

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pembangunan gedung bertingkat (*high-rise buildings*) dan kawasan terpadu (*integrated building complexes*) dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong meningkatnya kebutuhan terhadap sistem konektivitas antargedung yang mampu menjamin efisiensi mobilitas, keselamatan pengguna, dan keberlanjutan fungsi bangunan. Salah satu infrastruktur yang berkembang pesat adalah *Skybridge*, yaitu jembatan penghubung yang menghubungkan dua atau lebih bangunan pada elevasi tertentu untuk mempermudah sirkulasi pengguna tanpa harus turun ke permukaan tanah. Penerapan *Skybridge* kini tidak hanya dijumpai pada kawasan komersial dan pusat transportasi, tetapi juga telah menjadi bagian penting dalam pengembangan rumah sakit, kawasan pemerintahan, serta perguruan tinggi yang mengusung konsep *smart campus*. Pada bangunan pendidikan, keberadaan *Skybridge* tidak hanya meningkatkan kenyamanan dan efisiensi perpindahan antargedung, tetapi juga berfungsi sebagai jalur evakuasi alternatif ketika terjadi keadaan darurat. Kondisi tersebut menuntut agar struktur *Skybridge* memiliki tingkat keandalan (*structural reliability*) yang tinggi terhadap berbagai kombinasi pembebanan, baik beban gravitasi maupun beban lateral akibat angin dan gempa.

Skybridge umumnya dirancang menggunakan sistem *Truss frame*, khususnya rangka baja, karena memiliki keunggulan dalam efisiensi material, kemudahan fabrikasi, serta kemampuan menyalurkan beban melalui gaya aksial tarik dan tekan. Sehingga bentang panjang bukan sekedar parameter geometris melainkan faktor dominan yang mempengaruhi stabilitas, deformasi, serta mekanisme kegagalan struktur. Inilah yang menjadikan *Skybridge* tersebut menarik untuk di analisis secara mendalam dalam perspektif mekanika nonlinier. Dalam kondisi aktual, struktur *Truss Skybridge* tidak hanya menerima beban statis akibat berat sendiri dan beban hidup, tetapi juga beban dinamis seperti getaran aktivitas pengguna, beban angin, serta beban gempa. Dalam perencanaan dan analisis struktur bangunan di Indonesia wajib mengacu

pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) untuk menjamin aspek keselamatan, pelayanan, dan kapasitas struktur sesuai kelas fungsi bangunan. Untuk struktur baja, termasuk rangka *Truss* pada *Skybridge* bangunan gedung, Mengacu pada SNI 1729:2020 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.

Di Indonesia, analisis struktur baja pada umumnya masih didominasi oleh pendekatan elastis linier menggunakan perangkat lunak seperti SAP2000 . Pendekatan tersebut sangat efektif untuk proses desain awal, tetapi memiliki keterbatasan dalam menggambarkan distribusi tegangan setelah material mencapai kondisi leleh (*yield*), perkembangan regangan plastis (*plastic strain*), penurunan kekakuan (*stiffness degradation*), maupun evolusi kerusakan (*damage evolution*) yang menjadi indikator penting dalam mengevaluasi tingkat keamanan struktur. Akibatnya, potensi terbentuknya mekanisme kerusakan lokal maupun kerusakan progresif sering kali tidak dapat diprediksi secara memadai. Kondisi ini menjadi semakin penting pada struktur *Skybridge* karena struktur tersebut bekerja sebagai sistem bentang panjang dengan elemen-elemen yang relatif ramping, sehingga sangat sensitif terhadap perubahan kekakuan material maupun redistribusi gaya internal setelah terjadi plastisitas.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji perilaku struktur baja dari berbagai perspektif. (Song dkk. 2023) meneliti perilaku sambungan (*gusset plate*) pada struktur rangka baja dan menunjukkan bahwa kegagalan sambungan sangat dipengaruhi oleh redistribusi tegangan setelah material memasuki fase plastis. Penelitian tersebut memberikan pemahaman yang baik mengenai perilaku sambungan, tetapi belum mengevaluasi perkembangan kerusakan material secara eksplisit pada sistem struktur secara keseluruhan. Selanjutnya, (Milone dkk. 2024) mengembangkan model numerik untuk mengevaluasi *post-necking behaviour* dan *ductile damage* pada baja struktural menggunakan pendekatan elemen hingga (*finite element method*), namun penelitian tersebut lebih berorientasi pada perilaku material dibandingkan respons struktur bentang panjang. Di sisi lain, (Han dkk. 2025) menerapkan pendekatan *damage modelling* pada struktur baja berbentuk box section *Truss* dan membuktikan bahwa

distribusi kerusakan berpengaruh signifikan terhadap penurunan kapasitas struktur, meskipun objek kajiannya belum mencakup *Skybridge* dengan konfigurasi rangka batang yang umum digunakan pada bangunan pendidikan. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemodelan nonlinier telah berkembang pesat, tetapi implementasinya pada struktur *Skybridge* di Indonesia masih sangat terbatas.

Berdasarkan telaah terhadap penelitian terdahulu tersebut, terdapat beberapa kesenjangan penelitian (*research gap*) yang masih memerlukan kajian lebih lanjut. Pertama, sebagian besar penelitian berfokus pada perilaku material atau komponen tertentu, sementara evaluasi perilaku struktur *Skybridge* secara utuh masih relatif sedikit dilakukan. Kedua, penelitian terdahulu umumnya hanya mengevaluasi distribusi tegangan maksimum tanpa mengintegrasikan analisis terhadap *plastic strain*, *damage variable*, serta degradasi kekakuan secara simultan. Ketiga, penerapan pendekatan *damage plasticity* pada struktur *Truss frame Skybridge* yang dirancang berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 1729:2020 masih sangat terbatas, khususnya pada objek bangunan pendidikan di Indonesia. Kesenjangan tersebut menunjukkan bahwa masih diperlukan penelitian yang mampu mengintegrasikan pendekatan analisis nonlinier dengan kondisi aktual struktur sehingga mekanisme kegagalan dapat dipahami secara lebih komprehensif.

Kajian pada tingkat nasional juga menunjukkan pentingnya evaluasi kerusakan dan plastisitas pada struktur rangka baja. (Sarasanty et al., 2025) Menekankan Bahwa analisis mekanika pada konstruksi *Truss frame* jembatan penghubung perlu mempertimbangkan distribusi gaya aktual pada titik simpul untuk menghindari kegagalan lokal.

Penerapan konsep *damage plasticity* pada struktur *Truss frame* memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap respons struktur terhadap beban ekstrem. Penelitian (Mao & Ju, 2024). bahwa pemodelan elastis-plastis pada struktur *Truss* mampu mengungkap mekanisme *progressive collapse* yang tidak terdeteksi melalui analisis elastis. Hasil penelitian menegaskan bahwa perilaku pasca-elastis memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja global struktur, khususnya dalam

kondisi pembebanan dinamis dan gempa. Hal ini menjadi penting mengingat wilayah Jawa Timur termasuk kawasan dengan tingkat aktivitas seismik menengah hingga tinggi. Penelitian (Maskur et al., 2024) juga menegaskan bahwa pendekatan penilaian kerusakan struktur baja memberikan dasar yang lebih kuat dalam menentukan tingkat keamanan dan kebutuhan perkuatan struktur.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan *novelty* berupa penerapan pendekatan *damage plasticity* berbasis metode elemen hingga menggunakan ABAQUS untuk mengevaluasi perilaku struktur *Truss frame Skybridge* Gedung Perkuliahan UPN Veteran Jawa Timur. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini tidak hanya menganalisis distribusi tegangan (*von Mises stres*), tetapi juga mengevaluasi perkembangan *plastic strain* (PEEQ), *damage variable* (SDEG), penurunan kekakuan struktur, serta pola kerusakan progresif akibat kombinasi pembebanan sesuai standar nasional Indonesia. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan hasil analisis awal menggunakan SAP2000 dengan simulasi nonlinier ABAQUS sehingga diperoleh identifikasi elemen-elemen kritis yang lebih representatif terhadap kondisi aktual struktur.

Penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi baik dari sisi akademik maupun praktis. Secara akademik, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pengembangan ilmu rekayasa struktur, khususnya dalam penerapan pendekatan *damage plasticity* pada struktur baja bentang panjang. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan menjadi referensi bagi perencana dan praktisi dalam mengevaluasi keamanan struktur *Skybridge* secara lebih realistis melalui pendekatan nonlinier, sehingga mampu mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan, evaluasi, maupun rehabilitasi struktur yang lebih andal, aman, dan sesuai dengan perkembangan teknologi analisis struktur modern.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku struktur rangka baja (*Truss frame*) *Skybridge* Gedung Perkuliahan UPN Veteran Jawa Timur ketika dianalisis menggunakan pendekatan *damage plasticity* ?
2. Bagaimana distribusi tegangan, regangan plastis, dan pola kerusakan yang terjadi pada elemen struktur *Truss frame Skybridge* akibat kombinasi beban yang bekerja sesuai ketentuan SNI dan tools ABAQUS ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung perilaku struktur rangka baja (*Truss frame*) *Skybridge* Gedung Perkuliahan UPN Veteran Jawa Timur ketika dianalisis menggunakan pendekatan *damage plasticity*.
2. Menganalisis distribusi tegangan, regangan plastis, dan pola kerusakan yang terjadi pada elemen struktur *Truss frame Skybridge* akibat kombinasi beban yang bekerja sesuai ketentuan SNI dan tools ABAQUS.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian agar lebih terarah, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada struktur rangka baja *Truss frame Skybridge* Gedung Perkuliahan UPN Veteran Jawa Timur sebagai jembatan penghubung antar gedung, tanpa membahas struktur gedung utama.

2. Analisis struktur dilakukan menggunakan pendekatan *damage plasticity* untuk mengevaluasi perilaku nonlinier material baja dari kondisi elastis hingga terjadinya kerusakan.
3. Pembebanan yang dianalisis meliputi beban mati, beban hidup, dan kombinasi beban sesuai ketentuan SNI, tanpa mempertimbangkan beban ekstrem di luar standar perencanaan.
4. Pemodelan dan analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak ABAQUS, dengan asumsi parameter material, kondisi batas, dan model struktur mengacu pada standar dan literatur yang relevan.
5. Hasil analisis dibatasi pada distribusi tegangan, regangan plastis, dan pola kerusakan elemen struktur, tanpa membahas aspek biaya, metode pelaksanaan, maupun pengujian eksperimental.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, khususnya dalam pengembangan analisis struktur rangka baja pada bangunan gedung.

1. Bagi praktisi teknik sipil, seperti perencana struktur, konsultan, dan kontraktor, penelitian ini diharapkan memberikan gambaran mengenai distribusi tegangan, regangan plastis, serta pola kerusakan yang terjadi pada elemen rangka baja sehingga dapat menjadi dasar dalam meningkatkan ketelitian proses desain, evaluasi keamanan struktur, serta pengambilan keputusan pada tahap perencanaan maupun rehabilitasi bangunan.
2. Bagi institusi pendidikan dan pengelola gedung, hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan maupun evaluasi keamanan Skybridge sebagai fasilitas penghubung antarbangunan, sehingga mampu meningkatkan aspek keselamatan, keandalan, dan umur layan struktur. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi masukan dalam penyusunan kebijakan pemeliharaan

dan inspeksi berkala terhadap struktur baja yang beroperasi dalam lingkungan kampus.

3. Bagi peneliti selanjutnya, penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan studi mengenai perilaku kerusakan struktur baja dengan mempertimbangkan variasi geometri rangka, jenis material, kondisi pembebanan, maupun metode analisis nonlinier lainnya. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi analisis struktur yang lebih akurat, efisien, dan berorientasi pada peningkatan keselamatan konstruksi.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat Latar belakang, Rumusan masalah, Batasan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Menyajikan teori-teori yang mendukung penelitian, Meliputi konsep skybridge, Struktur truss frame, Metode elemen hingga, dan Damage plasticity.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menjelaskan tahapan penelitian, Pemodelan struktur, Pembebanan, Serta prosedur analisis menggunakan ABAQUS.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil analisis dan interpretasi perilaku sambungan kritis.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi simpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.