

Upaya Penguatan Keselamatan Prasarana Sekolah melalui Evaluasi Teknis Struktur Kolom pada Bangunan Pendidikan di Bojonegoro

Kohar Yudoprasetyo*¹, Alfian Dimas Prasetya², Moh. Fadhlan Rosyidi³, Ifarrel Rachmanda Hariyanto⁴, Yosi Noviari Wibowo⁵, Raden Buyung Anugraha Affandhie⁶, Moh. Safi'i Mansur⁷, Khansa Fadilah Ashara⁸, Muhammad Sigit Darmawan⁹, Mohammad Akbar Alrasyidi¹⁰, Hendra Wahyudi¹¹

^{1,3,4,5,6,7,8,9,10,11}Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

²Mahasiswa Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

*e-mail: kohar.yudo@its.ac.id¹

Abstrak

Penelitian pengabdian ini mengevaluasi kinerja kolom beton bertulang pada Bangunan Pendidikan di Kabupaten Bojonegoro untuk meningkatkan keselamatan prasarana sekolah. Inspeksi visual menemukan deviasi penempatan tulangan longitudinal hingga ± 13 cm dan beberapa tekukan $>45^\circ$, yang berpotensi menimbulkan eksentrisitas beban. Analisis struktur dilakukan menggunakan SAP2000 untuk memperoleh gaya dalam, kemudian diverifikasi dengan diagram interaksi P-M pada SPColumn mengacu SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019. Hasil menunjukkan bahwa titik kerja (P, M_r) dengan $M_r = M_2 + M_{ecc}$ berada di dalam selubung kapasitas, sehingga kapasitas ultimit penampang masih mencukupi untuk kombinasi beban terfaktor yang ditinjau. Meski demikian, guna memulihkan jalur gaya, meningkatkan confinement, dan keandalan jangka panjang, direkomendasikan jacketing beton bertulang dengan penanaman tulangan (starter bar) ke pilecap. Sosialisasi hasil dilaksanakan melalui koordinasi Tim Pengabdian Masyarakat/Narasumber (TPM) dan Mitra (Pemilik Bangunan), menghasilkan paket rekomendasi teknis, jadwal implementasi, serta mekanisme kendali mutu dan K3 yang akuntabel

Kata Kunci: Evaluasi Struktur, Keselamatan Bangunan, Perkuatan Struktur, SAP2000, Struktur Beton

Abstract

This community service research evaluates the performance of reinforced concrete columns in an educational building in Bojonegoro Regency to enhance school infrastructure safety. Visual inspection identified deviations in the placement of longitudinal reinforcement of up to ± 13 cm and several bends exceeding 45° , which may induce load eccentricity. Structural analysis was conducted using SAP2000 to obtain internal forces, which were subsequently verified using P-M interaction diagrams generated with SPColumn in accordance with SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, and SNI 2847:2019. The results indicate that the operating point (P, M_r), where $M_r = M_2 + M_{ecc}$, lies within the capacity envelope, confirming that the ultimate capacity of the cross-section remains adequate for the considered factored load combinations. Nevertheless, to restore the load path, enhance confinement, and improve long-term reliability, reinforced concrete jacketing with starter bars anchored into the pile cap is recommended. Dissemination of the findings was carried out through coordination between the Community Service Team/Experts (TPM) and the Partner (Building Owner), resulting in a set of technical recommendations, an implementation schedule, and accountable quality control and occupational health and safety (OHS) mechanisms.

Keywords: Building Safety, Concrete Structures, Structural Evaluation, SAP2000, Structural Strengthening

1. PENDAHULUAN

Bangunan pendidikan di Kabupaten Bojonegoro, khususnya yang dibangun beberapa dekade lalu, saat ini menghadapi permasalahan serius terkait keamanan struktural. Salah satu sekolah mitra mengalami kondisi kritis pada elemen kolom beton bertulang yang menjadi komponen utama penyangga bangunan. Hasil inspeksi awal menunjukkan adanya penyimpangan geometri tulangan kolom dari sumbu vertikal rencana hingga sekitar 13 cm disertai pembengkokan tulangan lebih dari 45° . Kondisi ini berpotensi menurunkan kapasitas aksial dan lentur kolom serta menimbulkan eksentrisitas beban yang dapat mengancam

keselamatan siswa dan tenaga pendidik. Pihak sekolah menyampaikan kekhawatiran akan risiko keruntuhan dan membutuhkan solusi teknis yang cepat dan efektif untuk memastikan bangunan tetap layak dan aman digunakan.

Permasalahan struktural seperti ini tidak bisa diabaikan mengingat fungsi vital bangunan sekolah sebagai tempat berlangsungnya proses pendidikan. Elemen kolom yang mengalami deviasi dan pembengkokan berlebihan dapat mengalami penurunan kapasitas dalam menahan beban vertikal dan lateral, terutama saat terjadi gempa. Penelitian di sekolah dasar Kota Padang menunjukkan bahwa kondisi fisik kolom beton bertulang yang telah melewati batas desain seismik meningkatkan potensi keruntuhan secara signifikan (Roi et al., 2022). Studi lain juga menemukan bahwa kolom eksisting sering mengalami degradasi kapasitas akibat penyusutan dimensi dan korosi tulangan yang menurunkan kemampuan struktur menahan gaya tekan dan lentur (Nguyen, 2022). Dalam konteks bangunan pendidikan yang memiliki fungsi sosial tinggi, kondisi struktural yang tidak memadai dapat membahayakan ratusan siswa setiap harinya.

Merespons kebutuhan mendesak mitra, tim pengabdian melakukan evaluasi teknis menyeluruh terhadap kondisi kolom melalui inspeksi lapangan dan analisis numerik menggunakan metode finite element analysis dengan perangkat lunak SAP2000 (Computers & Structures, 2017). Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan kekuatan aktual kolom dan tingkat deformasi terhadap beban eksisting, sehingga dapat dirumuskan solusi perkuatan yang tepat. Berbeda dengan evaluasi dalam konteks penelitian akademik yang fokus pada pengembangan model atau pengujian hipotesis, evaluasi dalam kegiatan pengabdian ini berorientasi pada transfer keahlian dan penyediaan solusi langsung untuk mengatasi permasalahan nyata di lapangan.

Berdasarkan hasil evaluasi, ditetapkan metode perkuatan menggunakan teknik jacketing, yaitu penambahan lapisan beton baru dan tulangan tambahan yang di-anchoring ke pilecap menggunakan chemical anchor. Metode ini dipilih karena mampu meningkatkan kapasitas aksial dan lentur kolom tanpa mengubah sistem struktur utama serta dapat diterapkan pada bangunan eksisting tanpa pembongkaran besar (Christ et al., 2023; Dritsos, 2007). Penelitian terkini menunjukkan bahwa kombinasi jacketing dan perbaikan tulangan mampu memperbaiki performa gempa hingga dua kali lipat pada struktur dengan kolom yang tidak sesuai standar seismik (Bohara et al., 2025). Pelaksanaan perkuatan dilakukan sesuai dengan standar nasional SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi teknis terhadap kondisi struktural kolom beton bertulang pada bangunan sekolah mitra, merancang dan melaksanakan perkuatan kolom menggunakan metode jacketing sesuai standar nasional, serta memberikan pendampingan kepada pihak sekolah terkait pemeliharaan berkala struktur bangunan untuk menjaga keamanan jangka panjang. Melalui kegiatan ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan bangunan pendidikan, memberikan transfer pengetahuan kepada mitra tentang pentingnya evaluasi struktural, serta mendorong penerapan sistem pemeliharaan preventif yang berkelanjutan sebagaimana direkomendasikan dalam penelitian (Liu & Arifin, 2021) yang menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif dapat menurunkan biaya rehabilitasi dan memperpanjang masa layanan bangunan sekolah.

2. METODE

2.1. Pembagian Peran

Tim Pengabdian Masyarakat (TPM) bertanggung jawab dalam menyusun metodologi evaluasi struktural, melakukan pemodelan struktur menggunakan SAP2000, melaksanakan evaluasi diagram interaksi aksial-momen (P-M) menggunakan SPColumn, serta menyusun rekomendasi teknis perkuatan. Mitra dalam kegiatan ini adalah pemilik bangunan yaitu Kementerian Dinas Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya Provinsi Jawa Timur

selaku pengelola dan pemilik bangunan sekolah. Mitra berperan menyediakan akses lokasi dan data teknis bangunan eksisting, menyinkronkan jadwal kegiatan dengan operasional sekolah, menyiapkan logistik dan sarana pendukung di lapangan, serta memutuskan alokasi pendanaan dan linimasa implementasi perkuatan struktur.

2.2. Inspeksi Visual

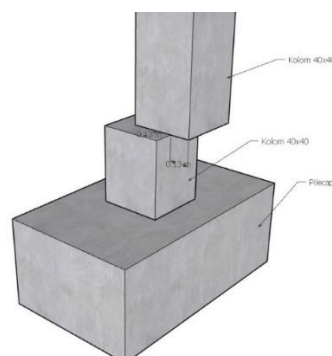


Gambar 1. (a) Kondisi Pergeseran Kolom; (b) Kondisi Aktual Kolom yang Bermasalah

Dalam konteks pengabdian, inspeksi visual dilaksanakan secara kolaboratif dengan melibatkan perwakilan mitra dan pengelola sekolah untuk membangun kapasitas identifikasi dini kerusakan struktur. TPM memberikan pelatihan singkat mengenai tanda-tanda visual yang mengindikasikan masalah struktural, seperti deviasi geometri, retak pola, dan korosi tulangan. Dokumentasi lapangan dilakukan bersama-sama untuk memastikan mitra memahami cara membaca dan merekam kondisi struktur secara sistematis.

2.3. Pemodelan Struktur

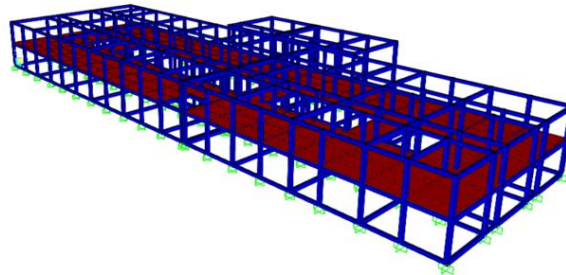
Pemodelan struktur dilakukan melalui dua tahapan yang saling berkesinambungan, Tahap pertama yaitu pengumpulan data teknis, meliputi dimensi kolom (40×40 cm di bagian atas dan 25×25 cm di bagian bawah), mutu beton $f_c' = 27$ MPa, serta spesifikasi tulangan utama D16 dan sengkang D10. Serta estimasi pergeseran kolom yang terjadi pada lapangan dapat dilihat pada Gambar 2. Seluruh data lapangan digunakan sebagai dasar pemodelan struktur pada perangkat lunak SAP2000 (Moh Fadhlan Rosyidi et al., 2025; Yudoprasetyo et al., 2024).



Gambar 2. Ilustrasi Pergeseran Kolom Struktur

Tahap kedua adalah pemodelan struktur seperti pada Gambar 3., di mana sistem bangunan dimodelkan sebagai *moment resisting frame* dengan elemen balok, kolom, dan pelat lantai. Pemodelan ini dimaksudkan untuk memprediksi perilaku struktur dalam menahan beban gravitasi dan beban lateral akibat gempa. Selanjutnya dilakukan input pembebanan berdasarkan

SNI 1727:2020 (Badan Standarisasi Nasional, 2020) untuk beban mati dan hidup, serta SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) untuk beban gempa. Beban tambahan seperti beban angin dan *finishing* juga diperhitungkan dalam model agar respons struktur dapat direpresentasikan secara realistis.



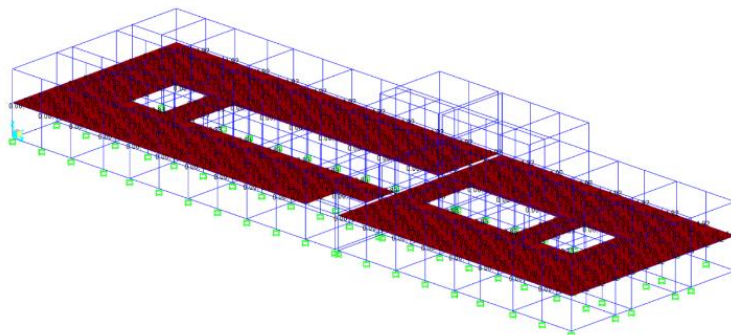
Gambar 3. Pemodelan Struktur Bangunan Pendidikan di Bojonegoro

Proses pemodelan tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai media edukasi bagi mitra dalam memahami perilaku struktur di bawah beban. TPM mengadakan sesi demonstrasi interaktif di mana mitra diajak untuk memahami logika pemodelan, input parameter, dan interpretasi output visual seperti diagram momen dan defleksi. Pendekatan ini bertujuan agar mitra tidak sekadar menerima hasil analisis sebagai "angka mentah," tetapi memiliki literasi teknis dasar untuk berdialog dengan konsultan atau kontraktor di masa mendatang. Sebagaimana direkomendasikan oleh (Liu & Arifin, 2021), pemahaman mitra terhadap sistem struktur menjadi kunci dalam penerapan pemeliharaan preventif yang berkelanjutan.

2.4. Input Pembebanan

Tahapan input beban dilakukan untuk menentukan kombinasi beban yang bekerja pada struktur sesuai standar perencanaan. Jenis beban yang dianalisis meliputi beban mati (DL), beban hidup (LL), beban angin (W), dan beban gempa (E). Perhitungan beban mati mencakup berat sendiri beton, beban dinding bata ringan sebesar 3 kN/m, serta finishing lantai 1,5 kN/m². Beban hidup ditetapkan berdasarkan fungsi bangunan sekolah sebesar 1,92 kN/m² untuk ruang kelas dan 3,83 kN/m² untuk koridor seperti yang disajikan pada Gambar 4.

Untuk beban gempa, analisis dilakukan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan kategori tanah sedang (D). Nilai percepatan spektral (S_s dan S_1) diperoleh dari peta gempa wilayah Bojonegoro (Pusat Studi Gempa Nasional Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, 2017). Perhitungan beban lateral menggunakan metode *response spectrum*. Beban angin juga dimasukkan dalam analisis dengan mempertimbangkan arah horizontal bangunan. Seluruh beban dikombinasikan mengikuti SNI 1727:2020 (Badan Standarisasi Nasional, 2020), yang meliputi kombinasi beban gravitasi, gempa, dan beban layan.

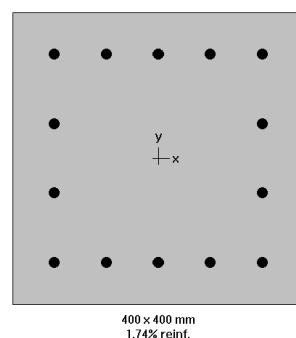


Gambar 4. Input Beban Hidup Bangunan

Untuk meningkatkan pemahaman mitra tentang skenario beban ekstrem, TPM memfasilitasi diskusi mengenai kombinasi beban yang dianalisis, termasuk beban gempa berdasarkan peta zona seismik Bojonegoro. Mitra dilibatkan dalam memahami mengapa beban gempa menjadi faktor kritis dalam evaluasi kolom pendidikan, terutama mengingat fungsi sosial tinggi bangunan sekolah yang menampung ratusan siswa setiap hari. Diskusi ini juga mengaitkan temuan dengan penelitian (Roi et al., 2022) yang menunjukkan bahwa kondisi fisik kolom yang tidak memadai meningkatkan risiko keruntuhan pada sekolah di zona seismik aktif, sehingga mitra memiliki kesadaran yang lebih kuat tentang urgensi perbaikan.

2.5. Analisis Struktur

Tahapan analisis struktur dilakukan untuk menilai kapasitas elemen kolom terhadap beban yang telah ditentukan. Proses ini menggunakan dua perangkat bantu utama, yaitu SAP2000 dan SPColumn, dengan pendekatan saling melengkapi antara analisis gaya dalam dan kapasitas penampang.



Gambar 5. Desain Kolom di SPColumn

Pada tahap awal, model struktur yang telah dibangun di SAP2000 digunakan untuk memperoleh distribusi gaya dalam berupa gaya aksial, momen lentur, dan geser pada elemen kolom. Hasil gaya dalam dari setiap kombinasi beban, baik gravitasi maupun lateral, kemudian diekstraksi dari program dalam bentuk data numerik. Data ini mencakup nilai gaya aksial maksimum, momen terbesar, serta posisi elemen kolom yang mengalami beban kritis.

Selanjutnya, hasil gaya dalam dari SAP2000 digunakan sebagai input utama untuk analisis penampang kolom menggunakan SPColumn. Dalam perangkat SPColumn, Gambar 5 menjelaskan geometri kolom, mutu beton ($f_c' = 27$ MPa), serta mutu tulangan baja ($f_y = 420$ MPa) diinput sesuai hasil inspeksi dan gambar rencana. Model penampang dimasukkan berdasarkan dimensi aktual kolom di lapangan, yaitu 40×40 cm di bagian atas dan 25×25 cm di bagian bawah, dengan konfigurasi tulangan 4D16 dan sengkang D10-100 mm.

Melalui tahapan ini, hubungan antara gaya aksial dan momen hasil dari SAP2000 dapat dipetakan dalam bentuk diagram interaksi $P - M$ pada SPColumn. Diagram tersebut menjadi alat utama untuk membandingkan kondisi kerja kolom dengan kapasitas teoritisnya, yang kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menilai tingkat keamanan struktur.

2.6. Sosialisasi Hasil Rekomendasi

Tahapan sosialisasi menjadi langkah penutup dari keseluruhan kegiatan evaluasi struktur. Kegiatan ini berfungsi untuk menyampaikan hasil analisis secara komprehensif dan memastikan bahwa informasi teknis yang dihasilkan dapat dipahami secara jelas dan terarah. Fokus utama sosialisasi adalah penyampaian temuan dari hasil inspeksi visual, proses pemodelan, serta analisis beban yang telah dilakukan terhadap struktur kolom bangunan.

Penyampaian dilakukan dengan pendekatan informatif dan visual, menampilkan data hasil analisis serta perbandingan antara kondisi eksisting dan hasil simulasi. Melalui metode ini, hasil kegiatan dapat dikomunikasikan secara efektif, mendorong pemahaman mendalam terhadap kondisi struktur serta urgensi penerapan prinsip keamanan bangunan.

Kegiatan sosialisasi juga menjadi wadah konfirmasi akhir terhadap hasil analisis, sekaligus sarana untuk mengklarifikasi interpretasi data sebelum disusun rekomendasi teknis yang lebih detail pada tahap selanjutnya. Sosialisasi tidak hanya berfungsi sebagai penyampaian hasil, tetapi juga sebagai mekanisme validasi keputusan bersama antara TPM dan mitra. Melalui diskusi intensif, mitra mengkonfirmasi kesiapan operasional untuk melaksanakan perkuatan, termasuk penjadwalan, pengadaan material, dan koordinasi dengan pengguna bangunan. Hasil sosialisasi menjadi dokumen kesepakatan yang mengikat kedua pihak untuk memastikan implementasi berjalan sesuai standar teknis dan keselamatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengecekan Struktur Kolom

Kolom utama berfungsi sebagai elemen penghubung antara sistem struktur atas (balok) dan sistem struktur bawah (pondasi). Secara mekanis, kolom memikul gaya aksial dan momen lentur, sehingga kinerjanya dievaluasi menggunakan diagram interaksi aksial-momen ($P - M$) (Pratama et al., 2025). Nilai gaya dalam kolom K-1 diperoleh dari hasil analisis global menggunakan SAP2000. Mengingat pada kondisi eksisting terdapat eksentrisitas beban aksial sebesar 13 cm, maka momen pada arah kuat (M_2) diperbesar dengan momen eksentrisitas M_{ecc} (Fadlan Alhamid et al., 2024). Dengan demikian, momen rencana untuk pemeriksaan kapasitas ditetapkan sebagai $M_r = M_2 + M_{ecc}$, sebagaimana diringkas pada Tabel 1. Selanjutnya, pasangan gaya aksial P dan momen M_r tersebut digunakan sebagai titik kerja (*demand point*) dalam pemodelan penampang pada SPColumn untuk memeriksa posisi relatifnya terhadap kurva interaksi $P - M$ dan menilai kecukupan kapasitas ultimit kolom.

Tabel 1. Hasil Output Gaya Dalam pada Kolom

Tipe Kolom	P_u (kN)	M_2 (kNm)	M_{ecc} (kNm)	M_r (kNm)
K1 A	163.99	27.47	24.60	52.07
K1 A	267.31	50.24	40.10	90.34
K1 A	274.48	50.78	41.17	91.95
K1 A	345.33	51.78	51.80	103.58
K1 A	336.82	52.84	50.52	103.36
K1 A	201.06	23.11	30.16	53.27
K1 A	339.55	52.42	50.93	103.35

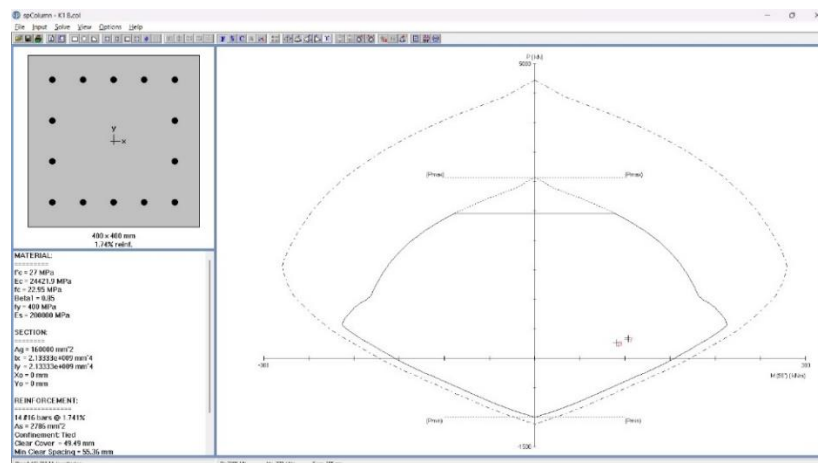
Pada penampang kolom 400×400 mm dengan tulangan jumlah 14 buah diameter 16 mm ($\rho_s \approx 1,74\%$), mutu beton $f_c' = 27$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa, titik kerja hasil kombinasi beban gempa terfaktor (SNI 1726:2019 & SNI 2847:2019) berada di dalam amplop kurva interaksi $P - M$ (garis penuh) pada Gambar 5. Setelah momen akibat analisis global (arah kuat, M_2) ditambah momen eksentrisitas karena deviasi beban pada kolom eksisting, $M_r = M_2 + M_{ecc}$, nilai gaya dalam yang mewakili kondisi terkritik adalah sekitar $P \approx 300$ kN.M ≈ 330 kN·m dengan eksentrisitas efektif ≈ 106 mm (terbaca pada status SPColumn). Posisi *demand point* tersebut jelas tidak memotong batas kapasitas masih memiliki jarak aman terhadap selubung kurva sehingga kolom dinyatakan aman terhadap kombinasi momen akibat beban gempa serta tambahan momen eksentrisitas. Temuan ini sejalan dengan hasil analisis global dan pemeriksaan kurva interaksi $P - M$, serta menegaskan bahwa pada parameter material dan penulangan yang digunakan kapasitas ultimit penampang masih mencukupi. Berikut adalah hasil diagram interaksinya pada Gambar 6.

Hasil analisis ini memberikan jaminan keamanan kepada mitra bahwa bangunan sekolah masih layak digunakan dalam kondisi pembebanan terfaktor saat ini. Temuan bahwa titik kerja berada di dalam amplop kapasitas mengurangi kekhawatiran mitra akan risiko keruntuhan mendadak, yang sebelumnya menjadi sumber keresahan pihak sekolah. Namun, hasil ini juga menegaskan bahwa keamanan struktural bersifat kondisional—kolom tetap aman selama tidak

ada penambahan beban eksternal atau degradasi material lebih lanjut. Oleh karena itu, mitra diedukasi untuk memahami bahwa evaluasi ini bukan merupakan "izin untuk mengabaikan pemeliharaan," tetapi justru dasar untuk mengimplementasikan perkuatan preventif guna meningkatkan keandalan jangka panjang. Sebagaimana ditunjukkan oleh (Roi et al., 2022), sekolah dengan kolom yang telah melewati batas desain seismik memerlukan intervensi proaktif untuk menghindari potensi keruntuhan di masa depan.

3.2. Metode Perbaikan Struktur

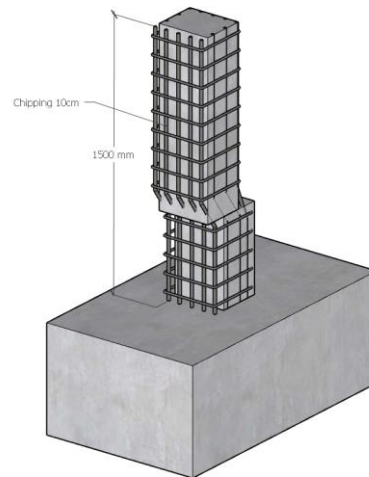
Berlandaskan hasil analisis struktur, perbaikan kolom direkomendasikan menggunakan metode jacketing beton bertulang dengan penanaman tulangan (*starter bar*) ke podasi telapak untuk memulihkan jalur gaya dan meningkatkan kapasitas aksial-lentur serta confinement. Pekerjaan diawali dengan pemasangan shoring pada balok di atas kolom target guna menstabilkan sistem selama intervensi dan mengurangi beban sementara pada kolom eksisting sehingga deformasi tambahan dapat dihindari. Setelah struktur tersangga, dilakukan chipping (pengelupasan beton lama) sepanjang kurang lebih 50 cm pada empat sisi kolom dan ditambah sekitar 10 cm pada zona yang mengalami penyimpangan geometri untuk mengekspos tulangan eksisting sekaligus menyediakan permukaan bertekstur yang meningkatkan ikatan beton baru seperti pada Gambar 7.



Gambar 6. Diagram Interaksi $P - M$ Kolom (SPCOLUMN); Posisi Titik Kerja (P, M_r)

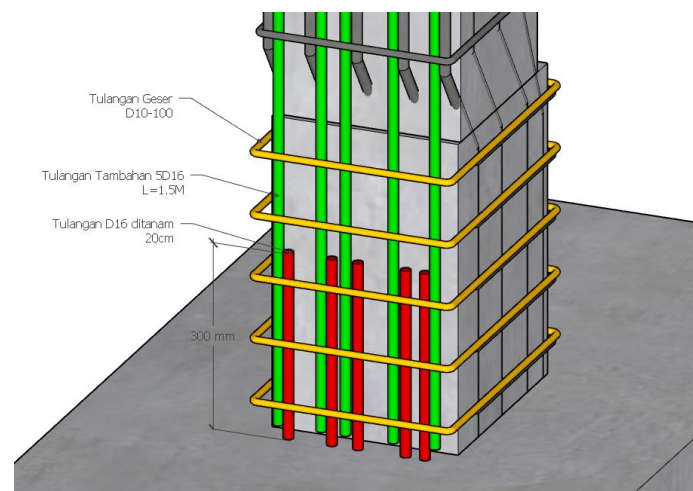
Tahap berikutnya adalah pembersihan permukaan menggunakan air bertekanan dan sikat kawat guna menghilangkan debu, karat, serta partikel lepas yang berpotensi mengganggu ikatan. Pada kondisi permukaan yang bersih, dilakukan pemasangan tulangan *jacketing*, tulangan longitudinal dipasang pada sisi depan kolom untuk menambah kapasitas aksial-lentur, sedangkan sengkang rapat dengan diameter 10 mm jarak 100 mm berfungsi sebagai penahan geser dan pengikat lateral guna meningkatkan *confinement* (Taha & Abbas, 2021) seperti pada Gambar 8. Panjang penyaluran sambungan tulangan memenuhi ketentuan SNI 2847:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019) ($\geq 40d$) agar kekakuan sambungan dan transfer gaya tercapai.

Untuk menjamin kontinuitas jalur gaya dari kolom ke pondasi, tulangan tambahan ditanam ke pondasi telapak melalui pengeboran pada posisi tulangan longitudinal baru dan penyambungan menggunakan bahan *chemical anchor* berstandar (dengan prasyarat lubang dan batang dalam keadaan bersih serta kering) (Kresriati & Apriyatno, 2022). Setelah penulangan terpasang sesuai gambar kerja, dilanjutkan pemasangan bekisting kedap dan pengecoran menggunakan material semen non-susut (*non-shrinkage cement*) (da Rocha Gomes et al., 2023) dengan mutu rencana minimal $f_c' \geq 30$ MPa seperti pada Gambar 9. Tahap akhir adalah *curing* selama sedikitnya tujuh hari untuk memastikan hidratisasi dan perkembangan kekuatan beton yang optimal; metode *curing* dapat berupa pembasahan kontinu atau penggunaan *curing compound* sesuai kondisi lapangan.



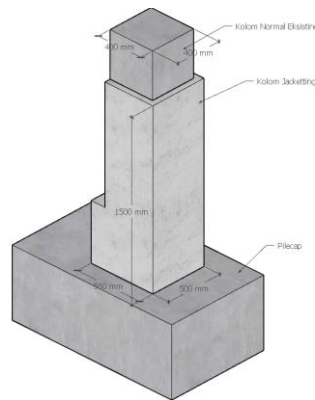
Gambar 7. Pelaksanaan *Chipping* pada Kolom Eksisting

Sepanjang proses, titik kendali mutu (*hold points*) ditempatkan pada: verifikasi *shoring*, kebersihan permukaan dan lubang *anchor*, pemeriksaan penulangan (jarak sengkang, panjang penyaluran, dan ikatan), serta kepadatan pengecoran sebelum bekisting ditutup. Seluruh tahapan dilaksanakan dengan memperhatikan K3 (pengamanan area kerja, APD, dan manajemen akses) serta didokumentasikan melalui berita acara dan foto lapangan untuk menjamin keterlacakan dan akuntabilitas pelaksanaan. Dengan rangkaian langkah tersebut, *jacketing* diharapkan mampu meningkatkan keandalan jangka panjang kolom tanpa mengganggu operasional bangunan pendidikan.



Gambar 8. Pemasangan Tulangan Tambahan pada Kolom Eksisting

Rekomendasi *jacketing* beton bertulang dipilih bersama mitra setelah mempertimbangkan tiga faktor utama yaitu efektivitas teknis dalam memulihkan jalur gaya dan meningkatkan *confinement*, kemudahan pelaksanaan tanpa pembongkaran besar yang mengganggu operasional sekolah, serta ketersediaan sumber daya lokal untuk material dan tenaga kerja. Penelitian (Christ et al., 2023; Dritsos, 2007) menjadi rujukan TPM dalam menjelaskan kepada mitra bahwa metode ini telah terbukti efektif pada bangunan eksisting di berbagai negara. Mitra kemudian mengadopsi metode ini sebagai standar internal untuk penanganan kolom bermasalah di bangunan sekolah lainnya di Kabupaten Bojonegoro, menunjukkan transfer keahlian yang berhasil dari kegiatan pengabdian ini. Selain itu, TPM menyediakan panduan pelaksanaan tertulis (*method statement*) yang dapat digunakan oleh mitra secara mandiri untuk proyek serupa di masa depan, sejalan dengan prinsip pemberdayaan berkelanjutan yang direkomendasikan oleh (Liu & Arifin, 2021).



Gambar 9. Kondisi Kolom Setelah Diperkuat dengan *Jacketing*

3.3. Sosialisasi Hasil Rekomendasi

Sosialisasi hasil rekomendasi dilaksanakan melalui dua ranah koordinasi yang saling melengkapi, dengan peran yang tegas antara Tim Pengabdian Masyarakat (TPM) sebagai penyedia keahlian teknis dan Mitra sebagai pengelola aset dan pelaksana operasional. Pada tahap lapangan, TPM memaparkan temuan utama terkait deviasi penempatan tulangan kolom dan implikasinya terhadap eksentrisitas beban, sekaligus menjelaskan konsep perkuatan yang direkomendasikan berupa *jacketing* dengan penanaman tulangan ke pilecap. Pemaparan disertai *walkthrough* lokasi kolom prioritas, penandaan area kerja, dan arahan urutan pelaksanaan yang aman (*shoring-chipping-penulangan-anchoring-engecoran-curing*) beserta protokol K3 yang relevan. Mitra memastikan dukungan operasional dengan pengaturan akses area, penyesuaian jadwal kegiatan belajar agar tidak terganggu, penetapan penanggung jawab lapangan, serta penyediaan sarana bantu sesuai kebutuhan. Hasil koordinasi lapangan terdokumentasi dalam berita acara yang memuat batas zona kerja, rute mobilisasi peralatan, jadwal pelaksanaan per kolom, dan dokumentasi foto kondisi eksisting pada Gambar 10.



Gambar 10. Sosialisasi dan Diskusi Tanya Jawab di Lapangan

Tahap koordinasi di kantor seperti pada Gambar 11. memformalkan keputusan teknis dan mengonsolidasikan rencana implementasi. TPM menyajikan paket rekomendasi lengkap meliputi gambar detail *jacketing* dan anchorage, spesifikasi material, method statement, titik hold point untuk inspeksi mutu, serta rencana K3L. Mitra menilai kesesuaian rekomendasi dengan anggaran, kalender akademik, dan sumber daya, menyepakati lead time pengadaan material kritis, serta menetapkan struktur organisasi proyek berikut jalur komunikasi resmi. Rapat menghasilkan persetujuan desain perkuatan, penetapan jadwal terinci dengan milestones mingguan, daftar PIC dari kedua pihak, serta format formulir pemeriksaan *pre-pour* dan *post-pour*. Dengan demikian, sosialisasi yang mengintegrasikan verifikasi teknis TPM dan pengendalian operasional oleh Mitra menjamin bahwa proses perbaikan struktur dapat dilaksanakan secara tertib, aman, akuntabel, dan minim gangguan terhadap layanan pendidikan.



Gambar 11. Sosialisasi dan Diskusi Tanya Jawab di Kantor

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat ini berhasil memberikan solusi teknis dan pemberdayaan kapasitas mitra dalam menangani permasalahan keselamatan struktur kolom pada Bangunan Pendidikan di Kabupaten Bojonegoro. Analisis ulang struktur menggunakan SAP2000 dan verifikasi diagram interaksi P-M pada SPColumn menunjukkan bahwa kolom yang mengalami deviasi penempatan tulangan longitudinal (eksentrisitas ± 13 cm) tetap berada dalam kondisi aman. Setelah momen lentur arah kuat diperbesar dengan momen eksentrisitas sehingga $M_r = M_2 + M_{ecc}$, titik kerja (P, M_r) tercatat masih berada di dalam selubung kapasitas; dengan mutu material dan konfigurasi penulangan yang digunakan, kapasitas ultimit penampang dinyatakan mencukupi untuk kombinasi beban terfaktor yang ditinjau. Meskipun demikian, untuk meningkatkan keandalan jangka panjang, direkomendasikan perkuatan kolom dengan *jacketing* beton bertulang disertai penanaman tulangan (*starter bar*) ke pondasi telapak guna memulihkan jalur gaya dan meningkatkan kapasitas aksial lentur serta *confinement*, dengan prosedur pelaksanaan yang mencakup *shoring*, *chipping* terkontrol, pemasangan tulangan tambahan dan sengkang rapat sesuai SNI 2847:2019, *anchoring* ke pilecap, pengecoran material non-susut dengan target $f_c' \geq 30$ MPa, dan curing minimal tujuh hari.

Dari sisi dampak pengabdian, kegiatan ini menghasilkan perubahan signifikan pada kapasitas mitra yang mencakup peningkatan literasi teknis pada staff teknis Mitra dalam memahami risiko struktural dan membaca hasil analisis teknik sipil, kemampuan menyusun prioritas perbaikan berbasis risiko yang ditunjukkan dengan inisiasi survei mandiri terhadap sekolah lain menggunakan metode evaluasi yang diajarkan, serta kesiapan implementasi perkuatan yang tercermin dari penetapan tim internal pengawas pelaksanaan *jacketing* dan alokasi anggaran untuk material berkualitas sesuai spesifikasi teknis yang direkomendasikan. Dari sisi pengguna bangunan, pihak sekolah menyatakan peningkatan rasa aman setelah proses evaluasi dan sosialisasi, yang membantu mengurangi kekhawatiran orang tua siswa terkait keamanan prasarana pendidikan. Kolaborasi antara Tim Pengabdian Masyarakat/Narasumber (TPM) sebagai penyedia keahlian teknis dan Mitra sebagai pengelola aset terbukti krusial untuk memastikan proses pengambilan keputusan yang tertib, terdokumentasi, dan akuntabel.

Keterbatasan kegiatan perlu dicatat sebagai pembelajaran untuk program serupa di masa depan, meliputi cakupan evaluasi yang terbatas pada satu bangunan sekolah dengan fokus pada kolom K1A di grid tertentu sehingga belum mencakup seluruh elemen struktural atau bangunan sekolah lainnya di wilayah yang sama, durasi pendampingan yang terbatas pada fase perencanaan perkuatan sementara fase pelaksanaan dan monitoring pasca-perkuatan memerlukan pendampingan lanjutan, keterbatasan data historis pemeliharaan bangunan eksisting yang menyebabkan beberapa asumsi analisis didasarkan pada inspeksi terbatas, serta transfer keahlian yang berfokus pada staf teknis Mitra sementara keterlibatan langsung pengelola sekolah dan komite pendidikan masih terbatas. Keberlanjutan program dapat dikembangkan melalui perluasan evaluasi ke bangunan sekolah lainnya di Kabupaten

Bojonegoro yang memiliki karakteristik serupa. Dengan penerapan langkah-langkah tersebut, kegiatan pengabdian ini diharapkan tidak hanya memberikan solusi teknis pada satu kasus spesifik, tetapi juga menciptakan ekosistem pemeliharaan preventif yang berkelanjutan dan meningkatkan budaya keselamatan bangunan di lingkungan pendidikan Kabupaten Bojonegoro. Keberhasilan kegiatan ini dapat menjadi model replikasi bagi kabupaten/kota lain yang menghadapi permasalahan serupa, dengan penyesuaian pada konteks lokal dan ketersediaan sumber daya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Pengabdian Masyarakat mengucapkan terima kasih kepada Balai Prasarana Permukiman Wilayah Jawa Timur Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya Provinsi Jawa Timur dan Konsultan Individu yang telah memberi dukungan berupa data dan finansial terhadap pengabdian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. In *Sni 1726:2019* (Issue 8, p. 254). Badan Standardisasi Nasional. http://akses-sispk.bsn.go.id//Upload/Dokumen/SK_SNI/SK_SNI_693_KEP_BSN_12_2019.pdf
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.
- Bohara, B. K., Joshi, N. M., & Jagari, S. (2025). Impact of inadequate column performance and repair techniques on the seismic performance of RC buildings. *Discover Civil Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00253-5>
- Christ, R., Lerner, L. R., Ehrenbring, H. Z., Pacheco, F., Bolina, F. L., Poletto, G., Gil, A. M., & Tutikian, B. F. (2023). Evaluation of Ultra-High-Performance Concrete Columns at High Temperatures after 180 Days of Curing. *Buildings*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/buildings13092254>
- Computers & Structures, Inc. (2017). *CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE, and CSiBridge*.
- da Rocha Gomes, S., Ferrara, L., Sánchez, L., & Moreno, M. S. (2023). A comprehensive review of cementitious grouts: Composition, properties, requirements and advanced performance. *Construction and Building Materials*, 375, 130991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130991>
- Dritsos, S. (2007). Seismic strengthening of columns by adding new concrete. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 40. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.40.2.49-68>
- Fadlan Alhamid, M., Irfan Marasabessy, M., Nur Rohman, W., Zakki Rizal Hidayat, M., Rafiqqa Putri, M., Fariied Hanafi, N., & Irfan Marasabessy, M. (2024). *Evaluasi dampak perbaikan pada kolom eksentris dengan metode jacketing (Studi Kasus: Gedung Perkuliahan X di Yogyakarta)*. 4(1).
- Kresiariati, N., & Apriyatno, H. (2022). Eksperimen Kegagalan Breakout Chemical Anchor Stud Metode Cast in Place dan Post Installed Dengan Modifikasi Lubang Drill Bit Extractor. *Citizen: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(3), 403-410.
- Liu, S. S., & Arifin, M. F. A. (2021). Preventive maintenance model for national school buildings in indonesia using a constraint programming approach. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1-25. <https://doi.org/10.3390/su13041874>

- Moh Fadhlhan Rosyidi, Susanto, A., Yudoprasetyo, K., & Alrasyidi, M. A. (2025). EVALUASI DAN PERKUATAN BETON BERTULANG STRUKTUR SILO KERUCUT. *Bangunan: Teori, Praktek, Penelitian, Dan Pengajaran Teknik Bangunan*, 30(2), 169–180. <https://doi.org/10.17977/um071v30i22025p169-180>
- Nguyen, T. (2022). VERIFICATION OF DESIGN BEARING CAPACITY OF EXISTING REINFORCED CONCRETE COLUMNS. *International Journal of GEOMATE*, 23. <https://doi.org/10.21660/2022.98.3540>
- Pratama, M. I. D., Khomari, M. G. K., Wiryasuta, I. K. H., Amin, M. S., & Rifqi, M. G. (2025). Perbandingan Kemampuan Menahan Beban Aksial Kolom Pendek Berlubang Dengan Variasi Jarak Sengkang. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 7(2), 122–130. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i2.1271>
- Pusat Studi Gempa Nasional Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*.
- Roi, M., Asriwiyanti, D., Hendry, W., Deni, S., & Ginardy, H. (2022). Assessment of Seismic Vulnerability of School Buildings: A case study in Bandung, West Java, Indonesia. *Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 22(9), 49–59. <https://doi.org/10.25303/1609da049059>
- Taha, M., & Abbas, A. (2021). Effect of Longitudinal Maximum Spacing of Shear Reinforcement for wide Reinforced Concrete Beams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1076, 12118. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1076/1/012118>
- Yudoprasetyo, K., Tajunnisa, Y., Affandhie, R. B. A., & Suwandi, S. (2024). Evaluasi Kondisi Struktur Terkini dan Rekomendasi Perkuatan pada Gedung Perkantoran di Surabaya. *Sewagati*, 8(6), 2336–2346. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i6.2179>