak, utilitas, perizinan, dan desain perlu dimulai sebelum tahun kelima. Bangunan dapat dikelompokkan dalam paket atau dilaksanakan bertahap berdasarkan urgensi dan kesiapan masing-masing program studi.

Pengembangan lima bangunan harus menghindari duplikasi ruang yang dapat digunakan bersama. Ruang kuliah umum, ruang rapat, fasilitas mahasiswa, servis, parkir, energi, air, jaringan, dan ruang terbuka perlu direncanakan sebagai sistem kawasan. Pendekatan bersama dapat meningkatkan utilisasi dan mengurangi beban investasi serta operasi.

9.7 Rekapitulasi Investasi Lima Tahun

Rekapitulasi berikut menjumlahkan lima paket utama yang termasuk dalam Kerangka Estimasi Kebutuhan Investasi Masterplan FT USU. Jumlah disusun dari nilai indikatif pada setiap tahun tanpa menambahkan eskalasi, kontingensi, pajak, atau biaya profesional yang belum dinyatakan dalam dokumen sumber.

Tahun	Program utama	Nilai investasi (Rp)	Proporsi
Tahun I	Perbaikan Taman Jalan Perpustakaan	17.350.500.000	19,1%
Tahun II	Penambahan Ruangan KBE	7.470.000.000	8,2%
Tahun III	Penambahan International Classroom	11.424.000.000	12,6%
Tahun IV	Penataan Parkir, Pedestrian, dan Taman	20.283.200.000	22,3%
Tahun V	Penambahan Gedung Prodi/Kuliah Baru	34.240.000.000	37,7%
TOTAL			**90.767.700.000**

Berdasarkan penjumlahan rinci, kebutuhan investasi lima tahun adalah Rp90.767.700.000. Tahun kelima menyerap porsi terbesar sekitar 37,7 persen, diikuti tahun keempat sekitar 22,3 persen dan tahun pertama sekitar 19,1 persen. Distribusi ini menunjukkan kebutuhan persiapan pendanaan multiyears, terutama untuk pembangunan lima gedung baru dan penataan kawasan skala luas.

Rekapitulasi berfungsi sebagai pagu indikatif untuk penyusunan strategi pendanaan. Nilai setiap tahun tetap harus diperbarui saat desain dan BoQ tersedia. Apabila suatu paket ditunda, biaya berpotensi berubah akibat eskalasi harga, perubahan standar, degradasi kondisi eksisting, atau perubahan kebutuhan. Karena itu, pembaruan dilakukan sekurang-kurangnya pada setiap siklus anggaran.

9.8 Convention Complex (INSTEC) dan Galeri Wawasan Bisnis dan Industri di Luar Kerangka Investasi Masterplan

Convention Complex yang direncanakan sebagai International Science and Technology Exhibition and Convention Center (INSTEC) tidak dimasukkan ke total investasi lima tahun karena pendanaannya akan diusahakan dari pihak luar. Pemisahan ini harus konsisten pada seluruh rekap dan komunikasi agar nilai investasi masterplan tidak tercampur dengan proyek kemitraan eksternal.

No.	Item pembangunan	Satuan	Volume	Harga satuan (Rp)	Total harga (Rp)
1	Exhibition Gallery	m^2	560	8.000.000	4.480.000.000

2	Exhibition Hall	m²	1.010	8.000.000	8.080.000.000
3	Aula	m²	460	8.000.000	3.680.000.000
4	Exhibition Outdoor	m²	450	1.200.000	540.000.000
5	Lanskap	m²	1.760	1.200.000	2.112.000.000
TOTAL					**18.892.000.000**

Tabel 9.7. Estimasi indikatif INSTEC—di luar total masterplan.

Walaupun dibiayai pihak luar, INSTEC tetap harus selaras dengan masterplan, tata ruang, sirkulasi, utilitas, identitas kawasan, lingkungan, keamanan, dan kebutuhan akademik FT USU. Kerja sama perlu mengatur sumber dana, kepemilikan, hak penggunaan, pembagian pendapatan atau biaya bila ada, operasi, pemeliharaan, data, risiko, masa kerja sama, dan penyerahan aset.

BAB X. KELEMBAGAAN DAN PENGELOLAAN

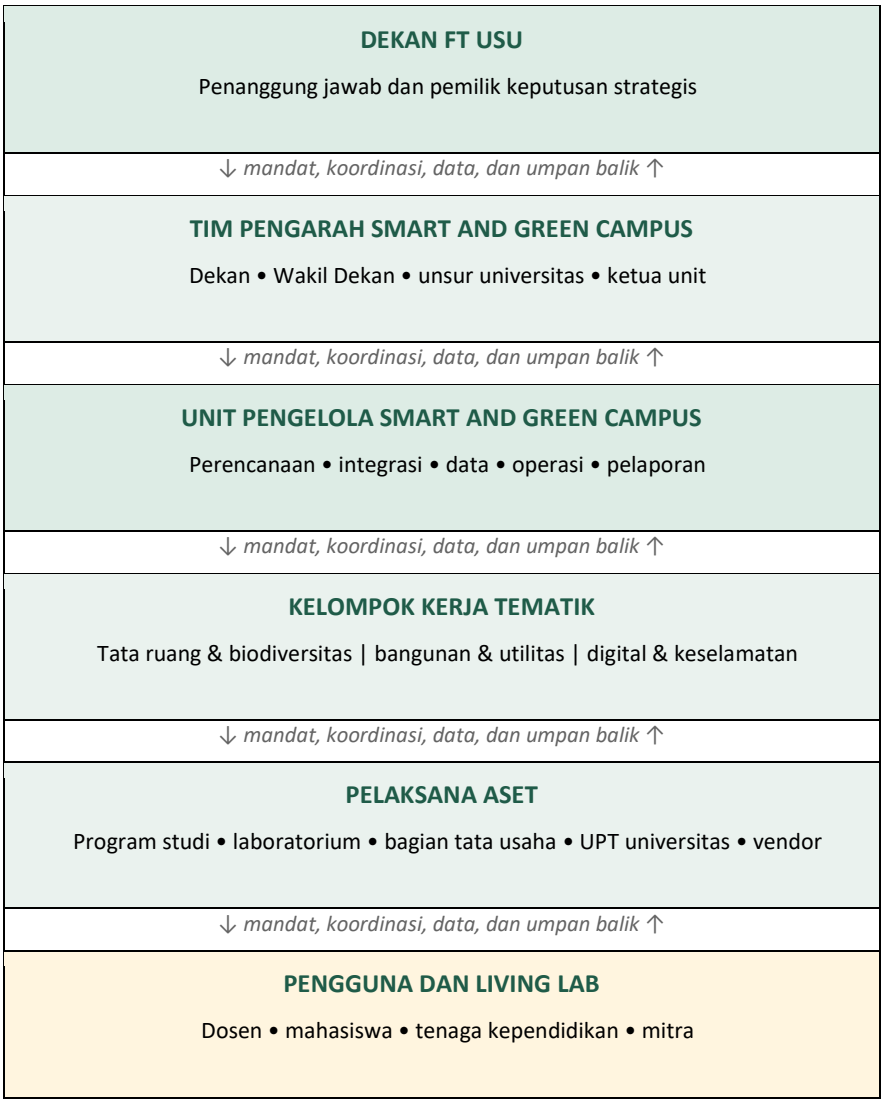
10.1 Tujuan dan Prinsip Kelembagaan

Kelembagaan Smart and Green Campus bertujuan memastikan seluruh komponen masterplan memiliki pemilik proses yang jelas sejak keputusan investasi sampai operasi harian. Struktur yang diusulkan tidak menggantikan organisasi formal FT USU, tetapi menjadi mekanisme lintas fungsi di bawah kepemimpinan dekan. Dekan tetap menjadi penanggung jawab fakultas, wakil dekan menjalankan fungsi sesuai bidangnya, program studi dan laboratorium menjadi pemilik kebutuhan akademik, bagian tata usaha mengelola administrasi dan aset, sedangkan unit universitas memberi dukungan sesuai kewenangan teknologi informasi, aset, pengadaan, keamanan, dan utilitas.

Lima prinsip digunakan. Pertama, akuntabilitas tunggal: setiap aset dan indikator memiliki satu penanggung jawab akhir. Kedua, koordinasi lintas unit: keputusan ruang, energi, air, data, dan keselamatan tidak dibuat secara sektoral. Ketiga, keputusan berbasis bukti: investasi ditetapkan dari audit, data operasional, kebutuhan akademik, risiko, dan biaya siklus hidup. Keempat, keterlacakan: persetujuan, perubahan, hasil pengujian, insiden, dan pemeliharaan terdokumentasi. Kelima, peningkatan berkelanjutan: hasil evaluasi mengubah rencana kerja dan anggaran periode berikutnya (ISO, 2026a; ISO, 2018a).

Kelembagaan harus cukup permanen untuk menjaga pengetahuan ketika pejabat, operator, atau vendor berganti. Karena itu, dokumen arsitektur sistem, daftar aset, gambar as-built, konfigurasi, manual operasi, daftar titik BMS, baseline energi-air, register risiko, dan kontrak layanan menjadi memori organisasi. Dokumen tersebut merupakan aset fakultas dan harus dapat diakses oleh personel berwenang, bukan hanya tersimpan pada penyedia jasa.

10.2 Struktur Pengarah dan Pengelola



Gambar 10.1. Arsitektur kelembagaan pengelolaan Smart and Green Campus FT USU.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

Tim Pengarah Smart and Green Campus diketuai oleh Dekan FT USU. Keanggotaannya sekurang-kurangnya meliputi para wakil dekan, pimpinan Unit Pengelola Smart and Green Campus, perwakilan program studi, bagian tata usaha, serta unsur universitas yang relevan. Tim Pengarah menetapkan kebijakan, prioritas, ambang risiko, target tahunan, kebutuhan pendanaan, dan keputusan lintas unit. Pertemuan dilakukan sedikitnya setiap semester dan sewaktu-waktu apabila terdapat investasi besar, perubahan desain, gangguan kritis, atau insiden keselamatan.

Wakil dekan yang membidangi akademik memastikan proyek mendukung proses belajar, penelitian, lima program studi baru, akses laboratorium, dan living lab. Wakil dekan yang membidangi sumber daya,

keuangan, atau aset mengawal anggaran, pengadaan, kontrak, inventaris, pemeliharaan, dan biaya siklus hidup. Wakil dekan yang membidangi kemahasiswaan atau kemitraan mengoordinasikan partisipasi mahasiswa, komunikasi perubahan perilaku, kemitraan, serta inklusivitas penggunaan fasilitas. Pembagian rinci mengikuti nomenklatur organisasi FT USU yang berlaku; dokumen ini mengatur fungsi, bukan mengubah statuta atau kewenangan formal.

Unit Pengelola Smart and Green Campus menjadi sekretariat teknis sekaligus integrator. Unit ini dapat dibentuk sebagai unit permanen atau fungsi lintas bagian dengan ketua yang ditetapkan dekan. Tanggung jawabnya meliputi konsolidasi rencana kerja, pengelolaan data kinerja, koordinasi commissioning, pengendalian perubahan, penyusunan SOP, pemantauan kontrak layanan, pengelolaan dashboard, fasilitasi audit, serta pelaporan kepada Tim Pengarah. Unit tidak harus mengerjakan seluruh pekerjaan teknis sendiri; perannya memastikan pekerjaan berbagai pihak menghasilkan satu sistem yang koheren.

Organ/fungsi	Akuntabilitas utama	Produk keputusan/bukti
Dekan	Arah strategis dan persetujuan akhir	Kebijakan, target, keputusan investasi
Tim Pengarah	Prioritas lintas bidang dan tinjauan manajemen	Risalah, persetujuan program, tindakan korektif
Unit Pengelola	Integrasi program, data, operasi, dan pelaporan	Rencana tahunan, dashboard, register risiko
Program studi/laboratorium	Kebutuhan akademik dan penggunaan aset	Program ruang, SOP laboratorium, evaluasi pengguna
Bagian tata usaha/aset	Administrasi, inventaris, kontrak, pemeliharaan	Daftar aset, jadwal servis, dokumen serah terima
UPT/unit universitas	Layanan dan standar pada kewenangan universitas	Persetujuan teknis, integrasi layanan, dukungan insiden
Vendor/konsultan	Pelaksanaan sesuai kontrak dan transfer pengetahuan	As-built, pengujian, manual, pelatihan, garansi

10.3 Proses Pengambilan Keputusan dan Pengendalian Perubahan

Usulan program masuk melalui satu pintu pada Unit Pengelola. Pengusul menjelaskan masalah, pengguna, kondisi awal, manfaat, risiko, ruang lingkup, ketergantungan, estimasi biaya investasi, biaya operasi, kebutuhan SDM, indikator hasil, dan rencana penghentian apabila pilot gagal. Unit Pengelola memeriksa kelengkapan dan keterkaitan dengan masterplan, kemudian meminta kajian kelompok kerja yang relevan. Keputusan prioritas menggunakan kriteria keselamatan dan kepatuhan, kesinambungan akademik, kebutuhan lima program studi baru, dampak energi-air-karbon, kualitas layanan, kesiapan data, biaya siklus hidup, kemampuan operasi, dan risiko teknologi. Proyek keselamatan jiwa dan kewajiban regulasi mendapat prioritas tertinggi. Proyek berbiaya besar tetapi belum memiliki baseline dapat dimulai dengan audit atau pilot terbatas, bukan langsung diimplementasikan penuh.

Perubahan desain, spesifikasi, lokasi, kapasitas, konfigurasi digital, atau target harus dicatat dalam register perubahan. Catatan memuat alasan, dampak terhadap fungsi, biaya, waktu, energi, air, keselamatan, keamanan siber, operasi, dan dokumen terkait. Perubahan yang memengaruhi keselamatan, interoperabilitas, data pribadi, atau biaya siklus hidup tidak dapat disetujui hanya berdasarkan harga awal yang lebih rendah.

Tahap	Pertanyaan gerbang	Keluaran minimum
Inisiasi	Masalah dan manfaatnya jelas?	Business case ringkas dan pemilik program
Konsep	Alternatif dan risiko sudah dibandingkan?	Konsep terpilih, baseline, target
Desain	Persyaratan kinerja dapat diuji?	Dokumen desain, spesifikasi, rencana commissioning
Pengadaan	Kriteria siklus hidup dan transfer data masuk kontrak?	Dokumen pengadaan dan matriks evaluasi
Konstruksi/instalasi	Perubahan dan kualitas terkendali?	Inspeksi, submittal, change log
Serah terima	Sistem terbukti berfungsi dan operator siap?	Uji fungsi, as-built, manual, pelatihan
Operasi	Manfaat tercapai dan risiko terkendali?	KPI, tiket, audit, tindakan korektif

10.4 Pengelolaan Aset, Operasi, dan Pemeliharaan

Setiap aset fisik dan digital diberi identitas unik dan dicatat dalam register aset. Data minimum meliputi lokasi, fungsi, pemilik, produsen, model, nomor seri, tahun pemasangan, nilai, masa manfaat, status garansi, jadwal pemeliharaan, spare part, dokumen as-built, hubungan dengan sistem lain, serta penanggung jawab. Untuk aset digital ditambahkan alamat jaringan, versi firmware, lisensi, akun layanan, kebijakan backup, dan tanggal akhir dukungan.

Strategi pemeliharaan dibedakan menjadi preventif, prediktif, korektif, dan berbasis kondisi. Peralatan keselamatan, panel listrik, baterai, pompa, HVAC, meter, sensor kritis, controller, switch jaringan, server, kamera, dan emergency call point memiliki jadwal uji yang terdokumentasi. Pemeliharaan tidak dinilai hanya dari jumlah pekerjaan selesai, tetapi dari keandalan aset, waktu henti, waktu pemulihan, pengulangan gangguan, konsumsi sumber daya, dan kepuasan pengguna.

Sistem work order menghubungkan laporan pengguna, alarm BMS, temuan inspeksi, dan jadwal pemeliharaan. Setiap tiket memiliki kategori, prioritas, waktu respons, penanggung jawab, tindakan, material, waktu selesai, dan verifikasi. Gangguan berulang wajib dianalisis akar masalahnya. Data work order digunakan untuk keputusan penggantian aset, pelatihan operator, perbaikan kontrak, dan rancangan proyek berikutnya.

Kontrak operasi dan pemeliharaan menetapkan service level, waktu respons, kompetensi personel, prosedur keselamatan, ketersediaan spare part, hak akses data, keamanan informasi, pelaporan, penalti, exit plan, dan transfer pengetahuan. Vendor lock-in dikurangi melalui protokol terbuka, dokumentasi, hak ekspor data dan konfigurasi, serta kemampuan pengelola mengganti penyedia tanpa kehilangan fungsi dasar.

10.5 Tata Kelola Data, Keamanan, dan Privasi

Data masterplan dibagi menjadi data aset, data operasional, data lingkungan, data penggunaan ruang, data keselamatan, dan data pengguna. Setiap kelompok data memiliki data owner yang bertanggung jawab terhadap tujuan penggunaan dan data steward yang menjaga definisi, kualitas, akses, retensi, dan metadata. Kamus data menyatakan nama indikator, satuan, sumber, interval, transformasi, batas kewajaran, serta versi perhitungan.

Prinsip minimisasi berlaku: sistem hanya mengumpulkan data yang diperlukan untuk tujuan yang sah. Data individu tidak boleh digunakan kembali untuk tujuan lain tanpa dasar dan tata kelola yang sesuai. Hak akses mengikuti kebutuhan tugas dan least privilege; akses administratif menggunakan autentikasi kuat dan ditinjau berkala. Kewajiban pelindungan data pribadi mengacu pada Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 dan pengelolaan sistem elektronik memperhatikan PP Nomor 71 Tahun 2019 (Republik Indonesia, 2022; 2019).

Keamanan siber diperlakukan sebagai risiko kelembagaan, bukan hanya tugas teknisi. Tim Pengarah menetapkan toleransi risiko; Unit Pengelola memelihara register risiko dan profil target; operator menerapkan kontrol; pimpinan meninjau insiden dan kesiapan pemulihan. Segmentasi memisahkan jaringan pengguna, tamu, IoT, BMS, CCTV, keselamatan, dan manajemen. Backup konfigurasi dan data diuji pemulihannya. Kerentanan, patch, sertifikat, akun, dan akses vendor dikelola sepanjang umur aset (NIST, 2024; ISO/IEC, 2022).

10.6 Kompetensi, Pendanaan, Kemitraan, dan Living Lab

Rencana kompetensi disusun berdasarkan peran. Pimpinan membutuhkan pemahaman risiko, investasi, dan indikator; pengelola membutuhkan manajemen program, kontrak, data, dan audit; operator membutuhkan keahlian teknis, keselamatan kerja, respons insiden, dan dokumentasi; pengguna membutuhkan orientasi penggunaan ruang, pelaporan gangguan, hemat sumber daya, dan tanggap darurat. Kompetensi dibuktikan melalui pelatihan, simulasi, observasi kerja, sertifikasi bila relevan, dan evaluasi hasil.

Pendanaan menggunakan pendekatan biaya siklus hidup. Anggaran tidak berhenti pada konstruksi dan pembelian perangkat, tetapi mencakup desain, commissioning, lisensi, konektivitas, cloud atau server, energi, kalibrasi, baterai, suku cadang, kontrak dukungan, penggantian, pelatihan, audit, dan dekomisioning. Portofolio tahunan memisahkan belanja wajib, pemeliharaan dasar, peningkatan efisiensi, inovasi, dan riset. Penghematan yang terverifikasi dapat dipertimbangkan sebagai dasar reinvestasi pada program berikutnya.

Kemitraan dengan universitas, pemerintah, industri, asosiasi profesi, penyedia utilitas, dan komunitas harus memiliki tujuan, ruang lingkup, hak data, hak kekayaan intelektual, keselamatan, publikasi, masa berlaku, dan rencana keluar yang jelas. Kolaborasi tidak boleh menghasilkan perangkat demonstrasi yang tidak memiliki pemilik operasi setelah proyek selesai.

Kawasan FT USU dapat menjadi living lab untuk pembelajaran dan riset terapan. Dosen dan mahasiswa dapat menggunakan data yang telah dianonimkan, mengembangkan prototipe, melakukan post-occupancy evaluation, menguji strategi pasif, memetakan panas, menilai biodiversitas, atau mengembangkan analitik. Namun sistem produksi dan sistem keselamatan dipisahkan dari lingkungan eksperimen. Setiap riset melewati persetujuan etika, keamanan, akses data, dan manajemen perubahan yang sesuai. Pendekatan living lab menempatkan pengguna dan pengelola sebagai mitra dalam pembelajaran nyata, sekaligus menjaga kontinuitas layanan (Evans et al., 2015).

BAB XI. INDIKATOR KINERJA DAN EVALUASI

11.1 Kerangka Pengukuran Kinerja

Keberhasilan masterplan dinilai melalui enam dimensi asli: energi; air; sampah dan limbah; ruang hijau; digitalisasi; dan mobilitas. Keenam dimensi dijaga agar konsisten dengan dokumen awal, kemudian dilengkapi indikator proses, keluaran, hasil, dan dampak. Indikator proses menunjukkan apakah tata kelola berjalan; indikator keluaran menunjukkan aset atau layanan tersedia; indikator hasil menunjukkan perubahan pemakaian atau kualitas; indikator dampak menunjukkan kontribusi jangka panjang terhadap keberlanjutan, keselamatan, kualitas akademik, dan ketahanan.

Evaluasi harus membedakan baseline, target, dan realisasi. Baseline merupakan kondisi pembanding yang ditetapkan dari data yang cukup representatif. Target dinyatakan untuk periode tertentu dan mempertimbangkan perubahan luas bangunan, jumlah pengguna, jam operasi, cuaca, fungsi ruang, serta program studi baru. Realisasi diverifikasi menggunakan sumber data yang disepakati. Tanpa normalisasi, penurunan konsumsi total dapat terlihat baik padahal disebabkan berkurangnya aktivitas, atau konsumsi meningkat hanya karena gedung baru mulai digunakan.

Standar internasional digunakan sebagai kerangka metodologis, bukan pengganti aturan nasional dan kebijakan USU. ISO 50001:2018 digunakan untuk manajemen energi; ISO 14001:2026 untuk aspek lingkungan; ISO 37120:2018 dan ISO 37122:2019 sebagai rujukan definisi indikator layanan, smart, dan keberlanjutan; NIST CSF 2.0 untuk risiko siber; serta Permen PUPR Nomor 21 Tahun 2021 dan Permen PUPR Nomor 10 Tahun 2023 untuk kinerja bangunan hijau dan bangunan gedung cerdas (ISO, 2018a; 2026a; 2018b; 2019; NIST, 2024; Kementerian PUPR, 2021; 2023).

11.2 Tata Kelola Indikator dan Kualitas Data

Atribut indikator	Ketentuan minimum
Nama dan tujuan	Menjelaskan keputusan yang didukung oleh indikator
Definisi dan formula	Pembilang, penyebut, satuan, pengecualian, normalisasi
Baseline dan target	Tahun dasar, periode, nilai awal, nilai sasaran
Sumber dan pemilik data	Meter/sistem/formulir, data owner, data steward
Frekuensi	Real-time, harian, bulanan, semesteran, atau tahunan
Verifikasi	Pemeriksaan kelengkapan, anomali, kalibrasi, rekonsiliasi
Ambang dan tindakan	Hijau-kuning-merah serta respons terhadap deviasi
Riwayat perubahan	Versi formula, perubahan sensor, koreksi data

Tabel 11.1. Metadata wajib setiap indikator kinerja.

Kualitas data dinilai melalui kelengkapan, validitas, ketepatan waktu, konsistensi, keunikan, dan keterlacakan. Sensor yang tidak terkalibrasi, data hilang, perubahan fungsi ruang, duplikasi meter, atau perbedaan zona waktu dapat mengubah kesimpulan. Dashboard menandai status kualitas data dan tidak menyamarkan periode kosong. Koreksi data disimpan sebagai versi baru dengan alasan dan pemberi persetujuan.

Data otomatis direkonsiliasi dengan sumber independen. Total submeter energi dibandingkan dengan meter utama dan tagihan; volume air dibandingkan dengan meter induk; produksi surya dibandingkan

inverter dan meter ekspor-impor; berat sampah dibandingkan manifest atau bukti pengangkutan; tutupan vegetasi diverifikasi melalui survei lapangan dan pemetaan; uptime sistem dibandingkan log monitoring dan tiket. Selisih di luar ambang dianalisis sebelum laporan disahkan.

Unit Pengelola menerbitkan kalender data dan menetapkan penutupan periode. Data operasional dapat dipantau lebih sering, sedangkan laporan kinerja resmi disusun triwulanan atau semesteran dan ditinjau tahunan. Review masterplan komprehensif dilakukan setiap dua sampai tiga tahun sebagaimana arahan dokumen awal, tetapi indikator berisiko tinggi—keselamatan, limbah B3, keamanan siber, kebocoran, atau downtime kritis—tidak menunggu siklus tersebut.

11.3 Dimensi Energi

Tujuan dimensi energi adalah menurunkan kebutuhan energi, meningkatkan efisiensi sistem, memperbesar kontribusi energi terbarukan yang aman, dan mempertahankan kenyamanan serta fungsi akademik. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) dihitung sebagai konsumsi energi tahunan dibagi luas lantai terkondisi atau luas yang relevan. Formula dan batas area harus konsisten. Untuk analisis operasional, IKE dilengkapi konsumsi per pengguna, per jam operasi, dan per jenis fungsi seperti kelas, kantor, studio, dan laboratorium.

Baseline energi dibangun dari sekurang-kurangnya satu tahun data yang memadai, disertai informasi luas, okupansi, cuaca, jam operasi, dan perubahan peralatan. Significant Energy Uses diidentifikasi dari sistem dengan konsumsi atau potensi penghematan terbesar, misalnya HVAC, laboratorium, pencahayaan, pompa, dan pusat data. ISO 50001:2018 menekankan penggunaan energy baseline dan energy performance indicator untuk mengukur perbaikan secara sistematis (ISO, 2018a).

Kinerja energi terbarukan tidak cukup dinilai dari kapasitas terpasang. Indikator mencakup produksi aktual, specific yield, performance ratio, availability, konsumsi sendiri, ekspor, curtailment, kegagalan inverter, dan degradasi. Baterai dinilai dari availability, efisiensi siklus, depth of discharge, suhu, alarm, keselamatan, dan kontribusi terhadap pengurangan beban puncak. Sistem harus memiliki inspeksi, proteksi, pemantauan, dan prosedur darurat.

Indikator energi	Formula/satuan	Frekuensi	Pemilik data	Arah
IKE gedung	kWh/m²/tahun	Bulanan/tahunan	Pengelola energi	Turun
Konsumsi per kapita	kWh/orang/tahun	Semesteran	Pengelola energi	Turun

Energi terbarukan	Produksi RE/konsumsi total × 100%	Bulanan	Operator utilitas	Naik
Beban puncak	kW maksimum per periode	Bulanan	Operator listrik	Terkendali
Availability sistem utama	Jam tersedia/jam rencana × 100%	Bulanan	Operator aset	Naik
Kenyamanan termal	% waktu dalam rentang yang disetujui	Bulanan	BMS/fasilitas	Naik

Evaluasi energi dilakukan berlapis. Operator memeriksa anomali harian dan mingguan. Unit Pengelola meninjau tren bulanan, membandingkan dengan baseline, dan memverifikasi tindakan. Tim Pengarah meninjau capaian semesteran dan tahunan, termasuk manfaat finansial, kenyamanan, serta risiko. Apabila IKE memburuk, analisis memeriksa pertumbuhan aktivitas, setpoint, jadwal, kebocoran udara, filter, kalibrasi sensor, perubahan beban laboratorium, serta kegagalan kontrol sebelum menetapkan tindakan.

11.4 Dimensi Air

Tujuan dimensi air adalah menurunkan konsumsi air bersih, mengurangi kebocoran, meningkatkan pemanfaatan air hujan atau air daur ulang yang aman, dan menjaga kualitas layanan. Neraca air memetakan pasokan, penyimpanan, distribusi, penggunaan, kehilangan, reuse, dan pembuangan. Meter induk serta submeter pada gedung, laboratorium, kantin, irigasi, cooling system, dan fasilitas berintensitas tinggi membantu menemukan anomali.

Konsumsi dinormalisasi per kapita, luas, hari operasi, atau aktivitas khusus. Rainwater harvesting diukur berdasarkan volume tertampung dan digunakan, bukan kapasitas tangki saja. Kualitas air untuk penggunaan non-potable dipantau sesuai tujuan, risiko kesehatan, dan persyaratan yang berlaku. Jalur air non-potable diberi identifikasi dan dicegah dari cross-connection dengan air minum.

Indikator air	Formula/satuan	Verifikasi	Respons deviasi
Konsumsi air per kapita	m^3/orang/tahun	Meter dan data pengguna	Audit penggunaan dan kebocoran
Intensitas air gedung	m^3/m^2/tahun	Meter/submeter	Analisis fungsi dan jadwal

Air alternatif	m^3 hujan/daur ulang digunakan	Meter dan log operasi	Periksa pompa, tangki, kualitas
Kehilangan tak terjelaskan	Input – penggunaan terukur	Neraca air	Leak detection dan inspeksi
Waktu respons kebocoran	Menit/jam dari alarm ke isolasi	Alarm dan work order	Perbaiki SOP dan sensor

Evaluasi bulanan membandingkan konsumsi aktual dengan pola normal dan menandai lonjakan di luar ambang. Alarm aliran saat gedung tidak beroperasi diprioritaskan sebagai potensi kebocoran. Evaluasi tahunan menilai penghematan, keandalan sistem, kualitas air, biaya operasi, dan efektivitas perilaku pengguna. Tindakan korektif dapat berupa perbaikan fixture, perubahan tekanan, penjadwalan irigasi, kalibrasi meter, perbaikan tangki, atau edukasi pengguna.

11.5 Dimensi Sampah dan Limbah

Dimensi ini membedakan sampah umum, material yang dapat didaur ulang, sampah organik, limbah elektronik, serta limbah B3 laboratorium. Tujuannya adalah mencegah timbulan, meningkatkan pemilahan dan pemulihan material, serta memastikan limbah berisiko dikelola sesuai ketentuan. Persentase sampah terpilah harus didasarkan pada penimbangan atau bukti yang dapat diaudit, bukan jumlah tempat sampah berwarna.

Audit komposisi sampah dilakukan secara periodik pada sampel representatif. Data vendor pengangkut direkonsiliasi dengan catatan internal. Kontaminasi fraksi terpilah dinilai karena material yang tercampur dapat ditolak fasilitas pemrosesan. Untuk limbah B3, indikator utama adalah kepatuhan inventaris, label, kemasan, penyimpanan sementara, waktu simpan, manifest, pelatihan, tanggap tumpahan, dan penyerahan kepada pihak berizin.

Indikator sampah/limbah	Satuan	Frekuensi	Kriteria evaluasi
Timbulan sampah	kg/orang/hari	Bulanan	Tren dan normalisasi aktivitas
Diversion rate	% material dialihkan dari pembuangan akhir	Bulanan	Bukti timbang dan tujuan akhir

Kontaminasi pemilahan	% material salah dalam fraksi	Triwulanan	Audit sampel
Kepatuhan limbah B3	% item/manifest memenuhi ketentuan	Bulanan	Inspeksi dan dokumen
Insiden tumpahan	Jumlah, tingkat, waktu respons	Setiap insiden	Investigasi akar masalah

Kinerja dievaluasi dengan hierarki pencegahan, guna ulang, daur ulang, pengolahan, dan pembuangan aman. Apabila diversion rate naik tetapi kontaminasi juga meningkat, program belum dapat dinilai berhasil. Pengadaan perlu mengurangi bahan sekali pakai dan memperhatikan kemasan, durabilitas, reparabilitas, serta take-back. Hasil evaluasi disampaikan kepada kantin, laboratorium, program studi, acara kampus, dan vendor melalui tindakan yang spesifik.

11.6 Dimensi Ruang Hijau dan Biodiversitas

Dimensi ruang hijau mengukur kualitas ekologis dan sosial, bukan hanya persentase area berwarna hijau pada gambar. Indikator mencakup luas tutupan vegetasi, kanopi pohon, area resapan, konektivitas habitat, keragaman jenis, proporsi tanaman lokal atau adaptif, kesehatan pohon, tingkat hidup tanaman, suhu permukaan, kenyamanan ruang luar, dan penggunaan taman belajar. Pemetaan dilakukan dengan metode yang konsisten dan diverifikasi di lapangan.

Baseline biodiversitas mencatat jenis, jumlah, lokasi, diameter atau kelas umur pohon, kondisi kesehatan, habitat penting, serta potensi gangguan. Pemeliharaan mempertimbangkan tanah, air, pemangkasan, akar, keamanan, dan penggantian. Penanaman baru tidak langsung dihitung sebagai keberhasilan jangka panjang; survival rate setelah satu dan dua tahun perlu dilaporkan.

Indikator ruang hijau	Satuan/metode	Frekuensi	Arah
Tutupan vegetasi	% luas kawasan; pemetaan konsisten	Tahunan	Naik/terjaga
Kanopi pohon	% area tertutup kanopi	Tahunan/dua tahunan	Naik
Ruang hijau per kapita	m^2/orang	Tahunan	Terjaga

Survival rate tanaman	% hidup setelah 12/24 bulan	Semesteran	Naik
Keanekaragaman	Jumlah jenis dan indeks yang disepakati	Tahunan	Naik/terjaga
Kenyamanan ruang luar	Suhu/naungan dan evaluasi pengguna	Musiman	Membaik

Evaluasi ruang hijau melibatkan ahli lanskap atau ekologi, pengelola, program studi, dan pengguna. Data kuantitatif dilengkapi observasi penggunaan dan post-occupancy evaluation. Area yang tampak baik tetapi tidak nyaman, tidak aksesibel, boros air, atau sulit dipelihara perlu diperbaiki. Perubahan masterplan yang mengurangi vegetasi wajib menyatakan dampak dan kompensasi berdasarkan kualitas ekologis, bukan hanya jumlah pohon.

Gambar 11.1. Ruang terbuka kawasan sebagai objek pengukuran kualitas hijau dan kenyamanan.

Sumber: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (2026).

11.7 Dimensi Digitalisasi

Digitalisasi dinilai dari keandalan, kegunaan, interoperabilitas, keamanan, dan manfaat keputusan—bukan jumlah perangkat. Indikator cakupan menyatakan proporsi gedung atau sistem prioritas yang

memiliki jaringan, submeter, sensor, BMS, atau dashboard sesuai kebutuhan. Indikator mutu meliputi uptime, latency, data completeness, akurasi, alarm yang ditindaklanjuti, waktu respons tiket, patch compliance, keberhasilan backup, dan keberhasilan pemulihan.

Dashboard dinilai dari penggunaan nyata. Setiap tampilan harus memiliki pengguna, keputusan, sumber data, pembaruan, ambang, dan tindakan. Jumlah login saja tidak cukup; evaluasi memeriksa apakah dashboard membantu mendeteksi anomali, mengurangi waktu respons, memverifikasi penghematan, mengalokasikan ruang, atau meningkatkan keselamatan. Indikator yang tidak pernah digunakan ditinjau ulang agar biaya data tidak melebihi manfaat.

Indikator digital	Formula/satuan	Frekuensi	Ambang awal indikatif
Cakupan sistem prioritas	% aset/gedung sesuai rencana	Triwulanan	Menurut tahapan implementasi
Uptime layanan kritis	Jam tersedia/jam rencana ×100%	Bulanan	≥ target SLA
Kelengkapan data	Data valid/data diharapkan ×100%	Harian/bulanan	≥ 95% untuk KPI resmi
Alarm ditindaklanjuti	% alarm prioritas memiliki tiket	Bulanan	≥ 95%
Backup berhasil	% pekerjaan backup sukses	Mingguan/bulanan	≥ target kebijakan
Uji pemulihan berhasil	% skenario restore memenuhi RTO/RPO	Semesteran	100% skenario kritis
Patch compliance	% aset dalam batas waktu patch	Bulanan	Berbasis tingkat risiko

Evaluasi keamanan menggunakan profil kondisi saat ini dan target dengan fungsi Govern, Identify, Protect, Detect, Respond, dan Recover. Temuan tidak hanya diklasifikasikan teknis, tetapi dihubungkan dengan dampak akademik, keselamatan, privasi, finansial, dan reputasi. Insiden signifikan ditinjau untuk menemukan akar masalah dan memperbaiki kontrol. Pengujian tidak boleh mengganggu sistem produksi atau keselamatan (NIST, 2024).

11.8 Dimensi Mobilitas

Tujuan dimensi mobilitas adalah meningkatkan keselamatan, aksesibilitas, kenyamanan berjalan dan bersepeda, efisiensi pergerakan, serta penggunaan moda rendah emisi. Jumlah EV charging hanya salah

satu indikator keluaran. Kinerja perlu mencakup porsi perjalanan menurut moda, jumlah pejalan kaki dan pesepeda, penggunaan shuttle, okupansi parkir, durasi pencarian parkir, konflik kendaraan-pejalan kaki, kecelakaan atau near miss, serta kualitas jalur universal.

Survei origin-destination dan mode share dilakukan pada periode yang konsisten. Data sensor parkir atau CCTV dapat membantu, tetapi penggunaan data mengikuti aturan privasi dan tujuan yang jelas. Audit berjalan memeriksa kesinambungan trotoar, kemiringan, permukaan, peneduh, pencahayaan, crossing, wayfinding, hambatan, dan hubungan dengan halte, parkir, serta pintu masuk gedung. Evaluasi melibatkan pengguna dengan kebutuhan mobilitas beragam.

Indikator mobilitas	Satuan/metode	Frekuensi	Arah
Mode share rendah emisi	% perjalanan jalan kaki/sepeda/shuttle/EV	Tahunan	Naik
Kualitas jalur pedestrian	% ruas memenuhi checklist	Semesteran	Naik
Keterhubungan universal	% rute prioritas bebas hambatan	Semesteran	Naik
Okupansi parkir	% petak terisi per waktu	Harian/bulanan	Terkelola
Penggunaan EV charging	Sesi dan kWh per titik	Bulanan	Efektif
Insiden dan near miss	Jumlah per lokasi dan paparan	Bulanan	Turun

Tindakan korektif diprioritaskan berdasarkan risiko, bukan popularitas. Lokasi dengan konflik atau near miss berulang dapat memerlukan perubahan geometrik, kecepatan, crossing, pencahayaan, vegetasi, parkir, atau pengawasan. Jika jalur sepeda tersedia tetapi tidak digunakan, evaluasi memeriksa kontinuitas, keamanan, penyimpanan sepeda, cuaca, dan hubungan dengan jaringan di luar kawasan. Infrastruktur harus dievaluasi sebagai pengalaman perjalanan utuh.

11.9 Mekanisme Evaluasi, Audit, dan Tinjauan Manajemen

Evaluasi dilaksanakan dalam empat lapis. Pertama, pemantauan operasional harian atau mingguan oleh operator. Kedua, analisis bulanan atau triwulanan oleh Unit Pengelola dan data steward. Ketiga, audit internal semesteran atau tahunan yang memeriksa bukti, kepatuhan, kualitas data, dan efektivitas

tindakan. Keempat, tinjauan manajemen oleh Tim Pengarah yang menetapkan keputusan anggaran, perubahan target, perbaikan sistem, dan prioritas periode berikutnya.

Audit berbasis risiko memilih sampel yang cukup dan menelusuri data sampai sumbernya. Auditor memeriksa kesesuaian formula, kalibrasi, dokumen, kondisi lapangan, tiket, wawancara operator, dan hasil tindakan. Ketidak-sesuaian diklasifikasikan menurut dampak dan urgensi. Setiap temuan memiliki pemilik, tenggat, bukti penyelesaian, dan verifikasi efektivitas. Menutup temuan tanpa membuktikan bahwa masalah tidak berulang tidak dianggap selesai.

Post-occupancy evaluation melengkapi data teknis dengan pengalaman pengguna. Survei, wawancara, observasi, dan pengukuran digunakan untuk menilai kenyamanan termal, pencahayaan, akustik, wayfinding, aksesibilitas, keamanan, kualitas ruang luar, serta kemudahan layanan digital. Hasil dipecah secara hati-hati untuk menemukan perbedaan antar fungsi dan kelompok pengguna, tanpa mengabaikan privasi.

Periode	Forum	Masukan	Keputusan/keluaran
Harian–mingguan	Rapat/shift operasi	Alarm, tiket, inspeksi	Respons cepat dan eskalasi
Bulanan	Review Unit Pengelola	KPI, anomali, biaya, risiko	Tindakan korektif operasional
Triwulanan/semesteran	Review lintas pokja	Tren, proyek, audit, pengguna	Prioritas dan koordinasi sumber daya
Tahunan	Tinjauan Tim Pengarah	Capaian, target, anggaran, risiko	Rencana dan target tahun berikutnya
2–3 tahunan	Review masterplan	Perubahan kebutuhan, teknologi, regulasi	Rekalibrasi program dan tahapan

11.10 Dashboard, Skor, dan Pelaporan

Dashboard eksekutif menampilkan sedikit indikator yang mewakili tujuan utama, sedangkan dashboard operator menampilkan detail yang dapat ditindaklanjuti. Status hijau menunjukkan kinerja memenuhi target dan data valid; kuning menunjukkan deviasi atau kualitas data yang memerlukan perhatian; merah menunjukkan kegagalan target, risiko tinggi, atau gangguan kritis. Status abu-abu digunakan ketika data belum memadai—bukan dipaksakan menjadi hijau.

Skor komposit dapat digunakan untuk komunikasi, tetapi tidak boleh menyembunyikan risiko kritis. Nilai rata-rata tinggi tidak dapat mengimbangi ketidakpatuhan limbah B3, kegagalan alarm, kebocoran besar, atau celah siber kritis. Oleh karena itu, indikator keselamatan, hukum, dan risiko tinggi menjadi gate: kegagalan pada gate memerlukan tindakan tersendiri meskipun skor total baik.

Laporan tahunan memuat ruang lingkup, perubahan signifikan, metode, baseline, target, realisasi, kualitas data, analisis deviasi, manfaat, biaya, insiden, temuan audit, tindakan korektif, pembelajaran, dan rencana tahun berikutnya. Klaim penghematan atau penurunan emisi menyatakan batas, faktor emisi, asumsi, dan ketidakpastian. Praktik ini menjaga laporan dapat ditelusuri dan mencegah greenwashing.

Dimensi	Bobot awal indikatif	Gate risiko	Catatan
Energi	20%	Keselamatan listrik dan kegagalan sistem kritis	Normalisasi luas, fungsi, cuaca
Air	15%	Kualitas air dan kebocoran besar	Neraca air tervalidasi
Sampah & limbah	15%	Kepatuhan limbah B3	Bukti aliran material
Ruang hijau	15%	Keselamatan pohon/akses	Kualitas ekologis dan sosial
Digitalisasi	20%	Insiden siber/privasi/keselamatan	Manfaat, uptime, kualitas data
Mobilitas	15%	Kecelakaan dan akses universal	Keselamatan dan mode share

Bobot pada Tabel 11.9 merupakan titik awal diskusi, bukan standar eksternal atau target final. Tim Pengarah dapat mengubah bobot berdasarkan risiko, prioritas universitas, kematangan data, dan tahapan masterplan. Perubahan bobot tidak boleh dilakukan untuk memperbaiki skor setelah hasil diketahui. Versi metode dan alasan perubahan didokumentasikan agar tren antarperiode tetap dapat dijelaskan.

BAB XII. PENUTUP

12.1 Kedudukan Dokumen dan Arah Implementasi

Masterplan Pengembangan Fisik FT USU bertema Smart and Green Campus merupakan kerangka arah yang menghubungkan kebutuhan ruang, pengembangan gedung, infrastruktur hijau, sistem digital, tata kelola, pembiayaan, dan evaluasi. Dokumen ini bukan pengganti kajian teknis rinci, desain, perizinan, analisis dampak, audit, atau dokumen pengadaan. Setiap program harus diturunkan menjadi kerangka acuan kerja dan persyaratan kinerja yang dapat diuji oleh tenaga ahli sesuai kompetensi.

Prioritas implementasi dimulai dari data dasar, keselamatan, kontinuitas layanan, dan kesiapan pengelola. Audit tapak, inventaris aset, pemetaan utilitas, baseline energi-air-sampah, inventaris vegetasi, survei mobilitas, penilaian kondisi jaringan, serta evaluasi kesiapan SDM menjadi fondasi. Proyek fisik dan digital yang berjalan sebelum baseline lengkap tetap mencatat kondisi awal terbaik yang tersedia dan rencana peningkatan kualitas data.

Pembangunan gedung dan infrastruktur harus menghindari pemisahan antara desain dan operasi. Operator, program studi, pengguna, dan pengelola pemeliharaan dilibatkan sejak penyusunan kebutuhan. Commissioning, pengujian, pelatihan, dokumentasi, dan masa stabilisasi menjadi bagian kontrak. Serah terima administratif tidak dianggap cukup apabila sistem belum terbukti memenuhi fungsi dan operator belum mampu mengoperasikannya.

12.2 Faktor Keberhasilan dan Risiko Utama

Keberhasilan bergantung pada kepemimpinan yang konsisten, target yang realistis, pemilik aset yang jelas, pendanaan operasi, kompetensi personel, data yang dapat dipercaya, serta partisipasi pengguna. Teknologi yang canggih tidak akan memperbaiki kinerja apabila jadwal, SOP, pemeliharaan, pengadaan, dan respons insiden tidak berjalan. Sebaliknya, tata kelola yang baik dapat menghasilkan perbaikan berarti melalui intervensi sederhana dan terukur.

Risiko utama mencakup ketidaklengkapan data eksisting, perubahan kebutuhan lima program studi baru, keterbatasan anggaran, kenaikan biaya operasi, keterlambatan pengadaan, fragmentasi kewenangan, vendor lock-in, keamanan siber, pelanggaran privasi, keterbatasan operator, kegagalan transfer

pengetahuan, serta perubahan regulasi. Risiko iklim seperti panas ekstrem, hujan intens, gangguan listrik, dan ketersediaan air harus dipertimbangkan dalam desain dan kontinuitas layanan.

Setiap risiko dicatat dengan penyebab, peristiwa, dampak, kemungkinan, tingkat, pemilik, kontrol, tindakan, tenggat, dan residual risk. Risiko keselamatan dan kepatuhan tidak diterima hanya karena biaya mitigasinya tinggi. Keputusan penerimaan risiko berada pada tingkat pimpinan sesuai ambang yang disahkan. Register risiko ditinjau bersama indikator, bukan sebagai dokumen terpisah yang jarang digunakan.

12.3 Komitmen Kolaborasi dan Pembelajaran

Smart and Green Campus adalah agenda bersama pimpinan, dosen, mahasiswa, tenaga kependidikan, program studi, laboratorium, unit universitas, konsultan, kontraktor, vendor, dan mitra. Konsultasi rutin diperlukan agar proyek tidak menghambat aktivitas akademik dan hasilnya menjawab kebutuhan pengguna. Mekanisme pengaduan dan umpan balik harus mudah, dapat ditelusuri, dan menghasilkan respons yang jelas.

Keterlibatan mahasiswa dan dosen melalui living lab memberikan nilai pendidikan sekaligus memperkuat evaluasi. Data dan fasilitas dapat mendukung pembelajaran desain, building science, energi, air, sistem kontrol, transportasi, lingkungan, data science, dan manajemen. Namun akses harus mengikuti tata kelola, anonimisasi, keamanan, etika, dan keselamatan. Keberhasilan living lab diukur dari pembelajaran, riset, inovasi yang diterapkan, dan perbaikan operasi—bukan hanya jumlah proyek.

FT USU perlu mendokumentasikan pembelajaran setiap tahap: apa yang berhasil, apa yang gagal, asumsi yang berubah, biaya aktual, respons pengguna, serta keputusan perbaikan. Pengetahuan tersebut menjadi dasar spesifikasi proyek berikutnya dan dapat dibagikan kepada unit lain di USU. Dengan demikian, masterplan tidak berhenti sebagai dokumen, tetapi berkembang menjadi sistem pembelajaran institusional.

12.4 Pernyataan Penutup

Pengembangan kawasan FT USU menuju Smart and Green Campus harus berlangsung terukur, inklusif, aman, dan dapat dipelihara. Tata ruang hijau pada Bab V, fasilitas fisik rendah karbon pada Bab VI, serta infrastruktur digital pada Bab VII disatukan melalui kelembagaan Bab X dan dievaluasi menggunakan kerangka Bab XI. Hubungan tersebut memastikan setiap investasi memiliki tujuan, pengelola, data, risiko, dan tindakan korektif yang jelas.

Keberhasilan akhir bukan ditentukan oleh banyaknya gedung baru, sensor, layar, atau sertifikat, tetapi oleh peningkatan nyata pada kualitas pembelajaran, efisiensi sumber daya, keselamatan, kenyamanan, aksesibilitas, ketahanan, dan kapasitas institusi. Dengan kepemimpinan dekan, koordinasi para wakil dekan dan unit universitas, keterlibatan program studi, serta kontribusi dosen dan mahasiswa, FT USU memiliki peluang menjadikan kawasan sebagai lingkungan akademik yang efisien sekaligus living laboratory yang relevan bagi Sumatera Utara dan Indonesia.

Dokumen ini perlu ditinjau secara berkala dan diperbarui ketika data, kebutuhan akademik, teknologi, risiko, kebijakan universitas, atau regulasi berubah. Setiap pembaruan harus menjaga keterlacakan keputusan dan kesinambungan target. Dengan disiplin tersebut, periode 2026–2031 menjadi tahap pembentukan fondasi pengelolaan yang dapat dilanjutkan secara konsisten pada periode masterplan berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2020a). SNI 6389:2020 Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2020b). SNI 6197:2020 Konservasi energi pada sistem pencahayaan. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2020c). SNI 6390:2020 Konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung. Jakarta: BSN.

Evans, J., Jones, R., Karvonen, A., Millard, L., & Wendler, J. (2015). Living labs and co-production: University campuses as platforms for sustainability science. Current Opinion in Environmental Sustainability, 16, 1–6.

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. (2026). Masterplan Fakultas Teknik: Rencana Induk Pengembangan Kawasan Fakultas Teknik 2026–2031. Bahan diskusi internal.

International Organization for Standardization. (2018a). ISO 50001:2018 Energy management systems—Requirements with guidance for use. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization. (2018b). ISO 37120:2018 Sustainable cities and communities—Indicators for city services and quality of life. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization. (2019). ISO 37122:2019 Sustainable cities and communities—Indicators for smart cities. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization. (2024). ISO 37124:2024 Sustainable cities and communities—Guidance on the use of ISO 37120, ISO 37122 and ISO 37123. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization. (2026a). ISO 14001:2026 Environmental management systems—Requirements with guidance for use. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. (2022). ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection—Information security management systems—Requirements. Geneva: ISO.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024). Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 Tahun 2024 tentang PLTS Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPTLU.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Peraturan Menteri LHK Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Peraturan Menteri PUPR Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 01/SE/M/2022 tentang Petunjuk Teknis Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). Peraturan Menteri PUPR Nomor 10 Tahun 2023 tentang Bangunan Gedung Cerdas.

Republik Indonesia. (2007). Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang.

Republik Indonesia. (2019). Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik.

Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Republik Indonesia. (2022). Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik.

Republik Indonesia. (2022). Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi.

UI GreenMetric. (2026). Sustainable University Rankings: Methodology and Rankings Framework. Universitas Indonesia. https://uigreenmetric.com/rankings

UN-Habitat. (2022). Cities and Nature: Planning for the Future. United Nations Human Settlements Programme.

Universitas Indonesia. (2025). UI GreenMetric World University Rankings: Guideline. Depok: UI GreenMetric Secretariat.

Universitas Sumatera Utara. (2024a). Affordable and Clean Energy: Green Campus and Energy-Efficiency Policies. SDGs Center USU.

Universitas Sumatera Utara. (2024b). Renewable Energy Innovations to Promote Affordable and Clean Energy for All. SDGs Center USU.

Universitas Sumatera Utara. (2024c). Responsible Consumption and Production: Waste Monitoring and Circular Practices. SDGs Center USU.

Universitas Sumatera Utara. (2024d). Universitas Sumatera Utara Strengthens Water Reuse Practices for Sustainable Campus Management. SDGs Center USU.

Universitas Sumatera Utara. (2024e). USU Advances Energy Transition Efforts Through Building Upgrades for Higher Efficiency Standards. SDGs Center USU.

World Green Building Council. (2019). Bringing Embodied Carbon Upfront. London: WorldGBC.