

Evaluasi Retak Struktural Gedung

Doddy Herman Kurnianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik - Universitas Soerjo, Ngawi, Indonesia

E-mail: kurnianto1@gmail.com

Abstrak

Gedung bengkel terminal telah mengalami kerusakan yang cukup parah dalam kurun waktu yang relatif singkat. Retak terjadi pada hampir di keseluruhan dinding gedung. Tipikal retak pada dinding gedung diindikasikan telah terjadi pergerakan pada sistem struktur gedung. Kerusakan akan semakin parah bila terus dibiarkan. Kerusakan yang terjadi dapat berpengaruh pada kinerja gedung bengkel itu sendiri. Penelitian ditujukan untuk mengidentifikasi kerusakan dan ditentukan langkah perbaikan. Metode Direct Analysis Method (DAM) AISC-2010 dengan LRFD dan SNI 03-2847-2002 digunakan sebagai acuan evaluasi kinerja struktur gedung terpasang. Metode analisis retak panel dinding digunakan dengan pendekatan teori tegangan kontak bidang. Metode pemeliharaan gedung dengan teknik restoration, retrofitting dan strengthening menjadi solusi alternatif pemeliharaan gedung. Konfigurasi sistem struktur dengan banyak bukaan menjadi penyebab terjadinya beban terkonsentrasi. Ketidacukupan kapasitas komponen struktur baja maupun komponen struktur beton menjadi titik lemah yang memicu terjadinya deformasi akibat beban terkonsentrasi.

Kata-kata Kunci: Rehabilitasi, Retak, Dinding, Struktur, Gedung.

Abstract

Terminal building workshop as suffered severe damage in a relatively short period of time. Cracks occurred in almost the entire wall of the building. Typical cracks in building walls indicated there has been a movement in the building structure system. Damage will get worse if left unchecked. The damage can affect the performance of the service station building it self. The research aimed to identify the damage and determined corrective measures. Direct Analysis Method (DAM) AISC-LRFD 2010 with SNI03-2847-2002 and used as a reference for the performance evaluation of the building structure is attached. The method of analysis used cracked wall panel with contact stress field theory approach. Building maintenance with restoration techniques, retrofitting and strengthening a building maintenance alternative solutions. Structure system configuration with many openings into the cause of the concentrated load. Insufficiency capacity of steel structural components and concrete structural components become weak points that lead to deformation due to concentrated load.

Keywords: Rehabilitation, Cracks, Walls, Structures, Buildings.

1. Pendahuluan

Kondisi bangunan bengkel utama terminal Kertonegoro telah mengalami beberapa kerusakan pada saat ini. Kerusakan yang terjadi akan semakin parah bila terus dibiarkan. Kerusakan yang terjadi dapat berpengaruh pada kinerja gedung bengkel itu sendiri, yang pada akhirnya juga berpengaruh pada tingkat pelayanan publik.

Kerusakan yang terjadi diantaranya berupa:

- a. Terjadi retak pada lantai beton disisi luar gedung, yang terangkai menerus dengan retakan pada dinding bangunan.
- b. Terjadi retak yang cukup panjang dengan celah yang cukup lebar dan dalam pada panel dinding.

Retak terjadi pada hampir di keseluruhan panel dinding gedung. Retakan tersebut didominasi oleh retakan dengan tipikal retak horizontal dan vertikal. Bahkan pada panel dinding belakang gedung, retak yang terjadi ada yang tembus sampai pada permukaan dinding pada salah satu sisi lainnya.

Evaluasi bertujuan untuk:

- a. Mengetahui seberapa jauh tingkat kerusakan gedung.
- b. Mengetahui seberapa jauh kondisi kinerja layan struktur gedung.
- c. Menentukan langkah penanganan kegiatan rehabilitasi yang tepat.

Secara umum, kegiatan rehabilitasi dimaksudkan untuk mengembalikan kinerja layan bangunan gedung bengkel. Baik elemen struktural maupun elemen

arsitektural. Rehabilitasi pada gedung yang telah mengalami degradasi akibat kerusakan juga dimaksudkan untuk memperpanjang umur layan. Serta untuk memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna. Bangunan terminal Kertonegoro dioperasikan pada tahun 2009. Namun baru satu tahun difungsikan, sudah terjadi beberapa kerusakan. Kerusakan yang cukup parah terjadi pada gedung bengkel utama.

Pekerjaan Perawatan meliputi beberapa kegiatan, diantaranya adalah perawatan berkala, perbaikan darurat, perbaikan total dan penyempurnaan. Perbaikan darurat dilakukan terhadap kerusakan yang tidak terduga sebelumnya dan berpotensi bahaya/merugikan apabila tidak diantisipasi secepatnya. Perbaikan bersifat sementara harus cepat selesai sehingga kerusakan tidak bertambah parah dan kegiatan rutin tidak terganggu.

Kegiatan pemeliharaan fisik aset fasilitas utama terminal merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan. Kegiatan pemeliharaan ini perlu dilakukan untuk menunjang keberhasilan dalam pengelolaan sebuah aset fasilitas publik dalam membangun capaian. Pemeliharaan aset fasilitas publik merupakan keniscayaan di era modern saat ini. Teknik rehabilitasi dan pemeliharaan bangunan sipil menjadi salah satu disiplin ilmu yang sangat penting dalam menunjang upaya pelestarian aset fasilitas publik tersebut. Bahkan merupakan bagian dari multi disiplin ilmu yang sangat mendasar dalam sebuah komunitas fasilitas publik yang terbangun. Diadopsi dari salah satu teori tentang manajemen fasilitas yang mengatakan bahwa: "Manajemen fasilitas merupakan pengintegrasian multi-disiplin ilmu dalam beraktifitas di dalam sebuah lingkungan yang terbangun, serta manajemen kegiatan personal di tempat kerja", (Canter dan Swallow, 2007).

Tindakan untuk mengembalikan fungsi bangunan pada kondisi yang dapat diterima (*acceptable condition*). Atau kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk mempertahankan elemen - elemen bangunan. Yang dimaksud dengan kondisi yang diterima adalah terpenuhinya syarat - syarat sebagaimana bangunan tersebut difungsikan. Tidak hanya tindakan yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan fisik bangunan, tetapi juga memperhatikan faktor pembiayaan. Penilaian dari sebuah kondisi yang bisa diterima yang menyiratkan suatu pemahaman terhadap pemenuhan kebutuhan untuk penggunaan bangunan secara efektif; yang pada gilirannya memaksa untuk mempertimbangkan secara lebih luas untuk membangun capaian. Pekerjaan perawatan meliputi beberapa kegiatan, diantaranya adalah perawatan berkala, perbaikan darurat, perbaikan total dan penyempurnaan. Perbaikan darurat dilakukan terhadap kerusakan yang tidak terduga sebelumnya dan berpotensi menimbulkan bahaya atau kerugian apabila tidak diantisipasi secepatnya.

Rehabilitasi (*rehabilitation*) merupakan tindakan perbaikan struktur untuk mempertahankan kinerjanya atau memperpanjang masa layannya. Pemeliharaan (*maintenance*) merupakan tindakan rutin, harian, periodik, atau kerja terjadual untuk mempertahankan masa layan dan menghindari penurunan kualitas (*deterioration*) bangunan. Pemeliharaan merupakan pekerjaan minimal yang harus dilakukan dalam upaya menjaga bangunan agar dapat dipakai sesuai umur rencana. Pekerjaan pemeliharaan harus dilakukan secara rutin dan berkala sesuai dengan umur rencana. Pekerjaan pemeliharaan harus dilakukan sepanjang umur bangunan dan dilakukan dalam semua kondisi; baik ada atau pun tidak ada kerusakan pada bangunan tersebut (Mobley, 2008).

Ada tiga tipe kegiatan pemeliharaan:

- a. Pemeliharaan yang bersifat perbaikan (*rehabilitation*)
- b. Pemeliharaan yang bersifat korektif (*corrective*)
- c. Pemeliharaan yang bersifat pencegahan (*preventive*)

Rehabilitasi dimaksudkan untuk mengembalikan kinerja bangunan gedung, baik elemen struktural maupun elemen arsitektural. Disamping untuk mengembalikan kinerja gedung, rehabilitasi pada gedung yang telah mengalami degradasi akibat kerusakan juga dimaksudkan untuk memperpanjang umur layan serta untuk memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna. Rehabilitasi gedung dilakukan dengan beberapa pertimbangan diantaranya, adanya kesalahan dalam perencanaan, misalnya konfigurasi dan sistem struktur yang lemah, kesalahan dalam perhitungan beban rencana, ketidakcukupan dimensi struktur atau penggunaan material serta pemodelan struktur pemikul beban yang tidak sesuai dengan beban rencana. Adanya kesalahan dalam pelaksanaan, misalkan pemadatan urugan tanah yang kurang sempurna atau perletakan pondasi yang tidak mencapai tanah keras sehingga dapat menimbulkan penurunan pada struktur lantai bangunan. Adanya penurunan kekuatan akibat pengaruh dinamis, akibat pengaruh pembebanan dalam jangka waktu lama, atau akibat pengaruh angin maupun beban lingkungan, seperti kondisi lingkungan yang ekstrim, kondisi tanah yang *expansive* serta adanya beban berulang akibat beban lalu lintas maupun beban kejut akibat gaya rem dari kendaraan.

Perilaku retakan diperkirakan berdasarkan survei bangunan dimana retak terbentuk. Konfigurasi struktural yang khas yang secara matematis dimodelkan menggunakan bata model elemen hingga 3D, dengan unsur-unsur tautan antara batu bata dan elemen beton untuk model *interface*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki kondisi tekanan di dinding karena pergerakan atap *slab*.

Lokasi dan arah di mana retak akan terjadi diidentifikasi menggunakan tegangan utama yang dikembangkan dalam model elemen hingga dan kriteria kegagalan dikembangkan berdasarkan pada modifikasi teori *Von Mises*. Model ini juga menggunakan numerik, efek panjang dinding dan bentuk struktur dinding (yaitu beban bantalan dinding dan bingkai dinding beton bertulang) tersebut dipelajari pada pembentukan retak. Hasil ini dibandingkan dengan informasi yang diperoleh dari survei. Pemodelan numerik, retak termal, gerakan termal. *Cracking* adalah bentuk yang paling umum dan terlihat cacat ditemukan pada dinding batu bata. Sebagian besar bangunan mengalami retak pada beberapa waktu selama umur layan. Munculnya retakan adalah gejala terjadinya permasalahan dalam struktur bangunan. Retak pada elemen bahan rapuh seperti batu bata disebabkan oleh gaya-gaya tekan *intern* yang terjadi hingga melebihi kekuatan pecah material. Setelah kekuatan pecah terlampaui, retak mengembang dan tekanan internal hilang. Tekanan ini umumnya disebabkan oleh gerakan bangunan, perubahan suhu, penyusutan karena perubahan kelembaban, proses kimia atau deformasi *creep* bahan. Oleh karena itu, mempelajari retakan dan faktor-faktor yang menyebabkannya adalah penting dalam rangka untuk mengusulkan langkah-langkah perbaikan, (Natn, 2008).

Sebuah model komputasi makro disajikan dalam penelitian ini untuk simulasi statis nonlinear perilaku dinding pasangan bata. Strategi yang diterapkan didasarkan pada pemodelan perilaku nonlinear elemen batu dengan mempertimbangkan sebagai bahan *orthotropic* dan kemudian memperpanjangnya dengan metode sederhana untuk pasangan bata dinding. Model ini mampu mempertimbangkan deformasi geser dan lentur dalam perilaku global. Hal ini juga dapat memprediksi semua mode kegagalan yang mungkin terjadi pada dinding bata seperti kehancuran tekan, geser, goyangan, retak diagonal tarik maupun tekan. Materi model *konstitutif* dan kriteria kegagalan cocok diadopsi untuk setiap mode kegagalan di bawah pengaruh tegangan biaksial. Model kepadatan kontak telah dimodifikasi dan digunakan untuk mensimulasikan perilaku geser pada tumpuan dinding bata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisis dengan pengamatan eksperimental menunjukkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan digunakan analisis dengan metode pendekatan numerik biasa seperti elemen hingga. Selain itu, model yang diusulkan dapat digunakan sebagai makro - model untuk analisis struktur dan memberikan akurasi yang memadai, (Ghiassi et.al, 2008).

Beberapa asumsi penyebab kerusakan gedung ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Faktor *intern* yang berupa gaya dalam (tegangan) akibat pembebanan
- b. Faktor *extern* yang berupa kondisi tanah yang labil, air, angin dan sebagainya.

Penelusuran penyebab kerusakan gedung dilakukan dengan cara menginventarisasi kondisi kerusakan gedung. Dimulai dari beberapa kemungkinan yang paling berpotensi sebagai penyebab utama kerusakan gedung ini. Untuk itu diperlukan analisis kapasitas struktur gedung *existing* terhadap kinerja layan menurut fungsinya. Analisis kuantitatif dilakukan pada seluruh komponen struktur gedung bengkel, dengan cara dilakukan analisis kapasitas elemen struktur gedung.

Metoda Analisis struktur baja digunakan metoda dengan cara empiris *Direct Analysis Method (DAM)*. Yaitu suatu analisis struktur yang dilakukan dengan memasukkan parameter *P-delta* sehingga hasilnya dapat langsung digunakan untuk mengevaluasi design penampang. Tanpa memasukkan koefisien tekuk (K) maupun pembesaran momen (B1 dan B2). Menurut AISC (2005) ada tiga aspek penting yang mempengaruhi perilaku stabilitas elemen, yaitu :

- a. Non-linieritas geometri;
- b. Sebaran plastisitas; dan
- c. Kondisi batas elemen.

Ketiganya sangat berpengaruh pada deformasi struktur ketika dibebani, dan itu akan berdampak pada gaya-gaya internal yang terjadi. Pada struktur yang langsing, deformasi akibat pembebanan tidak dapat diabaikan. Pada era modern saat ini, diatasi dengan analisa struktur orde-2 dengan asumsi keseimbangan struktur akan memenuhi kondisi geometri setelah berdeformasi. Faktor yang dievaluasi adalah pengaruh *second-order effect* yaitu $P-\Delta$ dan $P-\delta$. Dalam penyelesaian konservatif diatasi dengan faktor pembesaran momen B1 dan B2 (Chapter C - AISC 2005). *Direct Analysis Method (DAM)* merupakan suatu metode untuk mengantisipasi penyederhanaan pada analisis dengan cara manual. Keterbatasan metode *Effective Length Method (ELM)* yang merupakan strategi pada program analisis struktur dapat disempurnakan dengan metode analisis DAM. Menurut AISC, "Penelitian terbaru menunjukkan bahwa metode analisis *DAM-AISC-2010* merupakan pendekatan yang terbaik untuk menutupi semua efek respon yang relevan", (Sasibut and Kutyn, 2011).

Untuk analisis struktur baja gedung bengkel digunakan metode perhitungan dengan rumus-rumus empiris dalam *DAM AISC-2010*. Guna mendapatkan nominal kapasitas masing-masing elemen struktur baja. Komponen struktur baja dievaluasi berdasarkan analisis stabilitas elemen struktur yang berhubungan dengan kapasitas aksial dan kapasitas lentur. Parameter kontrol kapasitas struktur baja ditetapkan berdasarkan nilai nominal kapasitas lentur (M_n). Untuk profil *I-shape* dengan penampang kompak dan profil *channels*, kapasitas lentur perlu ditinjau terhadap kapasitas *lateral torsional buckling (LTB)*. Untuk profil *I-shape* dengan penampang non-kompak perlu ditinjau kapasitasnya terhadap *flens local buckling (LTB)*. Ketentuan formulasi *LTB*

dan FLB ditentukan berdasarkan nilai komparasi nominal $L_p < L_b < L_r$. (AISC-2010)

Memperhitungkan deformasi komponen – komponen struktur dan sambungannya, yang berpengaruh pada deformasi struktur secara keseluruhan. Program komputer dapat digunakan untuk menghitung gaya-gaya batang dengan analisis struktur orde ke-2; yang mempertimbangkan pengaruh $P-\Delta$ dan $P-\delta$ dengan melakukan analisa struktur orde ke-2 termasuk *ETABS*. Adapun parameter yang ditinjau adalah berupa kapasitas lentur ($M_n < M_p$), kapasitas aksial yang berupa rasio kelangsingan batang (*slenderness ratio*), dan kontrol stabilitas komponen baja. Ketentuan rasio kelangsingan batang (*slenderness ratio*) dan stabilitas elemen baja ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Compression} = \frac{KL}{r_{\min}} \leq 200 \quad (1)$$

dengan $K=1$ (untuk *DAM*)

$$\text{Tension} = \frac{L}{r} \leq 300 \quad (2)$$

$$\text{Analisis stabilitas} = \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right) \leq 0,93 \quad (3)$$

2. Retak Dinding dan Elemen Struktur Beton

Kerusakan dinding gedung yang berupa retak horizontal dan retak vertikal terjadi hampir merata pada keseluruhan dinding gedung. Retak horizontal juga terjadi pada elemen struktur beton. Secara teoritis, hipotesis awal penyebab retak pada dinding gedung dan pada elemen struktur beton ini dapat diasumsikan disebabkan oleh pergerakan struktur gedung. Namun demikian masih diperlukan pembuktian untuk dapat menyimpulkan penyebab yang pasti kerusakan pada gedung ini. Retak pada panel dinding dianalisis dengan pendekatan teori tegangan bidang kontak pada bidang geser. Retak pada kolom beton dianalisis menurut kapasitasnya terhadap pembebanan aktual. Pemodelan struktur tiga dimensi (*space-frame*) dengan bantuan program aplikasi *ETABS*; dengan model konfigurasi sistem struktur dan mutu material menurut data perencanaan. Bila dengan cara pemodelan yang dilakukan dirasa belum cukup untuk merepresentasikan mekanisme keretakan yang terjadi, maka keberadaan momen retak (M_{cr}) dan kapasitas terhadap tegangan tekuk *Euler Force* (F_{cr}) juga diperhitungkan pada komponen struktur beton dengan mutu material menurut data uji beton yang dilakukan kemudian. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan adanya kemungkinan terjadinya kesalahan pada proses pelaksanaan. Berbeda dengan komponen baja, karena pada material baja, mutu baja sangat ditentukan oleh proses fabrikasi.

Penelitian dilakukan pada gedung bengkel utama Terminal Kertonegoro Kabupaten Ngawi yang mengalami retak parah. Data diambil pada bulan Mei 2011. Gedung bengkel terminal Kertonegoro dirancang menggunakan struktur baja dan struktur beton bertulang untuk komponen struktur utama. Pada komponen struktur atap digunakan komponen struktur rangka baja. Material dinding partisi digunakan pasangan batu bata. Bangunan terminal Kertonegoro dioperasikan pada tahun 2009. Namun baru beberapa tahun difungsikan, sudah terjadi beberapa kerusakan. Kerusakan yang cukup parah terjadi pada gedung bengkel utama. Bila kondisi ini terus dibiarkan akan mempengaruhi tingkat pelayanan dan kinerja gedung bengkel itu sendiri. Terjadi retak pada lantai di sisi luar gedung yang terangkai menerus dengan retakan vertikal pada dinding bangunan. Terjadi retak yang cukup panjang dengan celah yang cukup lebar dan dalam, pada hampir di keseluruhan panel dinding gedung. Retakan tersebut didominasi oleh retakan dengan tipikal retak horizontal dan retak vertikal. Bahkan pada panel dinding belakang gedung, retakan tersebut ada yang tembus sampai permukaan dinding pada salah satu sisi lainnya dengan celah retakan mencapai 8 mm.

Data primer yang berupa data observasi diperoleh dari hasil observasi di lapangan yang berupa dokumentasi fotografi kerusakan gedung bengkel serta dimensi kerusakan. Data yang berupa dokumentasi kerusakan dipergunakan sebagai gambaran umum untuk mendeskripsikan kondisi eksisting bangunan gedung bengkel yang mengalami kerusakan. Langkah awal yang dilakukan pada pemeriksaan visual di lapangan adalah pemeriksaan kondisi fisik bangunan gedung bengkel secara keseluruhan dan kondisi komponen struktur *existing*. Selain dilakukan pengamatan visual di lapangan yang berupa model struktur gedung *existing* dan deteksi adanya kerusakan; juga dilakukan pengukuran dimensi kerusakan yang berhubungan dengan keadalaman, panjang dan lebar retakan. Selanjutnya dilakukan dokumentasi fotografi. Hasil dari dokumentasi fotografi dijadikan acuan untuk klasifikasi komponen yang mengalami kerusakan. Guna mengetahui jenis kerusakan, dan tipe kerusakannya untuk dilakukan analisis lebih lanjut.

Menurut fungsinya, gedung ini direncanakan sebagai bengkel, *car wash*, ruang parkir inap kendaraan dan beberapa fasilitas lain seperti kantin, kamar mandi/WC, dan ruang istirahat sopir. Meskipun gedung ini hanya berlantai satu, namun dengan kondisi struktur yang langsing, keberadaan beban angin perlu diperhitungkan. Mengingat lokasi gedung terletak di kawasan terbuka, dengan minimnya pohon pelindung atau gedung-gedung tinggi di sekitarnya. Maka dipilih beban angin sebesar 25 kg/m^2 sebagai pembebanan sementara. Untuk mengakomodir kemungkinan kersa-

kan yang disebabkan adanya pengaruh getaran akibat maju mundurnya kendaraan pada gedung bengkel ini, perlu diperhitungkan beban kejut pada sloof bagian depan gedung.

Beban kejut diperhitungkan berdasarkan asumsi beban hidup yang bekerja pada balok sloof yang mengalami pembebanan kendaraan (bus) ketika keluar dan memasuki gedung bengkel. Untuk alasan praktis beban bus diasumsikan setara dengan beban *truck* yang mempunyai roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton.

Tahapan yang perlu dilakukan dalam prosedur pemeriksaan gedung adalah investigasi, deteksi, observasi, dokumentasi, dan evaluasi. Investigasi yang berupa pengamatan visual di lapangan sebagai tahapan deteksi kerusakan. Dokumentasi kerusakan dilakukan untuk proses evaluasi detail kerusakan yang berupa

jenis kerusakan dan tipe kerusakan. Kegiatan observasi dilakukan agar diketahui kondisi geometri aktual dan jenis komponen struktur gedung terpasang untuk kontrol kesesuaian dengan data *as built drawing*. Selanjutnya proses eksekusi dan operasional dapat ditentukan; dengan metode perbaikan dan langkah penanganan serta bahan dan peralatan yang digunakan. *Performance* gedung *existing* dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

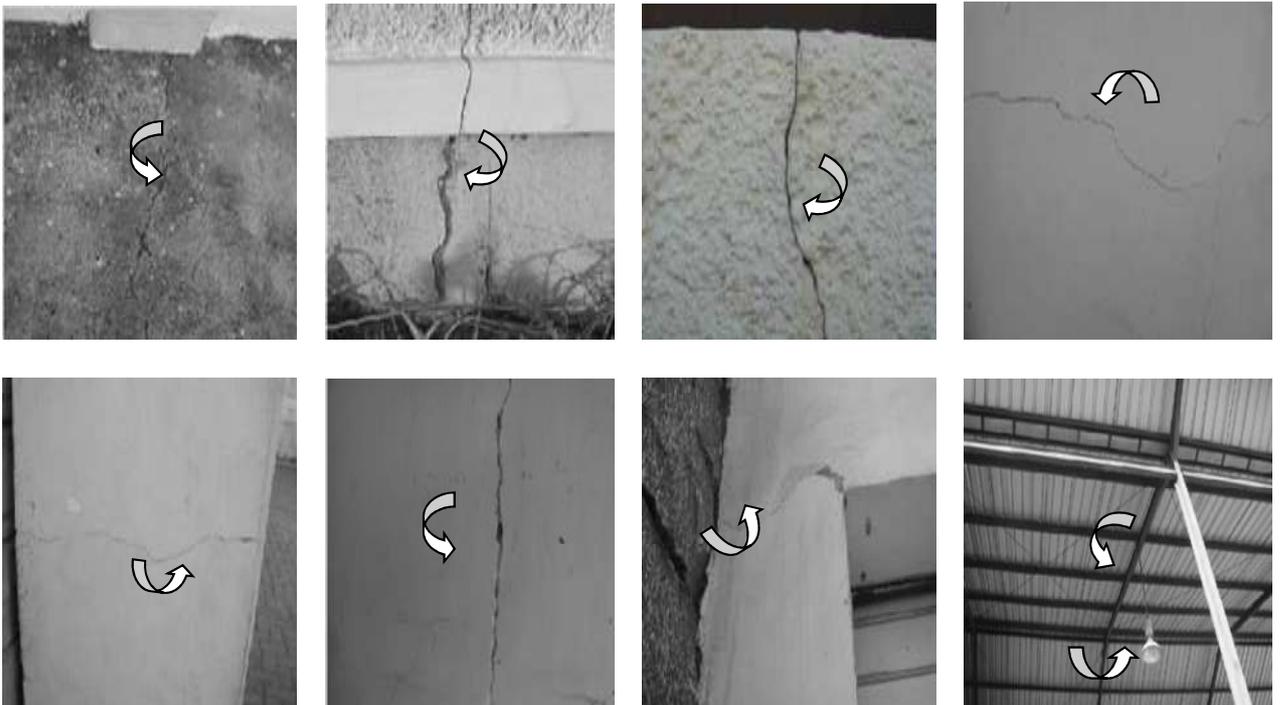
Pemetaan kerusakan pada gedung bengkel dilakukan untuk memudahkan proses penelitian. Data obsevasi yang berupa hasil kegiatan fotografi, pengukuran dimensi dan kedalaman retakan digunakan sebagai acuan untuk proses identifikasi kerusakan. Selanjutnya dilakukan klasifikasi jenis kerusakan yang berupa kerusakan arsitektural dan kerusakan struktural. Adapun data observasi yang berupa hasil kegiatan fotografi dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 1. Gedung bengkel



Gambar 2. Struktur gedung terpasang



Gambar 3. Foto kerusakan gedung

Langkah berikutnya adalah dilakukan pemeriksaan dokumen perencanaan (*as built drawing*); untuk mengetahui apakah ada kesalahan dalam perencanaan. Data *as built drawing* juga digunakan sebagai acuan dalam pemeriksaan apakah terdapat kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi.

Pemodelan dalam program analisis struktur *ETABS* digunakan data material menurut data perencanaan dengan kualifikasi mutu material sebagai berikut:

- Mutu beton (f'_c) = 18,24 Mpa
- Mutu baja (f'_y) = 400 Mpa
(f'_{ys}) = 240 Mpa
- Elemen struktur baja digunakan BJ=370 Mpa.

Untuk dimensi elemen struktur dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

3. Kontrol Kapasitas Struktur Gedung Existing

a. Komponen struktur baja

Metode Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dilakukan dengan cara dimodelkan dalam *ETABS* sebagai struktur tiga dimensi (*space-frame*); agar diketahui respon struktur yang sesungguhnya terjadi terhadap beban aktual yang bekerja. Analisis beban aktual hasil hitungan secara manual diberikan pada masing-masing *frame* pada pemodelan *Etabs*, menurut kondisi aktual di lapangan. *Out put frame Etabs* yang berupa gaya-gaya dalam yang terjadi digunakan sebagai acuan analisis lebih lanjut; sebagai input dalam variabel pada hitungan dengan cara empiris *Direct Analysis Method (DAM)*.

Selanjutnya dilakukan perhitungan secara manual pembebanan gedung menurut kondisi pembebanan aktual. Pembebanan dihitung tanpa diberikan faktor beban (γ). Penggunaan material komponen struktur diperhitungkan seperti apa adanya, tanpa diberikan faktor reduksi kekuatan (Φ). Pemodelan struktur tiga dimensi (*spacesframe*) dilakukan dengan bantuan program analisis struktur *ETABS* menurut kondisi geometri aktual struktur gedung terpasang. Pemodelan tiga dimensi (*space-frame*) dalam *ETABS* bertujuan agar diketahui *respons* struktur yang sesungguhnya terhadap beban aktual yang terjadi. Pemodelan struktur gedung dengan *ETABS* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

In-put beban *frame ETABS* hasil analisis pembebanan secara manual dilakukan untuk mendapatkan gambaran kondisi pembebanan aktual. Untuk mendapatkan nilai *out-put frame ETABS* yang berupa gaya-gaya dalam yang terjadi. Gaya-gaya yang berupa nominal P_u, M_u, V_u, T_u dan data lain untuk keperluan analisis. Serta gambaran mekanisme deformasi elemen struktur gedung akibat distribusi beban dan beberapa informasi

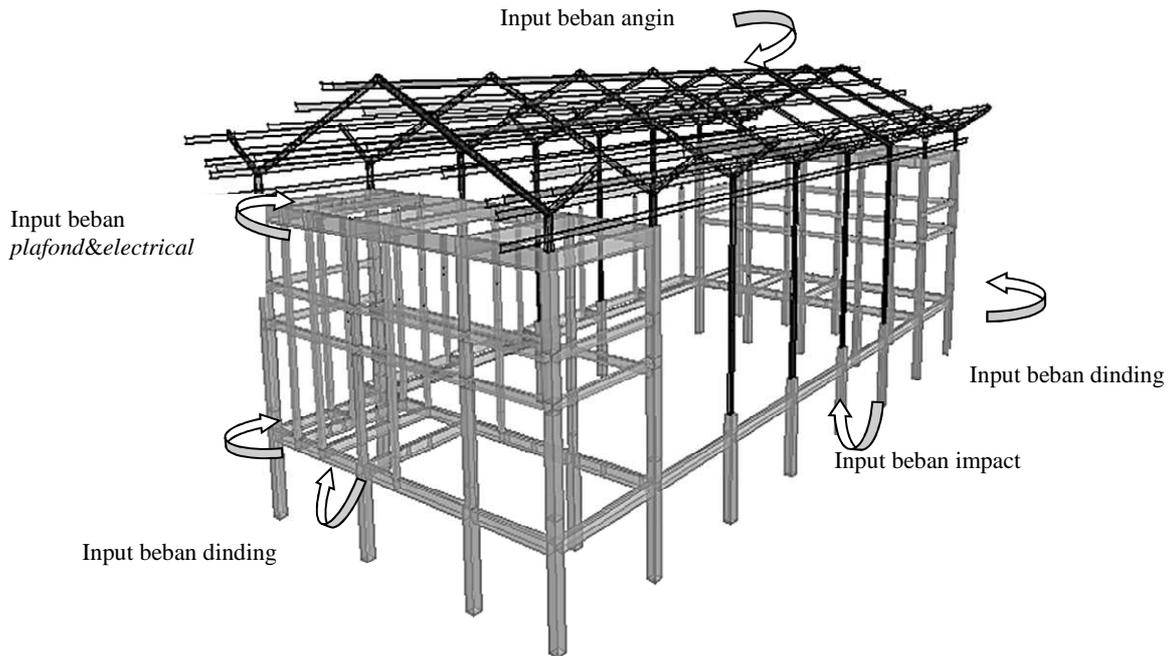
kondisi elemen struktur gedung akibat gaya-gaya aktual yang paling berpengaruh. Pembebanan aktual struktur gedung dapat dilihat pada **Tabel 1** yang dihitung secara manual. Respons struktur terbesar dalam bentuk tabel dapat dilihat pada **Tabel 2** dan pada **Tabel 3**. Hasil analisis dengan *ETABS* menunjukkan adanya beberapa komponen baja maupun beton yang terindikasi mengalami kritis. Kondisi kritis pada komponen struktur baja terjadi pada elemen *channels, rafter, regell* dan kolom *I-shape*.

b. Komponen struktur beton

Untuk analisis kapasitas struktur beton gedung bengkel digunakan metode perhitungan dengan rumus-rumus empiris. Guna mendapatkan nominal kapasitas masing-masing elemen struktur beton. Kapasitas komponen struktur beton hasil dari analisis struktur secara empiris dievaluasi menurut kapasitas gaya aksial, momen, geser, dan torsi (P_n, M_n, V_n dan T_n). Parameter control kapasitas struktur beton terpasang ditetapkan dengan nilai nominal $P_u < P_n$; $M_u < M_n$; $V_u < V_n$ dan $T_u < T_n$. Sebagai kontrol deformasi akibat pembebanan aktual, selanjutnya hasil analisis kapasitas komponen struktur beton secara empiris dikomparasikan terhadap pembebanan aktual yang terjadi dari hasil *out-put frame Etabs* dengan parameter $M_n > M_{acr}$. Untuk komponen struktur beton, kondisi kritis terjadi pada elemen sloof tipe S-1; sloof tipe S-2 dan K-2. Data komponen struktur yang mengalami kritis akibat pembebanan aktual dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

3.1 Analisis kerusakan komponen struktur

Dari analisis kapasitas struktur terhadap pembebanan yang telah dilakukan, membuktikan korelasi yang positif antara pemodelan struktur tiga dimensi *ETABS* dengan metode analisis kapasitas dengan DAM secara manual pada komponen struktur baja. Demikian pula analisis dengan cara empiris pada komponen struktur beton. Pengamatan di lapangan menunjukkan telah terjadi kerusakan pada hampir seluruh komponen struktur gedung. Deformasi inelastis terjadi pada komponen struktur gedung. Hal ini menjadi penyebab terjadinya lendutan pada komponen struktur baja. Dan menjadi penyebab retak pada komponen struktur beton. Deformasi komponen struktur gedung juga mengakibatkan retak pada panel dinding pengisi gedung. Nyata bahwa sebagian besar kerusakan komponen struktur gedung disebabkan oleh ketidakmampuan komponen struktur dalam menahan beban aktual yang terjadi. Pemodelan dengan konfigurasi sistem struktur tiga dimensi *ETABS* dengan besaran material menurut data perencanaan telah cukup merepresentasikan terjadinya deformasi inelastis. Meskipun masih terdapat dua elemen struktur beton K-2 yang perlu dianalisis secara manual, mengingat terdapat ketidakseragaman mutu beton antara data perencanaan ($f'_c = 18.24$ Mpa) dengan data uji beton ($f'_c = 13$ Mpa).



Gambar 4. Pemodelan struktur gedung

Tabel 1. Pembebanan aktual struktur gedung

No.	Komponen	Type	Elemen	Pembebanan	Satuan
I. Struktur Atap					
1	Beban Mati Atap	dead	Frame	0.267	N/mm
2	Beban Angin Atap Arah (-YA)	wind	Frame	-8.662	N/mm
3	Beban Angin Atap Arah (-ZA)	wind	Frame	-19.378	N/mm
4	Beban Angin Atap Arah (-YB)	wind	Frame	-2.887	N/mm
5	Beban Angin Atap Arah (-ZB)	wind	Frame	-6.459	N/mm
II. Beban Ringbalk					
1	Beban Plafond +Elektrikal (X)	dead	Frame	0.343	N/mm
2	Beban Dinding + Plafond +Elektrikal (Y)	dead	Frame	4.267	N/mm
III. Beban Balok Canopy					
1	Dinding + Plat Kanopi X	dead	Frame	8.417	N/mm
2	Plat Kanopi Y	dead	Frame	7.416	N/mm
IV. Beban Balok Rolling Door					
1	Beban Dinding (X)	dead	Frame	7.358	N/mm
2	Beban Dinding + rolling door (Y)	dead	Frame	7.387	N/mm
V. Beban Sloof Ruang Samping					
1	Beban Dinding + screed + keramik (X)	dead	Frame	9.015	N/mm
2	Beban Dinding + Sreet, keramik (Y)	dead	Frame	8.294	N/mm
3	Beban Urugan, Sreet, keramik KM/WC (X)	dead	Frame	4.76	N/mm
4	Beban Urugan, Sreet, keramik KM/WC (Y)	dead	Frame	3.57	N/mm
VI. Beban Sloof Lantai Depan					
1	Beban Impact Sloof depan lantai utama (X)	live	Frame	13.240	N/mm
VII. Beban sloof belakang Lantai Utama					
1	Beban Dinding sloof belakang	dead	Frame	9.442	N/mm

Tabel 2. Respons struktur baja

Elemen	Kode Struktur	Data Elemen		Momen	
		Dimensi (mm)	Kode Elemen (etabs)	Mux.act (N-mm)	Pu (kips)
Channels	Gordink	150 . 65 . 20 . 3,2	B 692	-6.065,94	0,000
I-shape	Rafter	150 . 75 . 5 . 7	D 1937	108,014	2,190
I-shape	Regel	150 . 75 . 5 . 7	B 529	2.734,84	-11,150
I-shape	Kolom	200 . 75 . 5 . 7	C 536	36,298	-10,150

Tabel 3. Respons struktur beton

Data Elemen			Kapasitas Momen		Kapasitas Geser		Kapasitas Torsi		Kapasitas Aksial	
Elemen	Kode	Dimensi (mm)	M_n (N-mm)	$M_{n,act}$ (N-mm)	V_n (Mpa)	V_{act} (Mpa)	T_n (Mpa)	T_{act} (Mpa)	P_n (N)	P_{act} (N)
Balok	B-1	200 X 400	497.490.165,482	34.977.196,64	52.159,242	7.780,38	8.050.330,566	-1.047.892,82	253.320,912	-5.957,96
	B-2	200 X 300	49.490.223,065	4.374.779,74	44.359,564	-650,43	6.037.747,925	-101.535,59	379.724,396	-117,69
	B-3	150 X 300	65.808.760,870	5.159.859,43	30.016,505	7.554,00	3.396.233,208	-790.349,65	264.994,996	-147,91
Sloof	S-1	200 x 300	49.490.223,065	-80.917.289,70	44.359,564	-10.205.128,43	6.037.747,925	21.846.435,65	379.724,396	-25.311,20
	S-2	150 x 300	65.808.760,870	-58.226.983,70	30.016,505	49.930,64	3.396.233,208	-6.332.130,71	264.994,996	20.620,63
Kolom	K-1	300 x 300	103.107.562,969	8.641.160,15	43.726,138	6.190,16	13.584.932,830	8.378,25	362.804,345	-141.900,13
	K-2	200 x 200	35.623.155,22	-2.006.419,50	15.250,47	-2.043,67	4.025.165,28	122.211,63	94.763,19	-134.688,91
	K-3	150 x 150	25.856.365,724	843.079,30	10.895,34	1.035,64	10.895,34	-8.947,19	73.102,597	26.682,09

Tabel 4. Komponen baja kritis

Elemen	Data Elemen Kode	Dimensi (mm)	Kapasitas Lentur $M_{ux} < M_{nx}$ (kip-in)		Kapasitas Aksial $Comp \leq 200$ $Tens \leq 300$		Stabilitas $P_u < P_n$ (kips)	
			M_{ux}	M_{nx}	$\frac{KL}{F_{tmm}}$	$\frac{L}{r}$	P_u	P_n
			Channels	Gordink	150 . 65 . 20 . 3,2	-6.065,94	28,749	425,9376
I-shape	Rafter	150 . 75 . 5 . 7	108,014	58,146	107,118	107,118	2,190	1,493
I-shape	Regel	150 . 75 . 5 . 7	2.734,84	17,538	511,696	511,696	-11,150	2,149
I-shape	Kolom	200 . 75 . 5 . 7	36,298	90,105	277,486	277,486	-10,150	13,186

Tabel 5. Komponen beton kritis

Data Elemen			Kapasitas Momen		Kapasitas Geser		Kapasitas Torsi		Kapasitas Aksial	
Elemen	Kode Elemen	M_n (N-mm)	$M_{n,act}$ (N-mm)	V_n (Mpa)	V_{act} (Mpa)	T_n (Mpa)	T_{act} (Mpa)	P_n (N)	P_{act} (N)	
S-1	B529	49.490.223,065	-17.486.317,53	44.359,564	-3.735.841,78	6.037.747,925	-2.329.587,53	379.724,396	31.897,00	
	B651	49.490.223,065	13.193.333,88	44.359,564	-10.205.128,43	6.037.747,925	13.193.333,88	379.724,396	6.708,12	
	B653	49.490.223,065	8.057.379,48	44.359,564	5.520.261,67	6.037.747,925	8.057.379,48	379.724,396	-3.067,93	
	B655	49.490.223,065	-9.368.559,67	44.359,564	-7.794.902,62	6.037.747,925	-9.368.559,67	379.724,396	-6.874,00	
	B656	49.490.223,065	6.061.401,89	44.359,564	4.468.480,14	6.037.747,925	6.061.401,89	379.724,396	-6.623,29	
	B657	49.490.223,065	8.269.201,72	44.359,564	6.810.119,45	6.037.747,925	8.269.201,72	379.724,396	-5.564,50	
	B648	49.490.223,065	-28.061.217,04	44.359,564	-37.121,43	6.037.747,925	4.249.287,27	379.724,396	-3.699,03	
	B650	49.490.223,065	13.305.423,70	44.359,564	25.927,62	6.037.747,925	-3.567.985,87	379.724,396	-4.527,97	
	B540	49.490.223,065	-40.588.154,80	44.359,564	58.730,94	6.037.747,925	4.399.634,67	379.724,396	7.850,85	
	B675	49.490.223,065	-28.341.955,49	44.359,564	-38.987,32	6.037.747,925	-4.203.347,88	379.724,396	8.325,72	
	B530	49.490.223,065	-33.414.616,40	44.359,564	-33.217,08	6.037.747,925	9.985.710,05	379.724,396	2.839,08	
	B595	49.490.223,065	-78.289.095,00	44.359,564	-86.169,29	6.037.747,925	21.846.435,65	379.724,396	-2.716,98	
	B597	49.490.223,065	-80.917.289,70	44.359,564	-87.116,30	6.037.747,925	-19.179.873,62	379.724,396	-1.119,71	
	B587	49.490.223,065	-37.545.832,50	44.359,564	-40.145,35	6.037.747,925	-11.558.267,02	379.724,396	2.194,08	
S-2	B658	65.808.760,870	-35.402.089,30	30.016,505	29.478,89	3.396.233,208	-6.332.130,71	264.994,996	10.002,28	
	B660	65.808.760,870	-58.226.983,70	30.016,505	49.930,64	3.396.233,208	-1.394.462,29	264.994,996	19.031,25	
	B661	65.808.760,870	-39.047.110,10	30.016,505	-30.181,29	3.396.233,208	3.390.971,39	264.994,996	20.620,63	
	B662	65.808.760,870	12.406.991,45	30.016,505	-2.729,37	3.396.233,208	3.535.077,93	264.994,996	6.787,40	
K-2	C506	35.623.155,22	-1.609.793,52	15.250,47	-1.512,54	4.025.165,28	-106.709,67	94.763,19	-134.688,91	
	C607	35.623.155,22	-2.006.419,50	15.250,47	-2.043,67	4.025.165,28	122.211,63	94.763,19	-131.190,07	

3.1.1 Kerusakan komponen struktur baja

Pada komponen strukturbagedung telah terjadi lendutan (deformasi inelastis) pada profil *rafter* dan *regell*. Disebabkan oleh kurangnya stabilitas lentur. Pada profil *channel* dan kolom *I-shape*, meskipun tidak sampai mengalami lendutan atau pun tekuk permanen (hanya mengalami deformasi elastis), tetapi dengan kondisi elemen struktur yang tidak stabil juga dapat memicu terjadinya pergerakan struktur gedung terpasang. Hal ini disebabkan oleh kurangnya kapasitas aksial kedua profil tersebut, sehingga menyebabkan instabilitas elemen struktur.

3.1.2 Kerusakan kolom beton

Dari analisis kapasitas struktur terhadap pembebanan yang telah dilakukan, nyata bahwa sebagian besar kerusakan komponen struktur disebabkan oleh ketidakmampuan komponen struktur dalam menahan beban aktual yang terjadi. Pemodelan dengan konfigurasi sistem struktur tiga dimensi dan besaran material menurut data perencanaan telah nyata membuktikan terjadinya deformasi inelastis pada struktur gedung. Meskipun masih terdapat perbedaan dengan kondisi di lapangan.

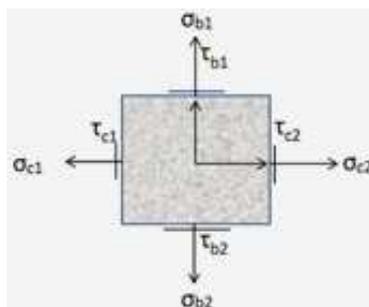
Menurut analisis struktur dalam pemodelan yang telah dilakukan, hanya terdapat 2 kolom tipe K-2 yang mengalami kritis akibat pembebanan aktual dari

keempat jumlah keseluruhan kolom tipe ini. Padahal berdasarkan pengamatan di lapangan, ternyata telah terjadi retak pada seluruh kolom tipe ini. Sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut penyebab retak pada kedua kolom tipe K-2 lainnya yang menurut pemodelan seharusnya tidak mengalami retak. Hal ini perlu dilakukan barangkali terdapat kesalahan dalam pelaksanaan yang terkait dengan rendahnya mutu beton.

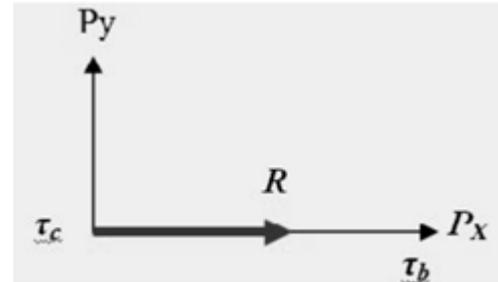
Dari uji beton yang dilakukan kemudian, mutu beton pada kedua kolom tipe K-2 dimaksud, diketahui adalah 13 Mpa. Sehingga perlu dilakukan analisis terhadap kemungkinan terjadinya momen retak (M_{cr}) dan tegangan tekuk (F_{cr}). Dari analisis momen retak (M_{cr}), diketahui bahwa penyebab retak pada kedua kolom tipe ini bukanlah akibat terjadinya momen retak (M_{cr}). Selanjutnya digunakan rumus tekuk Euler Force untuk menghitung tegangan retak pada kolom ini. Dari hasil hitungan dengan beban tekuk Euler ini diketahui bahwa penyebab retak pada kolom ini adalah disebabkan karena adanya beban tekuk (F_{cr}) yang melebihi batas nominal nilai modulus of rupture (f_r) sebesar 2,642 Mpa.

3.1.3 Kerusakan dinding gedung

Kerusakan dinding gedung yang berupa retak horizontal dan retak vertikal diindikasikan disebabkan oleh pengaruh pergerakan struktur pada bingkai portal panel dinding. Pada bangunan ini, panel dinding hanya berfungsi sebagai dinding partisi non struktural. Analisis dilakukan dengan pendekatan teori tegangan kontak bidang. Mekanisme keruntuhan panel dinding dianalisis berdasarkan transfer tegangan normal dari portal dinding yang bekerja pada keempat sisi panel dinding. Transfer tegangan kontak yang terjadi diasumsikan sebagai gaya-gaya geser yang bekerja pada permukaan bidang kontak antara panel dinding dengan portal. Kuat tekan bidang panel dinding bata diasumsikan sebesar $f'_c = 11,05 \text{ Mpa}$. Sehingga batas maksimum tegangan kontak pada panel dinding dapat ditentukan sebesar $\sigma_{b0} = 9,037 \text{ Mpa}$ untuk tegangan balok dan $\sigma_{c0} = 11,049 \text{ Mpa}$ untuk tegangan kolom. Diadopsi dari salah satu teori tegangan bidang dua dimensi seperti pada Gambar 5. Arah resultante tegangan geser yang bekerja pada panel dinding dapat dilihat pada Gambar 6.



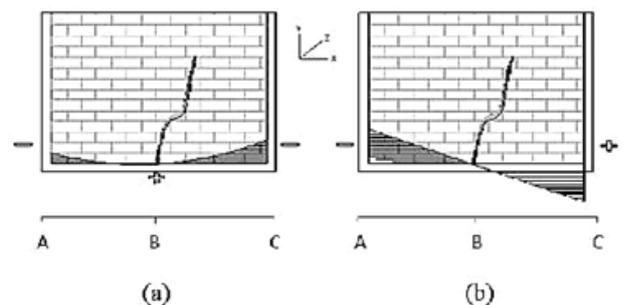
Gambar 5. Tegangan bidang



Gambar 6. Resultante gaya

Dari hitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa tegangan geser yang paling dominan adalah karena disebabkan oleh gaya geser akibat deformasi pada balok sloof. Secara teori gaya geser mempunyai arah tangensial. Artinya arah gaya geser sejajar terhadap bidang geser. Karena gaya-gaya vertikal nilainya sangat kecil, maka dapat dianggap tidak berpengaruh. Sehingga nilai sudut tangen α untuk arah resultante gaya dapat dianggap 0°. Dari Etabs diketahui bahwa deformasi yang terjadi pada balok sloof membentuk pola momen seperti pada Gambar 7.

Gambar 7a menunjukkan bahwa, pada saat yang bersamaan kedua ujung kiri dan kanan panel dinding bergerak ke atas akibat interaksi dengan momen pada balok sloof. Momen terhadap sumbu horizontal (x) yang terjadi pada tengah bentang balok sloof (titik B) sebesar 1.775,344,08 N-mm dan pada ujung sebelah kanan balok sloof (titik C) sebesar -35.414.652,565 N-mm. Karena tegangan yang terjadi pada ujung panel dinding di sebelah kanan (bentang B-C) lebih besar dari pada tegangan pada ujung panel dinding di sebelah kiri (bentang A-B), maka terjadi pergeseran bidang panel dinding pada titik tangkap gaya yang terjadi. Pola momen seperti pada Gambar 7b hanya mungkin terjadi pada elemen yang terdeformasi akibat beban lateral. Pola momen pada balok sloof ini menunjukkan adanya beban lateral yang bekerja. Beban lateral dimungkinkan terjadi akibat interaksi balok sloof panel dinding belakang gedung dengan balok sloof penghubung pada struktur utama gedung. Pada saat yang bersamaan juga terjadi momen terhadap sumbu vertikal (y) yang terjadi pada ujung balok sebelah kiri sloof (titik A) sebesar -5.672.059 N-mm. Pada ujung sebelah kanan balok sloof (titik C) terjadi momen sebesar 5.659.943 N-mm. Sehingga pada ujung sebelah kiri



Gambar 7. Resultante gaya

panel dinding (bentang A-B) akan bergerak ke arah belakang (sumbu z+). Dan pada ujung sebelah kanan panel dinding (Bentang B-C) bergerak ke arah depan (sumbu z-). Oleh sebab interaksi panel dinding dengan momen pada balok sloof, maka terjadi translasi pada panel dinding. Terjadi retak di tengah panel dinding (titik B) dan tembus ke sisi lainnya. Posisi titik tangkap gaya (R) terjadi pada titik B. Sehingga retak vertikal yang terjadi dimulai dari titik B dan terus bergerak ke atas. Untuk retak horizontal, panel dinding juga mengalami hal yang sama; hanya dengan mekanisme keruntuhan yang berbeda. Retak dinding hanyalah indikator dari dampak adanya kerusakan gedung. Dimensi retak menunjukkan seberapa besar dampak dari adanya pengaruh deformasi komponen struktur yang tidak stabil atau kurang kekakuannya. Ini menunjukkan bahwa untuk menjamin kekokohan sebuah struktur gedung adalah diperlukan stabilitas dan kekakuan dari seluruh komponen struktur. Kurangnya kekakuan dan stabilitas balok sloof dan model gedung dengan banyak bukaan yang rentan terhadap gaya geser dan torsi diindikasikan menjadi penyebab awal kerusakan gedung ini. Hal ini disebabkan oleh kondisi penulangan balok sloof yang *under reinforced*, rendahnya mutu beton serta kurangnya dimensi elemen struktur beton. Khusus pada perencanaan balok sloof, kekakuan dan stabilitas elemen jauh lebih penting dari pada sekedar daktilitas yang baik. Mengingat gedung ini direncanakan difungsikan sebagai bengkel dengan banyak bukaan pada portal dinding. Penelitian ini membuktikan adanya pengaruh konfigurasi sistem struktur terhadap pembebanan. Keberadaan portal kolom yang tidak simetris dan model gedung bengkel dengan banyak bukaan dimungkinkan memicu terjadinya konsentrasi tegangan ditempat-tempat tertentu. Deformasi pada balok sloof penghubung struktur utama dengan portal dinding belakang gedung dimungkinkan terjadinya transfer tegangan pada portal dinding belakang gedung yang tidak diperkuat dengan balok pengikat. Kekokohan sebuah struktur ditentukan oleh kekakuan dan stabilitas setiap komponen struktur. Stabilitas struktur juga dipengaruhi oleh konfigurasi antar komponen pada sistem struktur. Secara umum, salah satu penyebab kerusakan gedung disebabkan oleh kurangnya kekakuan dan stabilitas komponen struktur gedung. Konsentrasi tegangan yang berlebihan pada komponen struktur yang tidak didukung oleh kapasitas yang memadai mengakibatkan pergerakan pada sistem struktur gedung. Kurangnya kekakuan lateral balok sloof pada pondasi memicu terjadinya deformasi.

4. Kesimpulan

Identifikasi penyebab kerusakan gedung bengkel

Kerusakan komponen struktur baja gedung disebabkan oleh adanya kelemahan pada beberapa elemen struktur.

- a. Kerusakan komponen strukturbaja:
 - 1) Profil *Channels* karena syarat stabilitas dan kapasitas aksial tidak terpenuhi
 - 2) Profil *Rafter* karena syarat stabilitas lentur tidak terpenuhi
 - 3) Profil *Regel* karena syarat stabilitas lentur dan kapasitas aksial tidak terpenuhi
 - 4) Profil *Kolom I-shape* karena ketidakcukupan kapasitas aksial
- b. Kerusakan komponen strukturbeton hanya terjadi pada tipe kolom K-2:
 - 1) Retak pada empat elemen kolom beton tipe K-2. Retak pada dua kolom (C.506) dan (C.607) disebabkan oleh pengaruh gaya aksial yang bekerja melebihi kapasitas tekuk kolom. Duakolom K-2 lainnya (C.605) dan (C.588) mengalami retak yang disebabkan karena rendahnya mutu beton ($f^c = 13 \text{ Mpa}$). Sehingga ketika gaya aksial bekerja pada kolom, beton mengalami retak. Hal ini terjadi karena disebabkan oleh adanya beban tekuk (F_{cr}) yang melebihi batas nominal nilai modulus of rupture (f_r) sebesar 2,642 Mpa.
 - 2) Ketidakcukupan dimensi struktur, pada komponen balok sloof menjadikan balok sloof lemah terhadap bahaya geser maupun torsi. Sehingga memicu terjadinya beban terkonsentrasi.
- c. Kerusakan panel dinding

Kerusakan pada panel dinding gedung yang berupa retak vertikal dan horizontal disebabkan oleh terjadinya pergerakan pada struktur gedung. Pergerakan struktur gedung disebabkan oleh terjadinya deformasi plastis pada komponen balok sloof yang lemah terhadap bahaya geser maupun torsi.

Deformasi awal terjadi akibat beban terkonsentrasi. Penelitian ini membuktikan bahwa retak yang terjadi pada panel dinding partisi dapat digunakan sebagai indikator adanya permasalahan pada komponen struktur gedung termasuk pada konfigurasi sistem struktur.

Daftar Pustaka

- AISC, 2005, *ANSI/AISC 360-05: An American National Standard - Specification for Structural Steel Building*, Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, One East Wacker Drive, Suite 700.
- AISC, 2010, *ANSI/AISC 360-10: An American National Standard - Specification for Structural Steel Building*, Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, One East Wacker Drive, Suite 700.
- Chanter, Swallow, P.B., 2007, *Building*, British England: Maintenance Management. Second edition.
- Ghiassi, B., Soltani, M., Tasnimi, A.A., 2008, *A Simplified Model for Analysis of Unreinforced Masonry Shear Walls under Combined Axial, Shear and Flexural Loading*, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Iran: Tarbiat Modares University, Jalaale-al Ahmad Ave., Tehran, P.O. Box: 14115-143.
- Mobley, R.K., Higgins, L., Rand Narrow, D.J., 2008, *Maintenance Engineering Handbook Seventh Edition*, USA, <http://dx.doi.org/10.1036/007154/6464>
- Natn, J., 2008, *Sci. Foundation Sri Lanka* 2008 36 (3): 205-213, Field Survey and Numerical Modelling of Cracking in Masonry Walls Due to Thermal Movements of An Overlying Slab**, K.G.S. Dilrukshi and W.P.S. Dias*, Katubedda: Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Moratuwa.
- Sasibut, S., (Application Engineer) and Kutyn, K., (Jr. Application Engineer), 2011, *Direct Analysis Method-Part I*, Solver Prerequisites for Accuracy of Solution, Canada-USA, www.s_frame.com.

